

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA**

**Facultad de Ciencias**

**Escuela Académico Profesional de Biología-Microbiología**

**TRANSICIÓN DEL PATRÓN TRICOLÓGICO DE LA  
FASE ANÁGENA A LA FASE TELÓGENA  
DE CABELLOS HUMANOS**

**Tesis presentada por:**

**Bach. NESSTOR PILCO FERRETO**

**Para optar el Título Profesional de:**

**BIÓLOGO – MICROBIÓLOGO**

**TACNA – PERÚ**

**2013**

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**TESIS Nº 194 Título Profesional de Biólogo Microbiólogo**

El secretario Académico Administrativo de la Facultad de Ciencias certifica que el Consejo de Facultad ha designado como jurados para la sustentación de la tesis: "TRANSICIÓN DEL PATRÓN TRICOLÓGICO DE LA FASE ANÁGENA A LA FASE TELÓGENA DE CABELLOS HUMANOS"; el mismo conformado por:

PRESIDENTE : Mgr. Roberto Castellanos Cabrera

SECRETARIO : Mblg. Luis Lloja Lozano

VOCAL : MsC. Angela Choque Miranda

Para examinar y calificar el trabajo de Tesis sustentado en acto público el día miércoles 26 de Junio del 2013, presentado por el señor bachiller NESSTOR PILCO FERRETO de la Escuela Académico Profesional de Biología-Microbiología.

El jurado calificador, en forma individual y secreta, emitieron su calificación, con el siguiente resultado: Aprobado por unanimidad con el calificativo de bueno con la nota de dieciseis (16).

Para ratificar lo detallado, firman:

MsC. Angela Choque Miranda  
VOCAL

Mblg. Luis Lloja Lozano  
SECRETARIO

Mgr. Roberto Castellanos Cabrera  
PRESIDENTE

*Nuestros ojos no pueden ver lo que nuestros cerebros no saben.*

*(Proverbio Árabe)*

*Dedicado a mis mentores que me incentivaron a seguir este camino hacia el maravilloso mundo libre del misticismo, la investigación, historia sin fin la cual recién empieza; en memoria de mi padre Juan y dedicado con todo mi amor a mi madre Lucila que siempre me ha apoyado, los cuales siempre me ayudaron y estuvieron conmigo en cada momento de mi vida; a mis maestros Giovanni Aragón Alvarado y Juan Santos Lovatón, ambos personas lúcidas y fieles defensoras del conocimiento científico que por razones del azar los he conocido y estoy muy agradecido.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Lourdes Amparo Villamarín, bióloga de profesión y de corazón, cuyos consejos e ideas me ayudaron a la investigación de cabellos con fines forenses.

A William Sisniegas Delgado (Conejo), quien con su ayuda a desinteresada me enseñó el fabuloso mundo de la tricología forense.

A Wilfredo Revilla Cahuana, cuyo apoyo moral y científico ayudaron a seguir con el trabajo.

A Richard Ponce, que por razones aleatorias he tenido el gusto de conocer y me ha apoyado hasta la fecha en el maravillo mundo de la biología.

A Jorge Véliz Rojas, amigo que siempre estuvo dispuesto a ayudarme con un poco de sarcasmo en todo momento.

A Dayana, quien siempre confió en mí y me apoyó psicológica, biológica y físicamente en mi formación como biólogo.

Y a Franck Alvarez, por ser mi amigo.

## RESUMEN

Los cabellos, pelos terminales del cuero cabelludo, son una de las más importantes evidencias corroborativas encontradas en la mayor parte de cada tipo de evidencias. Las características microscópicas presentes en los cabellos que le confieren cierta individualidad a las personas se denomina patrón tricológico. Estas patrones pueden ser conocidos (muestra extraída de los sospechosos) como también pueden ser desconocidos (cabellos encontrado en la escena del crimen). Si al comparar cabellos estos presentasen patrones tricológicos diferentes, entonces, significaría que provienen de fuentes diferentes.

En este trabajo se estudió las características microscópicas de los patrones tricológicos presentes en una misma persona pero en diferentes fases de crecimiento; la fase anágena (fase de crecimiento) y la fase telógena (fase de reposo donde el pelo cae espontáneamente) con la finalidad de encontrar diferencias microscópicas en los patrones tricológicos.

En el laboratorio de Criminalística de la Policía Nacional del Perú se analizó una población de cien individuos de diferentes sexos, sin

ninguna particularidad, salvo el estar implicado en hechos delictivos los cuales se acercaron por orden judicial. Para la extracción de las muestras en fase anágena se procedió a arrancarlos con pinzas con punta de goma de cinco regiones cefálicas diferentes y para las muestras en fase telógena se procedió a la recolección por arrastre mediante un peine de las mismas zonas cefálicas en la fase anágena en un mismo individuo, teniendo cincuenta cabellos en cada fase de crecimiento. Así se estableció un patrón tricológico en cada fase de crecimiento en función al tamaño y forma de agregación de los gránulos de pigmentos debido a que estas características son las más importantes a la hora de comparación de cabellos.

La fase anágena fue caracterizada en una población de 100 individuos por la presencia de 10 patrones tricológicos: amontonados pequeños, medianos y grandes; rayas pequeñas, medianas y grandes; franjas pequeñas, medianas y grandes; y un patrón tipo uniforme. Los mismos patrones fueron encontrados en la fase telógena pero en diferentes proporciones a la de la fase anágena, en la que el patrón tipo rayas pequeñas aumentó de un 6% a un 18% y el patrón tipo uniforme aumentó de un 4% a un 20% ambos de la fase anágena hacia la fase

telógena. Los otros tipos de patrones tricológicos disminuyeron su proporción.

En este trabajo se utilizó la forma y tamaño de agregación de los gránulos de pigmentos por ser una característica más importante presente en el patrón tricológico y los cuales presentan una menor variación en un mismo individuo. Los patrones tricológicos cambiaron en su transición de la fase anágena hacia la fase telógena debido al déficit de aporte de gránulos de pigmentos en la fase telógena (a diferencia en la fase anágena) por lo que modificó la configuración espacial de los gránulos de pigmentos en esta última fase de crecimiento. De esta manera los patrones tricológicos de tipo rayas pequeñas y uniforme fueron los que aumentaron en la fase telógena por ser los patrones con una configuración de los gránulos de pigmentos inferiores a los demás.

Se concluye que los patrones tricológicos en la fase anágena son los mismos que se encuentran en la fase telógena pero difieren en la proporción con la que se dan. Estos cambios en el patrón tricológico fueron representados por la configuración espacial de los gránulos de pigmentos, por lo que en la fase telógena se ve un incremento de los patrones tricológicos de tipo rayas pequeñas y de tipo uniforme.

## CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN .....	ii
AGRADECIMIENTOS .....	iv
RESUMEN.....	v
CONTENIDO.....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Planteamiento del Problema.....	2
1.2 Hipótesis.....	4
1.3 Justificación .....	4
1.4 Objetivos .....	6
1.4.1 Objetivo General .....	6
1.4.2 Objetivos Específicos .....	6
1.5 Marco Teórico.....	7
1.5.1 Aspectos Generales de los cabellos humanos .....	7
1.5.2 Estructura del cabello humano .....	9
1.5.3 Tipos de pelos .....	22
1.5.4 Fase de crecimiento del cabello .....	25
1.5.5 Pigmentación del cabello.....	33
1.5.6 Organogénesis de los melanosomas .....	36
1.5.7 Regulación de la pigmentación del folículo piloso.....	38
1.5.8 Interacción melanocito-queratinocito .....	39
1.5.9 Examinación microscópica de cabellos.....	40
1.5.10 El patrón tricológico.....	60
1.5.11 Análisis comparativo forense de cabellos.....	62
II. MATERIALES Y MÉTODOS .....	66

2.1 Ubicación y delimitación del área de estudio .....	66
2.2 Población y Muestra.....	66
2.2.1 Población.....	66
2.2.2 Muestra.....	68
2.3 Diseño de Investigación.....	68
2.4 Métodos.....	69
2.4.1 Método de Campo .....	69
2.4.2 Toma de muestras de cabellos.....	69
2.4.3 Montaje de las muestras tricológicas.....	70
2.4.4 Caracterización microscópica de los gránulos de pigmentos.....	71
2.4.5 Registro de datos.....	72
2.4.6 Formulación del patrón tricológico .....	72
2.4.7 Comparación de cabellos entre las fases anágenas y telógenas.	73
2.4.8 Procesamiento y análisis de la información .....	74
III. RESULTADOS.....	75
3.1 Caracterización de la fase anágena .....	75
3.2 Caracterización de la fase telógena.....	77
3.3 Cambios en el patrón tricológico de la fase anágena a la telógena .....	79
IV. DISCUSIÓN.....	95
V. CONCLUSIONES.....	99
VI. RECOMENDACIONES.....	101
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	102
VIII. ANEXOS .....	108

## I. INTRODUCCIÓN

Los cabellos, pelos terminales del cuero cabelludo, son una de las más importantes y útiles evidencias corroborativas encontrada en la mayor parte de cada tipo de crímenes, siendo el principio de intercambio, particularmente en ofensas sexuales, peleas, etc. Cuando el cabello es arrancado, como en casos de delitos sexuales, peleas, etc la parte de raíz del cabello puede venir junto con el pelo y puede dar información muy precisa sobre la persona de quien se originó, pero cuando se encuentra sin raíz, uno únicamente dependerá de sus características morfológicas. La razón de esto es la presencia de una amplia gama de variaciones inter e intra-personales en estas características morfológicas del cabello.

El pelo, debido a su ubiquidad, posee un gran valor como evidencia en las ciencias forense. El pelo fue primeramente usado como evidencia en 1861, pero no tuvo aceptación científica hasta finales de siglo y aceptación pública hasta finales de 1950, pero debido a la subjetividad que involucra parte de su análisis, su valor es usado en conjunción con otras evidencias.

El uso del microscopio para la examinación de elementos traza en casos criminales tiene una historia muy larga de éxito. En el pasado, el microscopio ha tenido una influencia enorme en los laboratorios para el estudio de elementos traza (Petraco, 1986).

Estas características microscópicas presentes en los cabellos cuando forman un conjunto reconocible y que le confiere cierta individualidad a las personas se les denominan patrón tricológico, y es susceptible de ser comparado con patrones de otros cabellos.

## **1.1 Planteamiento del Problema**

Uno de los procedimientos de la tricología forense es la comparación de las muestras de la escena del crimen (muestra dubitada) con la de los sospechosos (muestras indubitadas) y llegar a una conclusión de inclusión o exclusión (Oien, 2009); procesos en los cuales se comparan patrones de características microscópicas, los establecidos para la muestra problema con los de la muestra conocida (Gaudette, 1986); este conjunto de características microscópicas establecidas y susceptibles de comparación se denomina patrón tricológico (Molina, 2004). La

forma de obtener estas muestras conocidas de cabellos de los sospechosos es mediante el arrancamiento con pinzas de goma (cabellos en fase anágena) y porde peinado de cabellos (cabellos en fase telógena).Las muestras recolectadas en la escena del crimen están en fase telógena y conforman un 95% de los cabellos encontrados (Robertson, 1999); por lo que ambas muestras, tanto la recolectada en la escena del crimen como la obtenida en el laboratorio corresponden a fases de crecimiento diferentes.

Las diferencias en los patrones tricológicos diferentes entre las muestras dubitadas e indubitadas son razones para suficientes para emitir una conclusión negativa o de exclusión (Oien, 2009), y, una de los factores que tienden a debilitar las comparaciones tricológicas es un gran tiempo de diferencia desde la recolección de las evidencias tricológicas hasta la toma de muestras conocidas (Gaudette, 1985a);entonces la pregunta es: **¿Cuáles son los cambios de las características microscópicas que afectan al patrón tricológico durante la transición de la fase anágena a la fase telógena en cabellos humanos?**

## **1.2 Hipótesis**

De acuerdo al problema planteado y con el conocimiento acerca de los patrones tricológicos, es que presento a continuación la siguiente hipótesis:

Las características del patrón tricológico en cabellos humanos cambian en su transición de la fase anágena a la fase telógena.

## **1.3 Justificación**

En la Oficina de Criminalística de la PNP del Perú, Área de Biología Forense de Arequipa, se realizan análisis de prendas e inspecciones criminalísticas donde se recogen cabellos con mucha frecuencia como evidencias de índole delictivo para posteriormente compararlos con los cabellos de sospechosos. En el método para el análisis comparativo de muestras tricológicas se utiliza cabellos en fase telógena (hallados en la escena del crimen) y cabellos en fase anágena (cabellos arrancados de las personas sospechosas con las cuales se desea comparar), pero la falta de información sobre la existencia de cambios de características microscópicas

durante la fase anágena a la fase telógena, que afecte el patrón tricológico, implicaría modificar el método de análisis comparativo usado actualmente, en la cual se compara cabellos en diferentes fases de crecimiento por la presunción de que no existen cambios significativos que afecten el patrón tricológico de las muestras analizadas (Oien, 2009). Dicho método es asumido por el laboratorio de Biología Forense de la Oficina de Criminalística de Arequipa en el análisis comparativo de pelos.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

Determinar los cambios que ocurren en las características microscópicas del patrón tricológico en la transición de la fase anágena a la fase telógena en cabellos humanos.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Establecer las características microscópicas del patrón tricológico de la fase anágena en cabellos humanos.
- Establecer las características microscópicas del patrón tricológico de la fase telógena en cabellos humanos.
- Determinar las diferencias entre las características microscópicas del patrón tricológico entre las fases anágena y telógena en cabellos humanos.

## **1.5 Marco Teórico**

### **1.5.1 Aspectos Generales de los cabellos humanos**

La formación del folículo piloso involucra una serie de señales complejas entre la dermis y la epidermis, a través de ocho estadios que recapitulan el ciclo normal de involución y crecimiento del pelo en el adulto. El desarrollo del folículo piloso comienza entre la semana octava y decimasegunda de la gestación como “placodas” o condensaciones epidérmicas de la piel fetal que aparecen a intervalos regulares, inicialmente en las cejas, el mentón y el labio superior. Posteriormente, se van extendiendo caudal y ventralmente en oleadas. El estímulo inicial que inicia y mantiene el proceso en el feto, al parecer, proviene del tejido mesenquimatoso asentado en la dermis. Este mesénquima especializado gobierna también la subsiguiente penetración de la dermis por parte de las “placodas” epidérmicas, haciendo que los folículos pilosos se alarguen notablemente como un cordón de células epiteliales, en un ángulo muyabierto con la epidermis. La amplitud de este ángulo es muy variable y está

determinada en gran medida por la localización anatómica del folículo piloso. El destino final del tejido conjuntivo especializado es situarse como una condensación por debajo de la parte más profunda de la invaginación epitelial, dando lugar a la papila dérmica del bulbo piloso. Los folículos no se forman en ausencia de esta influencia mesenquimatosa. El músculo erector del pelo se origina por sí mismo independiente del folículo piloso. No hay músculos erectores del pelo en los folículos que crecen perpendicularmente a la epidermistales como los que están presentes en las pestañas, el conducto auditivo externo y los orificios nasales.

Hacia el segundo trimestre, en el bulbo piloso, las células epiteliales periféricas se separan de las células epiteliales centrales, formando la vaina radicular externa. Las células localizadas centralmente se sitúan por encima de la papila dérmica y se diferencian más tarde en la vaina radicular interna y el tallo piloso propiamente dicho con su cutícula, corteza y médula. Todos los folículos pilosos se forman en la vida embrionaria y en los seres humanos no se forman folículos adicionales después del nacimiento. La densidad

máxima de folículos pilosos se observa en el cuero cabelludo del recién nacido y va disminuyendo paulatinamente con la edad hasta la edad adulta (Restrepo, 2010).

### **1.5.2 Estructura del cabello humano**

El folículo del pelo es un órgano dinámico en el que la división, la diferenciación y la migración celular se producen en diversos tejidos de los cuales se compone. Estos procesos dan lugar al crecimiento de la fibra del cabello, que se forma como resultado de la biosíntesis y el endurecimiento de los contenidos de la médula, corteza y células de la cutícula del tallo del pelo. Este crecimiento es un proceso continuo, se paraliza momentáneamente y a continuación se inicia de nuevo. Este proceso que se repite se conoce como el ciclo de crecimiento del pelo. La etapa de crecimiento del pelo en la que está creciendo activamente se llama "anágena", es cuando el folículo es completo y bioquímicamente activo. Esto es seguido por una fase de reposo o de regresión (catágena) cuando la actividad metabólica (y el crecimiento del cabello) se ralentiza y finalmente se detiene (la fase de reposo,

telógena). La estructura del cabello está compuesto por: la vaina externa de la raíz (ORS, en inglés Outer root sheath) que es el componente más externo que recubre otras capas de células del folículo y es contigua a la epidermis; la vaina interna de la raíz (IRS, en inglés Inner root sheath) que se compone de tres capas distintas: las capas de la cutícula de Henle, Huxley y la cutícula de la vaina interna de la raíz; y la fibra madura que contiene al menos dos tipos de células: la capa superficial o cutícula que consta de células aplanadas superpuestas y las células corticales ahusadas en la corteza central. El cabello puede incluir una médula, un núcleo de las células condensadas de tipo apiladas en el centro de la corteza. A excepción de la vaina interna de la raíz, las células de estas diferentes capas se derivan de las células germinativas que residen en el bulbo del folículo y proliferan durante la fase anágena (crecimiento). Las células mesenquimales especializadas forman la papila dérmica que sobresale en la base del bulbo del folículo pero se separa de las células germinativas por una membrana basal. La membrana basal cubre las interfaces de la epidermis y los folículos (Robertson, 1999).

### 1.5.2.1 El bulbo piloso

El bulbo (bulbus pili) ó raíz (radix pili) tiene forma de ensanchamiento ovoideo en su extremo profundo. En el pelo adulto presenta una forma cónica en su parte inferior que recuerda al fondo de una botella y es en donde se encuentra la papila dérmica. Presenta una capa conjuntiva, la vaina epitelial externa y una vaina epitelial interna ó epitelio córneo. La capa conjuntiva a su vez consta de un estrato externo, un estrato interno y una membrana vítrea o basal. La vaina epitelial interna consta de la capa de Henle formada por células cuboideas y la capa de Huxley, concéntrica a la interior y más espesa. Ambas están envueltas por la cutícula de la vaina.

La raíz está implantada en una especie de bolsa formada por los mismos componentes de la piel (epidermis y dermis), esta bolsa se llama “folículo piloso” (Reverte, 1999).

El área de la división celular activa en el folículo está en el bulbo inferior, sobre todo en la parte inferior de lo que es llamado el nivel crítico de Auber (una línea imaginaria trazada a través del folículo en el nivel de la parte más ancha de la papila dérmica), también en el área adyacente y la que cubre el ápice de la papila dérmica. Las células epiteliales de esta región de división celular son indiferenciadas y se caracterizan por una elevada relación núcleo-citoplasma. Estas células se denominan ahora como 'células germinativas y no 'matriz'. Esto no sólo es una mejor descripción de su función sino que también evita la confusión con el uso habitual de "matriz" el término para describir el complejo de proteínas que se asocian con los filamentos de queratinas intermedias durante la queratinización.

Los melanocitos (células productoras de pigmentos) están presentes entre las células germinativas, en su mayoría unidos a la membrana basal alrededor del vértice de la papila dérmica, pero

algunos también se encuentran en la vaina externa de la raíz. Cada melanocito tiene dendritas que se extienden hacia arriba entre las presuntivas células corticales.

Existe una alta relación significativa entre el diámetro de la raíz del pelo y la cantidad de ADN en la raíz. Una sola raíz anágena puede producir alrededor de 50 ng de ADN genómico. El ADN genómico en las células germinativas del bulbo se puede extraer más fácilmente que en las células diferenciadas más arriba en el folículo y las del tallo del pelo, y las raíces de los cabellos son por tanto susceptibles de tipificación de ADN en una variedad de sistemas de amplificación (Robertson, 1999).

#### **1.5.2.2 La cutícula**

La cutícula está formada por células anchas, delgadísimas, más o menos cuadrilaterales, imbricadas como las tejas de un tejado. Las células

de la cutícula en la región del bulbo son gruesas, cuboides y conservan el núcleo hasta la mitad de la raíz, pero luego se queratinizan, pierden su núcleo y se transforman en finísimas escamas transparentes. Su borde libre se dirige siempre hacia la punta del pelo, lo que permite saber, cuando estudiamos un solo fragmento de pelo, cual es su extremo proximal y su extremo distal (Reverte, 1999).

Las células de la cutícula surgen de una sola capa de tejidos germinativos fuera de aquellos que forman la corteza. La primera señal de su diferenciación se produce a un nivel entre la zona media e inferior del bulbo como una suavización de salida de la membrana celular (Robertson, 1999).

### **1.5.2.3 La corteza**

La corteza ocupa la mayor parte del pelo (75%). De la misma manera como la cutícula, tiene

celdas llenas por enlaces transversales de las células ricas en cistina y están separadas por un complejo celular de membranas. Cada una de las células de la corteza tiene una forma de huso, con una longitud de 50-100 micras y un diámetro de 3 micras (Robles, et al, 2009).

Las células corticales presuntivas son derivadas de las células centrales en el bulbo, aquellos que rodean la médula. Las células inicialmente contienen núcleos grandes, esféricos y arrugados; y mitocondrias no densas. Como las células se mueven hacia el nivel superior del bulbo el contenido celular rápidamente se alarga en forma de huso incluyendo el núcleo y las mitocondrias, llegando a estar orientadas paralelas al eje del folículo (Robertson, 1999).

Este es un período de síntesis proteica, pero la queratina producida se mantiene en el estado sulfhidrilo. Como las células se mueven a través del

cuello del bulbo los haces de filamentos aumentan rápidamente en longitud y anchura para formar macrofilamentos (también llamados macrofibrillas). La disposición y composición de los macrofibrillas y las microfibrillas de queratina, ahora son llamadas filamentos intermedios de queratina (Keratin Intermediate filament, en inglés) (Robertson, 1999).

El cabello humano tiene alrededor de 65-95% de su peso en proteínas, más 32% de agua, pigmentos y otros componentes lipídicos. Químicamente, aproximadamente el 80% de cabello humano está formado por una proteína conocida como queratina. Con un alto grado de azufre - procedente del aminoácido cistina - que es la característica que la distinguen de otras proteínas. La queratina es un complejo laminado formado por diferentes estructuras, lo que da la fuerza del cabello, la flexibilidad, durabilidad y funcionalidad (Robles et al, 2009).

#### **1.5.2.3.1 Queratina del pelo**

El término queratina deriva del griego que significa “cuerno” y es ampliamente denotado como un complejo mixto e insoluble de proteínas que forman el grosor del estrato córneo (capa córnea) de la epidermis y sus apéndices (pelos, plumas, uñas, garras y escamas).

Las queratinas abarcan un rango de peso molecular de 40 a 70 kD, con la queratina tipo I que empieza con el tamaño más pequeño y punto isoeléctrico ácido comparado con la queratina tipo II que es más grande, neutra y ligeramente básica.

La composición de aminoácidos de la queratina pilosa humana es típica de las queratinas que derivan de varias

fuentes y difieren de las suaves (como las del estrato córneo). La más importante diferencia es en el contenido de residuos de cisteína que tiene un promedio de 7,6% en las queratinas pilosas humanas a comparación de un (01) 2,9% de la queratina del estrato córneo (Yu et al, 1993).

#### **1.5.2.3.2 Proteínas asociadas a las queratinas (KAPs)**

Las proteínas asociadas a las queratinas (KAPs en inglés, Keratin associated proteins) son esenciales para la formación del tallo del pelo rígido y resistente porque forman enlaces disulfuro extensos que se entrecruzan con los residuos abundantes de cisteína de las queratinas del pelo. Rogers y Powell describen ocho familias de KAPs y las clasificó sobre la base de

su composición de aminoácidos como: a) alto contenido de azufre (16-30% de cisteína), b) de ultra-alto contenido de azufre (mayor de 30% de cisteína) y c) de alta cantidad de glicina/tirosina. Estos han sido agrupados de la siguiente manera: alto contenido de azufre - KAPs de la familia 1-3, 10-16 y 23, y de ultra-alto contenido de azufre - familia de 4, 5, 9 y 17, y KAPs altos de glicina / tirosina - 6-8 y 18-22 (Tobin, 2004).

La primera señal morfológica de la queratinización de la corteza del pelo es la formación de pequeños haces de fibras en la célula. Estos a menudo aparecen cerca de la periferia de la célula, pero pueden también ser encontrados en cualquier parte del citoplasma.

Generalmente, la corteza empieza su diferenciación más temprano que la cutícula, al

menos desde el punto de vista morfológico. Algunas (no todos) células de la cutícula de la vaina interna de la raíz recién experimentan el proceso de cornificación a través de la producción de tonofilamentos en su citoplasma. Todas las células de la capas de Henle y de Huxley parecen poseer gránulos de tricohialina y tonofilamentos. Estas observaciones sugieren que la cutícula empieza a cornificarse después de las células de la vaina interna de la raíz (Morioka, 2005).

#### **1.5.2.4 La médula**

La médula es una capa cilíndrica delgada en el centro del cabello que contiene una alta concentración de lípidos pero deficiente en cistina. Su función aún no está completamente dilucidada; pero sus células se deshidratan y sus espacios pueden estar llenos de aire, lo que afecta tanto a color como al brillo. La médula sólo está presente en pelos terminales (Robles, et al, 2009).

La médula mediante microscopía electrónica presenta tres subunidades diferentes: estructuras globulares, células corticales no organizadas y una capa de cubierta suave; además se ha identificada dos tipos de médulas: Delgadas y gruesas (Robles, et al, 2009).

La zona medular, axial ó médula del pelo, procede de las células del bulbo que recubre el vértice de la papila. Pero así como las células de la corteza adoptaron una dirección longitudinal, las de la médula lo hacen transversalmente, carecen de melanina intercelular y su protoplasma está cargado de trichialinaqueratinizada. La presencia de un color oscuro es debido a las burbujas de aire si se vé por transparencia y blanco si se vé por reflexión (Reverte, 1999).

### **1.5.3 Tipos de pelos**

#### **1.5.3.1 Lanugo**

Los pelos de tipo lanugos se forman en el embrión como el primer producto del desarrollo folicular, comienza en el quinto mes de gestación. Son finos, suaves, y generalmente no medulados ni pigmentados. Los pelos lanugos se desprenden en alrededor del séptimo al octavo mes de gestación (Robertson, 1999).

#### **1.5.3.2 Vello**

El vello es amedulado, fino y pobremente pigmentado. El vello sigue creciendo durante toda la vida. Incluso en las zonas donde generalmente se considera que sólo hay pelos terminales, tales como en el cuero cabelludo, el pelo velloso puede constituir un 7% a 25% de los cabellos (Blume, Tosti, Whiting y Trüeb, 2008).

### **1.5.3.3 Intermedio**

El pelo intermedio se observa después del nacimiento como el primer crecimiento del cabello con posterior al crecimiento inicial del pelo lanugo. El pelo intermedio se caracteriza por una cutícula relativamente áspera, pigmentación escasa y una médula fragmentada o ausente (Blume, Tosti, Whiting y Trüeb, 2008).

### **1.5.3.4 Terminal**

El pelo terminal tiene una sección transversal de mayor diámetro en comparación con otros tipos de pelos. Es pigmentado, con la excepción de los pelos afectados por canicie, y crecen una longitud considerable (Blume, Tosti, Whiting y Trüeb, 2008).

El tamaño y forma del pelo terminal varía con la ubicación del cuerpo y la función potencial. El pelo terminal del cuero cabelludo, llamado cabello, tiene un

papel clave como la protección contra los rayos UV y como aislante contra el calor y el frío. El pelo terminal especializado, como las cejas y las pestañas, pueden proteger los ojos contra fluidos y polvos. Las pestañas tienen el diámetro mayor de todo el pelo del cuerpo, fuerte pigmentación, y tienen una fase activa de crecimiento relativamente corto. El pelo nasal puede jugar un papel en la prevención de insectos y material en el aire otra entrada de la cavidad nasal (Blume, Tosti, Whiting y Trüeb, 2008).

Se le denomina “terminal” debido a que representan el estado final de la diferenciación del pelo en el hombre. Los pelos terminales se clasifican como pelos primarios o secundarios. El pelo terminal reemplaza al pelo lanugo en el cuero cabelludo, cejas y pestañas, y en menor grado en los antebrazos y las piernas de hombres y mujeres. En la calvicie común (hombres) los folículos productores de pelo, principalmente los terminales en el cuero cabelludo (en particular, el vértice) vuelven a su estado

embrionario y vuelven a producir vello de nuevo. El pelo terminal secundario se desarrolla en la pubertad y reemplaza al vello en las regiones de la axila, región púbica y el abdomen tanto en hombres como en mujeres, y en el área de la barba de los hombres (Robertson, 1999).

Alrededor del 90% de los pelos del pecho, tronco, hombros, brazos y piernas de los hombres son pelos terminales, mientras que la cifra es de alrededor del 35% para las mujeres en las mismas regiones. Los pelos terminales muestran claramente diferencias sexuales, raciales, edad, en el individuo (Robertson, 1999).

#### **1.5.4 Fase de crecimiento del cabello**

La fase de crecimiento, involución y pérdida del pelo es un evento muy llamativo en los animales, en tanto que en el hombre no hay una muda periódica y, por lo tanto, el pelo se pierde de una forma continua y asincrónica. La

interacción de numerosos factores de crecimiento, entre ellos citocinas, hormonas, neurotransmisores y sus receptores, es importante en el ciclo del folículo piloso normal. Parece ser que el componente más importante en desencadenar la pérdida del pelo en los animales está localizado en el mismo pelo y que algunas neurotropinas del tipo de factores neurotróficos derivados del cerebro son importantes en la inducción de la fase catágena, a su vez, desencadenados por los cambios en la duración del día y en la exposición solar (Restrepo, 2010).

La vida de un folículo piloso (y por lo tanto el cabello en sí) tiene cuatro fases principales: la fase anágena durante el cual el folículo del pelo está en constante crecimiento, la fase catágena, cuando dos tercios inferiores del folículo del pelo anágeno se somete a una regresión de los tejidos basados en la apoptosis de tal manera que el crecimiento del cabello disminuye hasta parar completamente, la fase telógena donde el cabello se mantiene anclado en el folículo por su raíz y la fase exógena, una fase activa, caracterizada por el desprendimiento de la fibra capilar del cuero cabelludo

y puede ser removido o quitado tirando fácilmente del folículo. En un cuero cabelludo sano, de un 80% a 90% de los folículos están en la fase anágena, 10% a 18% están en la fase telógena, y menos de 2% de los folículos están en la fase catágena. El crecimiento del cabello activo (fase anágena) se estima una duración de 1000 días con un período posterior de descanso (fase telógena) de otros 100 días, lo que sugiere que un mechón de cabellos podría crecer y mantenerse con firmeza de los folículos pilosos alrededor de tres años (Tobin, 2005).

#### **1.5.4.1 Fase anágena**

Muchos cambios tienen lugar en la fase anágena, y para ayudar a la descripción es necesario dividirla en subfases. Estas subfases pueden ser conocidas por las letras A hasta la F o por los términos proanágeno (Anágeno I – IV), mesoanágeno (anágeno V) y metanágeno (anágeno VI) (Chase, 1954).

El anágeno I es la subfase en la cual las células germinativas del pelo empiezan su actividad mitótica. En anágeno II, el folículo crece hacia abajo cerca de la papila dérmica así como la primera diferenciación de las células germinativas en células de la vaina interna de la raíz. En el anágeno III, el folículo alcanza su máxima longitud de 4 a 5 milímetros y el bulbo empieza a rodear la papila dérmica. Los melanocitos pueden ser vistos en el bulbo y la vaina interna de la termina por formarse. En el anágeno IV hay una alta actividad mitótica en las células del bulbo y la formación de la corteza del pelo y de la médula pueden ser vistos en esta subfase.

En la sub-fase anágena V el folículo ha alcanzado su forma final característica parecido a un cebolla en la que la parte inferior del bulbo encierra la papila dérmica. El proceso para esta etapa tarda aproximadamente 3 semanas. En la subfase anágena VI del cabello es visible por encima de la

superficie de la piel y sigue creciendo, sin más cambios en el folículo hasta que se inicia la fase catágena.

Los pelos arrancados en fase anágena necesitan un fuerte tirón para desprenderlas de la papila dérmica. Las raíces aparecerán oscuras (óptimamente densas). En realidad, los pelos anágenos arrancados pueden venir rodeados por todos los elementos de la porción inferior del folículo, incluídola papila dérmica (Robertson, 1999).

#### **1.5.4.2 Fase catágena**

Durante esta fase el segmento inferior del folículo involuciona agudamente debido a la apoptosis masiva del epitelio folicular, con reducción notable de su tamaño. Es la fase más corta del ciclo y dura solamente de dos a tres semanas, por lo tanto, únicamente entre el 1% y el 2% de los

folículos en un momento dado están en fase catágena y es realmente raro encontrarlos en las biopsias normales de cuero cabelludo (Restrepo, 2010).

Durante la fase catágena el folículo piloso experimenta cambios graduales, ordenados morfológicos y funcionales, ya que entra en su fase de regresión. El pelo poco a poco deja de crecer y la vaina interna de la raíz comienza a desintegrarse. La producción de melanina se detiene. Las dendritas se contraen y no más pigmentos se inyectan en la corteza (que sigue creciendo), la que se convierte así el extremo de la raíz en pálido o blanco. La división celular en el bulbo disminuye hasta detenerse finalmente. Las células en la parte superior del bulbo continuarán moviéndose hacia arriba durante algún tiempo y se diferenciarán, pero la formación de la médula y la cutícula cesa, y sólo se forman la corteza y la vaina interna de la raíz. Sólo queda restos del bulbo de pelo.

Los pelos en esta fase podrían estar normalmente adheridos al folículo, pero si fueran jalados, la raíz aparecerá a menudo no pigmentada con forma de pincel, algunas veces rodeadas por un saco epitelial. (Robertson, 1999)

#### **1.5.4.3 Fase telógena**

El cabello se ancla en el folículo por la raíz con forma de mazo como un resultado de los procesos implicados en la fase catágena. El folículo telógeno es muy corto, alrededor de un tercio de la longitud del folículo en fase anágena y se extiende justo por debajo del nivel de la glándula sebácea. El folículo telógeno es relativamente simple en comparación con un folículo anágeno; la papila dérmica se separa como una bola de células situadas por debajo de la cápsula epitelial. No hay células germinativas, cutícula, o las vainas internas o externas de las raíces. Las células en la región inferior del folículo

son mitóticamente inertes y contienen menos cantidad de ADN que las células de un bulbo anágena. La fase telógena dura 3 a 4 meses para el pelo del cuero cabelludo humano. Contrariamente a la creencia popular, los pelos maduros no 'caen' hacia fuera. Se mantienen en su lugar hasta que se retiran (por ejemplo, mediante cepillado o lavado u otras formas de fricción). Sin embargo, frecuentemente, los pelos maduros son desplazados por el nuevo pelo emergente de la siguiente fase anágena, aunque a veces el nuevo cabello crece junto al antiguo (Robertson, 1999).

En un cabello en fase telógena se puede encontrar desde 1 hasta 10 nanogramos de material genético por raíz (Catalin, Andrei y Mitrasca).

Los pelos en fase telógena forman la mayoría de los cabellos caídos naturalmente encontrados en la ropa y similares, y sólo se requieren una pequeña fuerza para removerlos del folículo piloso.

Normalmente estos no tienen vaina radicular adjunta, ni médula cerca de la raíz y poco o ningún pigmento en la raíz. La fase telógena termina cuando una nueva fase anágena comienza. Cada vez que un nuevo cabello se forma debe estar precedido por la formación de un folículo casi completamente nuevo en una regeneración similar al desarrollo inicial del folículo (Robertson, 1999).

### **1.5.5 Pigmentación del cabello**

Los melanocitos tanto de la epidermis y las unidades foliculares pigmentaria se derivan de melanoblastos que migran desde la cresta neural a la piel. La diferenciación de las células del linaje melanocítico en la cresta neural son determinados por varios factores.

Los melanoblastos emigran fuera de la cresta neural para entrar en la dermis de la piel. La melanogénesis ocurre muy temprano durante el desarrollo embrionario humano y los melanocitos se pueden detectar en la piel humana tan pronto

como en 7 semanas de gestación con la síntesis de pigmento de unos 5 meses antes del nacimiento. En el folículo del pelo maduro, los melanocitos melanóticos positivos para 3,4-dihidroxi fenilalanina (dopa) son fácilmente detectables en la capa basal de la infundíbulo y alrededor de la papila dérmica superior; los melanocitos moderadamente diferenciados también pueden ser detectados en la capa basal de las glándulas sebáceas. Sin embargo, el bulbo del cabello es el único sitio de producción de pigmentos para el cabello, y contiene los melanocitos altamente melanogénicos y una subpoblación de menor importancia de melanocitos poco diferenciados. Los melanocitos melanogénicamente activos están sin embargo limitados a la matriz superior del bulbo piloso, justo debajo de los queratinocitos precorticales y es una ubicación que facilita la transferencia de melanina a la corteza del cabello, pero no tanto a la médula, y muy rara vez la cutícula del cabello (Blume, Tosti, Whiting y Trüeb, 2008).

Se ha confirmado in situ e in vitro la presencia de melanocitos inmaduros (melanoblastos) en folículos pilosos anágena adultos completamente desarrolladas. Los

melanocitos amelanóticos dopa-negativos aparecen desde la vaina radicular externa media hacia la baja, pero también se encuentran en la periferia del bulbo y en la matriz más proximal. Todas las células dopa-positivos, y también algunos melanocitos dopa-negativos de la vaina radicular externa media contienen pre-melanosomas. Aunque los melanocitos amelanóticos del folículo piloso carecen de actividad dopa-oxidasa, pueden ser detectadas en algunas células bajos niveles de la proteína de tirosinasa.

La pigmentación activa se produce sólo durante la fase de crecimiento del pelo (fase anágena), que en el cabello humano puede ser muy largo (de hasta 8 años o más). Esta fase anágena prolongada de los cabellos, junto con su patrón de crecimiento en mosaico del cabello impide un análisis sistemático de la dinámica de los melanocitos durante el ciclo del cabello humano (Blume, Tosti, Whiting y Trüeb, 2008).

### **1.5.6 Organogénesis de los melanosomas**

La formación y maduración de los eumelanosomas (melanosomas verdaderos de colores marrón y negro) son actualmente objeto de intensa investigación. Han surgido dos puntos de vista. La primera indica que los elementos enzimáticos requeridos para la melanogénesis se entregan a través de vesículas recubiertas de pre-melanosomas que se originan en el aparato de Golgi y el retículo endoplasmático, respectivamente.

El desarrollo y la maduración de los melanosomas se han descrito morfológicamente como un proceso de cuatro etapas. Mientras que en la etapa I del melanosoma contienen tirosinasas y otro tipo de proteínas de la melanogénesis, se cree que éstos siguen siendo catalíticamente inactivos hasta que eventos posteriores de corte de la proteína los libera en el interior de los melanosomas.

La etapa I en los eumelanosomas corresponde a la organización temprana de la matriz, mientras que en la etapa

II la matriz ya está organizada pero sin la formación de melanina. Estos eventos están asociados con el cambio en la forma del melanosoma, de esférico a elipsoidal, y la formación de una red fibrilar intramelanosómica. En la etapa III, la melanina se deposita en los melanosomas y se llenan los melanosomas en la etapa IV.

Se sabe menos acerca de los acontecimientos que intervienen en la formación de los feomelanosomas, los melanosomas que producen la melanina en colores roja y amarilla. En contraste con la organizada red fibrilar que caracteriza a los eumelanosomas, los feomelanosomas contienen una matriz vesiculoglobular aparentemente derivada de la fusión de cuerpos vesiculoglobular con la etapa I de los melanosomas. La actividad de la tirosinasa aparece más temprano en estos melanosomas de tal manera que feomelanina ya está depositado en la etapa II (Tobin, 2005).

### **1.5.7 Regulación de la pigmentación del folículo piloso**

La pigmentación de las fibras del cabello se ve afectada por numerosos factores intrínsecos que incluyen: cambios en el ciclo del pelo, distribución corporal, diferencias raciales, género, respuesta variable a hormonas, defectos genéticos. El estudio de la pigmentación del pelo puede ser más complicada por los efectos de variables extrínsecas como el clima y la temporada, las infestaciones, contaminantes, toxinas y la exposición química.

Estos pueden actuar a través de mecanismos autocrinos, paracrinos y endocrinos. En marcado contraste con su función principal regulador de la pigmentación epidérmica, la radiación UV no penetran en las células de melanogénica del bulbo del cabello anágeno. Así, la radiación UV es poco probable que influya en la unidad de melanina folicular, al menos no directamente (Tobin, 2005).

### **1.5.8 Interacción melanocito-queratinocito**

De una manera similar a la unidad de melanina epidérmica de la piel, los melanocitos melanogénicamente activos en el bulbo piloso forman unidades funcionales con los queratinocitos precorticales inmaduros cercanos. La unidad de melanina folicular reside en el bulbo anágeno proximal, y consta de aproximadamente un melanocito a cinco queratinocitos en el bulbo piloso en la capa basal del bulbo piloso próximo a la papila folicular. Los melanocitos melanogénicos del bulbo interactúan estrechamente con la papila folicular, incluso a través de la lámina basal delgada / permeable que los separa de la papila folicular mesenquimal. Por el contrario, cada melanocito epidérmico está asociado con 36 queratinocitos viables en las unidades melanino-epidérmicas.

La transferencia de melanina a las células corticales del pelo en crecimiento se presume que sea similar al de la epidermis. En general, se cree que se producen porcitofagia, donde los queratinocitos, como unidades activas, fagocitan las

puntas de las dendritas de los melanocitos que contienen melanosomas maduros de la etapa IV. Cualquiera que sea el mecanismo exacto, es probable que las dendritas de los melanocito sea crítico en la transferencia de melanina (Tobin, 2005).

#### **1.5.9 Examinación microscópica de cabellos**

A través del examen y registro sistemáticos de las características macroscópicas, es posible determinar el origen del cuerpo de un pelo cuestionado y, a veces también para excluir una muestra de cabellos conocidos como la fuente de un cabello cuestionado o encontrado en un "crimen". Sin embargo en muchos casos la examinación aun nivel macro y microscópico será suficiente para diferenciar un pelo cuestionado de una muestra conocida, o un número de muestras conocidas de la otra.

El análisis de las características microscópicas siempre debe incluir el examen del tallo del pelo a lo largo de su

longitud de extremo de la raíz a la punta con un microscopio óptico campo claro (Robertson, 1999).

Se deben considerar muchas características en la identificación microscópica del cabello. De las cuales, tres distintas regiones anatómicas se asocian al pelo: la cutícula, la corteza y la médula.

Una serie de características microscópicas asociadas con la cutícula se utilizan en una identificación y comparación de cabellos. El espesor de la cutícula, la variación en el espesor, la presencia de pigmento y el color son todas las características útiles.

La corteza es la parte principal del cabello y contiene muchas de las características que se utilizan en el proceso de comparación microscópica. La corteza contiene las estructuras que principalmente dan al pelo su color, los gránulos de pigmento. Hay dos formas químicas de pigmento en el cabello humano: la eumelanina y la feomelanina. El pigmento eumelanina se manifiesta en los colores de marrón

y negro, y la feomelanina en los colores de amarillo y rojo. Cada pigmento tiene un tamaño y forma ligeramente diferente uno del otro. Desde un punto de vista forense, la organización, densidad, tamaño, y distribución de estos gránulos de pigmento son las características más importantes de la corteza.

Además de los gránulos de pigmentos en la corteza se encuentran unos pequeños espacios de aire llamados fisis corticales. Se observan fácilmente con el microscopio compuesto y se encuentran típicamente cerca del extremo de la raíz del cabello.

Las estructuras finales asociadas con la corteza son los cuerpos ovoides. Estas estructuras son grandes y bien definidas, de formas ovaladas que se pueden encontrar dispersos por todo el cabello.

Otra región del cabello es la capa más interna de las células denominada médula. Esta capa de células puede ser continua, discontinua, fragmentaria, o ausente. En pelos de

animales, la estructura medular a menudo se utiliza para identificar la familia y, a veces las especies de animales (Oien, 2008).

Todas las características microscópicas juega un papel importante en la comparación forense de cabellos (Ogle y Fox, 1999).

Hasta la fecha varios autores han publicado protocolos para la descripción macro y microscópicas de cabellos (Ogle y Fox, 1999), (Robertson, 1999), (Petraco y Kubic, 2004) y (SWGMAT, 2005). Estas hojas de evaluación son muy útiles y permiten la evaluación del área somática, raza y comparación de cabellos (Petraco y Kubic, 2004).

#### **1.5.9.1 Color microscópico**

La característica del pelo humano útil para las comparaciones forenses de cabellos, tanto macro como microscópicamente, es el color. El color del

cabello depende de los pigmentos presentes, la transparencia de su superficie, y reflectividad del cabello. Hay dos pigmentos observados que dan el color al cabello humano: la eumelanina y la feomelanina. La melanina es el pigmento marrón, y la feomelanina es el pigmento rojo. Los gránulos de pigmento de feomelanina no son observables con microscopio de luz debido al pequeño tamaño de los gránulos (Ogle y Fox, 1999).

#### **1.5.9.2 La cutícula**

- **Espesor de la cutícula**

La cutícula es una capa de escamas superpuestas que forman la capa externa del cabello. La variable es el grosor que se basa en la medición e incluye los términos como: delgado, grueso, variable y no aparente.

El término delgado se refiere a una cutícula cuyo espesor es inferior a 2,5 micras. El término grueso se refiere a un espesor de la cutícula superior a 2,5 micras. El término variable se refiere a aquellos en donde el grosor de la cutícula varía a lo largo del tallo. El término no es evidente se refiere a las cutículas que no son fáciles de medir debido a un margen de la cutícula interna indistinta o muy delgada (Ogle y Fox, 1999).

- **Superficie de la cutícula**

La superficie de la cutícula se refiere a la condición de las escamas en la superficie de la cutícula como se ve en un montaje longitudinal, también se le llama margen cuticular externo (Oien, 2005). Las variables para la superficie de la cutícula son descritas aquí como: normal y dañada. El término normal se refiere a una superficie de la cutícula que no tiene ningún daño

perceptible cuando se observa en el microscopio compuesto. El término dañada se refiere a una superficie accidentada de la cutícula que tiene daños perceptibles debido a tratamientos del cabello o por efectos ambientales (Ogle y Fox, 1999).

- **Patrón de escamas**

En cabellos humanos, las escalas forman un patrón imbricado, es decir, que no tienen un patrón de repetición. Esta característica sirve para distinguir los pelos humanos de pelos de animales, muchos pelos de los animales tienen un patrón regular que se repite en sus escamas (Oien, 2005).

Para los humanos, el patrón de escamas no muestra variaciones significativas entre individuos (Robertson, 1999).

### **1.5.9.3 La corteza**

En la corteza se encuentran distribuidos los gránulos de pigmentos y desde un punto de vista forense la organización, distribución tamaño y forma de agregación de los gránulos de pigmentos son la característica más importante de la corteza (Robertson, 1999), (Ogle y Fox, 1999), (Oien, 2005).

Además de los gránulos de pigmento, existen pequeños espacios de aire llamados “fusus corticales” se encuentran en la corteza. Estos espacios de aire se forman durante el proceso de queratinización del cabello. Se observa fácilmente con el microscopio compuesto y se encuentran típicamente cerca del extremo de la raíz del cabello.

Las estructuras de finales asociados con la corteza son los cuerpos ovoides. Estos son estructuras grandes y bien definidas, de forma

ovalada que se pueden encontrar dispersos por todo el cabello (Oien, 2009).

#### **1.5.9.4 Cuerpos ovoides**

Los cuerpos ovoides son grupos bien definidos, muy densos de pigmentos no dispersos. Su presencia no es rara en el cabello humano, pero tampoco se les ve con frecuencia (Robertson, 1999).

Cuando están presentes, su abundancia puede variar de unos pocos a muchos Robertson (1999) refiere que Roe realizó un estudio destinado a investigar del valor discriminatorio de la cuantificación de la presencia de cuerpos ovoides. Lamentablemente, los resultados de este estudio no se han publicado.

Los cuerpos ovoides pueden variar en diámetro de 3 a 20 micras, sin embargo, este rango de tamaño que no sea definitiva (Ogle y Fox, 1999).

Las características útiles de los cuerpos ovoides útiles para la comparación forense son: tamaño, distribución y abundancia (SWG-MAT, 2005).

#### **1.5.9.5 Fusis corticales**

Distalmente, son menos comunes y generalmente presentan un aspecto encogido (Ogle y Fox, 1999)

Las características de los fusis corticales útiles para la comparación forense son: forma, tamaño, distribución y abundancia (SWG-MAT, 2005).

### **1.5.9.6 Gránulos de pigmentos**

Los gránulos de pigmento son estructuras pequeñas, oscuras, sólidas y de apariencia granulares y que son considerablemente más pequeños que los fusi cortical. Varían en color, tamaño y distribución; pero estas características pueden variar en un solo pelo (Deedrik y Koch, 2004).

#### **1.5.9.6.1 Densidad**

La densidad se refiere a la abundancia de los gránulos de pigmentos observados con microscopía de luz. La densidad de los gránulos de pigmentos están altamente correlacionado con el color microscópico del pelo y por lo tanto puede representar una característica redundante del pelo en el contexto de las

comparaciones forenses de cabello (Ogle y Fox, 1999).

#### **1.5.9.6.2 Tamaño**

El tamaño se refiere al tamaño de los gránulos de pigmentos de melanina individuales (Ogle y Fox, 1999). Las variables del tamaño descritos para el tamaño son: finos, medianos y gruesos (SWGMAT, 2005).

El término “ausente” hace referencia a la ausencia de los gránulos de pigmentos (por ejemplo, en los pelos de color blanco o grisáceos) y no visibles cuando se tiene la incapacidad para resolver los gránulos de pigmento individuales mediante microscopía de luz. Esta incapacidad para resolver los gránulos de pigmentos individuales pueden ser debido al pequeño

tamaño de los gránulos (por ejemplo, los pigmentos de feomelanina) o el efecto causado por la fuerte pigmentación oscurecida en el cabello cuando se mira en un montaje longitudinal (por ejemplo, pelo opaco). Si el examinador considera necesario, el tamaño de los gránulos de pigmento de pelos fuertemente pigmentados se puede observar por seccionamiento transversal del cabello. Los gránulos de pigmentos del cabello que contiene feomelanina (pelos rojos) se pueden observar por medio de microscopía electrónica de barrido (Ogle y Fox, 1999).

#### **1.5.9.6.3 Distribución**

Se refiere a la concentración de los gránulos de pigmentos en diversas áreas del tallo del pelo. Las variables para la distribución de gránulos de pigmentos son:

ausentes, uniforme, periférica, unilateral, central, aleatorizada y en banda (SWGEMAT, 2005). El término ausente se refiere a la ausencia de gránulos de pigmentos en el tallo del pelo (por ejemplo, pelos blancos o grises). La distribución uniforme hace referencia a los gránulos de pigmentos que se distribuyen uniformemente a través de la corteza del cabello. La distribución periférica se refiere a los gránulos de pigmentos que se concentra en los bordes exteriores tallo. La distribución unilateral se refiere a los gránulos de pigmentos que se concentra en un lado tallo. La distribución central se refiere los gránulos de pigmento que se concentran (o parecen estar concentrado) en el centro del eje. La distribución aleatoria, o al azar se referencia a los gránulos de pigmentos que se encuentran en mayores concentraciones en algunas

zonas del eje y en menor concentración en otros zonas del mismo eje, sin un patrón reconocible. La distribución en banda hace referencia cuando se reconoce formas definidas que se repiten en la longitud del cabello (Ogle y Fox, 1999).

#### **1.5.9.6.4 Forma de agregación**

La forma de agregación de los gránulos de pigmentos se refiere al aspecto de las agregaciones cuando concentran en una forma reconocible. Las variables para la forma de agregación de los pigmentos son: ausentes, rayas, amontonados y franjas. La forma de agregación ausente se refiere a la ausencia de pigmentos (por ejemplo, un cabello blanco o gris) o cabellos pigmentados que no exhiben alguna agregación. En esos cabellos en que la agregación existe, pero no pueden

ser claramente clasificados como agrupamientos (en un pelo opaco, por ejemplo) o para aquellos cabellos que parecen tener una mezcla de amontonamientos, los pelos deben ser clasificados como Otros (Ogle y Fox, 1999).

#### **1.5.9.6.5 Tamaño de agregación**

El tamaño de la agregación se describe como pequeños, medianos y grandes (SWGMAAT, 20005). Los tamaños de las agregaciones se determinan por comparación con arquetipos según Ogle y Fox (1999). Al igual que con las variables para la forma de agregación de pigmentos, se puede hacer un estudio integrado para cabellos que está demasiado cerca de los arquetipos para evaluar si el cabello en estudio cae en una de las variables por encima o por debajo del arquetipo. En los

pelos para que la agregación existe pero no pueda ser claramente clasificada en una de las variables mencioandas, se sugiere utilizar el término “otros” (Ogle y Fox, 1999).

#### **1.5.9.6.6 La médula**

La médula madura en pelos de animales constituye un núcleo central y, a menudo tiene un patrón reconocible. En comparación con la médula de los pelos del reino animal en general, la médula del cabello humano es una estructura bastante interesante. La médula puede incluso no estar presente, sobre todo en finos pelos del cuero cabelludo. Cuando la médula está presente, tiene un aspecto globular irregular.

Muchos esquemas se utilizan para describir la médula del pelo humano y todos tienen mucho en común. Todos describen en términos del grado al que se forma la estructura de la médula continua. La mayoría de los esquemas se refieren a la médula como opaca y translúcida. Aquí es importante entender que esto puede ser un artefacto. Una médula translúcida resulta cuando el aire presente en los huecos intercelulares e intracelulares es desplazado por el medio de montaje utilizado para la microscopía. Cuando el aire no se desplaza, la médula aparecerá oscuro si se utiliza luz transmitida (Robertson, 1999).

- **Medulación**

La medulación en humanos puede estar ausente, continua, discontinua ó

fragmentada (Ogle y Fox, 1999), dependiendo de su opacidad, puede ser clasificada también como opaca y traslúcida (Ogle y Fox, 1999), (SWGEMAT, 2005). La medulación (Siegel, Knufer y Saiko, 2005) ó continuidad de la médula (Ogle y Fox, 1999) se refiere a la forma, opaca ó traslucida, de la médula.

La forma en la médula en cabellos humanos puede ser descrita como amorfa, ya que la médula normalmente no tiene un patrón interno discernible tales como los complejos patrones estructurales que se encuentran en muchos pelos no humanos. La continuidad de la médula a lo largo del tallo del pelo rara vez tiene un patrón discernible. Los patrones de continuidad principales se observan en médulas de cabello humano que consiste en: Ausente, continua, discontinua y fragmentada. Estos

términos se refieren tanto a las formas translúcidas y opacas de la médula. El término “ausente” se refiere a los pelos sin médulas visibles, incluso aquellos donde la médula no es visible debido a una pigmentación opaca. El término “continuo” se refiere a una médula que se extiende a lo largo del eje sin interrupción. El término “discontinuo” Hicks lo define como la condición en la que las longitudes de la médula visibles son mayores que las longitudes de las porciones indiscernible de la médula ó ausentes, y el término fragmentado, como la condición donde las longitudes de las porciones indiscernible de la médula exceden las longitudes de las porciones visibles (Ogle y Fox, 1999).

- **Índice medular**

El índice medular es el diámetro del cabello dividido por el ancho de la médula, el índice medular (IM), también es útil en la diferenciación de pelos humanos con pelos no-humanos. El IM de cabellos es menor que 0,33. Aunque hay evidencia de que el IM de cabello humano varía con la edad, llegando a ser gradualmente más grande en la edad avanzada. Se acepta generalmente que el IM no es una característica útil para diferenciar pelos entre los individuos. El IM no se correlaciona con la raza o el sexo de un individuo (Robertson, 1999).

#### **1.5.10 El patrón tricológico**

El principio básico de la criminalística es la comparación, por tal motivo, en lo que a elementos pilosos se

refiere, siempre se necesita patrones conocidos para cumplir con el espíritu de la ciencia forense (Molina, 2006), por lo que el patrón tricológico corresponde a las características macro y microscópicas que le confieren cierta individualidad a las muestras que se estudian.

El papel del examinador forense del cabello es evaluar los puntos de comparación y determinar, sobre la base de su formación y experiencia, si un cabello cuestionado es consistente con una muestra conocida. Para ser considerado coincidente con una muestra conocida, un cabello cuestionado debe encajar dentro de la gama de características de la muestra conocida, y también ser similares en todas las principales características de al menos un cabello dentro que muestra conocida, con sus características que varían de una manera similar a lo largo del cabello y del diámetro. Si no es así, los cabellos son diferentes y provienen de diferentes fuentes.

Un examinador es capaz de desarrollar la capacidad de reconocer patrones de forma innata en un grado mayor que la

capacidad de evaluar las características que lógicamente puede parecer simples. Sin embargo, cuando el mismo examinador es capaz de hacer 'buenas conjeturas', se debe reconocer que él o ella ha desarrollado la técnica de la comparación forense de pelos, y ha sido capaz de ajustar su capacidad de discriminar a un nivel que minimiza las asociaciones incorrectas sin incurrir en un número excesivo de eliminaciones incorrectas (Robertson, 1999).

#### **1.5.11 Análisis comparativo forense de cabellos**

Los pelos, sean de humanos, animales salvajes o animales domésticos, son a menudo asociados con lesiones personales o actividades criminales. La determinación de la fuente de los pelos es a menudo de interés para los investigadores y es principalmente el mejor medio para determinar su origen por medio de las comparaciones microscópicas. Una comparación de todos los tipos posibles de pelos, cabellos y pelos púbicos son encontrados con más frecuencia en investigaciones criminales, otros pelos son comparados usando la misma técnica.

La comparación forense de cabellos es un campo complejo que es en muchos aspectos tanto un arte como una ciencia. No hay sustituto para adquirir experiencia que no sea la realización de un gran número de comparaciones de pelos. Este es uno de los pasos de lo que Jackson (1975) ha denominado la "alfabetización visual" así como el establecimiento de un adecuado nivel de discriminación (Robertson, 1999).

Cuando se comparan cabellos, todas las características de las muestras conocidas y desconocidas deben ser consideradas. Una simple diferencia en el patrón tricológico entre dos cabellos es un fuerte indicador de dos fuentes diferentes.

La individualización se basa entonces no sólo en la misma combinación de elementos identificadores, sino en la falta de existencia de diferencias entre los cabellos desconocidos y conocidos.

Casi todos parecen aceptar que dos cabellos no son de la misma persona cuando hay un vasto número de diferencias, pero sólo unas pocas diferencias no conllevan a una conclusión positiva (Siegel, Knufer y Saiko, 2005).

La siguiente fase del proceso de la examinación es llevar a cabo una comparación microscópica. Se trata de evaluar las características microscópicas presentes en las muestras de cabello, la evaluación de los puntos para la comparación, y la determinación de que si un cabello cuestionado puede o no puede excluirse como procedente de la fuente de una muestra conocida.

El mismo proceso se usa para los pelos restantes, pero de una manera más metódica. En una comparación microscópica de cabellos, el examinador determina si existen patrones de características microscópicas similares en cada punto de comparación a lo largo de los tallos de los cabellos analizados. Es decir, analiza todo el tallo del cabello en duda para establecer puntos de comparación con la fuente

conocida decabellos proveniente por ejemplo de sospechosos (Oien, 2005).

Actualmente las conclusiones de este proceso se ve afectado por la falta de estándares a la hora de asignar cualidades, es decir, no existen parámetros internacionales por lo que cada laboratorio establece sus propios parámetros para el análisis comparativo de cabellos.

## **II. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1 Ubicación y delimitación del área de estudio**

El presente trabajo se realizó en el laboratorio de biología forense de la Oficina de Criminalística de la Policía Nacional del Perú – Arequipa, donde se recolectaron cabellos de personas provenientes de diferentes provincias y distritos del departamento de Arequipa, las cuales se apersonaron al laboratorio mediante una orden judicial por estar involucradas en hechos delictivos y previa información sobre la realización del trabajo, y llenado de un acta de consentimiento, se procedió a recolectar cabellos mediante arrancamiento con pinzas de goma y peinado.

### **2.2 Población y Muestra**

#### **2.2.1 Población**

La población estuvo compuesta por cabellos de cinco zonas cefálicas obtenidos por arrancamiento y peinado de 100 individuos de ambos sexos que se acercaron al

laboratorio de biología forense de la Oficina de Criminalística de la Policía Nacional del Perú – Arequipa, las cuales estuvieron involucrados en hechos delictivos entre los meses de Febrero del 2012 hasta Julio del 2012. Estas personas, previa información sobre el trabajo, firmaron un acta de consentimiento para la toma de muestras de cabellos y para la realización de la tesis.

Los cien individuos que se acercaron al laboratorio entre los meses de febrero del 2012 hasta julio del 2012 fueron escogidos para la realizar el muestreo de cabellos y no se excluyó a ninguno, es decir, se realizó un muestreo no probabilístico incidental. Aquellos individuos con enfermedades relacionadas al cabello fueron excluidos para el muestreo.

La realización de la tesis fue aprobada verbalmente por el jefe de la Oficina de Criminalística de XI Dirección Territorial de Arequipa.

### **2.2.2 Muestra**

La muestra de cabellos recolectados por persona fueron clasificados según su fase de crecimiento: fase anágena y telógena. Los cabellos en fase anágena fueron obtenidos mediante arrancamiento con pinzas de goma un total de 50 unidades: 10 de la zona frontal, 10 de la zona parietal izquierda, 10 de la zona parietal derecha, 10 de la zona occipital y 10 de la zona del vértice. Los cabellos en fase telógena fueron obtenidos mediante un peinado con un peine simple de plástico un total de 25 unidades: 5 de la zona frontal, 5 de la zona parietal izquierda, 5 de la zona parietal derecha, 5 de la zona occipital y 5 de la zona del vértice. Las personas de las cuales se recolectaron los dos grupos de cabellos no representaron un grupo en particular.

### **2.3 Diseño de Investigación**

Se usó un diseño no experimental – descriptivo transversal.

## **2.4 Métodos**

### **2.4.1 Método de Campo**

El presente trabajo se desarrolló en el periodo comprendido desde Febrero del 2012 hasta Julio del 2012, tiempo durante el cual se efectuaron los muestreos no probabilísticos - incidentales.

### **2.4.2 Toma de muestras de cabellos**

Por cada persona se arrancó 50 cabellos de cinco zonas cefálicas (zona frontal, parietal izquierdo, parietal derecho, vértice y occipital), 10 cabellos de cada zona con una pinza metálica con punta de goma, así se obtuvieron cabellos en fase de anágena (arrancados). Luego se peinó cada zona cefálica, para obtener cabellos caídos por arrastre, obteniéndose 5 cabellos de cada zona en fase telógena (cabellos de caída espontánea). Los cabellos obtenidos por arrancamiento y peinado de cada persona

fueron guardados en sobres separados y rotulados (SWGMAAT, 2005).

Como criterios de exclusión, tanto para la fase anágena y telógena, fueron aquellos cabellos incompletos que no presentaron raíz y los que midieron menos de 1,5 centímetros de longitud. Como criterios de inclusión se tomó las siguientes características: cabellos con longitud mínima de 1 centímetros y presencia de raíz.

#### **2.4.3 Montaje de las muestras tricológicas**

De los 10 cabellos recolectados por arrancamiento de cada zona cefálica se escogió al azar tres unidades y se colocó en uno de los lados de la lámina portaobjeto y tres cabellos, colectadas por peinado, fueron colocadas en el otro lado de la misma lámina. Cada lámina contenía cabellos de la misma zona cefálica en fase anágena y telógena. Las muestras fueron aseguradas con una cinta adhesiva 3M y fueron observadas con objetivo de inmersión. El mismo

procedimiento se utilizó para cada zona cefálica por cada individuo.

#### **2.4.4 Caracterización microscópica de los gránulos de pigmentos.**

La caracterización de los gránulos de pigmentos fueron los descritos por la SWGMAT (2005) y Robertson (1999) y se consideraron las siguientes características:

- Forma de agregación de los gránulos de pigmentos
  - Amontonados: Forma de agregación cuya mayor densidad de pigmentos describen una elipse. El grosor mínimo de la elipse fue de 6 micrómetros
  - Franjas: Forma de agregación cuya mayor densidad de los gránulos de pigmentos forma bandas longitudinales al eje del cabello cuyo grosor oscila entre 3 a 6 micrómetros.
  - Rayas: Forma de agregación estriada cuya grosor es inferior a 3 micrómetros.
- Tamaño de agregación de los gránulos de pigmentos

- Pequeño: Longitud de la forma de agregación inferior a 8 micrómetros.
- Mediano: Longitud de la forma de agregación de 8 a 14 micrómetros.
- Grande: Longitud de la forma de agregación superior a 14 micrómetros.

#### **2.4.5 Registro de datos**

Se registró las características microscópicas de los gránulos de pigmentos en cuadros modificados de Robertson (199), los cabellos anágenos en una columna, y en la siguiente columna los de la fase telógena. Luego se anotó las cantidades de los tipos de agregación y tamaños de los gránulos de pigmentos de la fase anágena y telógena.

#### **2.4.6 Formulación del patrón tricológico**

Para la elaboración del patrón tricológico para cada individuo se usó la forma de agregación con el tamaño de

agregación de los gránulos de pigmentos, siendo estos las características más importante en el análisis de pelos (Ogle y Fox, 1999) y por ser un conjunto de elementos tricológico presente para cada individuo (Molina, 2004) los cuales le confieren cierta individualidad. Estos datos fueron recopilados en cuadros modificados de Robertson (1999) para la fase anágena y telógena. Así se obtuvo dos patrones tricológicos: uno en fase anágena y otro en fase telógena para cada individuo.

#### **2.4.7 Comparación de cabellos entre las fases anágenas y telógenas**

Para la comparación de los cabellos en fases de crecimientos anágenos y telógenos se anotó las diferencias de los patrones tricológicos de la fase inicial (telógena) y la fase terminal (telógena) para cada persona. Así también se anotó el número de individuos que cambiaron de patrón tricológico.

#### **2.4.8 Procesamiento y análisis de la información**

Para el análisis de correlación se utilizó el siguiente programa:

- 1) Programa PAST, versión 2.14.

Para la medición de las formas, tamaño de agregaciones de los gránulos de pigmentos primero se tomó fotografías de los cabellos con una cámara digital marca INFINITY ANALYZE adosada a un microscopio compuesto de luz transmitida marca Meiji mediante el programa:

- 1) Software INFINITY ANALYZE, versión 4.5. Año 2007.

Luego de la toma fotográfica se procedió con el mismo programa a utilizar una regla, con medición en micrómetros, y se tomó medidas de las agrupaciones de los gránulos de pigmentos. Se midió el grosor y longitud de las agrupaciones de los gránulos de pigmentos.

### **III. RESULTADOS**

#### **3.1 CARACTERIZACIÓN DE LA FASE ANÁGENA**

En el trabajo realizado, se analizaron 100 individuos, en donde se establecieron patrones tricológicos para cada persona. Los patrones tricológicos fueron agrupados de acuerdo a su forma y tamaño de agregación de los gránulos de pigmentos, debido a que estas dos características son usadas como primer punto de comparación para la incluir o excluir personas en hechos delictivos donde se haya encontrado cabellos.

En la tabla 01 se agrupan 10 patrones tricológicos encontrados en 100 individuos en la fase anágena. A pesar de haber encontrado más de un tipo de patrón tricológico en una misma persona, se decidió entre el co-asesor y el investigador de considerar sólo el patrón predominante para una misma persona para evitar confusiones a la hora de las comparaciones.

**Tabla 01. PATRONES TRICOLOGICOS EN FASE ANÁGENA EN  
100 INDIVIDUOS**

<b>N°</b>	<b>Patrón tricológico</b>	<b>Fase anágena</b>
1	Amontonados pequeños	14
2	Amontonados medianos	08
3	Amontonados grandes	06
4	Franjas pequeñas	24
5	Franjas medianas	18
6	Franjas grandes	06
7	Rayas pequeñas	06
8	Rayas medianas	10
9	Rayas grandes	04
10	Uniforme	04
	<b>Total</b>	<b>100</b>

Fuente: Elaboración Propia

**Interpretación:**

La Tabla 01 representa los diez patrones tricológicos obtenidos en un muestreo de 100 individuos. Así mismo, se puede evidenciar que los patrones con una menor frecuencia son el de “rayas

grandes” y “uniforme” con un 4%. El patrón tricológico de mayor frecuencia o común fue el de franjas pequeñas con 24%.

### **3.2 CARACTERIZACIÓN DE LA FASE TELÓGENA**

En la tabla 02 se agrupa los 10 patrones tricológicos encontrados en una población de 100 individuos para la fase telógena.

No se reporta otro patrón tricológico para la fase telógena con distribución de pigmentos descritos en la literatura como: lateralizados, concéntricos ó periférico.

**Tabla 02. PATRÓN TRICOLÓGICO EN LA FASE TELÓGENA EN 100 INDIVIDUOS**

	<b>Patrón tricológico</b>	<b>Fase telógena</b>
1	Amontonados pequeños	10
2	Amontonados medianos	06
3	Amontonados grandes	04
4	Franjas pequeñas	18
5	Franjas medianas	12
6	Franjas grandes	02
7	Rayas pequeñas	20
8	Rayas medianas	08
9	Rayas grandes	02
10	Uniforme	18
	Total	100

Fuente: Elaboración Propia

### **Interpretación:**

La Tabla 02 se representa diez patrones tricológicos reconocibles en 100 individuos. En donde los patrones con una menor frecuencia son los de “rayas grandes” y “franjas grandes” con un 2%; y el de mayor frecuencia, el de “rayas pequeñas” con un 20%.

### **3.3 CAMBIOS EN EL PATRÓN TRICOLÓGICO DE LA FASE ANÁGENA A LA FASE TELÓGENA**

El cambio del patrón tricológico fue determinado mediante la sustracción de la forma final del patrón tricológico en la fase telógena con el patrón tricológico inicial en la fase anágena diferente al final.

En la tabla 03 se muestra el cambio de los patrones iniciales hacia los patrones finales.

**Tabla 03. CAMBIO DEL NÚMERO DE PATRONES  
TRICOLÓGICOS DE TIPO AMONTONADOS PEQUEÑOS,  
MEDIANOS Y GRANDES DE LA FASE ANÁGENA A LA  
TELÓGENA**

Fase de crecimiento Patrón	Patrón tricológico en fase anágena	Patron tricológico en fase telógena
Tipo y cantidad	Amontonados pequeños. 14	Uniforme. 4
	Amontonados medianos. 8	Rayados pequeños. 2
	Amontonados grandes. 6	Rayados pequeños. 2

Fuente: Elaboración propia

Interpretación:

En la tabla 03 se representa el cambio de la configuración espacial de los gránulos de pigmentos en la fase anágena hacia la fase telógena en los patrones de tipo “amontonados”. De 14 patrones tricológicos de tipo “amontonados pequeños” en fase anágena sólo cambiaron 2 a un patrón de tipo “uniforme”; de 8 patrones

tricológicos de tipo “amontonados medianos” sólo cambiaron 2 a un patrón de tipo “rayados pequeños” y; de 6 patrones de tipo “amontonados grandes” sólo se evidenció que cambiaron 2 al patrón de tipo “rayados pequeños”. Los patrones que no cambiaron en la fase telógena mantuvieron el mismo patrón que en la fase anágena.

**Tabla 04. CAMBIO DEL NÚMERO DE PATRONES  
TRICOLÓGICOS DE TIPO FRANJAS PEQUEÑAS, MEDIANAS Y  
GRANDES DE LA FASE ANÁGENA A LA FASE TELÓGENA**

Fase de crecimiento Patrón	Patron tricológico en fase anágena	Patron tricológico en fase telógena
Tipo y cantidad	Franjas pequeñas. 24	Uniforme. 6
	Franjas medianas. 18	Rayados pequeños. 6
	Franjas grandes. 6	Rayados pequeños. 4

Fuente: Elaboración propia

Interpretación:

En la tabla 04 se representa el cambio de la configuración espacial de los gránulos de pigmentos en la fase anágena hacia la fase telógena en los patrones de tipo “franjas”. De 24 patrones tricológicos de tipo “franjas pequeñas” en fase anágena sólo cambiaron 6 a un patrón de tipo “uniforme” en fase telógena; de 18 patrones tricológicos de tipo “franjas medianas” sólo cambiaron 6 a

un patrón de tipo “rayados pequeños” en la fase telógena; de 6 patrones de tipo “franjas grandes” sólo se evidenció que cambiaron 4 al patrón de tipo “rayados pequeños”. Los patrones que no cambiaron en la fase telógena mantuvieron el mismo patrón que en la fase anágena.

**Tabla 05. CAMBIO DEL NÚMERO DE PATRONES  
TRICOLÓGICOS DE TIPO RAYAS PEQUEÑAS, MEDIANAS Y  
GRANDES DE LA FASE ANÁGENA A LA FASE TELÓGENA**

Fase de crecimiento Patrón	Patron tricológico en fase anágena	Patron tricológico en fase telógena
Tipo y cantidad	Rayas pequeñas. 6	Uniforme 2
	Rayas medianas. 10	Uniforme 2
	Rayas grandes. 4	Uniforme 2

Fuente: Elaboración propia

Interpretación:

En la tabla 05 se representa el cambio de la configuración espacial de los gránulos de pigmentos en la fase anágena hacia la fase telógena en los patrones de tipo "Rayas". De 6 patrones tricológicos de tipo "rayas pequeñas" en fase anágena sólo cambiaron 2 a un patrón de tipo "uniforme"; de 10 patrones tricológicos de tipo "rayas medianas" sólo cambiaron 2 a un patrón

de tipo “uniforme” y; de 4 patrones de tipo “rayas grandes” sólo se evidenció que cambiaron 2 al patrón de tipo “uniforme”. Los patrones que no cambiaron en la fase telógena mantuvieron el mismo patrón que en la fase anágena.

**Tabla 06. VARIACIÓN DE LOS PATRONES TRICOLÓGICOS DE LA FASE ANÁGENA A LA TELÓGENA EN 100 INDIVIDUOS.**

N°	Patrón tricológico	Fase anágena (número de individuos)	Fase telógena (número de individuos)	Porcentaje de variación
1	Amontonados pequeños	14	10	28,57%
2	Amontonados medianos	08	06	25%
3	Amontonados grandes	06	04	33,3%
4	Franjas pequeñas	24	18	25%
5	Franjas medianas	18	12	33,3%
6	Franjas grandes	06	02	66,6%
7	Rayas pequeñas	06	18	33,3%
8	Rayas medianas	10	08	20%
9	Rayas grandes	04	02	50%
10	Uniforme	04	20	0%
	Total	100	100	

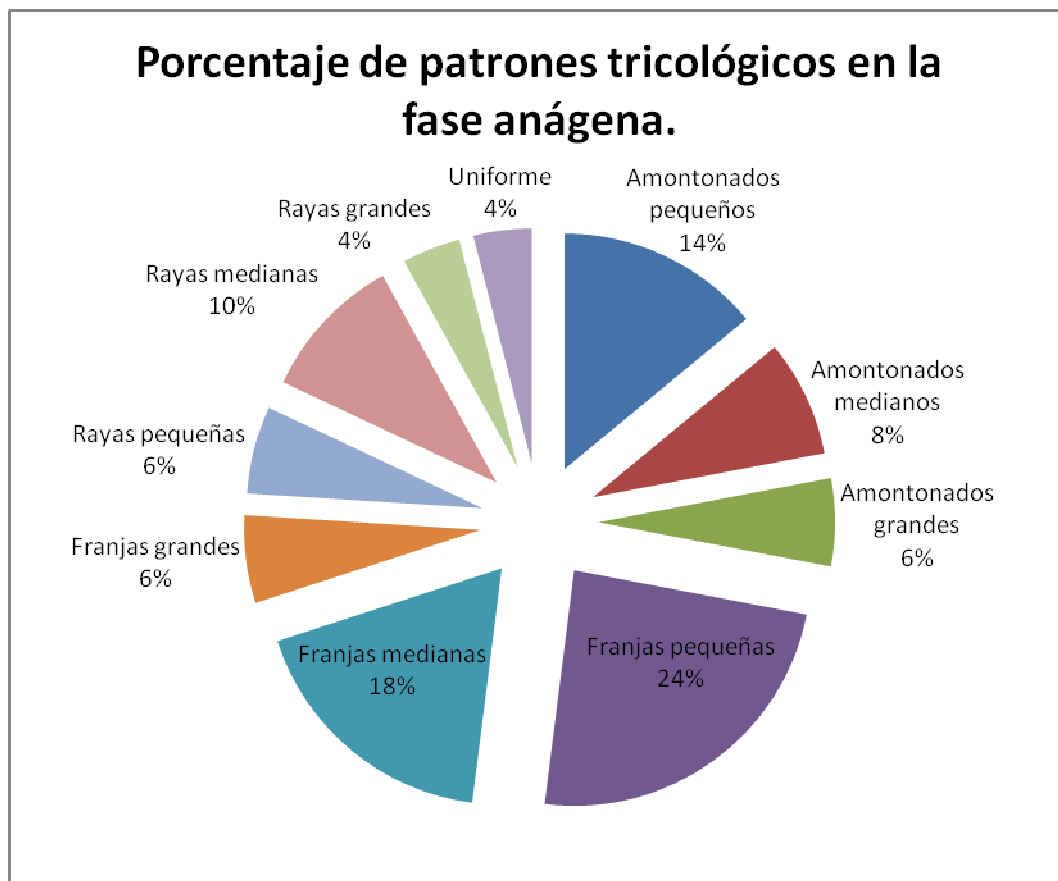
Fuente: Elaboración propia

Interpretación:

En la tabla 06 se representa la variación en porcentaje de los diez patrones tricológicos de la fase anágena hacia la fase telógena en 100 individuos. Se puede ver también que todos los patrones

tricológicos, excepto el patrón tipo “uniforme”, varían. Este rango de variaciones, expresadas en porcentaje, se dá desde un mínimo del 20% en el caso del patrón tipo “rayas medianas” hasta un máximo de 66,6% en el caso del patrón tipo franjas grandes.

**Figura 01. CANTIDAD DE PATRONES TRICOLÓGICOS EN LA FASE ANÁGENA.**



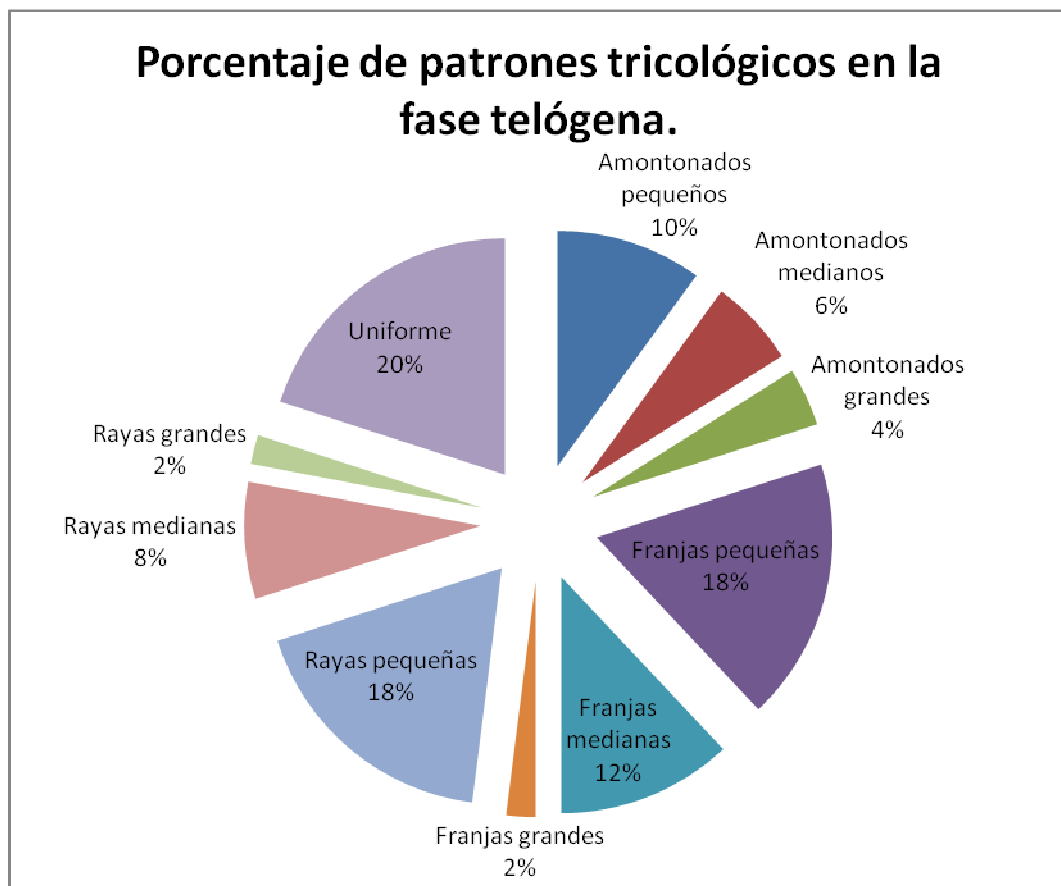
Fuente: Elaboración propia

Interpretación:

En la figura 01 se muestra las distribuciones de los patrones tricológicos en 100 individuos. En los que tres patrones tricológicos, franjas pequeñas, franjas medianas y amontonados pequeños se encuentran en mayor proporción: 24%, 18% y 14%

respectivamente. Los siete patrones tricológicos restantes se encuentran en una proporción inferior con respecto a los tres anteriores.

**Figura 02. CANTIDAD DE PATRONES TRICOLÓGICOS EN LA FASE TELÓGENA.**



Fuente: Elaboración propia

Interpretación:

En la figura 02 se representan las distribuciones de los patrones tricológicos en la fase telógena. En esta figura se muestra que los patrones más comunes son los de tipo: rayas pequeñas, uniforme y

frangas pequeñas con un 18% 20% y 18% respectivamente. También se puede notar que los únicos patrones tricológicos que aumentan en la fase telógena son los de tipo: rayas pequeñas y uniforme. Estos mismos patrones en la tabla 01 se encuentran en un menor porcentaje a diferencia de la tabla 02 en donde conforman los patrones con un mayor porcentaje, es decir, en la fase telógena son más comunes que en la fase anágena.

**Tabla 07. CORRELACIÓN DE LOS PATRONES TRICOLÓGICOS ENTRE LA FASE ANÁGENA Y LA FASE TELÓGENA.**

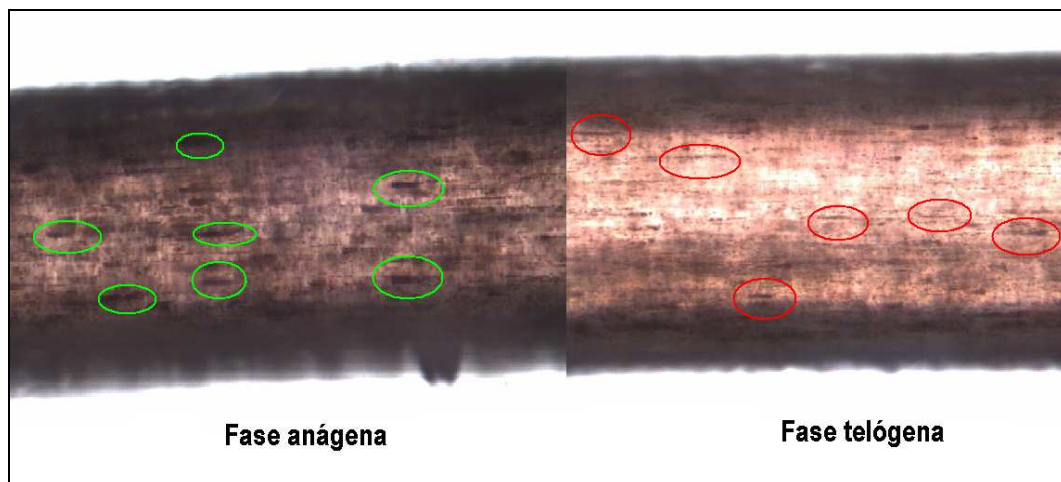
<b>Patrón tricológico</b>	<b>Fase anágena</b>	<b>Fase telógena</b>
Amontonados pequeños	14	10
Amontonados medianos	08	06
Amontonados grandes	06	04
Rayas pequeñas	06	18
Rayas medianas	18	12
Rayas grandes	06	02
Franjaspequeñas	24	18
Franjasmedianas	10	08
Franjasgrandes	04	02
Uniforme	04	20
<p>Hipótesis estadística:</p> <p><b><math>H_0</math>:</b> No existe asociación entre los patrones tricológicos en la fase anágena y telógena.</p> <p><b><math>H_1</math>:</b> Existe asociación entre los patrones tricológicos en la fase anágena y telógena.</p>		
Correlación de Spearman	0,269	
Valor crítico (N = 10 y a un nivel de significancia 0,05)	<b>0,564</b>	

Fuente: Elaboración Propia

**Interpretación:**

En la tabla 07 se muestra el valor crítico para un grupo de 10 tipos de patrones tricológicos (tamaño  $n = 10$ ). Se encontró que el valor calculado  $R_s = 0,247$  no sobrepasa el valor crítico de 0,564 a un nivel de significancia de 0,05. Por lo anterior se rechazó la hipótesis alternativa  $H_1$ :  $R_s = 0,564$ ; es decir, se rechazó la suposición de que hay asociación estadística significativa entre ambas variables. Lo expuesto nos permite concluir que al menos para el grupo estudiado no existe asociación directa entre el número de cabellos en fase anágena con los de la fase telógena, debido a que  $H_0$  no fue rechazada ( $p < 0,05$ ).

**Fotografía 01. TRANSICIÓN DEL PATRÓN TRICOLÓGICO DE LA  
FASE ANÁGENA (IZQUIERDA) A LA FASE TELÓGENA (DERECHA)  
EN UN MISMO INDIVIDUO.**



Interpretación:

En la fotografía 01 se evidencia una transición del patrón tricológico en una misma persona del tipo franjas medianas (en fase anágena) al patrón de tipo rayas pequeñas (en fase telógena). Este cambio nos indica que la persona muestreada presenta un patrón tricológico en la fase telógena diferente al de la fase anágena. La persona muestreada sólo presentaba un tipo de patrón tricológico inicialmente (en la fase anágena).

#### IV. DISCUSIÓN

En este trabajo se reporta una transición del patrón tricológico de la fase anágena hacia la fase telógena la cual está mediada por la configuración espacial de los gránulos de pigmentos. El grupo de individuos que presentaron un patrón tricológico de tipo “amontonado pequeño” cambiaron de la fase anágena a la fase telógena al patrón “uniforme” en un 28,57%, mientras que los patrones en fase anágena de tipo “amontonados medianos” y “amontonados grandes” cambiaron a un tipo “rayas pequeñas” en la fase telógena en un 25% y 33,3% respectivamente. El grupo de individuos que presentaron un patrón tipo “franjas pequeñas” cambiaron de la fase anágena a la telógena a un patrón uniforme en un 25%, mientras que los patrones “franjas medianas” y “franjas grandes” cambiaron en un 33,3% y 66,6% respectivamente. Finalmente, el grupo de individuos con un patrón tricológico de tipo: “rayas pequeñas”, “rayas medianas” y “rayas grandes” cambiaron de la fase anágena a la fase telógena en un 33%, 20% y 50% respectivamente. Con esto podemos asumir que los únicos patrones que aumentan en proporción fueron los de tipo “rayas pequeñas” y “uniformes” de la fase anágena a la fase telógena.

Mediante una comunicación verbal con el Ms C Juan Santos (2012), perito biólogo forense de la Oficina de Criminalística de Arequipa, refiere la existencia de otros patrones tricológicos encontrados en la población de Arequipa, como los de tipo: lateralizado, concéntrico y periférico; pero tales patrones no fueron encontrados en este trabajo.

Otros autores como Hernandez (2000), Robertson (1999) y Gaudette y Keeping (1974) trabajaron con características micromorfológicas descritas para los gránulos de pigmentos como la densidad, distribución y tamaño de los gránulos de pigmentos, para elaborar patrones tricológicos en los cuales no se consideran en este trabajo debido a que presentan variación en un mismo individuo (Wickenheiser y Hepworth, 1990). Las características de los gránulos de pigmentos utilizados como el tamaño y forma de agregación fueron usadas debido a que presentan una característica que se mantiene constante en cada fase de crecimiento y fueron útiles para comparar ambas fases. Aunque existieron más de un patrón tricológico en una misma persona sólo fue considerado el patrón dominante debido a que la finalidad del trabajo fue demostrar cambios del patrón tricológico de la fase anágena a la fase telógena y no el de establecer el grado de similitud (Robertson, 1999).

En una comunicación con James Robertson (mediante correo electrónico), autor de varias publicaciones y libros referidos al análisis comparativo forense de cabellos, refiere: *“En la fase telógena, al no ser activa la papila dérmica y por ende no hay diferenciación celular, los gránulos de pigmentos ya no son dispersados, entonces, un cabello realmente telógeno no tendrá gránulos de pigmentos en la zona cercana de la raíz. En este proceso que toma algunos días para ocurrir, podría haber unos cambios en el tallo del cabello más allá de la zona libre de pigmentos. No creo que esto haya sido muy bien estudiado en el pasado por lo que tus resultados debe ser un interés para los microscopistas de pelos”*.

A lo que se refiere Robertson con un cabello “verdaderamente telógeno”, es que en el cabello en fase telógena ya no presenta el mismo aporte de gránulos de pigmentos, debido a que este déficit de aporte de gránulos de pigmentos fue decreciendo gradualmente desde el final de la fase anágena, hasta la fase telógena, por ende, es que en el transcurso de esta transición es que ocurre una modificación de la configuración espacial de los gránulos de pigmentos; y esto se ve reflejado en las diferencias de los patrones tricológicos en la tabla 3, 4, 5 y 6.

En este trabajo no se puede establecer probabilidades de exclusión o inclusión, debido a la forma del muestreo y la población del presente trabajo que no representa a la ciudad de Arequipa; además no se trabajó con las demás características micromorfológicas presentes en los cabellos en los que sí han trabajado algunos autores (SWGMAAT, 2005) (Hernandez, 2000).

Tanto en la fase anágena como en la fase telógena se evidencian 10 patrones tricológicos, donde el tamaño y la forma de agregación generan nueve patrones tricológicos con formas definidas (amontonados pequeños, amontonados medianos, amontonados grandes, rayados pequeños, rayados medianos, rayados grandes, franjas pequeñas, franjas medianas y franjas grandes) a diferencia del patrón tricológico de tipo uniforme en donde los gránulos de pigmentos no forman ningún tipo de agregación. Por esto no se puede establecer tipos de patrones tricológicos propias para cada fase de crecimiento, como sí se puede mediante la morfología de la raíz (Petraço, Fraas y Callery, 1988).

Ninguna persona fue excluida para la toma de muestras tricológicas debido a que ninguna presentaba enfermedades pilosas descritas en la literatura.

## V. CONCLUSIONES

1. Las características microscópicas de los patrones tricológicos en la fase anágena está establecida por la presencia de diez patrones tricológicos: nueve patrones con forma definida y un patrón sin forma aparten; este predominio de los patrones están representados por los tipos: franjas medianas, pequeñas y amontonados pequeños.
2. Las características microscópicas de los patrones tricológicos en la fase telógena son similares a los presentes en la fase anágena, sin embargo difieren en la proporción del predominio de los patrones; la fase telógena está representado por los tipos: rayados pequeños, franjas pequeñas y de tipo uniforme.
3. Las diferencia de las características microscópicas del patrón tricológico entre las fases anágena y telógena están representadas en los cambios de la disposición espacial de los gránulos de pigmentos, los cuales generan un cambio en el patrón tricológico original, esto genera una variación del predominio de los patrones tricológicos en la fase telógena con respecto a la fase anágena.

4. Los cambios de las características microscópicas del patrón tricológico en la transición de la fase anágena a la fase telógena en cabellos humanos consisten en la disminución de las formas definidas en la fase anágena aumentando las formas rayados pequeños y uniforme en fase telógena.

## **VI. RECOMENDACIONES**

1. Se sugiere que cuando se trabaje con patrones tricológicos en fases de crecimiento anágena y telógena, se considere el patrón tricológico dominante y que se tome en cuenta que existen variaciones de los patrones tricológicos en ambas fases de crecimiento.
2. Se sugiere tipificar como patrón tricológico mixto en aquellos individuos que presenten más de un tipo de patrón tricológico.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aitken CG, Robertson J. 1986. The value of microscopic features in the examination of human head hairs: Statistical Analysis of questionnaire returns. *Journal of Forensic Sciences*, 31 (2): 546-562

Barnett PD, Ogle RR. 1982. Probabilities and human hair comparison. *Journal of Forensic Sciences*, 27(2): 272-278.

Blume-Peytavi U, Tosti A, Whiting D, Trüeb R. 2008. Hair growth and disorders. Editorial Springer-Verlag. Japon.

Catalin M, Andrei A, Mitrasca O. Modern methods of collection and preservation of biological evidence for human identification by DNA analysis. Departamento de Bioquímica, Universidad de Medicina y Farmacia – Timisoara. 1-8

Chan EF, Gat U, McNiff JM. 1999. A common human skin tumour is caused by activating mutations in beta-catenin. *Nat Genet.* 21:410-413.

Chase HB. 1954, Growth of the hair. *Physiological Reviews*, 34, 113–126.

Gat U, DasGupta R, Degenstein L. 1998. De novo hair follicle morphogenesis and hair tumors in mice expressing a truncated beta-catenin in skin. *Cell*. 95: 605-614.

Gaudette BD, Keeping ES. 1974. An attempt to determining probabilities in human scalp hair comparison. *Journal of Forensic Science* 19(3): 599-606.

Gianelli PC. 2010. Microscopic Hair Comparisons: A Cautionary Tale. Case Western Reserve University. 1-25

Guzman CA. 2000. Manual de criminalística. Editorial La Rocca, Argentina. 2000.

Hernandez CJ. 2000. El análisis microscópico comparativo del cabello humano. Su utilidad para la identificación forense de individuos. *Rev SanidMilitMex* 54(1): 25-28

Hernandez CJ. 2006. Estudio microscópico del vello púbico humano y su utilidad para la identificación forense. *Rev SanidMilitMex* 60(5): 297-303

Kaufman CK. GATA-3. 2003. An unexpected regulator of cell lineage determination in skin. *Genes Dev*. 17:2108-2122.

- Kere J, Srivastava AK, Montonen O. 1996.X-linked anhidrotic (hypohidrotic) ectodermal dysplasia is caused by mutation in a novel transmembrane protein. Nat Genet.13: 409-416.
- Kolowski JC, Petraco N, Wallace MM, De Forest PR, Prinz M. 2004.A comparison study of hair examination methodologies.J Forensic Sci, 49(6): 1-3.
- Molina M. 2004. Biología Forense. Laboratorio de criminalística. Primera edición. Editorial Universidad Estatal a distancia. Costa Rica.
- Morioka K. 2005.Hair follicle.Differentiation under the electron microscope. An Atlas.Springer-Verlag.Japón.
- Noramly S, Morgan BA. 1998. BMPs mediate lateral inhibition at successive stages in feather tract development. development.125:3775-3787.
- Ogle R, Fox MJ. 1999. Atlas of human hair. Editorial CRC, Estados Unidos.
- Oien CT. 2005. Forensic Hair Comparison: Background Information for Interpretation. Forensic Science Communications. 7(2): 1-23

Panayiotou H. 2004. Vibrational spectroscopy of keratin fibres a forensic approach. Tesis presentada para optar el grado de PhD, Universidad Tecnológica de Queensland, Escuela de Ciencias Físicas y Químicas.

Petraco N. 1986. Trace evidence - The invisible witness. *Journal of Forensic Sciences*, 31(1): 321-328

Petraco N, Fraas C, Callery FX, De Forest PR. 1988. The morphology and evidential significance of human hair roots. *Journal of Forensic Sciences*. 33(1) 68-76.

Petraco N, Kubic T. 2004. Color atlas and manual of microscopy for criminalists, chemists, and conservators. CRC Press. Estados Unidos

Restrepo R. 2010. Anatomía microscópica del folículo piloso. *Rev AsocColombDermatol*; 18:123-38.

Robbins CR. 2002. Chemical and physical behavior of human hair. Cuarta edición. Springer. Estados Unidos

Robertson J. 1999. Forensic examination of hair. Primera edición. Editorial Taylor y Francis Group. Reino Unido.

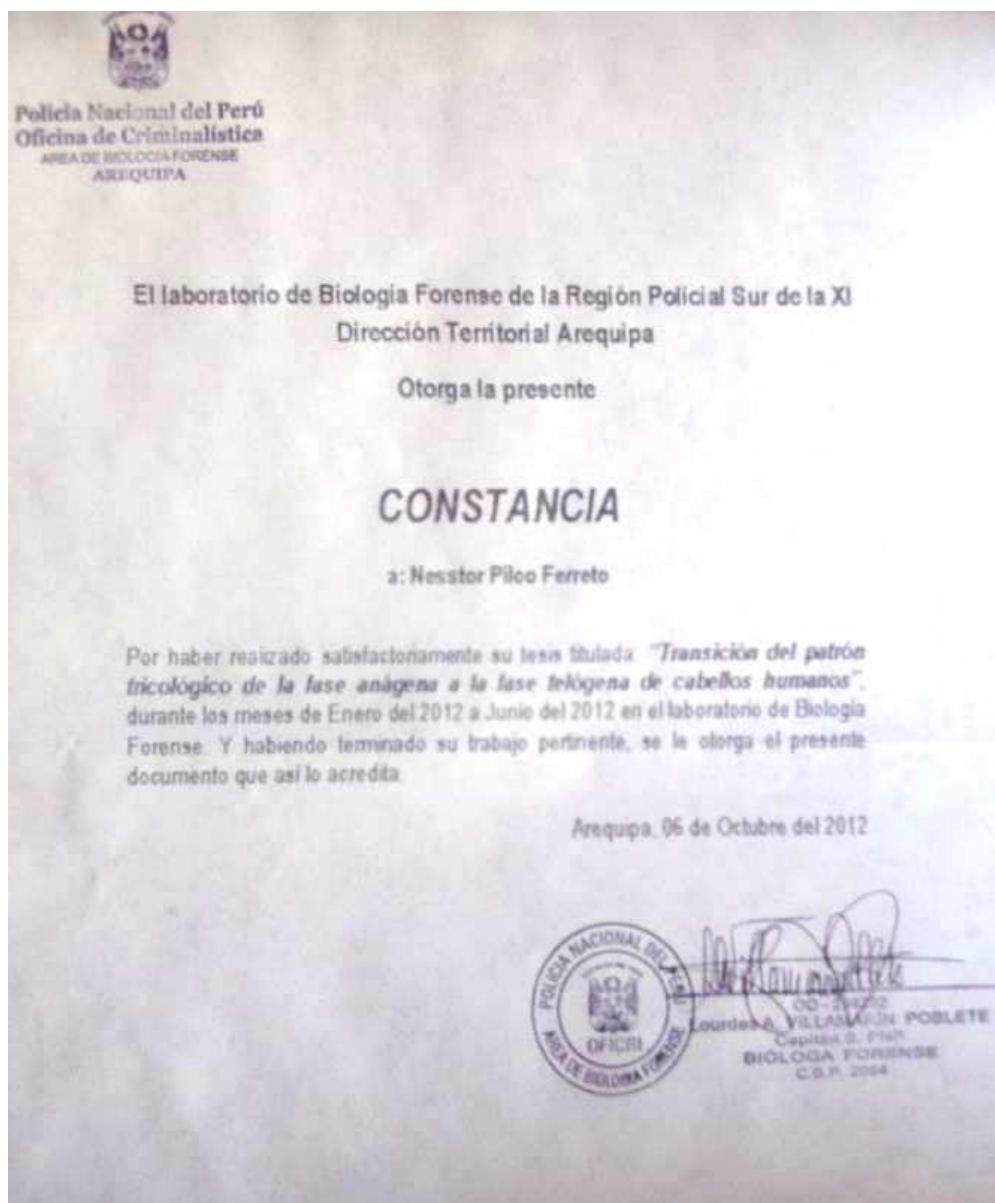
- Robles MV, de Sá CD, de Freitas AZ, Vieira NJ, Oliveira PC, Kaneko TM, Baby AR. 2009. Hair fiber characteristics and methods to evaluate hair physical and mechanical properties. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 45(1): 153-162.
- Rowe WF. 2001. The current status of microscopical hair comparison. *TheScientificWorld*, 1: 868-878.
- Scientific Working Group on Materials Analysis (SWGMA). 2005. Forensic Human Hair Examination Guidelines. *Forensic Science Communications*. 7(2): 1-23.
- Sharma R, Thakkar MK, Jasuja OP. 2002. Twins Hair: A Study of Some Morphological Features. *J. Hum. Ecol.*, 13(5): 407-410.
- Vaughn MR, Brooks E, Roland AH, van Oorchot, Baidur SH. 2009. A comparison of macroscopic and microscopic hair color measurement and a quantification of the relationship between hair color and thickness. *Microsc. Microanal* 15: 189-193.
- Tobin DJ. 2005. Hair in toxicology: An important biomonitor. RSC Advancing the Chemical Science. Reino Unido.

Wickenheiser RA, Hepworth DG. 1990. Further evaluation of probabilities in human scalp hair comparisons. *Journal of Forensic Science* 35(6): 1323-1329.

Yu J, Yu D, Checkla DM, Freedberg IM, Bertolino AP. 1993. Human hair keratins. *The Society for investigative Dermatology*. 100(1): 57-59

## VIII. ANEXOS

### **ANEXO 1** CONSTANCIA DE REALIZACIÓN DE TESIS EN EL LABORATORIO DE BIOLOGÍA FORENSE EN LA OFICINA DE CRIMINALÍSTICA DE AREQUIPA.



**ANEXO 2 TABLA MODIFICADA DE ROBERTSON (1999) PARA LA DESCRIPCIÓN TRICOLÓGICA DE PIGMENTOS EN UN MISMO INDIVIDUO EN 5 ZONAS CEFÁLICAS.**

Pigmentos	Frontal		Temporal izquierdo		Temporal derecho		Occipital		Vértice	
	A	T	A	T	A	T	A	T	A	T
Distribución										
Densidad										
Tamaño										
Forma de agregación										
Tamaño de agregación										

Donde:

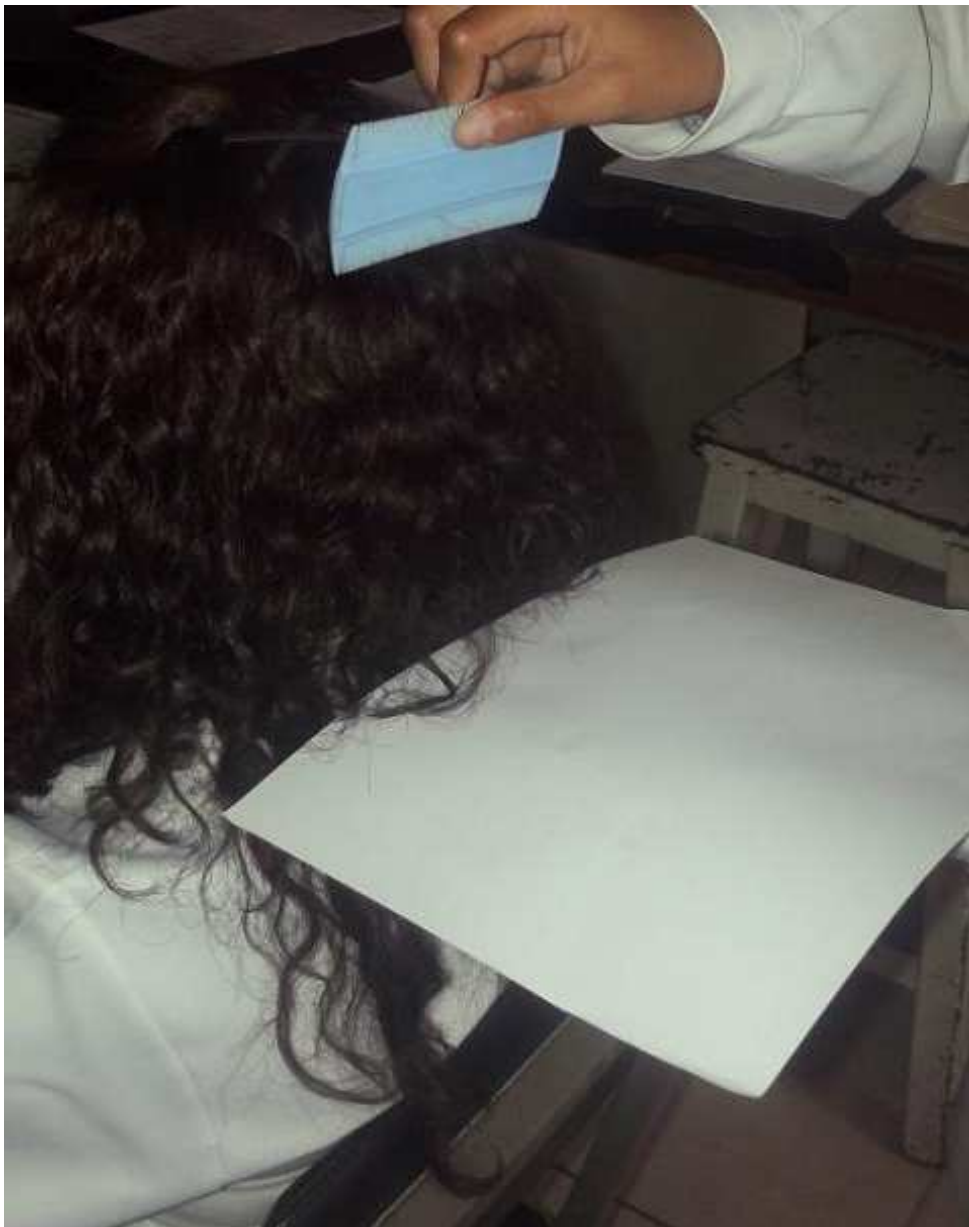
A: Fase anágena

T: Fase telógena

**ANEXO 3 OBTENCIÓN DE CABELLOS EN FASE ANÁGENA MEDIANTE  
PINZA CON PUNTAS DE GOMA.**



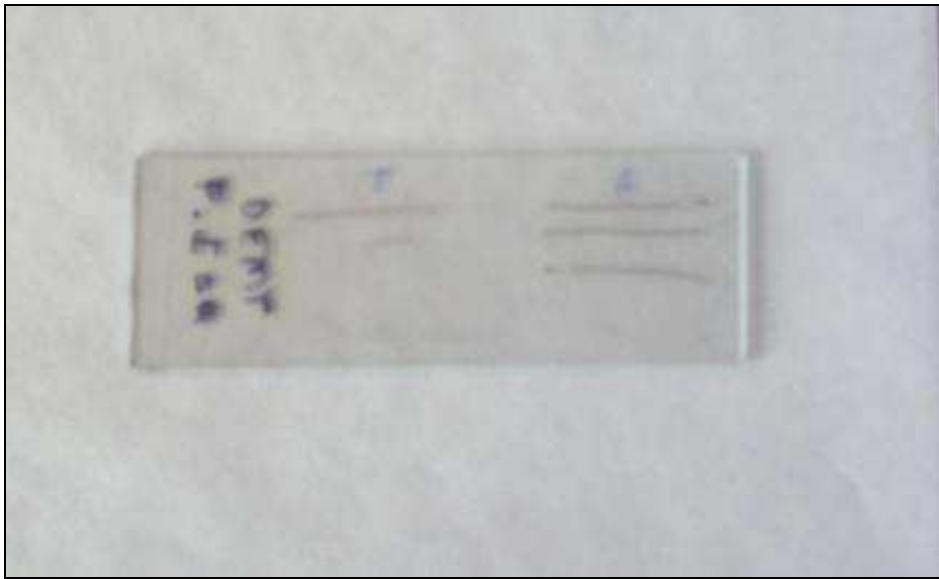
**ANEXO 4 OBTENCIÓN DE CABELLOS EN FASE TELÓGENA  
MEDIANTE PEINADO.**



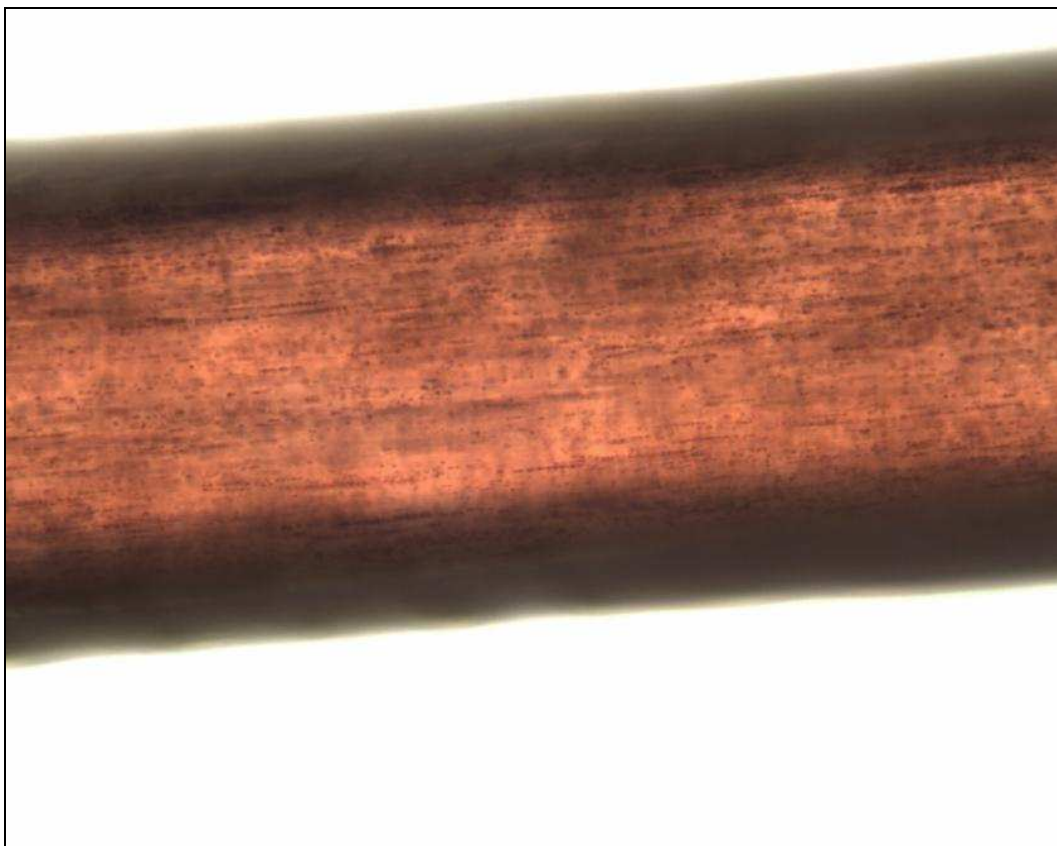
**ANEXO 5 CAMARA DIGITAL ACOPLADA AL MICROSCÓPIO MARCA MEIJI CON VISUALIZACIÓN EN UN ORDENADOR.**



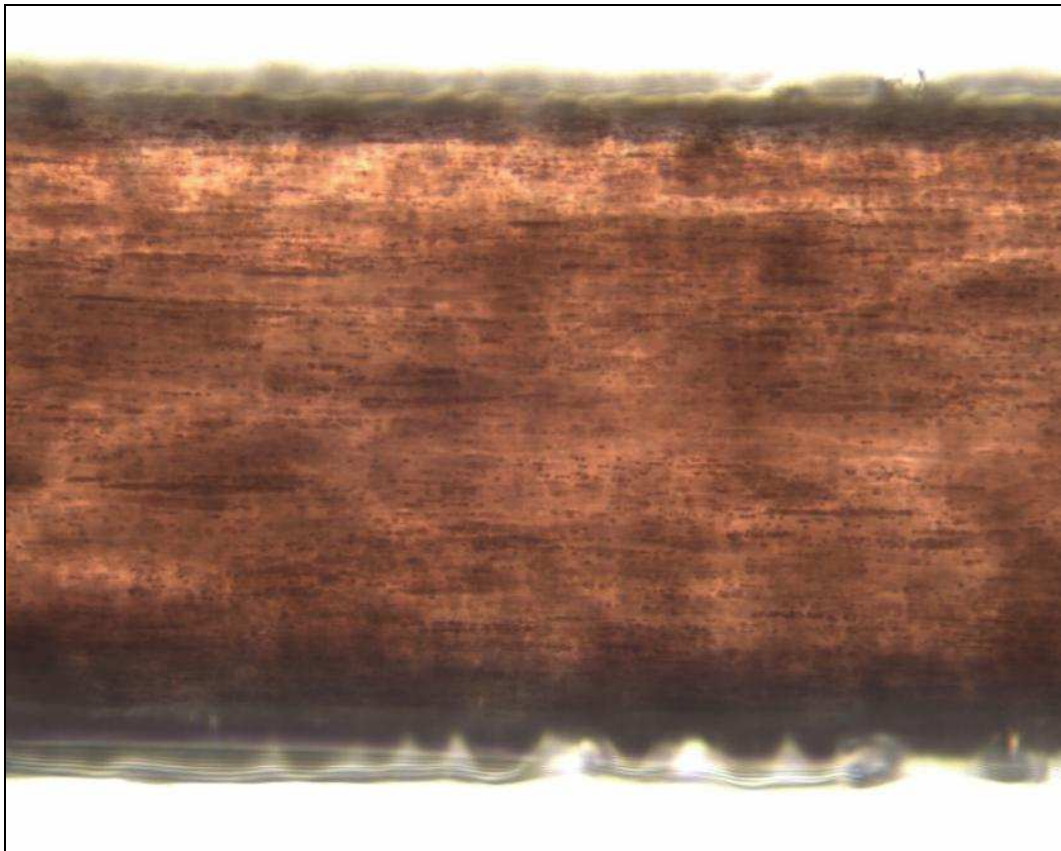
**ANEXO 6 LÁMINA CON CABELLOS MONTADOS PARA LA DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS MICROSCÓPICA DE LOS GRÁNULOS DE PIGMENTOS.**



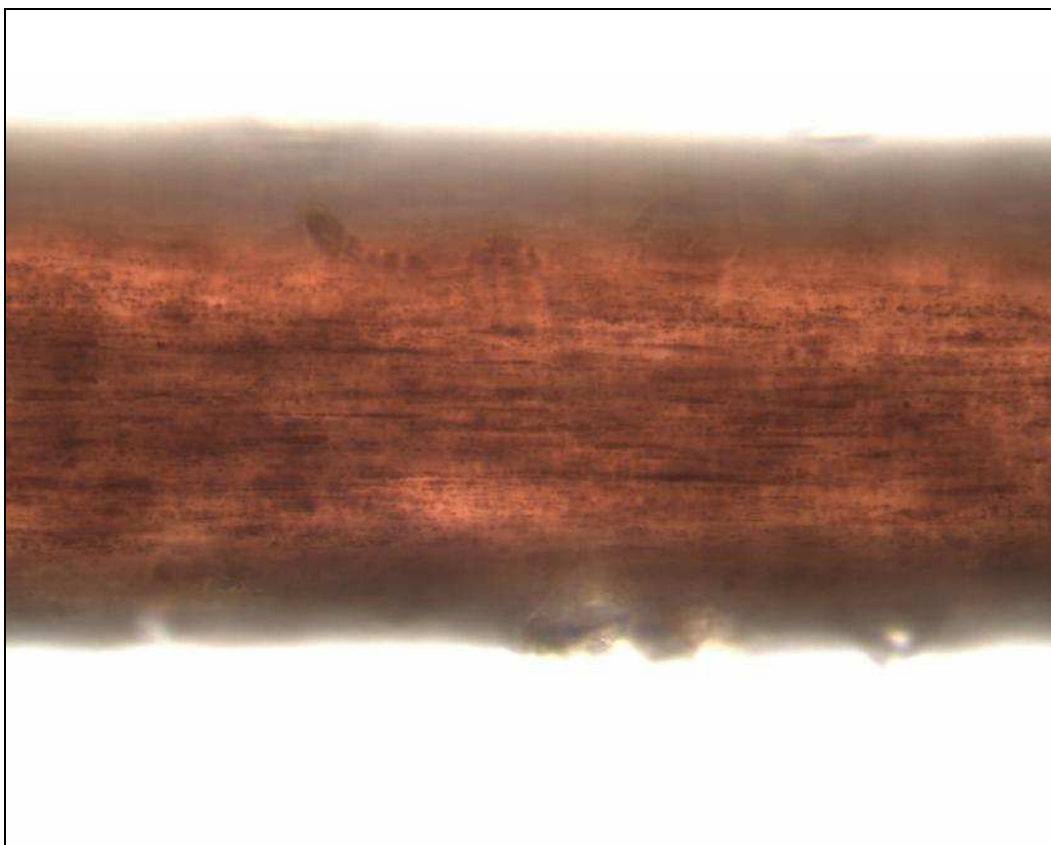
**ANEXO 7 FORMA Y TAMAÑO DE AGREGACIÓN “RAYADOS PEQUEÑOS” DE LOS GRÁNULOS DE PIGMENTOS.**



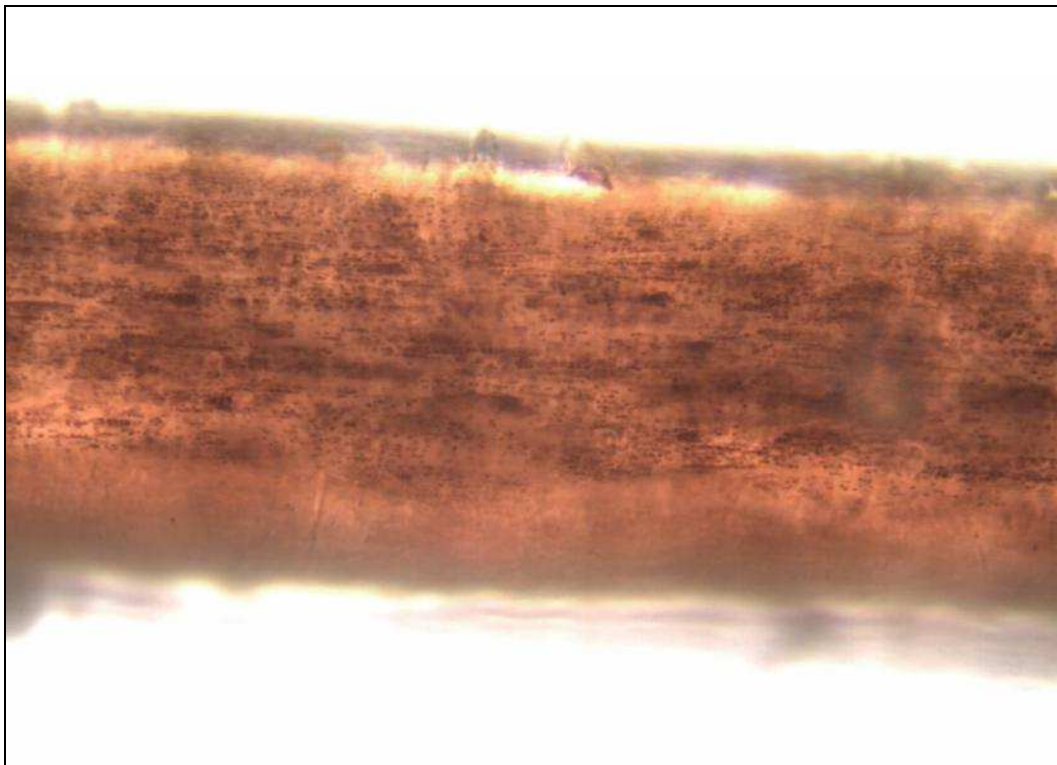
**ANEXO 8 FORMA Y TAMAÑO DE AGREGACIÓN “RAYADOS MEDIANOS” DE LOS GRÁNULOS DE PIGMENTOS.**



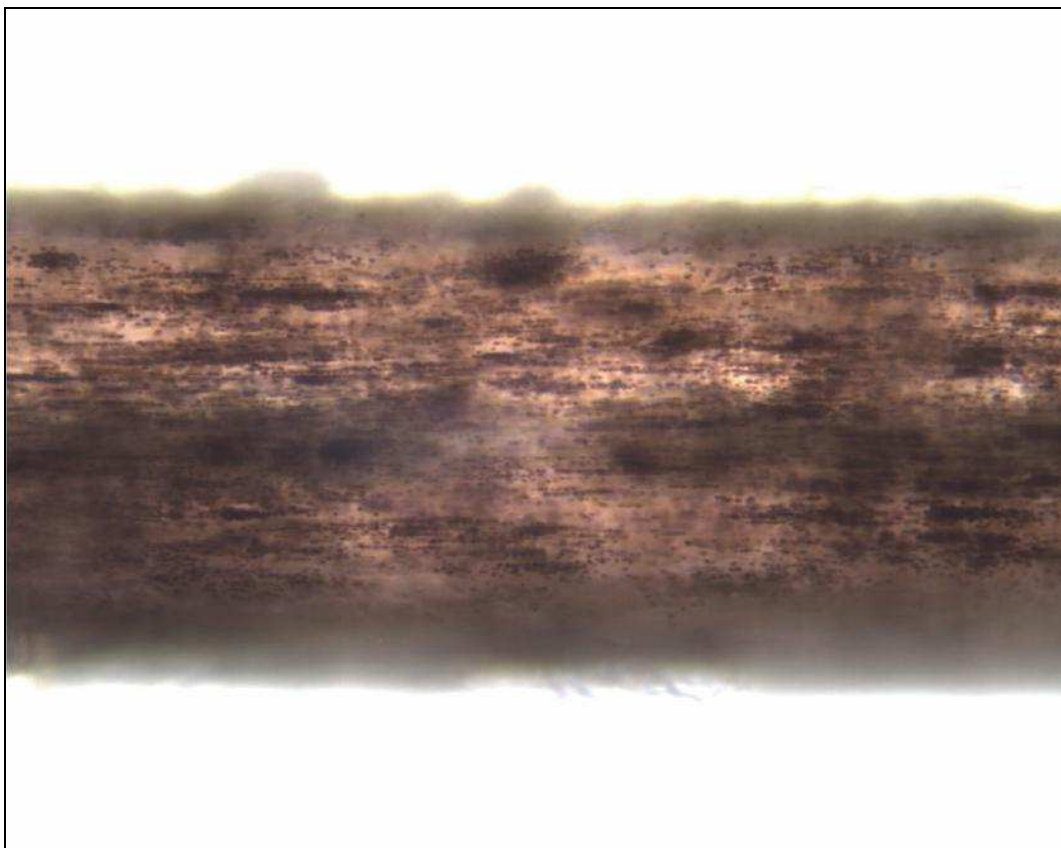
**ANEXO 9** FORMA Y TAMAÑO DE AGREGACIÓN “RAYADOS GRANDES” DE LOS GRÁNULOS DE PIGMENTOS.



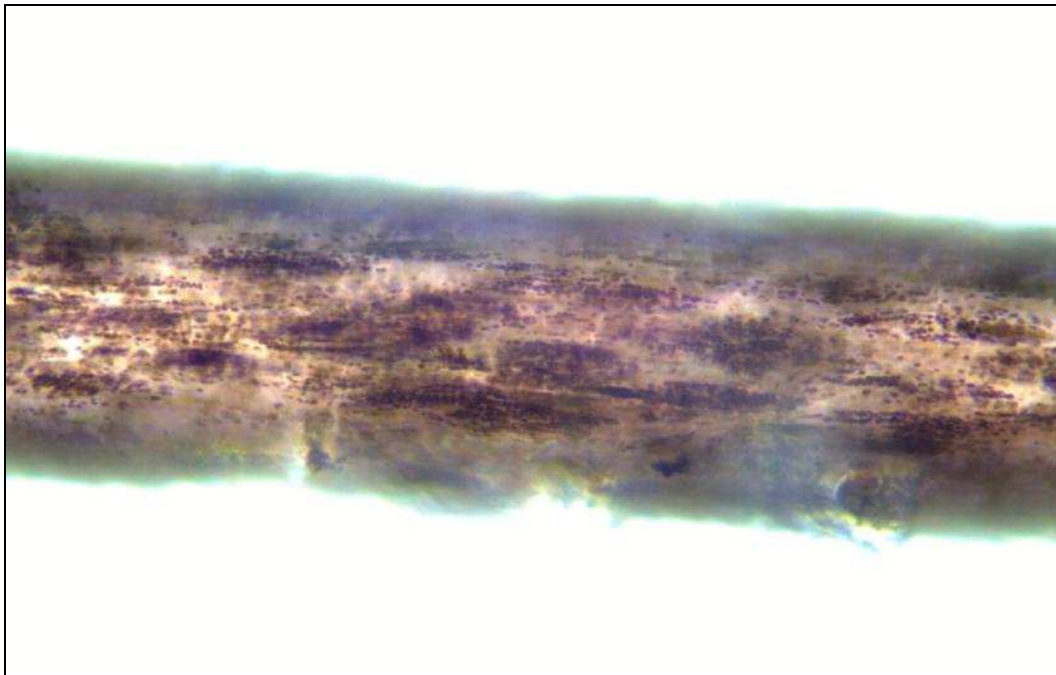
**ANEXO 10** FORMA Y TAMAÑO DE AGREGACIÓN  
“AMONTONAMIENTOS PEQUEÑOS” DE LOS GRÁNULOS DE  
PIGMENTOS.



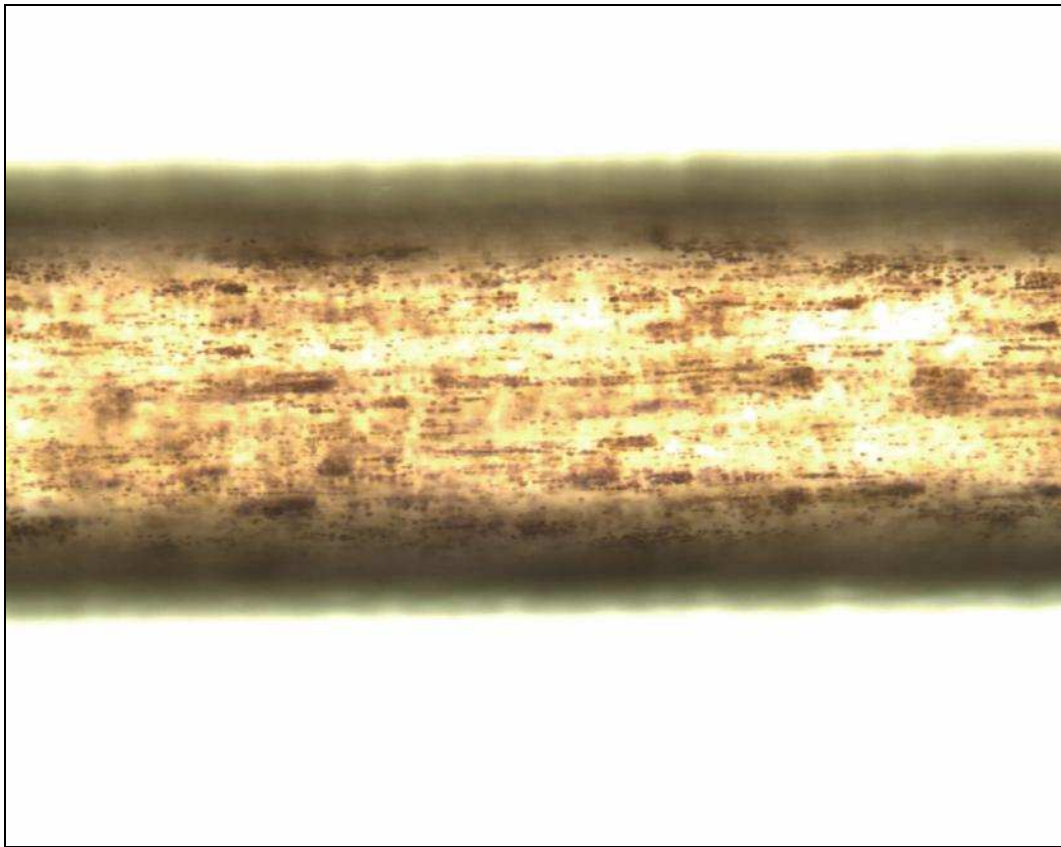
**ANEXO 11 FORMA Y TAMAÑO DE AGREGACIÓN  
“AMONTONAMIENTOS MEDIANOS” DE LOS GRÁNULOS DE  
PIGMENTOS.**



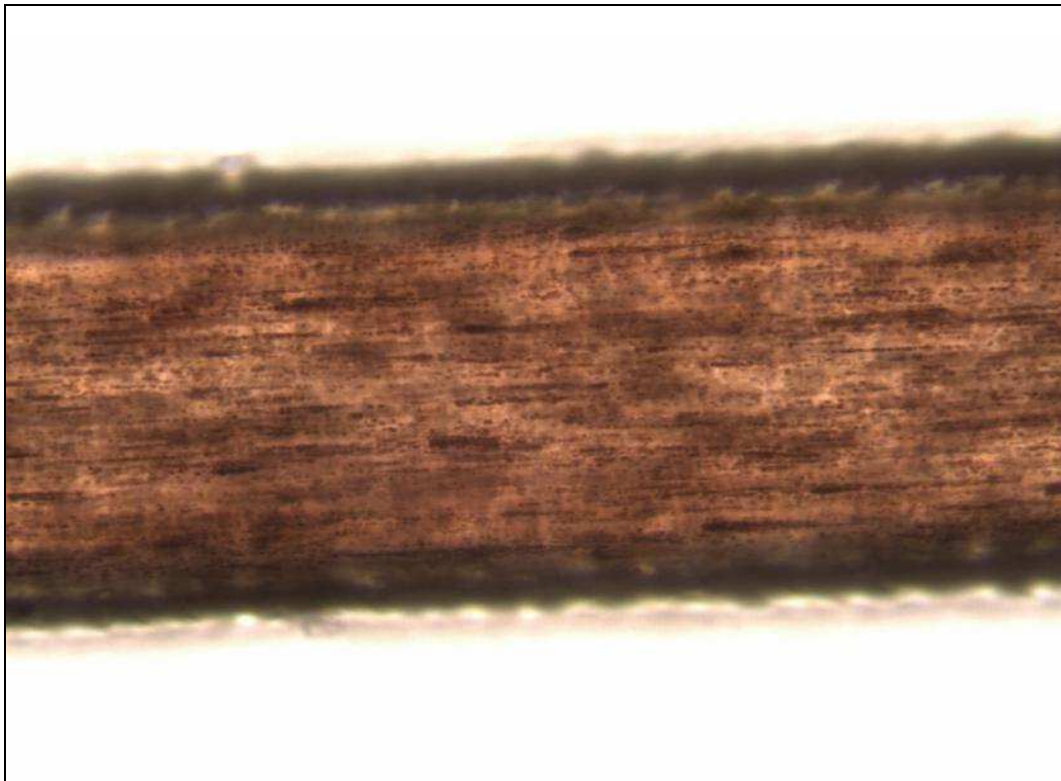
**ANEXO 12 FORMA Y TAMAÑO DE AGREGACIÓN  
“AMONTONAMIENTOS GRANDES” DE LOS GRÁNULOS DE  
PIGMENTOS.**



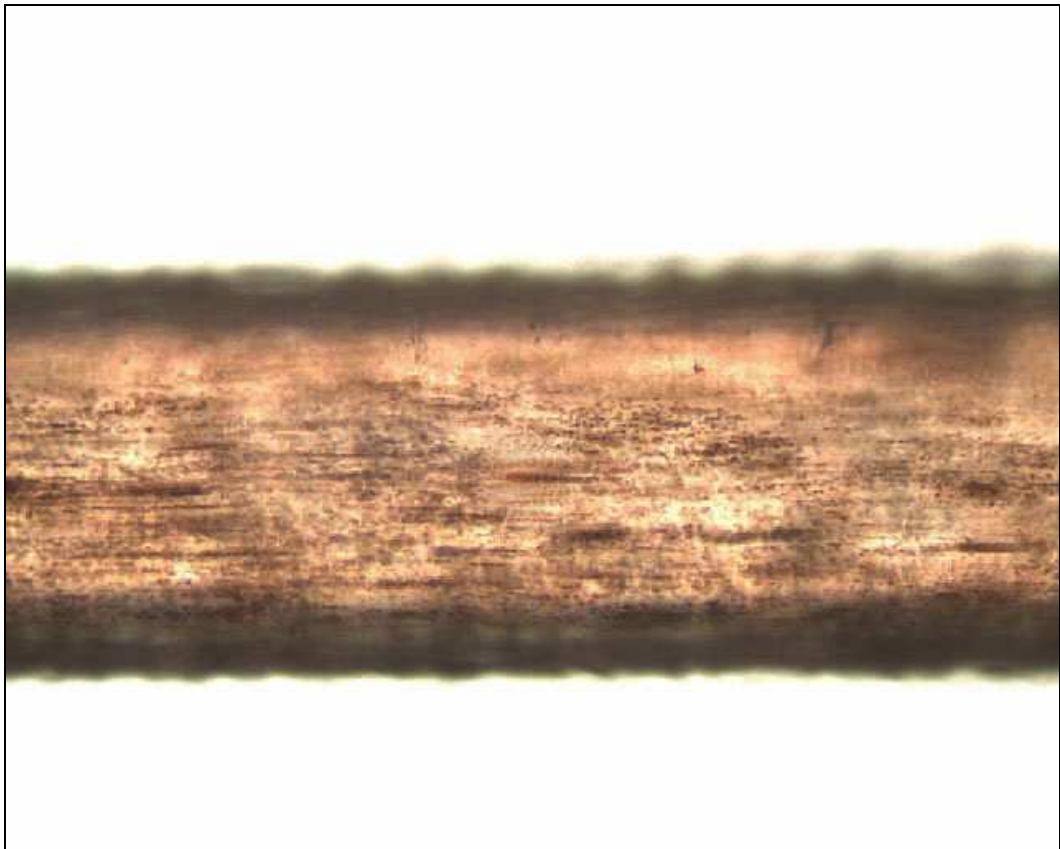
**ANEXO 13 FORMA Y TAMAÑO DE AGREGACIÓN “FRANJAS PEQUEÑAS” DE LOS GRÁNULOS DE PIGMENTOS.**



**ANEXO 14 FORMA Y TAMAÑO DE AGREGACIÓN “FRANJAS MEDIANAS” DE LOS GRÁNULOS DE PIGMENTOS.**



**ANEXO 15 FORMA Y TAMAÑO DE AGREGACIÓN “FRANJAS GRANDES” DE LOS GRÁNULOS DE PIGMENTOS.**



**ANEXO 16. FORMATO DE ACTA DE CONSENTIMIENTO PARA TOMA DE MUESTRAS BIOLÓGICAS.**

**POLICIA NACIONAL DEL PERU**  
**XI - DIRTEPOL**  
**OFICINA DE CRIMINALISTICA**

**ACTA DE TOMA DE MUESTRAS BIOLÓGICAS**

En Arequipa, siendo las .....horas del día .....del 2012,  
presentes en.....  
.....,  
se procede a la toma de muestras biológicas de la persona identificada  
como.....  
Con DNI N°....., en presencia de:  
.....  
.....  
se procede a tomas las siguientes muestras biológicas según se detalla:

- .....
- .....
- .....
- .....
- .....

Se dio por finalizado dicha acta a horas ..... hrs. Firmando a  
continuación e imprimiendo la huella digital del índice derecho en señal de  
conformidad ante el instructor los presentes.

EL PERITO	AGRAVIADO/INCUPLADO
_____	_____
_____	_____
RPM	PERSONAL PNP

