



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE FÍSICA Y MATEMÁTICA

“DETECCIÓN DE CAMBIOS MORFOLÓGICOS DEL ERITROCITO HUMANO IRRADIADO CON LUZ NO COHERENTE DE UN DIODO ELECTROLUMINISCENTE INFRARROJO EN LA SIERRA ECUATORIANA”

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: TRABAJO EXPERIMENTAL

Presentado previo a la obtención del título de:

BIOFÍSICA

AUTORA: ILGUAN CAIZAGUANO MARIA MAGDALENA

TUTORA: MSC. MYRIAN CECILIA BORJA SAAVEDRA.

Riobamba – Ecuador

2019

© 2019, Iguan Caizaguano Maria Magdalena

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE FÍSICA Y MATEMÁTICA

CERTIFICACIÓN

EL TRIBUNAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El trabajo de investigación titulado “DETECCIÓN DE CAMBIOS MORFOLÓGICOS DEL ERITROCITO HUMANO IRRADIADO CON LUZ NO COHERENTE DE UN DIODO ELECTROLUMINISCENTE INFRARROJO EN LA SIERRA ECUATORIANA”, de responsabilidad de la señorita María Magdalena Ilguan Caizaguno ha sido minuciosamente revisado por los miembros del Tribunal, quedando autorizada su presentación.

FIRMA

FECHA

Msc. Myrian Cecilia Borja Saavedra

DIRECTORA DEL TRABAJO

DE TITULACIÓN

Dr. Arquímides Xavier Haro Velasteguí

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Yo, María Magdalena Iguan Caizaguano declaro que soy la autora del presente trabajo de titulación, haciéndome responsable de las ideas, criterios y resultados expuestos del mismo son auténticos y originales, los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados, el patrimonio de este Trabajo de Titulación pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

María Iguan

DEDICATORIA

Este Trabajo de Titulación va dedicado a mi Dios quien supo guiarme por el buen camino. A mi papá (+) quien fue un hombre de lucha y superación, sus consejos me ayudaron a enfrentar momentos difíciles de la vida, a mi madre por su sacrificio y esfuerzo, por darme una carrera para mi futuro aunque hemos pasados momentos difíciles siempre ha estado brindándome su apoyo incondicional.

A mis hermanas, por ser mi mayor motivación, gracias a ellos pude culminar una meta más en la vida; su fortaleza admirada, su aliento y cariño constante para cumplir con éxito una meta más en mi vida.

A mí amada hija Angiely por ser mi fuente de motivación e inspiración para poder superarme cada día más y así poder luchar por un futuro mejor.

A mi amado esposo quien me ayudo a culminar mis estudios brindándome su comprensión, cariño y amor.

María Ilguan

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme vida y salud para poder seguir cumpliendo mis metas, por darme la sabiduría e iluminar mi mente, por haberme guiado durante toda mi carrera.

A mis padres por enseñarme a ser buena persona e inculcarme valores y principios, por ser mis consejeros y por haber permitido con su gran esfuerzo que pueda culminar una etapa más de mi vida. De manera especial agradezco a mi esposo por su apoyo incondicional.

Mi profundo agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela Física y Matemática por abrirme las puertas para mi formación profesional. Mi más sincera gratitud a mis maestros ya que con su paciencia inculcaron conocimientos necesarios para mi vida profesional. De manera especial a la Msc. Myrian Borja, Tutor de mi trabajo de Titulación, por haber dedicado parte de su tiempo, por sus buenas enseñanzas, por compartir su sabiduría y calidad humana para orientar la elaboración de este trabajo.

María Iguan

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT	xv

CAPÍTULO I

1. MARCO REFERENCIAL.....	3
1.1 Identificación del Problema.....	3
1.2 Formulación del Problema.....	4
1.3 Justificación	4
1.4 Antecedentes.....	5
1.5 Objetivos.....	7
<i>1.5.1 Objetivo General.....</i>	<i>7</i>
<i>1.5.2 Objetivos Específicos</i>	<i>7</i>

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	8
2.1 Óptica física.....	8
<i>2.1.1 Naturaleza de la luz</i>	<i>8</i>
<i>2.1.2 La Luz.....</i>	<i>8</i>
<i>2.1.3.2 Onda de luz.....</i>	<i>10</i>
<i>2.1.3.3 Onda electromagnética.....</i>	<i>10</i>
<i>2.1.4 Espectro electromagnético.....</i>	<i>11</i>
<i>2.1.5 Reflexión de la luz</i>	<i>12</i>
<i>2.1.6 Refracción de la luz</i>	<i>13</i>
<i>2.1.7 Difracción de la luz.....</i>	<i>14</i>
<i>2.1.8 Interferencia</i>	<i>15</i>
<i>2.1.9 Absorción</i>	<i>16</i>
<i>2.1.10 Polarización de la luz.....</i>	<i>16</i>
2.2 Óptica geométrica.....	18
<i>2.2.2.1.1 Lente Bicóncava</i>	<i>20</i>
2.3 Instrumentos ópticos.....	20
<i>2.3.1 Microscopio óptico</i>	<i>20</i>
<i>2.3.1.1 Características del microscopio Optiucio Olympus CX31.....</i>	<i>21</i>
2.4 Dispositivos eléctricos.....	22

2.1.1	LED	22
2.4.1.2.1	<i>Características y funcionamiento de los LED's Infrarrojos</i>	23
2.5	<i>La sangre</i>	24
2.5.1	Composición de la sangre:	24
2.5.2	Funciones generales de la sangre	24
2.5.3	Células sanguíneas	25
2.5.4	Fases de maduración del eritrocito	26
2.5.5	Propiedades de los eritrocitos	27
2.6	Alteraciones morfológicas de los eritrocitos	27
2.6.1	Según el tamaño	28
2.6.2	Según la forma	29
2.6.3	Según el color	31
2.6.4	Inclusiones intraeritrocitarias	32
2.6.5	Agrupaciones	34
2.7	Membranas Biológicas	34
2.8	Modelo de mosaico fluido	37
2.9	Membrana Eritrocitaria.....	38
2.10	Factores que intervienen en la deformación de la membrana de los eritrocitos.	39
2.11	Modelo de la membrana eritrocitaria.....	39

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	42
3.1	Hipótesis	42
3.1.1	Hipótesis nula:	42
3.1.2	Hipótesis alternativa:	42
3.2	<i>Operacionalización de variables</i>	42
3.3	Tipo y Diseño de la investigación	43
3.4	Unidad de análisis.....	43
3.5	Población de Estudio	43
3.6	Tamaño de la Muestra	43
3.7	Técnica de recolección de datos	43
3.8	Equipos y materiales.....	44

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS Y DISCUSION	49
4.1	Características generales de la observación.....	49

4.2	Normalidad de los Datos de deformaciones morfológicas de los eritrocitos.....	50
4.2.1	<i>Calculo estadístico de la prueba de Kolmogorov Smirnov</i>	50
4.3	Pruebas de Hipótesis.....	52
4.3.1	<i>Prueba de t Student</i>	52
4.4	Análisis estadístico descriptivo de las deformaciones morfológicas de los eritrocitos.	53
	CONCLUSIONES	63
	RECOMENDACIONES	64
	GLOSARIO	65
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Clasificación de las alteraciones morfológicas de los eritrocitos según el tamaño.	28
Tabla 2-2: Clasificación de las alteraciones morfológicas de los eritrocitos según su forma.	29
Tabla 3-2: Clasificación de las alteraciones morfológicas de los eritrocitos según el color.	31
Tabla 4-2: Elementos extraños intracelulares.	32
Tabla 5-2: Agrupaciones.	34
Tabla 6-2: Composición de la membrana biológica.	35
Tabla 1-3: Descripción de las variables dependientes e independientes.	42
Tabla 2-3: Características de la fuente utilizada.	44
Tabla 3-3: Características de la zona a irradiar. El conteo se realiza en 90 campos visuales.	47
Tabla 1-4: Normalidad de los datos obtenidos con la prueba de Kolmogorov-Smirnov.	51
Tabla 2-4: Prueba de t de student.	52
Tabla 3-4: Datos de los eritrocitos degradados y deformados según la Energía aplicada.	53
Tabla 4-4: Datos de tipos de deformaciones de los eritrocitos según la Energía aplicada.	55
Tabla 5-4: Datos del total de eritrocitos.	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2: Características de una onda.....	9
Figura 2-2: Onda de luz	10
Figura 3-2: Espectro electromagnético	12
Figura 4-2: Elementos de la Reflexión de la Luz	13
Figura 5-2: Refracción de la Luz	14
Figura 6-2: Experimento de Young, Difracción de luz.....	15
Figura 7-2: Interferencia constructiva.....	16
Figura 8-2: Interferencia destructiva.....	16
Figura 9-2: Luz coherente.....	17
Figura 10-2: Luz no coherente.....	17
Figura 11-2: Distintas clases de lentes convergentes: (a) biconvexa (b).....	19
Figura 12-2: Lente Cóncava	20
Figura 13-2: Microscopio Óptico	21
Figura 14-2: LED y sus partes	22
Figura 15-2: Eritrocito sano.....	25
Figura 16-2: Ensamble de lípidos en una solución acuosa. (a) Orientación de las moléculas de agua para mantener los puentes de hidrogeno. (b) Monocapa lipídica. (c) Disposición abierta de la matriz lipídica.....	36
Figura 17-2: a) Lípido de la membrana.b.1) Movimiento de traslación. b.2) Flip-flop.....	37
Figura 18-2: Membrana del Eritrocito	39
Figura 19-2: Representación geométrica de las conformaciones lipídicas. (a) Cono invertido, (b) Cilíndrico y (c) Cono.....	40
Figura 1-3: (a) Diagrama del montaje experimental. 1- Lámina portaobjetos. 2-Sangre extendida. 3-puntero del LED IR. 4-Cono de luz. (b) Detalle del puntero. Se muestra que el diámetro del spot es de 5mm.....	44
Figura 2-3: Ilustración del método para preparar extensiones de sangre.....	45
Figura 1-4: Diagrama de la zona irradiada de diámetro di.	49

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-4: Curva de normalidad de las deformaciones del eritrocito	51
Gráfico 2-4: Eritrocitos Degradados y Deformados vs Energía	54
Gráfico 3-4: Degradados de color vs Energía.....	56
Gráfico 4-4: Eritrocitos Dentados vs Potencia.....	57
Gráfico 5-4: Eritrocitos Pila en Moneda vs Energía.....	57
Gráfico 6-4: Eritrocitos Acantocitos vs Energía	58
Gráfico 7-4: Eritrocitos Drepanocitosis vs Energía	58
Gráfico 8-4: Eritrocitos Espiculares vs Energía.....	59
Gráfico 9-4: Total de Eritrocitos (normales + deformados).....	60
Gráfico 10-4: Total de eritrocitos normales.....	61
Gráfico 11-4: Total de Eritrocitos deformados	61

LISTA DE ABREVIATURAS.

1. LEDs = Diodos emisores de luz
2. IR = Infrarrojo
3. λ_0 = Longitud de onda del haz luminoso
4. P_0 = Potencia
5. A^* = área del spot de la fuente
6. A_i = área irradiada
7. A_v = Campo de observación del área
8. D_T = Coeficiente de difusión de traslación horizontal
9. D_{TRAN} = Coeficiente de difusión transversal
10. AE = Agentes externos
11. $R\Delta$ = Radio de la base del cono
12. $R\nabla$ = Radio de la base del cono invertido
13. R= Radio del cilindro
14. ξ = Energía
15. ξ_{rot} = Energía de rotación
16. ξ_{tras} = Energía de traslación
17. t = Tiempo
18. $\langle X \rangle^2$ = Distancia media que recorre el lípido
19. mJ = milijulio
20. mW = miliwatts

RESUMEN

El objetivo de este trabajo, fue determinar los cambios morfológicos del eritrocito humano al irradiar con luz no coherente de un diodo electroluminiscente infrarrojo con una longitud de onda de 940nm, la misma que se llevó a cabo en los laboratorios de Química, en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. El experimento consiste en la irradiación de las extensiones del tejido sanguíneo, con una potencia constante de 10mW a varios intervalos de tiempo: 30s, 60s, 180s, 300s, 600s y 900s, a partir de estos datos obtenemos la energía, las muestras son presentadas en placas para su estudio. Entonces luego del trabajo de laboratorio obtenemos los resultados que son analizados mediante software de análisis estadístico SPSS y para la prueba de normalidad de los datos obtenidos, se utilizó el test de Kolmogorov Smimov, es así como se demuestra la distribución normal de los datos. La validación de Hipótesis se utilizó el t de Student ya los resultados son normales. Luego del análisis estadístico los resultados indican que, a mayor energía aplicada a las extensiones de sangre, las deformaciones de los eritrocitos aumentan en diferentes tipos de deformaciones. En conclusión, en este trabajo experimental se comprueba que en el tejido extendido y valores de Energía inferiores a 9000mJ, las deformaciones más numerosas son los Dentados mientras que para 9000mJ las deformaciones morfológicas de los eritrocitos es de tipo Espiculares.

PALABRAS CLAVES: <BIOFÍSICA>, <ÓPTICA>, <DIODO ELECTROLUMINISCENTE INFRARROJO>, <CÉLULAS SANGUÍNEAS>, <ERITROCITO HUMANO >, <LUZ NO COHERENTE>.

ABSTRACT

The aim of this work was to determine the morphological changes of the human erythrocyte by irradiating with non-coherent light from an infrared electroluminescent diode with a wavelength of 940nm, the same that was carried out in the chemistry laboratories, in the Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. The experiment consists of the irradiation of the extensions of the blood tissue, with a constant power of 10mW at several time intervals: 30, 60, 180, 300, 600 and 900s, from this data we obtain the energy, and the blood samples are placed by plaques. Then, after the lab work we get the results. These results are analyzed using statistical analysis software SPSS and for the normality test of the obtained data, the Kolmogorov Smirnov test was used, this is how the normal distribution of the data is demonstrated. Student's t was used for the validation of Hypothesis and the results are normal. After the statistical analysis the results indicate that: a higher energy applied to the blood extensions, the deformations of the erythrocytes increase in the different types of deformations. In conclusion, in this experimental work it is found that in extended tissue and Energy values lower than 9000mJ, the most numerous deformations are the Dentate ones, whereas for 9000mJ the morphological deformation of the erythrocytes is of the Spicular type.

KEY WORDS: <BIOPHYSICS>, <OPTICS>, <INFRARED ELECTROLUMINESCENT DIODE>, <BLOOD CELLS>, <HUMAN ERYTHROCYTE>, <NON-COHERENT LIGHT>.

INTRODUCCION

En la actualidad los diodos emisores de luz (LEDs) están reemplazando rápidamente a otras fuentes de iluminación, son hoy la tecnología preferida para diferentes aplicaciones terapéuticas. Estos dispositivos son usados por sus propiedades analgésicas, Antiinflamatorias y bioestimulantes que presenta la irradiación luminosa. Debido a que en la actualidad se necesita establecer la dosis óptima para el empleo clínico de este rayo, ya que bajo ciertas condiciones pueden llegar a ser perjudiciales para la salud. (Davis, 2003)

Los eritrocitos o glóbulos rojos, son las células más importantes de la sangre, la función principal es el de transmitir oxígeno a todo el cuerpo, son células sin núcleo y altamente diferenciadas que no poseen la capacidad de división. (Esperanza Purón, 2010)

En 1979 los científicos M. Singh y T. M. Vatsala realizaron un estudio sobre la exposición de distintos niveles de energía sobre el eritrocito humano utilizando un láser de He-Ne, se obtuvo como resultado cambios morfológicos del eritrocito humano, señalando que estos cambios eran por las propiedades de coherencia del láser y la polarización de la irradiación. (Puron, y otros, 1996)

En 2010 Esperanza Purón y Antonio Fontela realizaron un artículo científico con el tema “Cambios morfológicos del eritrocito humano irradiado con luz no coherente de un diodo electroluminiscente infrarrojo”, ellos corroboraron que no es necesaria la coherencia de la onda electromagnética para deformar los glóbulos rojos. Esta técnica operatoria requiere de mucho menos volumen de sangre que las técnicas consultadas en la literatura. (Fontela, 2002)

Este estudio se realizó posteriormente en el año 1999 por físicos cubanos cambiando la fuente de luz láser de He-Ne por luz no coherente y no polarizada de un LED infrarrojo (IR). Los resultados obtenidos con LED reflejaron las deformaciones ya reportadas, así como la aparición de otras nuevas con la variación de la energía. En este caso los cambios morfológicos no dependen de la presencia de luz polarizada ni de luz coherente. (Puron, y otros, 1996)

El presente trabajo de titulación consta de los siguientes capítulos:

El Capítulo I se presenta el planteamiento del problema de la investigación, la justificación en base a antecedentes de investigaciones similares realizados alrededor del mundo y los objetivos que fueron la base fundamental en el cumplimiento y desarrollo de este Trabajo de Titulación.

Capítulo II se detalla el marco teórico el cual será guía para el desarrollo del trabajo de titulación considerando los siguientes temas: Óptica física y Óptica geométrica, instrumentos ópticos, la célula sanguínea (eritrocito) y las diferentes deformaciones del eritrocito humano.

Capítulo III se explica la metodología utilizada para esta investigación como la hipótesis y variables, tipo y diseño de investigación, unidad de análisis, población de estudio, selección de la muestra, equipos y materiales utilizados, procedimiento para la obtención de los datos y técnicas de recolección de los mismos y su análisis e interpretación.

Capítulo IV se realiza la interpretación de los resultados obtenidos en la investigación, como las deformaciones morfológicas de los eritrocitos, las conclusiones, recomendaciones y la bibliografía que permitió corroborar los resultados obtenidos en este Trabajo de Titulación.

CAPÍTULO I

1. MARCO REFERENCIAL

1.1 Identificación del Problema

El eritrocito o glóbulo rojo es la célula encargada de transportar el oxígeno en todo el organismo, son células sin núcleo y altamente diferenciadas que no poseen la capacidad de división, los mismo que poseen una forma oval, bicóncava, aplanada, con una depresión en el centro, que permite el intercambio de oxígeno con el medio que lo rodea otorgando flexibilidad para poder atravesar los capilares, donde liberan la carga de oxígeno. Las membranas de los glóbulos rojos están compuestas en mayor porcentaje de proteínas y lípidos, los mismo que bajo la acción de un campo electromagnético sufren deformaciones morfológicas que comprende tamaño, forma y color.

Debido al avance de la tecnología se ha implementado la utilización de los LEDs para mejorar la calidad de vida, por lo cual en los últimos años se ha estudiado los efectos de la luz sobre los eritrocitos. Siendo necesario establecer la dosis óptima para el empleo clínico de este rayo ya que bajo ciertas condiciones puede llegar ser perjudicial para la salud humana.

Desde que A. van Lewenhock reportó una deformación eritrocitaria el día 25 de septiembre de 1699 se inicia el estudio morfológico del eritrocito como señal de una posible enfermedad y 280 años después reportan deformaciones similares ocasionadas por un láser de He-Ne de baja potencia, desde entonces se comienza el estudio de los efectos de la luz sobre los eritrocitos. Las deformaciones reportadas en eritrocitos sanos sometidos a irradiación, según los autores citados, es debido a la coherencia de la luz láser. (Esperanza Purón, 2010)

El presente trabajo de investigación se ejecuta, porque no existen estudios previos realizados en condiciones de la sierra ecuatoriana (temperatura, presión y altura), ya que en la actualidad existe interés por el estudio de la interacción de la luz coherente y no coherente con la célula viva, irradiando eritrocitos utilizando una LED IR.

1.2 Formulación del Problema

¿Cuáles serán los cambios morfológicos del eritrocito humano irradiado con luz no coherente de un diodo electroluminiscente infrarrojo en la sierra ecuatoriana?

1.3 Justificación

Debido al empleo actual de los campos magnético y electromagnético en el tratamiento médico de diversas enfermedades, como son la terapia Foto-dinámica, la Terapia Magneto-Laser y la Magnetoterapia entre otros, es necesario estudiar el efecto que estas fuentes puedan causar sobre el cuerpo humano especialmente en los eritrocitos debido a que es la célula más simple del organismo y no presenta núcleo.

Por otra parte, no solo poseen importancia biológica, las ondas electromagnéticas de longitudes de ondas comprendidas desde el ultravioleta que van de 10nm – 400nm y el infrarrojo con longitudes de onda desde los 800nm - 2500nm, sino también porque que altera la forma y las características funcionales de los eritrocitos debido a que el campo magnético actúa por la presencia de hierro que tiene la hemoglobina, lo que indica que las ondas electromagnéticas son capaces de dañar a los glóbulos rojos lo cual vincula al tema tratado.

Por las razones antes mencionadas, en el presente trabajo de titulación se propone verificar los tipos de deformaciones de eritrocitos bajo la acción de la luz no coherente de un diodo electroluminiscente infrarroja irradiando con una potencia constante y diferentes intervalos de tiempos, la cual determinara los cambios morfológicos del mismo, pero en condiciones climáticas en la sierra ecuatoriana. En este sentido, y considerando que en la facultad de ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo nos facilita el laboratorio de química instrumental para realizar nuestra investigación, el cual está debidamente equipada con los materiales e instrumentos de trabajo, creemos que es necesario implementar un esquema experimental para estudiar los cambios morfológicos de eritrocito humano, ya que los resultados de esta investigación podrían ser utilizados en el futuro como ayuda en la sociedad general en el diagnóstico de enfermedades hematológicas y tener como una dosis óptima para uso clínico.

1.4 Antecedentes

En el año 1997, Esperanza Puron Sopeña, Antonio M. Fontela, Serleides de Roux y Sonia López. Realizaron un estudio de *“Efectos biológicos de la luz no coherente y no polarizada de GaAs en eritrocitos humanos”* en el cual los bajos niveles de luz infrarroja provocan modificaciones en las células humanas, el cual consistió en irradiar con un diodo GaAs infrarrojo de 6 mW de potencia con intervalos de tiempo de 1 a 30 minutos en 82 pacientes. También se encontró un umbral de tiempo que la luz induce cambios en las células sanguíneas normales cambiando su morfología mostrando modificaciones independientes de la edad del paciente. Este fenómeno puede explicarse considerando el movimiento de rotación de los lípidos en ambas superficies de la bicapa lipídica, su campo magnético e interacción con la hemoglobina de hierro. (Puron, y otros, 1996)

En el año 1999, Purón – Sopeña, Antonio Fontela, Elda Palom, Carmen Camber, Serleides de Roux, Arllene Pérez, Yaise González. Realizaron un estudio de *“Discusión de los efectos de la luz con varias longitudes de onda en los eritrocitos humanos”*. Los resultados se obtuvieron utilizando diferentes fuentes de luz como Láser HeNe de 675nm y 785nm, láser GaAs de 904nm y 940nm para la irradiación de sangre. Se encontró, que si se irradiaban los glóbulos rojos un tiempo determinado con estas fuentes las células sanguíneas mostraban cambios diferentes a su conformación normal, comprobándose que existe un nivel de energía umbral de $E = 35\text{J}/\text{cm}^2$, para la deformación de los eritrocitos y longitudes de onda mayores de 700nm, y otra energía de $E = 1.74\text{J}/\text{cm}^2$ para longitudes de onda menos de 700nm en ambos casos la deformación aumenta con el tiempo de irradiación. Los cambios en la forma de los eritrocitos no son reversibles por su naturaleza y son dependientes de la longitud de onda y el tiempo de irradiación y son independientes de la luz polarizada, la edad, el sexo y la raza en general. (Sopeña, y otros, 1999).

En el año 2010 Esperanza Purón, Antonio Fontela, Roberto Homs, Rodney Hechavarría, Elda Palomo. Realizaron un estudio de *“Cambios morfológicos del eritrocito humano irradiado con luz no coherente de un diodo electroluminiscente infrarrojo”* En el presente trabajo se realizó un nuevo método experimental para analizar las deformaciones de los eritrocitos bajo la acción de luz cuasi monocromática no coherente. El método consistió en irradiar extensiones del tejido sanguíneo con diferentes valores de potencias e intervalos de tiempo, como fuente de luz se utilizó el LED del equipo de terapia luminosa FOTOTER 101-M obteniéndose las mismas deformaciones reportadas para la irradiación en volúmenes grandes de muestra cómo se verifico con las técnicas consultadas en la literatura bibliográfica. Los resultados de esta investigación podrían ser utilizados en el futuro como ayuda en el diagnóstico de enfermedades hematológicas. (Purón, y otros, 2010).

En el año 2011 A. M. Fontela y E. Purón. Realizaron una investigación de *“Efecto del Campo Magnetostático sobre la Membrana del Eritrocito Humano”* en este trabajo se observó las tres deformaciones de la membrana del eritrocito ya reportadas para ondas electromagnéticas coherentes y no coherentes y se encontró una cuarta alteración morfológica, identificada como pseudoinclusión eritrocitaria (PI), que aún no era reportada para las ondas electromagnéticas antes mencionadas, ni para enfermedad alguna (se presenta como si la célula roja hubiera sufrido “mordidas de ratón” en todo el margen del disco celular. Esta apariencia es originada por el adelgazamiento de ciertas zonas de la periferia) (Fontela, y otros, 2011)

En el año 2016, Vanessa dos Santos Silva, Elizângela Márcia de Carvalho Abreu, Renata Amadei Nicolau, Cristina Pacheco Soares. Realizaron un estudio de *“Análisis comparativo de diferentes dosis de luz coherente (láser) y luz no coherente (diodo emisor de luz) sobre la necrosis celular y la apoptosis: un estudio in vitro”*. Este estudio consistía en evaluar la apoptosis celular y la necrosis con distintos intervalos de tiempo, las mismas que fueron irradiadas con diferentes dosis de luz coherente (láser) o luz no coherente (LED). Los resultados de esta investigación demostraron la estimulación con láser o LED promovió un aumento de la necrosis celular en una afección de alta densidad de energía caracterizada por una terapia de inhibición dependiente de la dosis. La irradiación infrarroja láser o LED en dosis bajas (hasta 20J / cm²) redujo el porcentaje de apoptosis en las células, mientras que las dosis altas (30J / cm²) elevaron la apoptosis. (Silva, y otros, 2016)

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Determinar los cambios morfológicos del eritrocito humano irradiado con luz no coherente de un diodo electroluminiscente infrarrojo en la sierra ecuatoriana.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Irradiar eritrocitos utilizando una LED IR con una longitud de onda de 940nm.
- Realizar el conteo de células deformadas por medio del microscopio óptico.
- Identificar y clasificar los tipos de deformaciones de los eritrocitos atendiendo a las condiciones climáticas de la sierra ecuatoriana.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Óptica física

Es una parte de la física que explica los fenómenos producidos por la interacción de la luz con objetos materiales, cuyas dimensiones son similares a las de la longitud de onda. (Davis, 2003)

2.1.1 Naturaleza de la luz

De acuerdo a Newton la luz está compuesta por corpúsculos que viajaban por el espacio en línea recta; así mismo Huygens, Young y Fresnel consideraron como ondas similares a las del sonido que requerían un medio para transporte (el éter), el cual posteriormente fue demostrado que dichas ondas resulta de las vibraciones de campos eléctricos y magnéticos que no necesita un medio material para propagarse porque viaja en el vacío ; de la misma manera Maxwell considero que son como ondas electromagnéticas al encontrar sus características similares a las ondas de radio; así también Plank considero que son paquetes de energía llamado cuantos; finalmente de Broglie en 1924 unifica la teoría electromagnética y la de los cuantos demostrando la doble naturaleza de la luz (ondulatoria y corpuscular) (Fontela, y otros, 2011)

2.1.2 *La Luz*

La luz es una forma de energía radiante que se trasmite como una onda electromagnética se propaga en el vacío con una velocidad constante de aproximadamente 300000km/s. La energía radiante fluye en forma de ondas en cualquier medio con una dirección determinada (propagación rectilínea), y sólo es perceptible para el ojo humano cuando interactúa con la materia, que permite su absorción o su reflexión.

2.1.2.1 *Propagación de la luz*

La luz se propaga con una trayectoria rectilínea (que representa la dirección y el sentido de la propagación de la luz) y con una velocidad constante en el vacío de aproximadamente 300000km/s. Cuando incide en un objeto se comporta de diversas maneras, desde el punto de

vista de la óptica geométrica y óptica física como son reflexión, dispersión, difracción, transmisión, absorción y polarización (García, 2007).

La luz emitida por las fuentes luminosas (fuente de luz puntual como lámparas) es capaz de viajar a través de materia o en ausencia de ella, aunque no todos los medios permiten que la luz se propague.

Desde este punto de vista, las diferentes sustancias materiales se pueden clasificar en opacas, traslúcidas y transparentes. Aunque la luz es incapaz de traspasar las opacas, puede atravesar las otras. Las sustancias transparentes tienen, además, la propiedad de que la luz sigue en su interior trayectorias definidas. Éste es el caso del agua, el vidrio o el aire. En cambio, en las traslúcidas la luz se dispersa, lo que da lugar a que a través de ellas no se puedan ver las imágenes con nitidez. El papel vegetal o el cristal esmerilado constituyen algunos ejemplos de objetos traslúcidos.

2.1.3 Onda

Es una perturbación que se propaga desde el punto de producción hacia el medio que lo rodea determinando algunas de sus propiedades físicas como, la densidad, presión, campo eléctrico o campo magnético que se propaga en el espacio vacío o a través de un medio material como agua, tierra, etc. transportando energía y cantidad de movimiento, las mismas se producen como consecuencia de oscilaciones y vibraciones de la materia, propagándose en el tiempo. (Hewitt, 2017).

2.1.3.1 Características de una onda

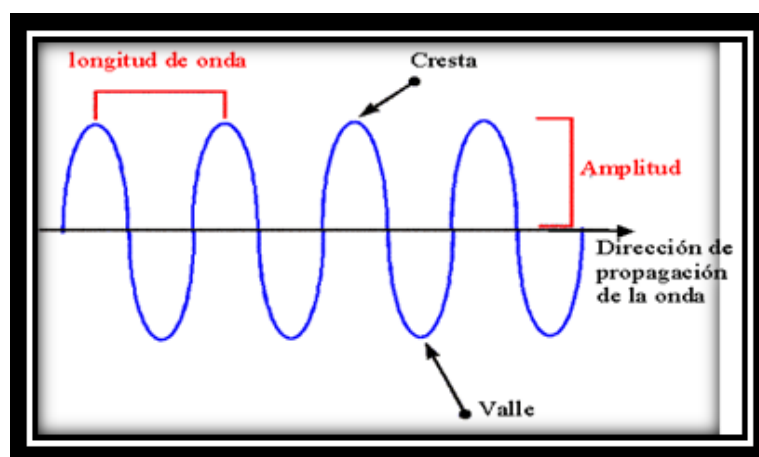


Figura 1-2: Características de una onda
Fuente: (Laura, 2009)

- **Cresta:** Es el máximo valor positivo de la amplitud.
- **Valle:** Es el máximo valor negativo de la amplitud.
- **Amplitud (A):** Es la máxima distancia de cualquier punto de la onda respecto a su posición de equilibrio. Podría decirse que es la altura de la onda.
- **Longitud de onda (λ):** Es la separación entre dos puntos máximos de una onda con amplitud definida, es decir la distancia entre dos crestas consecutivas o entre dos valles consecutivos.
- **Frecuencia (f):** Es la cantidad de ondas que se propagan en cada unidad de tiempo.
- **Periodo (T):** Es el tiempo que emplea la onda en realizar un desplazamiento total, llamada elongación.
- **Velocidad de propagación:** Es el cociente entre la longitud de onda y el periodo.

2.1.3.2 Onda de luz

Es una onda transversal magnética, que resulta de las vibraciones de campos eléctricos y magnéticos que no necesita un medio material para prolongarse viaja en el vacío como todas las ondas electromagnéticas con una velocidad de 299.792.458 metros por segundo. (Hewitt, 2017)

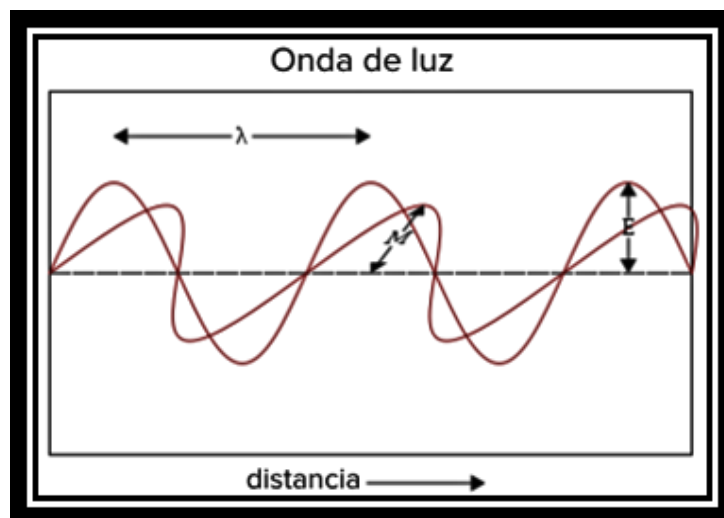


Figura 2-2: Onda de luz
Fuente: (Davis, 2003)

2.1.3.3 Onda electromagnética

El conjunto del campo eléctrico y del magnético asociados a un mismo conductor se denomina campo electromagnético y cuando todo el sistema de campos se desplaza, se dice que existe una onda electromagnética, que transportan energía y momento la energía transportada viene descrita por la intensidad, es decir por la potencia media por unidad de área incidente sobre una superficie

perpendicular a la dirección de propagación en el vacío a una velocidad de $c = 299.792 \text{ km/s}$. (Revilla, 2000).

2.1.4 Espectro electromagnético

El conjunto de todas las radiaciones de distinta frecuencia en que puede descomponerse la radiación electromagnética se le denomina espectro electromagnético (Revilla, 2000).

➤ Ondas de radio

Es una perturbación física producida por un intercambio energético originado por fuerzas eléctricas y magnéticas que cambian periódicamente, desplazándose con el tiempo cuya longitud de onda está comprendida desde los $100 \mu\text{m}$ a 100 km .

➤ Ultravioleta (UV)

Es una radiación electromagnética, forma parte de los rayos solares y resulta perjudicial para la vida, aunque la capa de ozono filtra la mayor parte, evitando que llegue a la superficie terrestre cuya longitud de onda está comprendida entre los 10nm a 390 nm .

➤ Luz visible

Es una pequeña región del espectro electromagnético que se puede percibir por el ojo humano y nos permite ver los objetos, cuya longitud de onda va desde los 390 nm a 760 nm .

➤ Microondas

Se encuentran dentro de las frecuencias comprendidas entre los 10^8 Hz y 10^{12} Hz , se emplean en las telecomunicaciones en transportar señales de TV o bien en transmisiones telefónicas, cuya longitud de onda está comprendida entre 1 m a 10 mm .

➤ Rayos X

Este tipo de rayos se pueden producirse en dispositivos especiales (tubos de rayos X). Su longitud de onda está aproximadamente entre 10nm a 0.1nm , surgen por la desaceleración de electrones o partículas cargadas. Estas radiaciones tienen gran importancia en los diagnósticos

médicos, ya que pueden penetrar fácilmente el tejido del blando del cuerpo, pero se detienen en la materia sólida como los huesos, correspondiendo a frecuencias entre el rango aproximado de $3 \cdot 10^{16}$ y $3 \cdot 10^{19}$ Hz y una energía desde 120 eV hasta 120 keV.

➤ Infrarrojo (IR)

Son ondas electromagnéticas con frecuencias de aproximadamente 10^{11} Hz a 10^{14} Hz, las cuales son emitida por los átomos de los cuerpos calientes, los cuales se encuentran en una constante e intensa vibración, cuya longitud de onda es aproximadamente de 1 nm a 700nm (Bushong, 2093).

➤ Rayos gamma (γ)

Es un tipo de radiación electromagnética (formada por fotones), producida generalmente por procesos subatómicos como la aniquilación de un par positrón-electrón (des- excitación de un nucleón de un nivel o estado excitado a otro de menor energía) o por la desintegración de elementos radiactivos., cuya longitud de onda es aproximadamente de 100 pm (100×10^{-12} metros) o menores (Bushong, 2093).

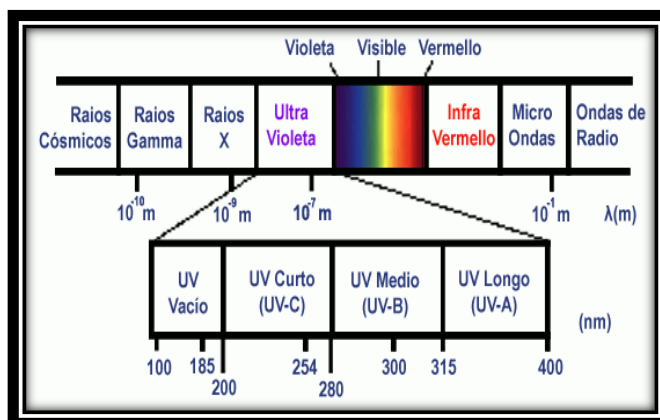


Figura 3-2: Espectro electromagnético
Fuente: (Méndez, 2014)

2.1.5 Reflexión de la luz

Es un fenómeno óptico que se produce cuando un haz, o un rayo de luz se propaga en un medio material homogéneo e isotrópico, esto significa que tiene las mismas propiedades en todas las direcciones, al incidir sobre la superficie de otro medio que posee propiedades físicas diferentes esta se produce cuando el haz de luz se refleja en la misma superficie del haz incidente con el mismo ángulo.

Estas dos características conforman la ley de reflexión óptica.

- El haz incidente, el reflejado y refractado inciden en un mismo plano perpendicular a la superficie de separación entre ambos medios, llamado plano de incidencia.
- El haz incidente y el reflejado forman ángulos iguales con el eje perpendicular a la superficie de separación.

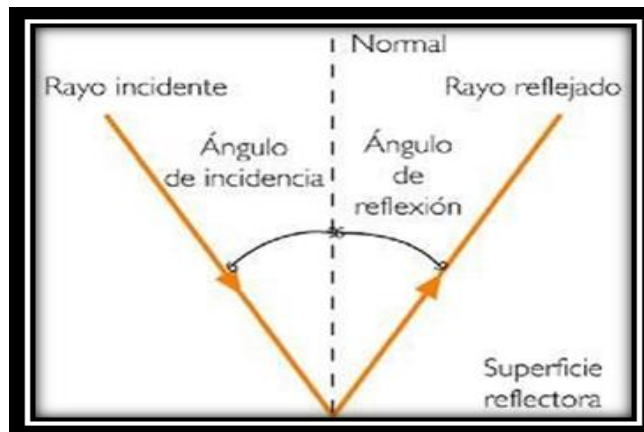


Figura 4-2: Elementos de la Reflexión de la Luz
Fuente: (Merino, 2012)

2.1.5.1 Elementos de la Reflexión de la luz

- **Rayo incidente:** Es el rayo de luz que incide en la superficie
- **Rayo reflejado:** Es el rayo que sale de la superficie
- **Normal:** Es la línea imaginaria perpendicular a la superficie
- **Ángulo de incidencia (i):** Es el ángulo que forma el rayo incidente y la normal
- **Ángulo de reflexión (r):** Es el ángulo que forma la normal y el rayo reflejado

2.1.6 Refracción de la luz

La refracción de la luz es un fenómeno físico que explica el cambio de dirección y velocidad que experimenta un rayo incidente al pasar de un medio a otro con distinto índice refractivo. Solo se produce si la onda incide oblicuamente sobre la superficie de separación de los dos medios y si estos tienen índices de refracción distintos (Fogantini, 2011).

Esta desviación en la dirección de propagación se explica por medio de la ley de Snell propuesta por el físico holandés Willebrord relacionando el ángulo de incidencia y el ángulo de refracción.

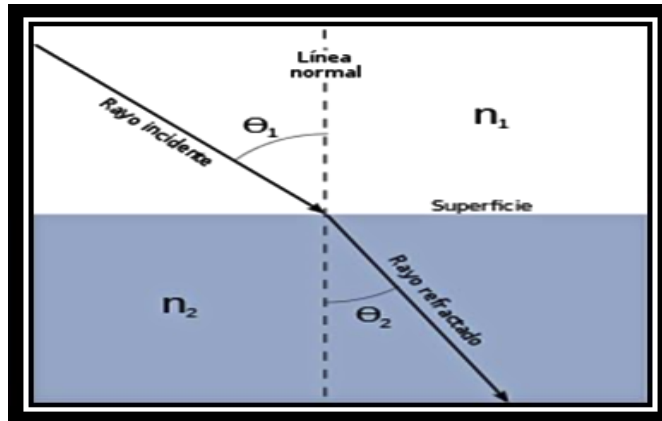


Figura 5-2: Refracción de la Luz

Fuente: (Burbano, 2003)

Enunciada así:

$$n_1 \text{ sen}\theta_1 = n_2 \text{ sen}\theta_2$$

n_1 : Índice de refracción del primer medio

θ_1 : Ángulo de incidencia

n_2 : Índice de refracción del segundo medio

θ_2 : Ángulo de refracción

Donde n_1 y n_2 son los índices de refracción dependientes de las características del medio donde se propaga la luz.

2.1.7 Difracción de la luz

La difracción de la luz se produce cuando la luz emitida por una fuente incide sobre un cuerpo opaco y se divide (se fracciona, se ahí su nombre) en diferentes partes, comportándose a partir de ese punto como entidades separadas. (Rodríguez, y otros, 2008)

Este fenómeno fue observado por Thomas Young (físico y matemático inglés, 1773-1829), al realizar el experimento de la doble rendija, al atravesar luz de una única longitud de onda a través de rendijas en una barrera y observar la luz en una pantalla paralela situada por encima de esta, vio regiones oscuras y brillantes que no se correspondían directamente con las rendijas. Young concluyó que la luz se mueve en el espacio en forma de ondas y tras pasar a través de rendijas, las ondas dan lugar a un patrón de difracción (conjunto de zonas iluminadas y oscuras tras el paso por una rendija que divide la luz) mostrando regiones oscuras y brillantes alternadas, la región brillante procede de máximos de onda que atraviesa ambas rendijas y que alcanza la pantalla exactamente al mismo tiempo; las regiones oscuras proceden de máximos de onda que atraviesan

una única rendija y que alcanzan la pantalla exactamente al mismo tiempo que los mínimos de onda procedentes de otra rendija. (Society, 2007)

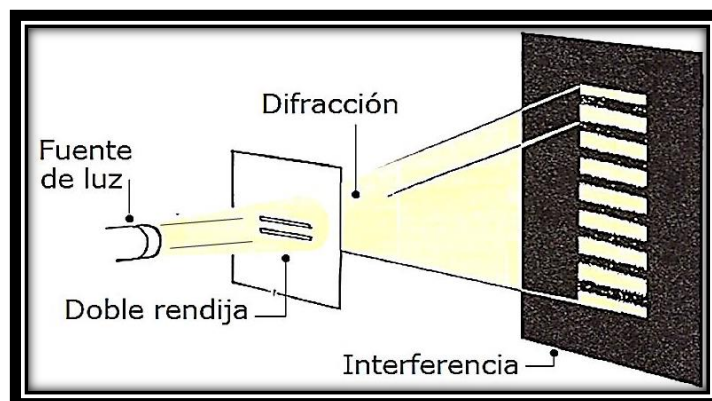


Figura 6-2: Experimento de Young, Difracción de luz
Fuente: (Chena, 2000)

2.1.8 Interferencia

Es el fenómeno que ocurre cuando dos ondas coherentes pasan a través de una misma región del espacio simultáneamente y estas ondas se superponen en algún lugar del espacio, y como resultado se obtiene una nueva onda con la misma frecuencia, pero cuya amplitud es la suma de ambas ondas. Es uno de los fenómenos más característicos de las ondas, que pueden ser constructivos o destructivos (Giancoli, 2006)

2.1.8.1 Interferencia constructiva

Cuando se combina dos ondas armónicas de la misma frecuencia y longitud de onda, pero de diferente fase, la onda resultante es una onda armónica cuya amplitud depende de la diferencia de fase. Si esta diferencia de fase es cero o un número entero de veces 360° , las ondas están en fase y la interferencia es constructiva. La amplitud resultante es igual a la suma de las amplitudes individuales y la intensidad (que es proporcional al cuadrado de la amplitud) es máxima (Peña, 2015).

Para calcular la diferencia de fase se emplea la siguiente ecuación:

$$\delta = \frac{\Delta r}{\lambda} 2\pi \quad (1 - 2)$$

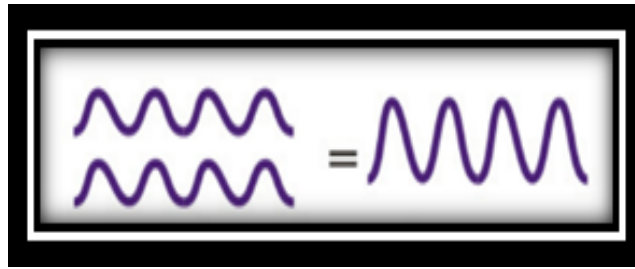


Figura 7-2: Interferencia constructiva
Fuente: (Nuñez, 2017)

2.1.8.2 Interferencia destructiva

Es cuando la diferencia de fase es igual a 180° o un número entero impar de veces 180° , las ondas están desfasadas. En este caso la amplitud resultante es igual a la diferencia entre las amplitudes individuales y la intensidad (la energía emitida) es un mínimo (cero) (Peña, 2015).

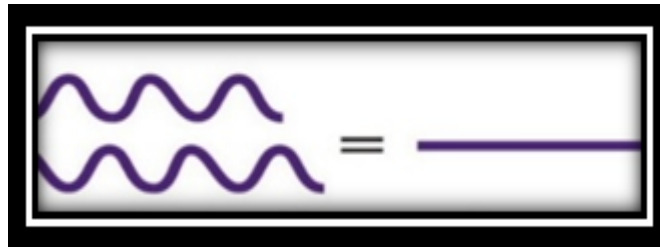


Figura 8-2: Interferencia destructiva
Fuente: (Nuñez, 2017)

2.1.9 Absorción

En física, la absorción de la radiación electromagnética es el proceso por el cual dicha radiación es captada por la materia. Cuando la absorción se produce dentro del rango de la luz visible, recibe el nombre de absorción óptica. Esta radiación, al ser absorbida, puede, ser remitida o bien transformarse en otro tipo de energía, como calor o energía eléctrica.

En general, todos los materiales absorben en algún rango de frecuencias. Aquellos que absorben en todo el rango de la luz visible son llamados materiales opacos, mientras que si dejan pasar dicho rango de frecuencias se les llama transparentes. Es precisamente este proceso de absorción y posterior reemisión de la luz visible lo que da color a la materia. (Fogantini, 2011)

2.1.10 Polarización de la luz

Por lo general, la luz no está polarizada; el campo eléctrico vibra en todas las direcciones perpendiculares a la dirección de propagación. El proceso de polarización de la luz consiste en

confinar las vibraciones del vector eléctrico de las ondas de luz en una sola dirección, es decir la luz esta polarizada cuando atraviesa ciertos filtros polarizadores (material que transmite de forma selectiva una determinada dirección de oscilación del campo eléctrico de una onda electromagnética como la luz, bloqueando el resto de “planos de polarización”) (José Rodríguez García, 1998).

2.1.11 Luz coherente

Es cuando los rayos de la fuente luminosa salen de ella paralelos entre sí, es decir tienen todas las mismas frecuencias y se propagan en la misma dirección, y en forma acompañada o en fase. La luz coherente es monocromática (El haz emitido por el sistema presenta una longitud de onda con una dispersión o ancho de banda muy reducido, se encuentra por debajo de las decimas de Angstrom), puede ser direccional, intensa y de gran pureza de color (Muñoz, 2013).

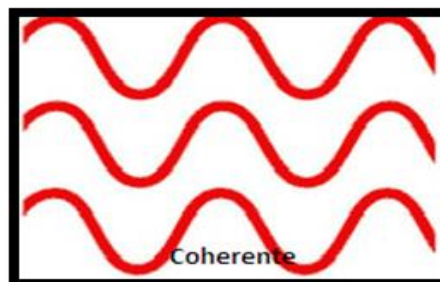


Figura 9-2: Luz coherente
Fuente: (Nuñez, 2017)

2.1.12 Luz no coherente

Esta se produce cuando los rayos de la fuente luminosa salen en múltiples frecuencias y fases de vibración dispersa, se ensancha haciéndose menos intensa en un corto periodo de tiempo. (Muñoz, 2013).

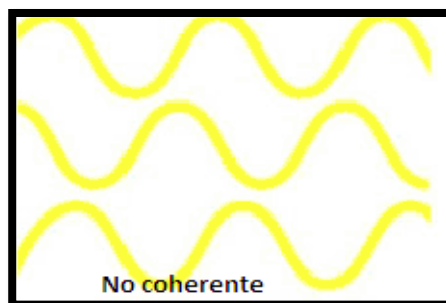


Figura 10-2: Luz no coherente
Fuente: (Nuñez, 2017)

2.2 Óptica geométrica

La óptica geométrica es una parte de la óptica que estudia los cambios de dirección que experimentan la luz, es decir su trayectoria a partir del concepto de los rayos de luz (es una línea en el espacio que corresponde a una dirección del flujo de energía radiante) cuando son reflejados o refractados; para su estudio es muy útil el uso de representaciones geométricas. (María Sagrario Millán, María Sagrario Millán García-Varela, Jaume Escofet Soteras, Elisabet Pérez Cabré, 2004).

2.2.1 Espejo

Un espejo es una superficie pulida, de metal o de vidrio, cubiertos por un lado con una capa de amalgama de estaño y azogue la cual impide el paso de luz, también se denominan particularmente espéculos a los reflectores metálicos de una superficie muy pulimentada que permite observar por reflexión los objetos que se les presenta (Ortiz, 2013).

Los espejos son por su forma, planos, cóncavos y convexos.

2.2.1.1 Tipos de espejo

- **Espejo plano:** Refleja la luz en una superficie plana, mostrando la imagen formada detrás del espejo a una distancia igual a la que se encuentra el objeto. El tamaño de las imágenes formadas por estos espejos planos es igual al tamaño del objeto.
- **Espejo cóncavo:** Posee una superficie reflectante que se encuentra curvada hacia adentro, reflejan la luz haciéndola converger en un punto focal, se los utiliza para focalizar la luz mostrando imágenes de diferentes portes, dependiendo de la distancia entre el objeto y el espejo. Estos espejos se denominan "convergentes" ya que tienden a recolectar la luz que incide sobre ellos, desviando los rayos paralelos de luz que inciden hacia un foco. Esto se produce ya que la luz es reflejada con distintos ángulos, dado que la normal a la superficie varía de un punto a otro del espejo.
- **Espejo convexo:** Es un espejo curvo en el cual la superficie reflectante se encuentra deformada hacia la fuente de luz. Los espejos convexos reflejan la luz hacia afuera, por lo tanto no se utilizan para enfocar luz, estos espejos siempre forman una imagen virtual dado que el foco (F) y el centro de curvatura (2F) son ambos puntos imaginarios "dentro" del espejo, que no pueden ser alcanzados, las imágenes que se forman en este tipo de espejos no pueden ser proyectadas en una pantalla, dado que la imagen se encuentra detrás del espejo.

2.2.2 Lentes

Una lente es un trozo circular y delgado de material transparente, construido normalmente de vidrio, cuyo espesor varía del centro al borde. Las dos superficies de una lente pueden ser planas, cóncavas o convexas dando lugar a las cinco posibles formas de lentes. Sin embargo, a pesar de estas diferencias en la forma, solo existe dos tipos básicos de lentes: lentes convergentes (positivas) y divergentes (negativa) (Cromer, 1981).

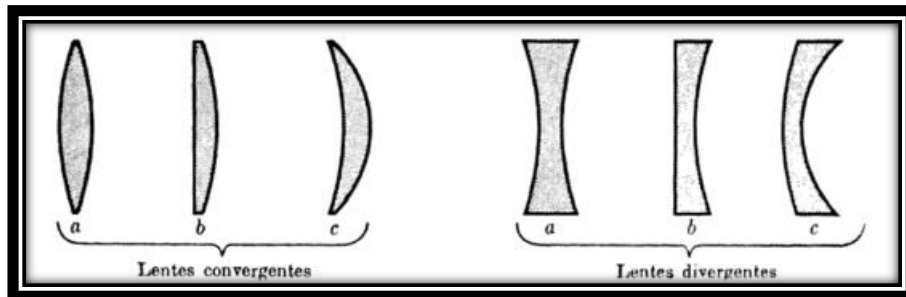


Figura 11-2: Distintas clases de lentes convergentes: (a) biconvexa (b) plano-convexa (c) menisco convergente. Divergentes: (a) bicóncava (b) plano-cóncava (c) menisco divergente.

Fuente: (Cromer, 1981)

2.2.2.1 Tipos de lentes

- **Lentes Convergentes:** Se caracterizan porque concentran los rayos luminosos paralelos que se desplazan a través de ellas, en un punto denominado foco. Se reconocen como tal porque son más gruesas en la parte central y más delgada en la parte periférica cuya imagen es real o virtual según que el objeto este a una distancia de la lente mayor o menor que la distancia focal (Rossi, 1973).
- **Lentes Divergentes:** Son las lentes en los cuales los rayos luminosos paralelos que las atraviesan tienden a dispersarse impidiendo que se constituya un foco que se forma por la proyección virtual de los rayos dispersados, en el mismo lado de la lente de donde provienen los rayos luminosos, llamándose lente negativo.

Las lentes divergentes se reconocen porque son más delgadas en la parte central y más gruesas en la parte periférica, siempre nos da una imagen virtual de objetos reales (Rossi, 1973).

2.2.2.1.1 Lente Bicóncava

Lente simple de un objetivo compuesto cuyas superficies curvas están dirigidas hacia el centro óptico; provoca divergencia de los rayos luminosos (Jerry D. Wilson, 2003).

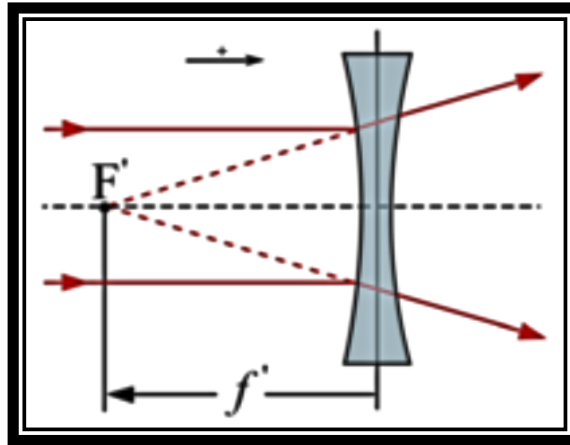


Figura 12-2: Lente Cóncava
Fuente: (Nuñez, 2017)

2.3 Instrumentos ópticos

Tienen como base el conocimiento científico, sirve para procesar ondas de luz con el fin de mejorar una imagen para su visualización, para analizar y determinar las propiedades características de una onda. (Nuñez, 2017)

2.3.1 Microscopio óptico

El microscopio es un instrumento óptico que permite visualizar cuerpos pequeños que no son observados a simple vista, está compuesto por lentes convergentes, sus principales partes son (Montalvo, 2010):

- Platina
- Mandos de enfoque
- Fuente de iluminación
- Filtros
- Condensadores
- Objetivos
- Oculares
- El campo claro
- El contraste de fases

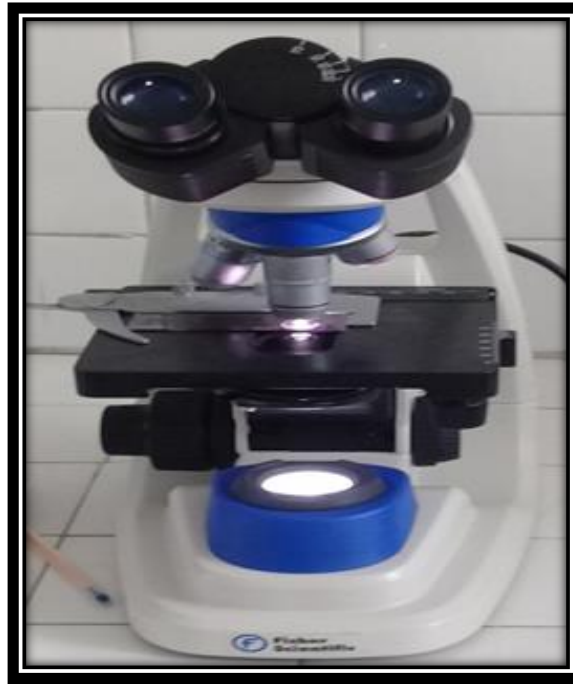


Figura 13-2: Microscopio Óptico
Realizado por: María Iguan, 2018

2.3.1.1 Características del microscopio Optiucio Olympus CX31

- Los objetivos Plan C Acromáticos, corregidos al infinito y desarrollados permiten producir imágenes claras y nítidas hasta el mismo borde del campo visual; (4x, 10x, 40x, 100x aceite)
- Oculares de F.N. 20.
- Tratamiento anti-hongos que ayuda a proteger las partes ópticas aún en regiones de alta humedad
- El revólver porta objetivo, orientado hacia adentro cuádruple mejora el acceso y facilita el cambio rápido del portaobjeto
- Condensador Abbe fijo de A.N. 1.25, centrable y enfocable para la iluminación Köhler
- Un bombillo halógeno de 6V/30W provee iluminación amplia para cualquier observación
- El estativo diseñado ergonómicamente tiene los tornillos micro y macrométricos ubicados en una posición baja y mangos en el frente y la parte posterior para el transporte tope de campo integrado.
- Platina integrada con mandos a derecha diseñada sin cremallera, controles X, Y posicionados bajos con empuñaduras ergonómicas para facilitar la operación.

2.4 Dispositivos eléctricos

Son combinaciones de componentes electrónicos, organizados en circuitos para cumplir una determinada tarea, los cuales utilizan energía eléctrica, alterándola ya sea por transformación, amplificación/reducción o interrupción. (Fontela, y otros, 2011)

2.1.1 LED

Son dispositivos en estado sólido que generan luz, están constituidos por material semiconductor dotado de dos terminales positivo y negativo, al estar el LED encendido libera energía en forma de fotones, el color de la luz depende del material semiconductor utilizado. (Zabala, 2008)

2.1.1.1 Funcionamiento del LED

El funcionamiento del LED depende del proceso de la emisión espontánea de fotones proporcionando luz a partir de los electrones y huecos inyectados, dentro de las ventajas tenemos: (Zabala, 2008)

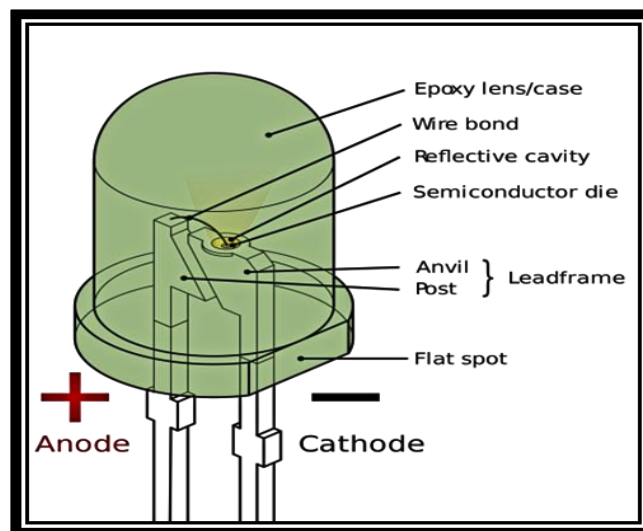


Figura 14-2: LED y sus partes
Fuente: (Nuñez, 2017)

- Mayor rendimiento lumínico por lo cual se logra un ahorro en consumo de 50 - 90% frente a la iluminación tradicional.
- Produce menos calor 60 - 90% que la iluminación tradicional
- La caída de la luminosidad es muy inferior a la iluminación tradicional 3% (3000 horas)

- El encendido y apagado son instantáneo (desde que enciende tiene la máxima luminosidad)
- Su vida útil alcanza las 50.000 horas
- Mejor índice de reproducción cromático
- No contiene gases contaminantes, libre de plomo y mercurio
- Con su consumo tan bajo logramos reducir las emisiones de CO₂ en la producción de energía. (Ortiz, 2014)

2.4.1.2 LED Infrarrojo

Los LED infrarrojos son un tipo específico de diodo emisor de luz que produce irradiación en el espectro infrarrojo esta radiación emitida en este rango no es visible para el ojo humano, pero puede ser detectada por una variedad de dispositivos electrónicos, siendo la utilización del LED ideal para utilizar en dispositivos electrónicos como los controles remotos.

2.4.1.2.1 Características y funcionamiento de los LED`s Infrarrojos

Cuando hablamos de una comunicación o transferencia de datos vía infrarrojo se debe tener en cuenta que dicha comunicación solo se podrá llevar a cabo si existe un emisor y un receptor, cuando tenemos una línea de comunicación de un solo sentido el emisor solo transferirá sus datos al receptor y este último se encargará de interpretar los datos recibidos.

Al utilizar un emisor y un receptor para un mismo procedimiento, estos caen dentro de la clasificación de sensores activos. Si tenemos un circuito más complejo en donde haya una vía de comunicación de ida y vuelta entonces los elementos podrán tener una retroalimentación entre sí (aunque por lo general se utilizan 2 emisores y 2 receptores para estos circuitos).

Dependiendo de la configuración, el voltaje que se emplee, el ángulo de posicionamiento y la longitud de onda, el emisor podrá emitir una señal más fuerte, esto se traduciría en un recorrido más amplio, por ejemplo, un LED infrarrojo de 940 nm con un ángulo de posicionamiento de 12° (grados), alimentado a 1.2 Volts puede alcanzar una distancia máxima de 5 metros en condiciones óptimas.

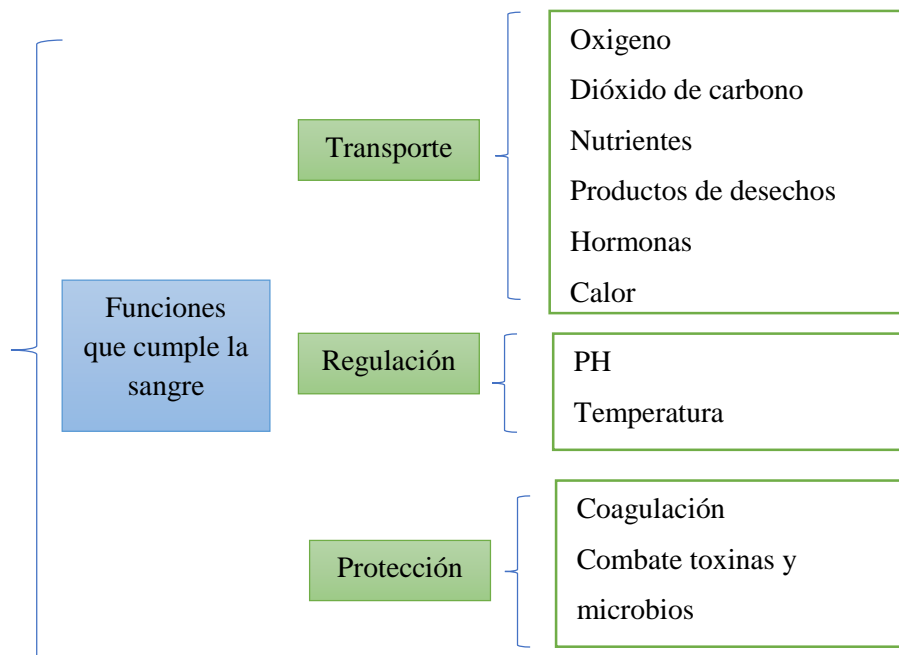
2.5 La sangre

Es un tejido conectivo – líquido que recorre todo el organismo, a través de los vasos sanguíneos, transportando células y todos los elementos necesarios para realizar sus funciones vitales, las mismas que varía su color desde escarlata (rica en oxígeno) a rojo oscuro (pobre en oxígeno), el pH es de 7.35–7.45, la temperatura es 38°C y la cantidad de líquido sanguíneo está relacionada con la edad, el peso, sexo y altura, es así que un adulto tiene entre 4,5 y 6 litros de sangre, el 7% de su peso. (Hirald, 2013)

2.5.1 Composición de la sangre:

- Células (Eritrocitos, Leucocitos, Trombocitos)
- Solución coloidal (Plasma sanguíneo).

2.5.2 Funciones generales de la sangre



2.5.3 Células sanguíneas

Eritrocito

Células anucleadas cargadas de hemoglobina de forma aplanada (disco bicóncavo). Su función es el transporte de oxígeno y CO₂.

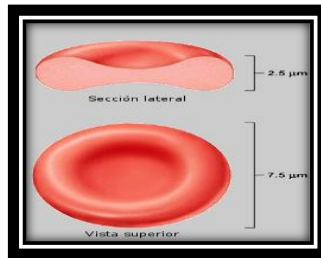


Figura 15-2: Eritrocito sano
Fuente: (Cajas, 2000)

Leucocito

Son células de aspecto blanquecino, con núcleo y características específicas para realizar funciones de defensa en el organismo, en condiciones normales hay unos 4.000 – 11.000 leucocitos (mm³), tienen una vida media variable (días – años).

Trombocito

Fragmentos de células grandes con abundantes vesículas de secreción de forma irregular, pequeño tamaño y sin núcleo. Ayudan a producir coágulos sanguíneos para hacer más lento el sangrado o frenarlo y para facilitar la cicatrización de las heridas.

Plaquetas

Las plaquetas son pequeñas células que circulan en la sangre, participan en la formación de coágulos sanguíneos y en la reparación de vasos sanguíneos dañados, cuando un vaso sanguíneo se lesiona las plaquetas se adhieren al área dañada y se distribuyen a lo largo de la superficie para detener la hemorragia (este proceso se conoce como adhesión).

2.5.4 Fases de maduración del eritrocito

Eritroblasto

Es una de las etapas de maduración del eritrocito mide 12 – 19 μm de diámetro, tiene un núcleo ovalado, grande y homogéneo con citoplasma basófilo (azul) con áreas claras, por lo regular cerca del núcleo y que no es más que restos del aparato de Golgi y mitocondrias (Pronormoblasto). (Hiraldo, 2013)

Normoblasto basófilo

Es un proceso de maduración del eritrocito en el que disminuye su diámetro de 12 – 17 μm , el núcleo es relativamente grande, la cromatina nuclear se aglomera, dando un aspecto de rueda de carreta y con citoplasma basófilo, desaparecen los nucléolos y se conoce también a este proceso como (Normoblasto inicial).

Normoblasto policromático

Forma parte una de las etapas del proceso de maduración de eritrocito que mide de 8 a 14 μm de diámetro, tiene un núcleo más concentrado, casi negro con citoplasma menos basófilo, casi púrpura el cual se torna más acidofilo a medida que la célula madura porque empieza aparecer la hemoglobina (Normoblasto intermedio).

Normoblasto ortocromático

Además de las otras etapas de maduración del eritrocito también esta tiene un diámetro de 8 – 10 μm , con un núcleo pequeño y puede presentar todavía una cromatina aglomerada muy gruesa que desaparece a medida que el núcleo se achica y eventualmente queda como una masa negra azulada sin estructura. Al madurar la célula el núcleo suele ser excéntrico y desaparece por extrusión, fragmentación o disolución. (normoblasto tardío). (Acosta, 2000)

Reticulocito

Es un eritrocito joven que aún tiene un fino retículo basófilo, es ligeramente más grande que el eritrocito y en él se distinguen restos nucleares en su interior. Estos son más visibles cuando se tiñen con azul de metileno o violeta de cresilo, al adherirse a una red de ARN ribosómico (es

un RNA que forma parte de los ribosomas y es esencial para la síntesis proteica en todos los seres vivos). En pacientes sanos se encuentran de 0.2 – 2% (Yanez, 2013)

2.5.5 Propiedades de los eritrocitos

- Mide de 7-8 micras de diámetro.
- La cantidad de eritrocitos considerada normal en la especie humana fluctúa entre: Mujeres: $4 - 5 \times 10^6/\mu\text{L}$ (microlitro) y Hombres: $4,5 - 5,5 \times 10^6/\mu\text{L}$ (microlitro) de sangre.
- Contiene una proteína llamada hemoglobina, con la cual transporta oxígeno desde los pulmones a todas las células del cuerpo, y recoge el CO₂ de los tejidos hacia los pulmones.
- Dan el color rojo a la sangre, debido a la hemoglobina que se encuentra dentro de ellos (200-300 millones de moléculas)
- Vida media es de 100- 120 días.
- Tiene una membrana de aspecto granular, cuando está en una etapa joven; y lisa en las células envejecidas.
- En la cara interna de la membrana se encuentra el estroma, en la cual se localiza la hemoglobina.
- Tiene una gran plasticidad, que lo hace cambiar de forma, adaptándose al calibre de los vasos pequeños, logrando atravesar vasos y capilares sanguíneos sin que se rompa la membrana.

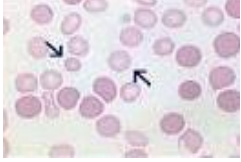
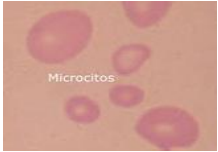
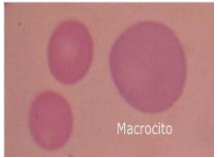
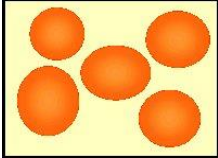
2.6 Alteraciones morfológicas de los eritrocitos

Las alteraciones morfológicas de los eritrocitos cuando son irradiados a longitudes de onda pequeñas se pueden clasificar en: (Acosta, 2000).

- Cambio de tamaño.
- Cambio de forma.
- Cambio de color.
- Inclusiones intra eritrocitarias
- Agrupaciones

2.6.1 Según el tamaño

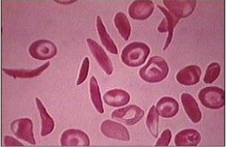

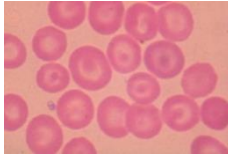
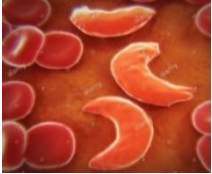
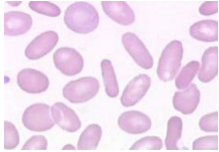
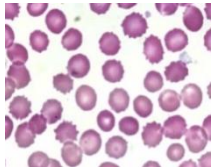
Tabla 1-2: Clasificación de las alteraciones morfológicas de los eritrocitos según el tamaño.

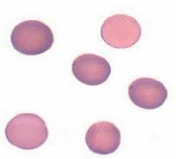


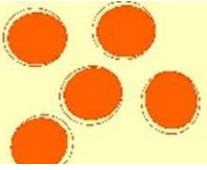

Nombre	Definición	Grafico
Anisocitosis	Hematíes de dimensiones extremadamente variables, presentes en pacientes trasfundidos	
Microcitosis	Hematíes de menor tamaño, están presentes en pacientes con anemias ferropenica.	
Macrocitosis	Eritrocitos de mayor tamaño, aparecen en hepatopatías crónicas y en pacientes con alcoholismo.	
Megalocitosis	Eritrocitos de forma ovalada y sin la claridad central habitual, se encuentra habitualmente en pacientes con anemias Megaloblasticas(carencia de vitamina B12 o ácido fólico)	

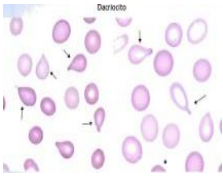
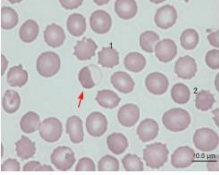
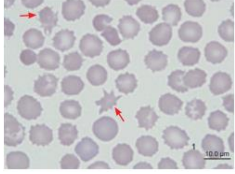
Fuente: (Merino A, 2015)

2.6.2 Según la forma

Tabla 2-2: Clasificación de las alteraciones morfológicas de los eritrocitos según su forma.

Nombre	Definición	Grafico
Poiquilocitosis	Desigualdad o variabilidad en la forma de los hematíes.	
Acantocitosis	Hematíes con espículas irregulares, aparece en enfermedades como cirrosis hepáticas.	
Dianocitosis	Hematíes planos y con una forma de sombrero mexicano, se produce en pacientes con hepatopatías..	
Drepanocitosis	Eritrocito en forma de coma, aparece en pacientes con anemias falciformes y después de hipoxia(es un estado de deficiencia de oxígeno en la sangre).	
Eliptocitosis	Hematíes con forma elíptica u oval, están presentes en enfermedades como anemias ferropénicas o megaloblásticas.	
Equinocitosis	Hematíes con espículas cortas distribuidas regularmente a lo largo de toda su superficie, se produce en enfermedades como la uremia y en las hepatopatías neonatales.	

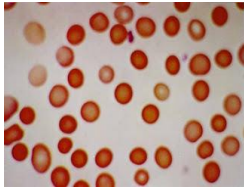
<p>Esferocitosis</p>	<p>Es un eritrocito con una forma esférica de pequeño tamaño. Están presentes en enfermedades como la hidrocitosis, en la anemia inmunoquemolítica y en la esferocitosis hereditaria.</p>	
<p>Esquistocitosis</p>	<p>Hematíes fragmentados. Se produce en enfermedades de hemólisis mecánica por la presencia de una prótesis valvular en el corazón y en las quemaduras graves.</p>	
<p>Estomatocitosis</p>	<p>Hematíes con una hendidura en la región central en forma de boca y uniconcavos. Esta presentes en pacientes alcohólicos y hepatopatías crónicas.</p>	
<p>Excentrocitosis</p>	<p>Hematíes cuya hemoglobina está concentrada en uno de sus polos. Presentes en enfermedades de déficit de glucosa -6-fosfato deshidrogenasa.</p>	
<p>Keratocitosis</p>	<p>Hematíes con dos espículas en su superficie, tiene forma de casco. Presentes en pacientes con anemia hemolítica microangiopática, en la hemólisis por prótesis cardiacas y en el hemangioma cavernoso.</p>	

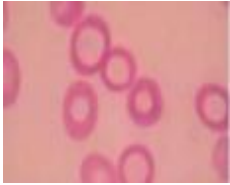
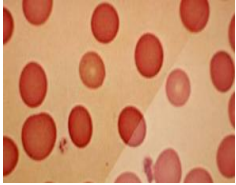
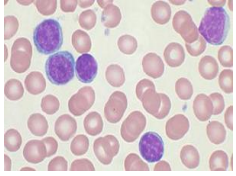
Dacriocitos	Eritrocitos con aspectos de lágrima. Presentes en pacientes con anemias severas, megaloblásticas y ferropénicas, además de alteraciones de medula ósea.	
Dentados	Son eritrocitos con espículas cortas en su superficie, típico de pacientes con Uremia, defectos del metabolismo glicolítico (deficiencia de Piruvato Kinasa) y en algunos pacientes con anemia microangiopática.	
Espiculares	Son hematíes esferoidales que poseen espículas largas distribuidas regularmente por toda su superficie, característico de pacientes con anemias, ingestión de naftalina y en insuficiencia renal.	

Fuente: (Merino A, 2015)

2.6.3 Según el color

Tabla 3-2: Clasificación de las alteraciones morfológicas de los eritrocitos según el color.

Nombre	Definición	Grafico
Anisocromía	Hematíes con falta de uniformidad en la coloración. Presentes en pacientes transfundidos o con anemias carenciales.	

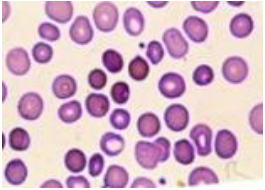
Hipocromía	Eritrocitos pálidos y con claridad central, Están presentes en pacientes con anemias ferropénicas.	
Hipercromía	Hematíes intensamente coloreados. Aparece en pacientes con anemias hereditarias y megaloblásticas.	
Policromasia	Hematíes que presentan una coloración ligeramente basófila.	

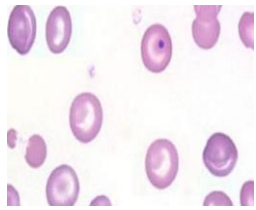
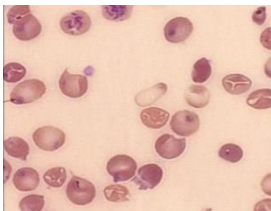
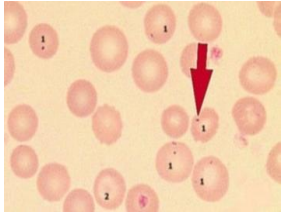
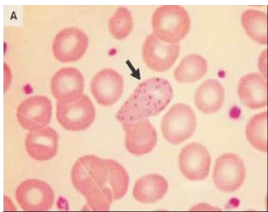
Fuente: (Merino A, 2015)

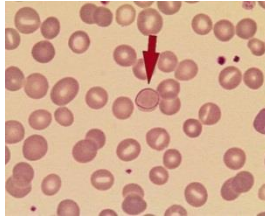
2.6.4 Inclusiones intraeritrocitarias

Normalmente, el eritrocito solo contiene hemoglobina, por lo que en su interior es homogéneo, sin embargo, en algunas ocasiones se puede encontrar elementos extraños en su interior como se describe a continuación:

Tabla 4-2: Elementos extraños intracelulares.

Nombre	Definición	Grafico
Sustancia Granulofilamentosa	Es una sustancia que procede fundamentalmente de restos ribosómicos agregados, es propia de los reticulocitos.	

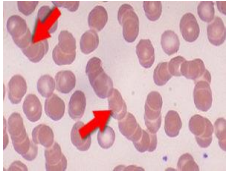
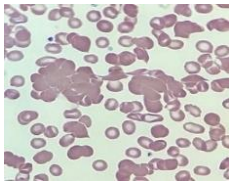
<p>Cuerpo de Howell-Jolly</p>	<p>Es un residuo nuclear el consiste en un grumo visible en el interior de los hematíes, se tiñe de un color que oscila entre el rojo, oscuro y negro. Los cuales están presentes en personas esplenectomizados.</p>	
<p>Cuerpos de Heinz</p>	<p>Son precipitados de hemoglobina, el cual consiste en pequeñas granulaciones situadas en la periferia de los hematíes. Se producen en enfermedades congénitas que se comportan con una inestabilidad de la hemoglobina.</p>	
<p>Cuerpo de Papanheimer</p>	<p>Son acúmulos de hemosiderina unida a proteínas, consisten en gránulos basófilos. Se produce en los enfermos con esplenectomizados y anemias sideroacréticas.</p>	
<p>Punteado basófilo</p>	<p>Inclusiones eritrocitarias, en forma de punteados de color azul grisáceo, que se encuentran en pacientes con anemias hemolíticas, síndromes mielodisplásicos, leucemias, carcinomas.</p>	

Anillos de Cabot	Están formados por restos de la membrana nuclear o de microtubulos, consiste en una especie de hilos basófilos que adoptan una forma de anillo o de ocho y que puede ocupar toda la periferia celular. Están presentes en pacientes con anemia megaloblástica.	
------------------	--	---

Fuente: (Merino A, 2015)

2.6.5 Agrupaciones

Tabla 5-2: Agrupaciones

Nombre	Definición	Grafico
Rouleaux o pila de monedas	Hematíes formados en pilas de monedas, están presentes en pacientes con mieloma múltiple y en poliglobulinemia.	
Criglutininas	Hematíes agrupados, están presentes en pacientes con infecciones por ejemplo neumonía.	

Fuente: (Merino A, 2015)

2.7 Membranas Biológicas

Las membranas biológicas están compuestas por lípidos, proteínas y carbohidratos en menor proporción, las cuales constituyen frecuentemente menos del 5% de su masa total, teniendo en cuenta la gran diferencia de peso molecular entre lípidos y proteínas, en las membranas hay aproximadamente una molécula de proteína por cada 50 lípidos. (Hernández, 2010)

Las diferencias en cuanto a su composición química están dadas atendiendo a la función y al tipo de tejido donde se encuentren.

Tabla 6-2: Composición de la membrana biológica.

Célula	Proteínas	Lípidos	Carbohidratos	Total
Eritrocito	49%	43%	8%	100%
Hepatocito	45%	53%	2%	100%
Ameba	54%	42%	4%	100%

Fuente: (Hernández, 2010)

Una de las características más significativas de los lípidos de la membrana citoplasmática es su enorme diversidad. El principal papel de estos es formar una bicapa que interactúa con las proteínas, los lípidos de la membrana se pueden dividir en cinco grupos principales:

- Glicerofosfolípidos
- Fosfoesfingolípidos
- Glicoglicerolípidos
- Glicoesfingolípidos
- Esteroles principalmente colesterol

Los lípidos más comunes en la membrana son los fosfolípidos derivados del glicerol, llamados glicerofosfolípidos. Todas estas moléculas son anfóteras, es decir, presentan una porción hidrofílica llamada cabeza polar y otra hidrofóbica compuesta por cadenas hidrocarbonadas.

Esta característica permite explicar su disposición en una solución acuosa, la parte polar se orienta hacia el agua y la hidrofóbica hacia la fase no acuosa, formando una bicapa en dicha solución. Las bicapas lipídicas se forman y se cierran por si mismas de manera termodinámicamente espontánea (Hernández, 2010)

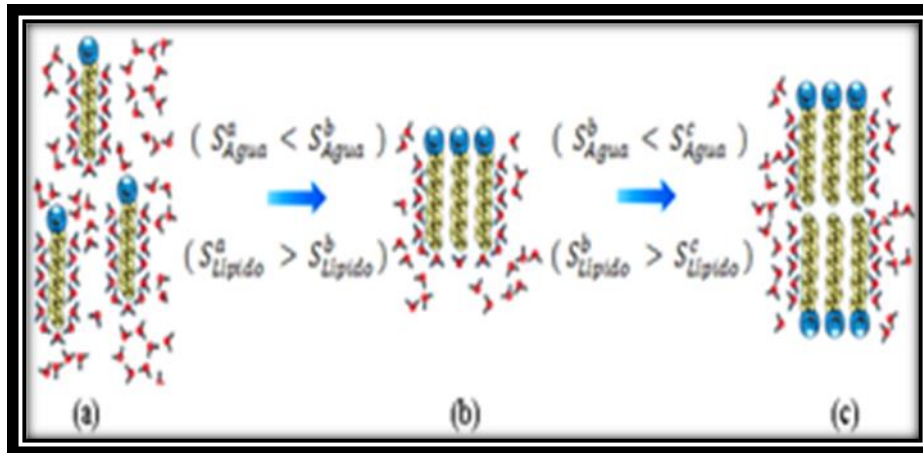


Figura 16-2: Ensamble de lípidos en una solución acuosa. (a) Orientación de las moléculas de agua para mantener los puentes de hidrogeno. (b) Monocapa lipídica. (c) Disposición abierta de la matriz lipídica.
Fuente: (Hernández, 2010)

Las moléculas individuales de lípidos pueden difundirse libremente en una monocapa lipídica, ocurriendo un movimiento de traslación de los lípidos en su propia monocapa, en el mismo plano de la membrana con un coeficiente de difusión de traslación horizontal (D_T). El movimiento en la dirección perpendicular a la membrana, al pasar de una monocapa a la opuesta (flip-flop en inglés), también se puede caracterizar como un proceso difusivo, con un coeficiente de difusión transversal (D_{Tran}). Este tipo de movimiento es poco frecuente en estado fisiológico y sólo se produce uno cada 24 horas aproximadamente.

También se conoce que los lípidos rotan alrededor de su eje longitudinal con una velocidad angular $\omega_0 = 10 \text{ rad/s}$, esta rotación ocurre perpendicular al plano de la membrana. Las cadenas hidrocarbonadas de los lípidos son flexibles, siendo el mayor grado de flexión y rotación cerca del centro de la bicapa (Hernández, 2010), como se observa en el Figura 17-2.

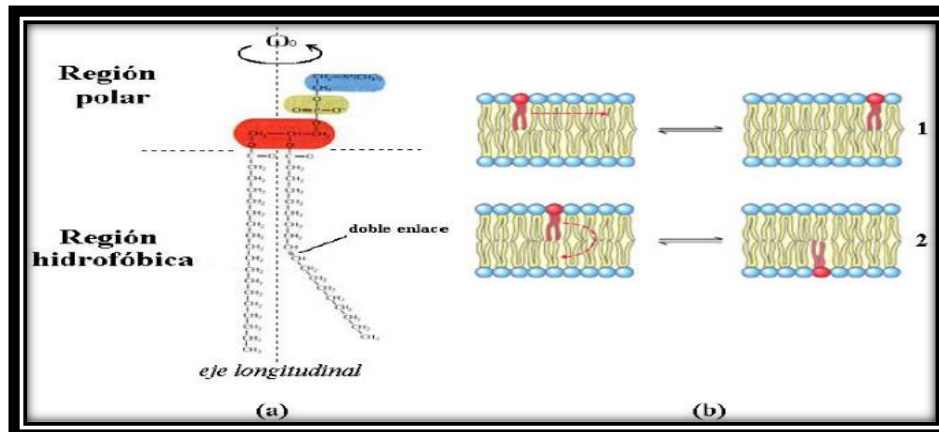


Figura 17-2: a) Lípido de la membrana. b.1) Movimiento de traslación. b.2) Flip-flop.
Fuente: (Hernández, 2010)

La zona central de la matriz lipídica es prácticamente líquida, dependiendo de la fluidez, así como, del número de dobles enlaces en las cadenas hidrocarbonadas y la temperatura del sistema al aumentar estos, se incrementa la fluidez. Esta característica es la responsable de evitar que en la matriz lipídica aparezca una disposición muy regular. Con lo cual, se garantiza que los lípidos se difundan lateralmente intercambiándose con sus vecinos, los que permiten a los lípidos acomodarse mejor a las irregularidades de las proteínas, proporcionándole a la bicapa una estructura fluida en el centro y una casi cristalina, próxima a las regiones hidrofóbicas. (Hernández, 2010)

2.8 Modelo de mosaico fluido

Lo antes expuesto está en perfecta armonía con el Modelo de Mosaico Fluido, propuesto por S.J Singer y G.L. Nicholson en 1972. En el cual los lípidos de la membrana citoplasmática se disponen formando una bicapa. Las proteínas se intercalan en esa bicapa de lípidos dependiendo de las interacciones con las regiones de la zona lipídica. Existiendo dos tipos de proteínas según su disposición en la bicapa: (Hernández, 2010)

- **Proteínas integrales o intrínsecas:** embebidas en la bicapa lipídica, atraviesan la membrana una o varias veces.
- **Proteínas periféricas o extrínsecas:** se encuentran a uno u otro lado de la bicapa lipídica, las que están unidas débilmente por lo que son fácilmente separables de la misma.

Este modelo permite comprender complejas funciones celulares, las mismas que no están dadas solamente por la estructura de la membrana citoplasmática, En condiciones fisiológicas esta realiza diversas funciones como de transporte, de reconocimiento celular, de compensación frente a las variaciones de las condiciones fisiológicas, entre otras. Haciendo difícil el análisis estructural y funcional de las membranas biológicas (Hernández, 2010).

El estudio de las membranas biológicas en condiciones normales se realiza a partir de datos experimentales que permiten analizar aspectos como el potencial de transmembra, la permeabilidad, el flujo difusional y flujo eléctrico, el equilibrio osmótico y el equilibrio Gibbs-Donnan, los transportadores y canales. Estos y otros aspectos permiten caracterizar cada tipo particular de célula y en algunos casos explicar su comportamiento frente a la acción de determinados agentes externos (AE), ya sean físicos o bioquímicos.

Para los agentes externos de tipo físico se tiene que los investigadores C. Cortez-Maghelly, P.M. Bisch y M. Prevost obtienen una expresión para el potencial de transmembra más general que la de Nerst a partir de la ecuación de Poisson - Boltzman, además de establecer la dependencia entre el potencial, la fuerza iónica y la temperatura que permite explicar la deformación de la membrana eritrocitaria por aumento de la temperatura y variación de la concentración iónica sin justificar la deformación producida por la luz. (Hernández, 2010).

2.9 Membrana Eritrocitaria

Es de estructura compleja de lípidos y proteínas, que limita el contenido del eritrocito (hemoglobina y enzimas) del plasma que lo rodea, tiene propiedades de flexibilidad y resistencia que le permiten el paso por capilares estrechos y soportar las presiones mecánicas de las turbulencias vasculares de los distintos territorios que recorre.

Está compuesta por 3 elementos estructurales principales:

- Una bicapa lipídica compuesta por fosfolípidos y colesterol que ejerce la función de barrera de permeabilidad entre el exterior y el citoplasma (50-60%).
- Proteínas integrales intercaladas en la bicapa que abarcan todo el espesor de la misma. Son entre 10 y 12 proteínas principales, y numerosas menores que contribuyen a la flexibilidad o rigidez del eritrocito. Las deficiencias de algunas proteínas pueden causar eliptocitosis, debido a la escasa deformabilidad de los eritrocitos.

- Un esqueleto en el lado interno y en contacto con la lámina interna de la bicapa que proporciona integridad estructural al eritrocito proteínas periféricas como Espectrina (eliptocitosis), Actina, Ankirina (esferocitosis).

2.10 Factores que intervienen en la deformación de la membrana de los eritrocitos.

La viscosidad interna de los glóbulos rojos, su geometría celular, las propiedades de viscosidad y elasticidad de su membrana, son factores determinantes en la deformación de la membrana eritrocitaria. El eritrocito sano en condiciones fisiológicas tiene forma de disco bicóncavo y cualquier desviación de la misma se considera una alteración morfológica (Fontela, 2002).

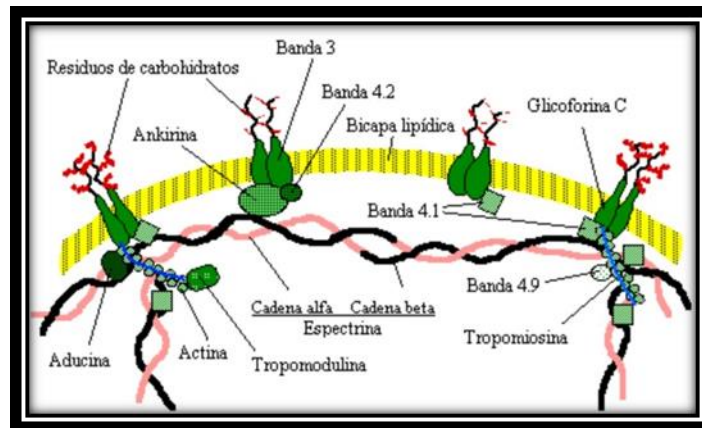


Figura 18-2: Membrana del Eritrocito
Fuente: (Hernández, 2010)

2.11 Modelo de la membrana eritrocitaria

Generalmente son aceptadas por los especialistas tres geometrías moleculares las cuales son Cilíndrica, Cónica y Cónica Invertida, cada una con masa igual al promedio de las masas moleculares de los cinco tipos de lípidos que conforman la membrana antes definidas, Estas tres geometrías espaciales se conservan durante la acción del agente externo (AE) y explican las diferentes formas de asociación y de empaquetamiento espontáneo de los lípidos en las membranas biológicas. La masa, la densidad y la altura del lípido no varían bajo la acción del agente externo, se considera su altura igual a la mitad del ancho de la bicapa.

Por todo lo cual el radio de la base del cono $R\Delta$, el radio de la base del cono invertido $R\nabla$ y el radio del cilindro R . La relación de $R\nabla = \sqrt{3}R$, donde el radio del cilindro se deduce a partir del

área promedio de las superficies circulares de las cabezas polares $R = 0.5\text{nm}$, $R_V = 0.9\text{nm}$. Se asume que $R_V = R\Delta$

Bajo la acción de un agente externo toda la energía absorbida por la molécula es utilizada en efectuar movimientos de flip-flop, por lo cual, en estas condiciones, todos los movimientos son equiprobables y se hacen iguales los coeficientes de difusión correspondientes a cada tipo de movimiento permaneciendo invariable (0). Los lípidos cilíndricos y cónicos invertidos son eléctricamente neutros y los cónicos presentan un centro de carga de signo tal que no altere la electroneutralidad de la célula. (Hernández, 2010)

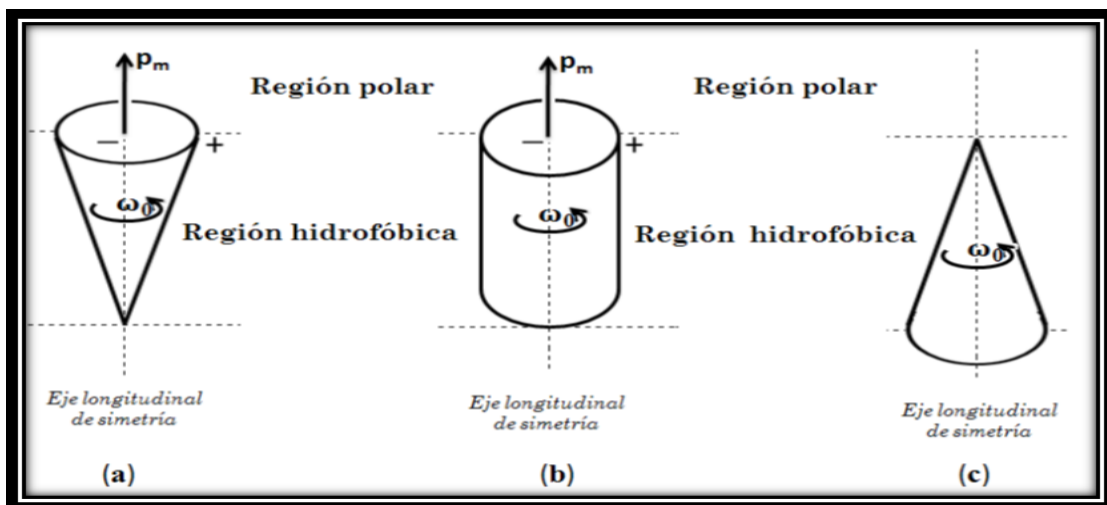


Figura 19-2: Representación geométrica de las conformaciones lipídicas. (a) Cono invertido, (b) Cilíndrico y (c) Cono.

Fuente: (Hernández, 2010)

En condiciones fisiológicas los lípidos se moverán libremente en una monocapa como si fueran sólidos rígidos, una consecuencia inmediata de esta suposición es el cumplimiento del siguiente teorema:

Teorema de Chasles: El desplazamiento más general de un sólido rígido es una traslación más un giro.

Por tanto podemos escribir la energía cinética ξ como la suma de la energía de traslación ξ_{tr} más la energía de rotación ξ_{rot} . El movimiento de los lípidos en una monocapa lipídica es descrito satisfactoriamente por la ecuación de Einstein–Smoluchowski.

$$\langle X \rangle^2 = 2D_T t \quad (2.1)$$

Donde D_T representa el coeficiente difusivo en la monocapa, t el tiempo y $\langle X \rangle^2$ la distancia media que recorre el lípido. Entre la movilidad μ y el coeficiente de difusión D_T tiene lugar la relación de Einstein-Stokes.

$$\mu = \frac{1}{6\pi\eta R} = \frac{D_T}{KT} \quad (2.2)$$

La ecuación (2.1) junto con la relación (2.2) permite expresar los coeficientes de difusión D_T (de la geometría en cuestión) y las velocidades de los centros de masas de las moléculas que difunden. Esto se lleva a cabo para cada geometría lipídica en particular.

Bajo la acción de un agente externo ha de cumplirse $D_T = D_{Tran}$ lo cual trae como consecuencia que exista un movimiento transversal preferencial en los lípidos cónicos invertidos, pues se tiene que los conos invertidos presentan la geometría que requieren menos energía para realizar este movimiento, El cual provoca cambios en la elasticidad de la membrana y la aparición de alteraciones morfológicas, pero cuando los agentes externos dejan de actuar se restablece la condición $D_T \gg D_{Tran}$ Por lo tanto, al cesar la acción del agente externo las alteraciones morfológicas son irreversibles.

Los lípidos de membrana con geometría cilíndrica y cónica invertida se comportan como imanes moleculares permanentes con características magnéticas propias. Debido a la ubicación de sus centros de carga no coincidentes y a su movimiento de rotación alrededor de su eje longitudinal de simetría se origina un campo magnético molecular. Esto puede ser observado en la figura 16-2.

Aproximando la molécula a una espira y considerando el vacío, se tiene que el valor modular del vector inducción magnética de un lípido cilíndrico es dos veces mayor que el de un cónico invertido.

El eritrocito presenta una forma muy particular, que lo distingue radicalmente del resto de las células, cada región de su membrana va a estar constituida mayoritariamente por un determinado tipo de lípido atendiendo exclusivamente a su configuración. Atendiendo a esto se tiene que la región central se encuentra formada mayoritariamente por los lípidos cilíndricos, tanto la monocapa externa como la interna, mientras que la región periférica se encuentran lípidos cónicos en la monocapa interna y cónicos invertidos la externa.

El movimiento transversal originado por el agente externo en la región central da como resultado un intercambio de geometrías lipídicas idénticas en esta zona. Por el contrario, en la región periférica, el movimiento transversal produce un intercambio de geometrías lipídicas opuestas entre la monocapa externa y la interna lo que altera el empaquetamiento lipídico de las monocapas originando variaciones superficiales de esta región. (Hernández, 2010)

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Hipótesis

Detección de cambios morfológicos del eritrocito humano irradiado con luz no coherente de un diodo electroluminiscente infrarrojo en la sierra ecuatoriana, contribuirá en el futuro como ayuda en el diagnóstico de enfermedades hematológicas.

3.1.1 *Hipótesis nula:*

H₀: No se registran nuevos cambios morfológicos ni patrones específicos, al irradiar con luz no coherente de un diodo electroluminiscente infrarrojo en condiciones de la sierra ecuatoriana

3.1.2 *Hipótesis alternativa:*

H₁: Detección de nuevos cambios morfológicos o de un patrón en las deformaciones ya existentes del eritrocito humano irradiado con luz no coherente de un diodo electroluminiscente infrarrojo a una energía de 300-9000 mJ, en condiciones de la sierra ecuatoriana.

3.2 Operacionalización de variables

Tabla 1-3: Descripción de las variables dependientes e independientes

Variable independiente	Definición conceptual	Indicador	Índice
Deformaciones del eritrocito humano	Los eritrocitos en su estado fisiológico normal, tienen, por lo común, la forma de discos bicóncavos, cualquier desviación de la misma se considera una alteración morfológica al aplicar irradiación con una LED IR.	Forma, color y tamaño	julios

Variable dependiente	Definición conceptual	Indicador	Índice
Tipo de deformaciones y número de células deformadas en la Sierra Ecuatoriana.	Es la propiedad de los eritrocitos para cambiar sus características normales bajo condiciones estándar (flujo electromagnético)	Cantidad de la energía de emisión del LED.	Identificación y conteo

Realizado por: María Ilguan, 2018

3.3 Tipo y Diseño de la investigación

El presente trabajado de titulación fue de carácter experimental, debido a que se trata de determinar los cambios morfológicos del eritrocito humano, al aplicar irradiación con luz no coherente de un diodo electroluminiscente infrarrojo en la Sierra Ecuatoriana, Cantón Riobamba.

3.4 Unidad de análisis

En esta unidad se analizó la cantidad de radiación que se aplicó a cada frotis de sangre, en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo donde la variable observable es el tiempo de irradiación que se realiza a cada placa del frotis de sangre.

3.5 Población de Estudio

La población se consideró a 21 personas varones tomadas al azar dentro de las edades de 20 años hasta los 30 años de donantes sanos desde el punto de vista hematológico, los mismos fueron seleccionados de una población de 50 personas.

3.6 Tamaño de la Muestra

La muestra se consideró igual a la población

3.7 Técnica de recolección de datos

Observación

3.8 Equipos y materiales

➤ Fuente de luz utilizada

Las características generales de la fuente utilizada en el experimento son:

P_o es la potencia expresada en miliWatts (mW), λ_o es la longitud de onda del haz luminoso expresada en nanómetros (nm), A^* es el área de la mancha luminosa, (denominada en la literatura como spot) de la fuente utilizada LED IR dada en (cm²)

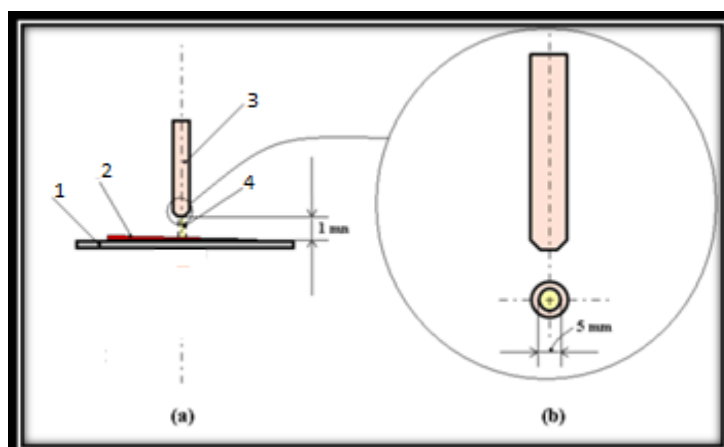


Figura 1-3: (a) Diagrama del montaje experimental. 1- Lámina portaobjetos. 2- Sangre extendida. 3- puntero del LED IR. 4- Cono de luz. (b) Detalle del puntero. Se muestra que el diámetro del spot es de 5mm.

Fuente: (Hernández, 2010)

Tabla 2-3: Características de la fuente utilizada

No	Fuente	λ_o (nm)	P_o (mw)	A^* (cm ²)
1	LED Ga-As	940	10	0.20

Realizado por: María Ilguan, 2018

➤ Selección de muestra de sangre

El experimento se realiza con sangre de donantes sanos desde el punto de vista hematológico, seleccionada por especialistas del laboratorio clínico.

➤ Extensión del tejido sanguíneo

Se vierte una gota de sangre y se extiende en láminas portaobjetos como se muestra en la Figura 2-3. Esto permite obtener una monocapa de no más de 5 micras (espesor de unos hematíes), Es recomendable que las extensiones sean realizadas por la misma persona que realiza el experimento, la cual debe ser lo más experimentada posible; con lo que garantiza que todas las extensiones hayan estado sujetas en cierto grado de aproximación a las mismas deformaciones mecánicas. Una correcta elaboración de la extensión evita que los glóbulos rojos aparezcan aglutinados en toda la extensión.

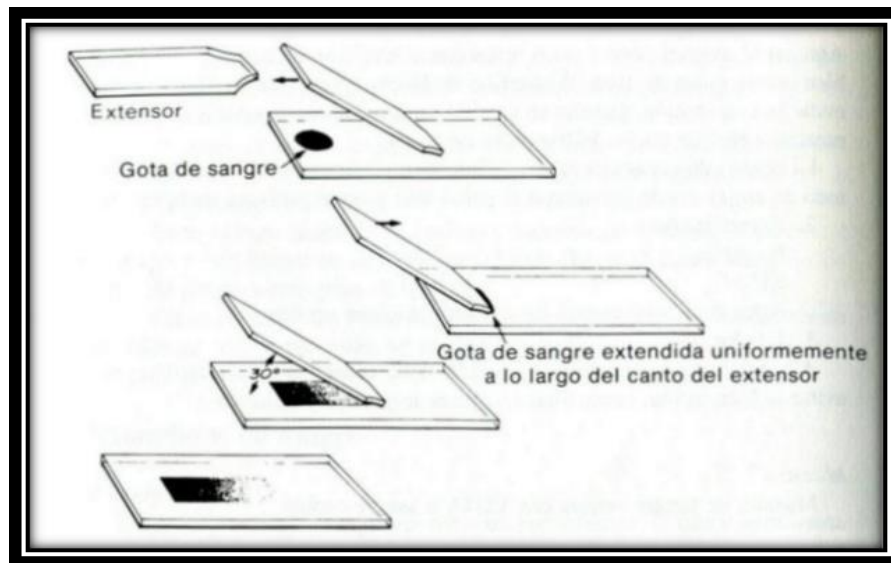


Figura 2-3: Ilustración del método para preparar extensiones de sangre.
Fuente: (Hernández, 2010)

Posteriormente se procede a seleccionar y macar la zona a irradiar, se irradia las muestras durante diferentes intervalos de tiempos, esto se realiza para un solo valor de potencia.

Concluida la irradiación de las muestras se procede de la siguiente manera:

1. La sangre extendida se fija en alcohol
2. Se colorea con Giemsa las extensiones previamente fijadas.

➤ Irradiación

La irradiación de la muestra sanguínea se realiza perpendicular a la superficie de la misma, colocando el spot de la LED IR a una distancia de 1 mm de la lámina portaobjetos.

El campo visual o de observación tiene un diámetro promedio de 100 diámetros eritrocitarios. La fuente de luz se coloca a una pequeña distancia (1mm) del área a irradiar A_i considerando que todos los rayos luminosos provenientes del spot de la fuente son paralelos; por tanto, es válido tomar $A_i = A^*$, donde A^* es el área del spot de la fuente, la cual tiene un diámetro de 5mm.

Es necesario tener presente que tanto el campo de observación de área A_v , como las regiones de A^* y A_i son circulares, por tal razón A_v , puede ser expresada fácilmente en función del valor promedio de los diámetros eritrocitarios. Conjuntamente con esto ha de cumplirse que, todos los campos visuales estarán incluidos en el interior de la zona a irradiar por tanto podemos plantear:

$$\frac{A_i}{A_v} = N_o$$

Área del campo

$$d = 0.18\text{mm}$$

$$r = \frac{d}{2}$$

$$r = 0.09\text{mm}$$

$$A_v = \pi r^2$$

$$A_v = \pi (0.09\text{mm})^2$$

$$A_v = 0.025434 \text{ mm}^2$$

Área irradiada

$$d = 5\text{mm}$$

$$r = \frac{d}{2}$$

$$r = 2.5 \text{ mm}$$

$$A_i = \pi r^2$$

$$A_i = \pi (2.5\text{mm})^2$$

$$A_i = 19.625\text{mm}^2$$

$$N_o = \frac{19.625 \text{ mm}^2}{0.025434\text{mm}^2}$$

$$N_o = 771$$

Donde N_o : número de campos visuales de la zona irradiada. Tomando $7.56\mu\text{m}$ como valor promedio de los diámetros de los eritrocitos y 5mm como el diámetro del spot (LED IR), se obtiene los resultados mostrados en la Tabla 9-3.

Tabla 3-3: Características de la zona a irradiar. El conteo se realiza en 90 campos visuales.

Diámetro promedio de los eritrocitos	Numero de campos visuales en la zona a irradiar	% de campos en los cuales se realiza el conteo.
7.6 μm	771	72%

Realizado por Maria : Ilguan, 2018

➤ **Empleo del microscopio óptico**

La observación se realiza con la técnica de campo abierto, para la misma se emplea un microscopio óptico con aumento objetivo de 100x y ocular de 10x (1000x de aumento total), obteniéndose que el número de eritrocitos por campo visual N_{ec} es de 335 como promedio en condiciones fisiológicas.

Poner en práctica esta técnica requiere de pequeños volúmenes de sangre, pero es preciso que la sangre no se encuentre seca durante el periodo de irradiación, por lo que se debe seleccionar la zona a irradiar inmediatamente después de extendido el tejido. Además, es de suma importancia que el marcaje no se realice en una región sujeta a deformaciones mecánicas.

➤ **Conteo de las deformaciones**

El conteo de las deformaciones se efectúa en la zona irradiada marcada con anterioridad, En esta zona se tomó 90 campos visuales o campos en observación y se evaluó el número de células deformadas en cada uno de ellos. Cada tipo de alteración encontrada en una célula se considera independientemente una de otra, es decir, en una misma célula puede existir más de una deformación por lo tanto al realizar el análisis numérico, esta célula aparece tantas veces como tipo de deformaciones presente.

➤ **Condiciones ambientales**

El experimento se realizó a una temperatura 20°C y a presión atmosférica (1029 hPa).

➤ **Esquema experimental**

En cada extensión se toma 90 campos visuales en cada uno de los cuales se realiza la identificación y conteo de las deformaciones.

Cada extensión contiene la información sobre el número y el tipo de alteraciones morfológicas correspondientes al valor de potencia y a cada valor diferente de tiempo de irradiación.

Para caracterizar un punto experimental (potencia y tiempo de irradiación prefijados) se toman tres extensiones.

➤ **Montaje experimental**

El método experimental que se propone consiste en lo siguiente: el tejido sanguíneo es extendido sobre la lámina portaobjetos, posteriormente se selecciona la zona a irradiar y se coloca el puntero de LED IR a un milímetro de la muestra.

El proceso de irradiación no debe extender por más de 20 minutos, pues transcurrido este tiempo la sangre se encontrará seca. En tales condiciones los lípidos de la membrana eritrocitaria no podrá realizar ningún tipo de movimiento, perdiendo la matriz lipídica todas sus propiedades elásticas y la capacidad de deformarse por la acción luminosa.

Este comportamiento fue corroborado experimentalmente en los laboratorios de la Facultad de Ciencias de la Carrera de Química de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, donde se tomaron muestras del tejido extendido las cuales fueron irradiadas después de distintos tiempos de secado, obteniéndose que después de 20 minutos la extensión esta seca y no hay deformaciones en el campo externo.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Características generales de la observación

La técnica experimental propuesta exige de una cuidadosa elección de la zona a irradiar. En el diagrama que aparece en la Figura 19-4, se muestran de manera genérica los resultados obtenidos durante la observación.

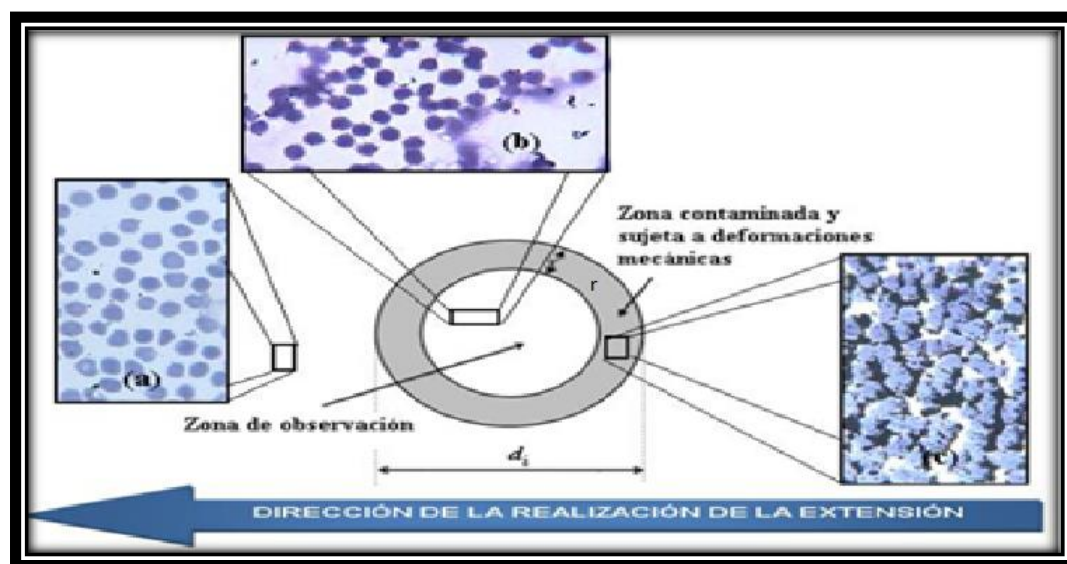


Figura 1-4: Diagrama de la zona irradiada de diámetro d_i .

Fuente: (Hernández, 2010)

Las zonas sujetas a las deformaciones mecánicas alcanzan valores que presentan en promedio un ancho r , de un campo de observación. (a) Representa eritrocitos sanos, (b) eritrocitos deformados (con espículas en este esquema en particular). (c) Eritrocitos contaminados y deformados mecánicamente por la acción del lápiz.

A la derecha de la zona contaminada y sujeta a deformaciones mecánicas aparecen eritrocitos aglutinados debido a que en esta región la extensión no es lo suficientemente fina y los eritrocitos se encuentran superpuestos.

4.2 Normalidad de los Datos de deformaciones morfológicas de los eritrocitos

4.2.1 Cálculo estadístico de la prueba de Kolmogorov Smirnov

La prueba de Kolmogorov-Smirnov se utilizó para conocer si los datos obtenidos en esta investigación de las deformaciones morfológicas de los eritrocitos cumplen con una distribución normal. Esta prueba se basa en la comparación teórica propuesta frente a una distribución observable, la misma que fue realizada en el programa estadístico SPSS.

El valor de Kolmogorov Smirnov se calcula mediante la siguiente expresión:

$$D = \max (|F_i - \Phi (Z_i)| \text{ o } |F_{i-1} - \Phi (Z_i)|) \quad (1-4)$$

Regla de decisión:

1. Si $D \geq D_n$, α rechazo H_0
2. Si $p\text{-value} \leq \alpha$ rechazo H_0

Donde n es el número total de datos a analizar, α nivel de significancia, F_i es la equiprobabilidades (todos los resultados posibles son igualmente probables), D es la distribución normal de los datos y $\Phi (Z_i)$ es el percentil (es una medida de posición usada en estadística).

Para el cálculo se tienen las siguientes condiciones:

1. Nivel de significancia $\alpha = 0.05$
2. Nivel de confianza = 95%

Tabla 1-4: Normalidad de los datos obtenidos con la prueba de Kolmogorov-Smirnov

Prueba de kolmogorov-smirnov para una muestra		Deformaciones
N		18
Parámetros normales ^{a,b}	Media	6,0012
	Desviación estándar	1,104
Máximas diferencias extremas	Absoluta	,180
	Positivo	,180
	Negativo	-,120
Estadístico de prueba		,568
Sig. asintótica		,9604 ^{c,d}

Realizado por: María Ilguan, 2018

En el estudio de normalidad de los datos de esta investigación obtenidos de los resultados de la irradiación con luz no coherente a los eritrocitos humanos, se muestra en la tabla 1-4, donde se puede identificar que el valor de nivel confianza es de 0.9604, la misma que es mayor que el valor de significancia $\alpha = 0.05$, lo que demuestra que en este caso la distribución de los datos de las deformaciones morfológicas del eritrocito humano se ajusta perfectamente a una distribución normal como se puede observar en el siguiente gráfico 1-4.

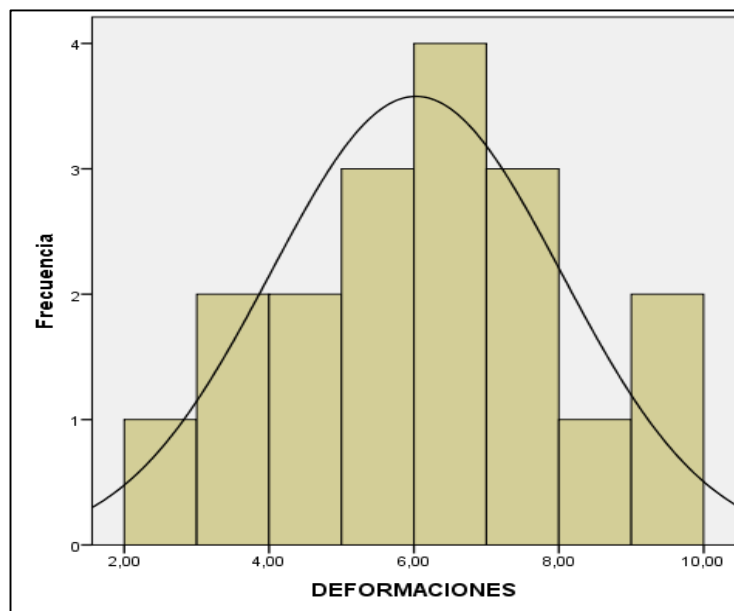


Gráfico 1-4: Curva de normalidad de las deformaciones del eritrocito
Realizado por: Ilguan Maria 2018

4.3 Pruebas de Hipótesis

La comprobación de las hipótesis se realiza mediante la aplicación de la prueba de t de Student, para este análisis primeramente los datos deben ser normalizados o sea cumplir una distribución normal y conocer si las varianzas pueden ser o no iguales. La normalidad fue ya comprobada aplicando la prueba de Kolmogorov Smirnov.

La prueba t de Student me permite conocer si la hipótesis nula o la alternativa se comprueban. El nivel de significancia (α) es de 0,05 y mediante la siguiente ecuación se tiene

$$T = \frac{\bar{X} - \mu}{s/\sqrt{n}} \quad (2 - 4)$$

Donde \bar{X} es el valor de la medias de la muestra, μ un número cualquiera de los datos s es la varianza muestral, y n representa el número de datos totales de la muestra.

Regla de decisión: prueba de hipotesis

1. Si $p\text{-value} \leq \alpha$ rechazo H_0
2. Si $p\text{-value} \geq \alpha$ acepto H_0

4.3.1 Prueba de t Student

Al aplicar la prueba de Kolmogorov Smirnov se demostró que la distribución de los datos es normal, entonces para la prueba de hipótesis aplicamos la prueba t de Student, en el programa estadístico SPSS.

Tabla 2-4: Prueba de t de student

Prueba de muestra única	Prueba t para una muestra					
	t	gl	p-value	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
VAR00001	2.811	17	0,0201	1,62167	,3339	,9094

Realizado por: María Iguan, 2018

Dado que p-value es 0,0201 y como este valor es menor que 0.05 entonces se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_1) aplicando la regla de decisión de las hipótesis, la cual afirma la detección de nuevos cambios morfológicos o de un patrón en las deformaciones ya

existentes del eritrocito humano irradiado con luz no coherente de un diodo electroluminiscente infrarrojo a una energía de 300-9000 mJ, en condiciones de la sierra ecuatoriana.

4.4 Análisis estadístico descriptivo de las deformaciones morfológicas de los eritrocitos.

En el presente trabajo de investigación, se presentan los resultados de los diferentes tipos de deformaciones morfológicas del eritrocito humano en el tejido extendido bajo la acción de la luz no coherente de un diodo electroluminiscente infrarrojo con una potencia constante de 10mW y diferentes intervalos de tiempo (30s, 60s, 180s, 300s 600s y 900s) que permitió calcular la energía aplicando la siguiente ecuación: $E = P.t$

Tabla 3-4. Datos de los eritrocitos degradados y deformados según la Energía aplicada.

ENERGIA (mJ)	NÚMERO DE PLACAS SANGUÍNEAS	ERITROCITOS DEGRADADOS Y DEFORMADOS
300	3	11,1
300	4	11,9
300	5	11,6
600	6	3,6
600	7	4,6
600	8	4,2
1800	9	8,0
1800	10	8,6
1800	11	8,9
3000	12	15,1
3000	14	16,4
3000	15	17,0
6000	16	38,8
6000	17	36,9
6000	18	37,63
9000	19	46,9
9000	20	48,1
9000	21	49,2

Realizado por: Maria Ilguan, 2018

En la Tabla 3-4 se presenta los resultados obtenidos, según la energía aplicada a cada una de las placas después de la aplicación de la irradiación a las mismas, obteniendo como resultado la degradación y la deformación del eritrocito humano.

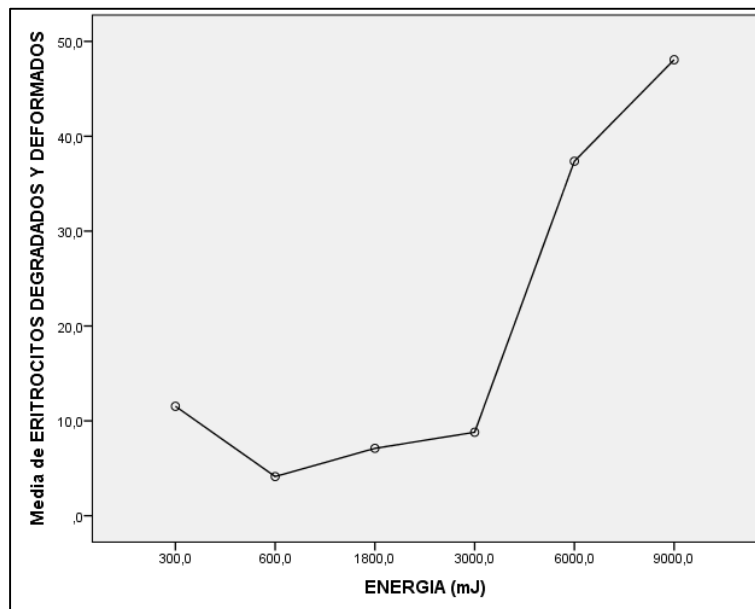


Gráfico 2-4: Eritrocitos Degradados y Deformados vs Energía
Realizado por: Maria Ilguan 2018

Según el **Gráfico 2-4:** Se puede observar que los eritrocitos, a una energía de 300mJ se degradan, es decir cambian de color, manteniéndose a una potencia constante de 10 mW y variando el tiempo en cada una de las placas. Al aumentar la energía de emisión los eritrocitos además de ser degradados van deformándose a energías mayores de 600 mJ.

Tabla 4-4: Datos de tipos de deformaciones de los eritrocitos según la Energía aplicada.

ENERGIA (mJ)	ERITROCITOS DEGRADADOS	ERITROCITOS DENTADOS	ERITROCITOS PILA EN MONEDA	ERITROCITOS ACANTOCITOS	ERITROCITOS DREPANOCITOSIS	ERITROCITOS ESPICULARES
300,00	11,10					
300,00	11,90					
300,00	11,60					
600,00		3,60				
600,00		4,60				
600,00		4,20				
1800,00		5,50	2,50			
1800,00		5,80	2,80			
1800,00		6,00	2,90			
3000,00		6,50	2,60	6,00		
3000,00		6,80	2,80	6,80		
3000,00		7,00	2,80	7,20		
6000,00		17,00	3,90	14,10	3,80	
6000,00		15,50	3,80	14,30	3,30	
6000,00		15,40	4,40	14,13	3,70	
9000,00		17,60	5,20	16,70	5,20	2,20
9000,00		17,80	5,80	16,90	5,10	2,50
9000,00		17,80	6,10	17,30	5,20	2,80

Realizado por: María Ilguan, 2018

En la **tabla 4-4** se puede apreciar la clasificación de los tipos de deformaciones morfológicas del eritrocito humano la misma que se realizó a través de microscopio óptico, las cuales son de tipo Dentados, Pila en Moneda, Acantocitos, Drepanocitosis y Espiculares que aparece según la energía aplicada a cada una de las muestras sanguíneas.

En los siguientes gráficos se detallan cada tipo deformaciones morfológicas del eritrocito humano obtenidas en este trabajo de titulación.

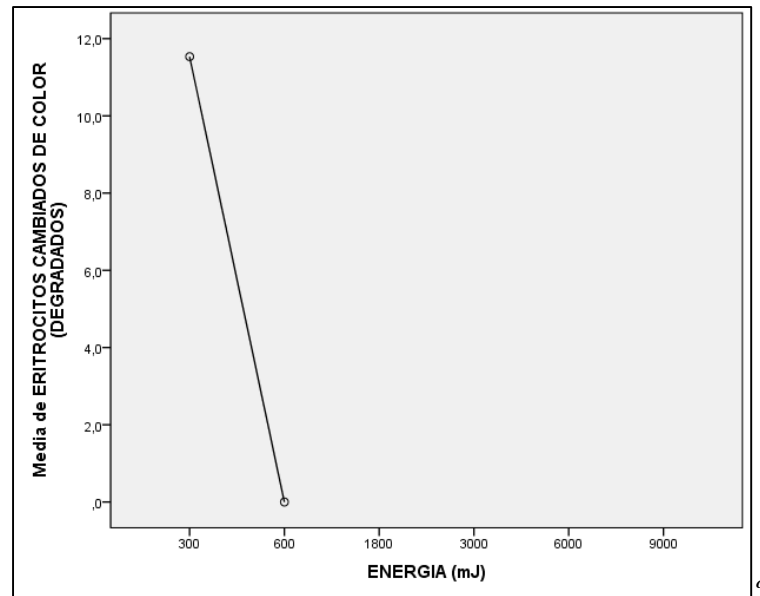


Gráfico 3-4: Degradados de color vs Energía
Realizado por: María Ilguan, 2018

En el **Gráfico 3-4:** Se puede observar que a los 300mJ los eritrocitos se degradan, es decir cambian de color. A una energía, que esta dada por una potencia constante de 10 mW y a un tiempo de 30s. Entonces a esta Energía no existe deformación morfológica de los eritrocitos.

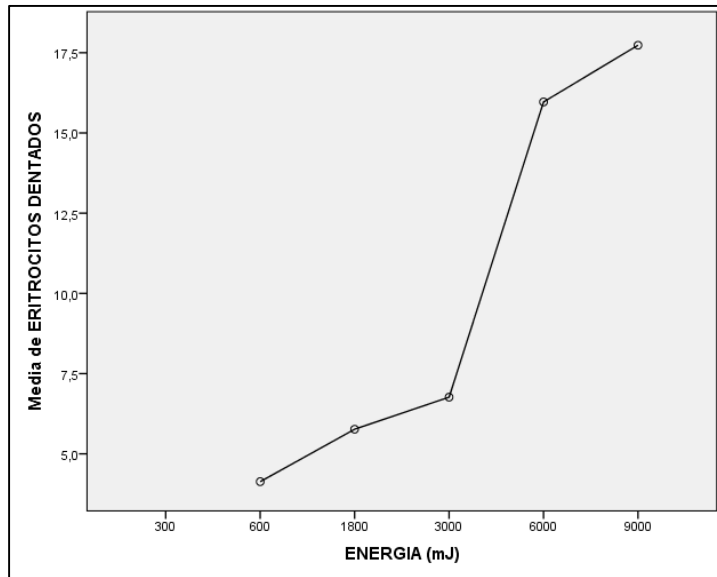


Gráfico 4-4: Eritrocitos Dentados vs Potencia
Realizado por: María Ilguan, 2018

Según el **Gráfico 4-4:** Además de otros tipos de deformaciones morfológicas del eritrocito humano, también se observa que al tiempo de 60s y a una energía de 600mJ, se verifica que existen deformaciones morfológicas de tipo Dentados de los eritrocitos. Con estos resultados se puede verificar que a mayor Energía existirán mas cantidad de eritrocitos deformados de tipo dentados.

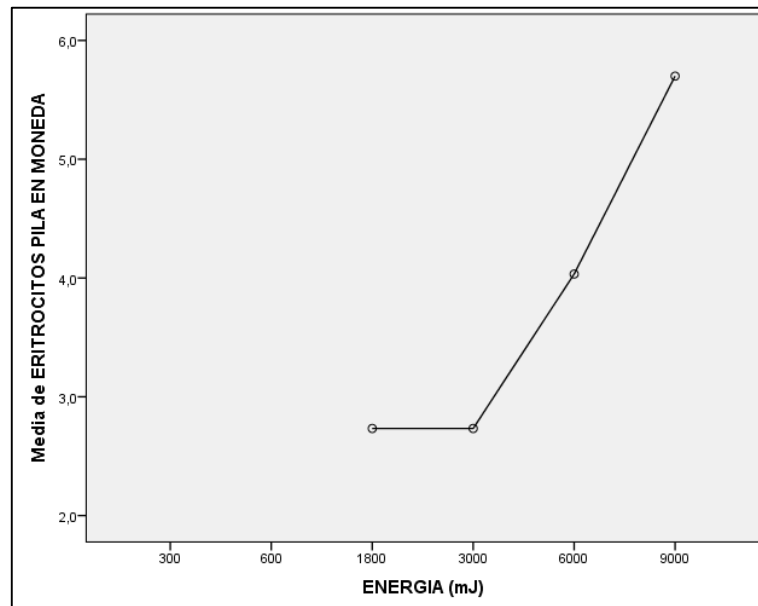


Gráfico 5-4: Eritrocitos Pila en Moneda vs Energía
Realizado por: María Ilguan 2018

Según el **Gráfico 5-4**: A partir del tiempo de irradiación a 180 s y a una energía de 1800 mJ, se puede observar las deformaciones morfológicas de tipo Pila en Moneda de los eritrocitos, en la cual podemos notar que a mayor Energía este tipo de deformación va en forma creciente.

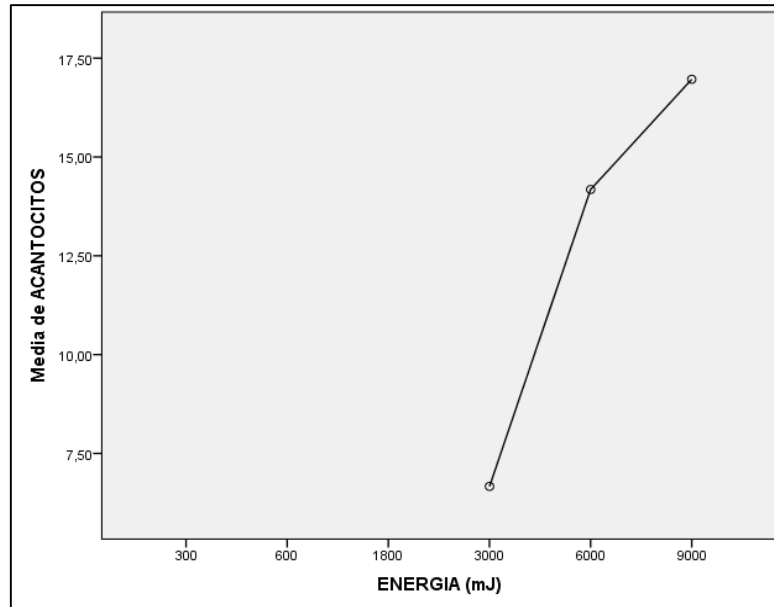


Gráfico 6-4: Eritrocitos Acantocitos vs Energía
Realizado por: María Ilguan, 2018

Según el Gráfico 6-4: A partir del tiempo de 300s y a una energía de 3000 mJ, se puede observar las deformaciones morfológicas del eritrocito de tipo Acantocitos que va en aumento hasta la energía de 9000mJ, además de otros tipos de deformaciones del eritrocito humano.

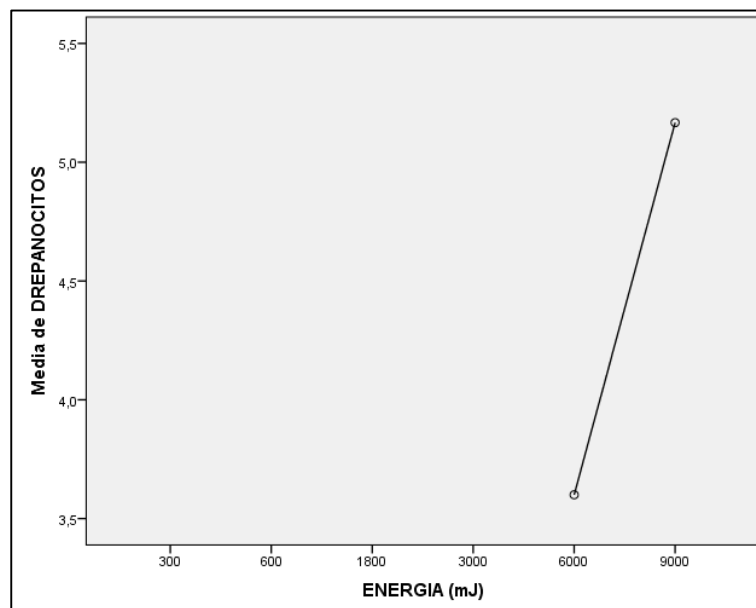


Gráfico 7-4: Eritrocitos Drepanocitosis vs Energía
Realizado por: María Ilguan 2018

En el **Gráfico 7-4**: Se puede observar que al valor de energía de 6000 mJ existe deformación morfológica del eritrocito de tipo Drepanocitos que claramente se puede apreciar que a valores de energía superiores a este valor será mayor la cantidad de eritrocitos deformados de este tipo.

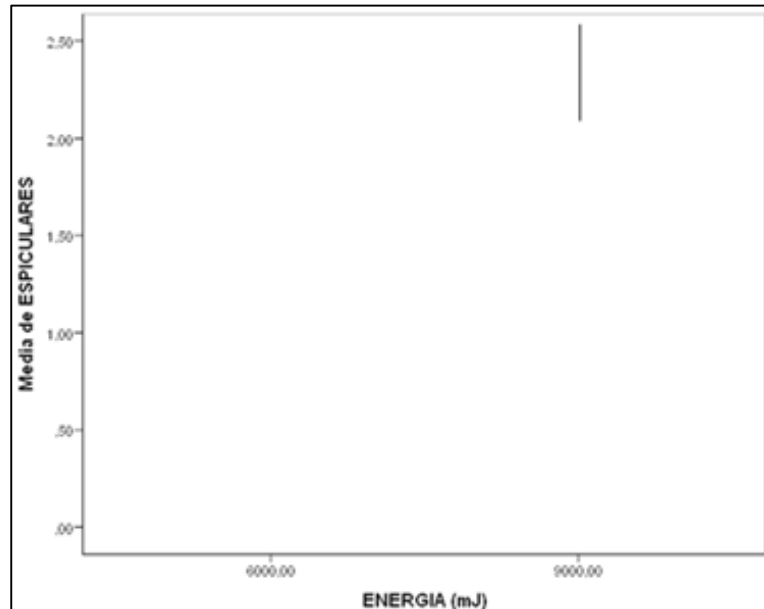


Gráfico 8-4: Eritrocitos Espiculares vs Energía
Realizado por: María Ilguan, 2018

Según el **Gráfico 8-4**: Al tiempo de 900s y a una energía de 9000mJ, se puede observar las deformaciones morfológicas de tipo Espiculares, que poseen espículas largas distribuidas regularmente por toda su superficie, típico de anemias, ingestión de naftalina y en insuficiencia renal. Con estos resultados se puede verificar que existen deformaciones del eritrocito cuando se aplica mayor Energía.

Tabla 5-4: Datos del total de eritrocitos

ENERGÍA (mJ)	TOTAL DE ERITROCITOS (NORMALES + DEFORMADOS)
300	336,50
300	336,50
300	335,90
600	335,70
600	335,80
600	336,50
1800	336,00

1800	335,90
1800	336,90
3000	336,70
3000	336,70
3000	336,10
6000	335,60
6000	336,50
6000	335,70
9000	335,30
9000	336,20
9000	335,40

Realizado por: María Iguan, 2018

En la **Tabla 5-4**: se puede apreciar el número total de eritrocitos, es decir la suma de eritrocitos normales y deformados en color, forma, tamaño y agrupaciones, después de aplicar la irradiación con diferentes intervalos de tiempo.

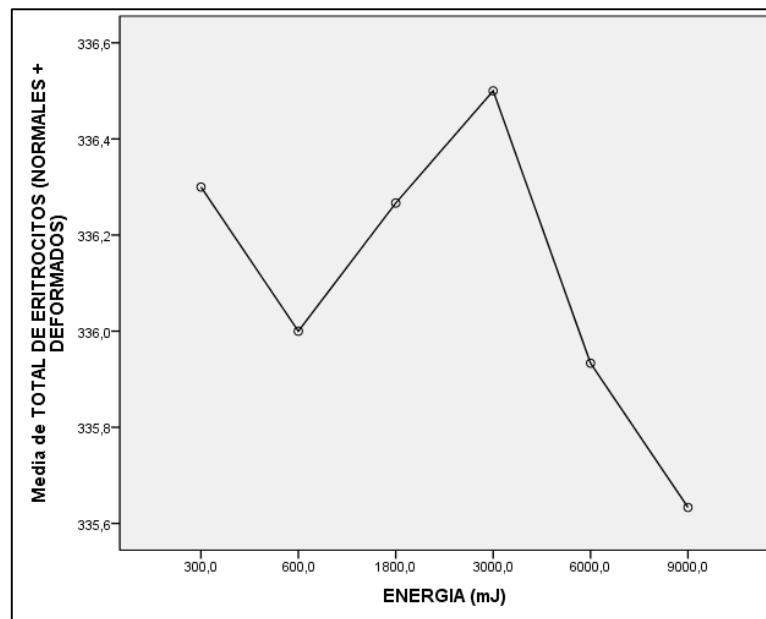


Gráfico 9-4: Total de Eritrocitos (normales + deformados)

Realizado por: María Iguan, 2018

En el **Gráfico 9-4**: Se puede observar el total de eritrocitos, después de la aplicación de la irradiación a distintos valores de energía donde se puede ver que a 3000 mJ existe un pico alto del total de deformación morfológica del eritrocito, es decir que a este valor de energía existe mayor cantidad de células sanguíneas deformadas.

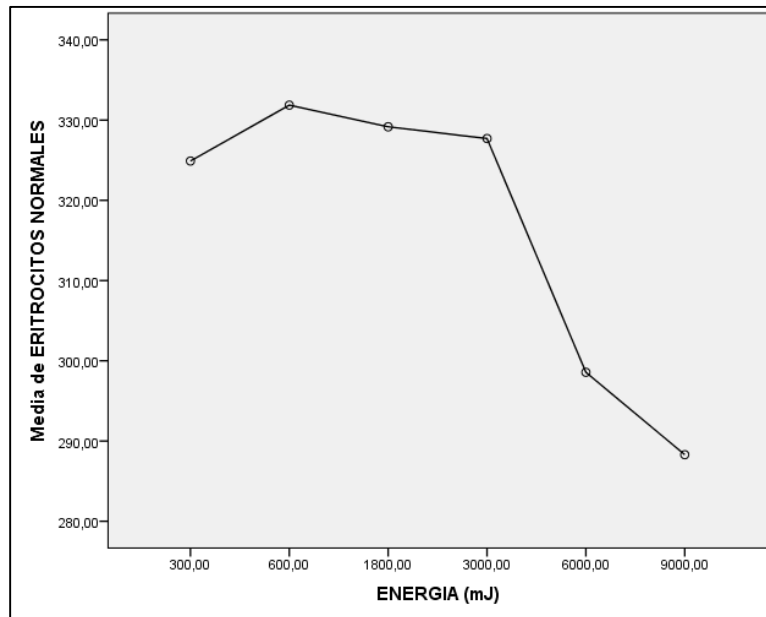


Gráfico 10-4: Total de eritrocitos normales
Realizado por: María Ilguan, 2018

En el **Gráfico 10-4:** Se puede observar el total de eritrocitos normales al aplicar distintos valores de energía que va desde 300 mJ-9000 mJ, como se puede apreciar a 600mJ de energía las células sanguíneas normales van disminuyendo al emplear mayor cantidad de energía.

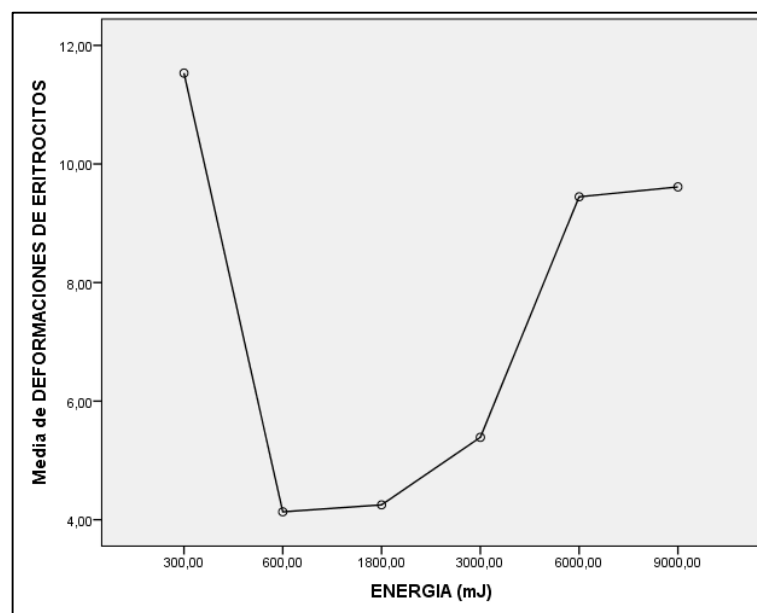


Gráfico 11-4: Total de Eritrocitos deformados
Realizado por: María Ilguan, 2018

En el **Gráfico 11-4:** Se puede observar el total de eritrocitos deformados, a partir del valor de energía de 600mJ existen los diferentes tipos de deformaciones morfológicas del eritrocito humano como se aprecia en la tabla 4-4, los mismo que va en aumento de forma evidente desde el valor de 3000mJ hasta 9000mJ.

4.5 Discusión de Resultados

Para este trabajo experimental se requiere de mucho menos volumen de sangre que las técnicas consultadas en la literatura. A las muestras de frotis de sangre se les aplico diferentes energías de 300, 600, 1800, 6000 y 9000 mJ. Estas energías son calculadas a partir de una potencia constante de 10mW multiplicadas por el tiempo de emisión (30s, 60s, 180s, 600s y 900s), como se muestra en la tabla 3-4.

Es así que al aplicar los 300mJ de energía los eritrocitos se degradan o cambian de color. A un tiempo de 60s y a una energía de 600mJ se verifica que existen deformaciones morfológicas de tipo Dentados de los eritrocitos los mismo se muestra en la tabla 4-4. Con estos resultados se puede verificar que a mayor Energía existirán mas cantidad de eritrocitos deformados de tipo Dentados.

A partir del tiempo de irradiación de energía de 1800 mJ, además de los otros tipos de deformaciones morfológicas se observan deformaciones de tipo Pila en Moneda de los eritrocitos. Y a una energía de 3000 mJ, se puede observar las deformaciones morfológicas de tipo Acantocitos además de otros tipos de deformaciones del eritrocito humano.

A los 6000 mJ de energía, se observa deformaciones morfológicas de tipo Drepanocitos. Finalmente al aplicar una energía de 9000mJ, se muestran las deformaciones morfológicas de tipo Espiculares, por lo tanto al aplicar mayor cantidad de energía aumenta los diferentes tipos de deformaciones morfológicas de los eritrocitos humanos. Con estos resultados se puede verificar que existen deformaciones del eritrocito cuando se aplica mayor Energía. Todos estos resultados obtenidos durante este trabajo se los muestra en la tabla 4-4.

CONCLUSIONES

- Al Irradiar con una LED IR con longitud de onda de 940 nm a los eritrocitos humanos, los resultados del trabajo experimental, muestran que al aplicar una mayor cantidad de Energía dependiendo del tiempo de emisión, los eritrocitos se van deformándose en los diferentes tipos de deformaciones morfológicas.
- Se realizó el conteo de los diferentes tipos de deformaciones morfológicas del eritrocito humano a través del microscopio óptico que permitió la observación de 771 campos visuales del área total de irradiación de cada una de las placas sanguíneas.
- Se identificó las deformaciones morfológicas del eritrocito humano, teniendo en cuenta el tamaño, la forma, el color, las inclusiones intra eritrocitarias y las agrupaciones del eritrocito, ya que como consecuencia de la aplicación de la irradiación estos parámetros del eritrocito normal sufrieron cambios que se pudo comprobar mediante la observación, en el microscopio y realizar su respectiva clasificación por cada tipo de deformaciones que se pudo observar al momento de nuestro trabajo experimental, donde se comprueba que en el tejido extendido y a valores de Energía inferiores a 9000mJ, las deformaciones más numerosas son los Dentados mientras que para 9000mJ la deformación morfológicas de los eritrocitos es de tipo Espiculares en su mayoría.

RECOMENDACIONES

- Digitalizar las imágenes de las extensiones irradiadas y contar las deformaciones con un software apropiado.
- Hacer el experimento con otras técnicas de microscopía óptica como: luz polarizada para observar birrefringencia que aportará nueva información, desarrollar técnica de irradiación y secado para realizar microscopía electrónica de barrido (SEM) en las muestras
- Estudiar el efecto en la membrana eritrocitaria al irradiar con luz de LED de diferentes longitudes de onda 488nm, 525nm, 590nm y 626nm que pertenecen a equipos utilizados actualmente en terapias clínicas.

GLOSARIO

La membrana citoplasmática: es una estructura laminar que no sólo representa el límite físico de la célula

Las membranas biológicas: están compuestas por lípidos, proteínas y carbohidratos en menor proporción, los cuales constituyen frecuentemente menos del 5% de su masa total.

Sangre: es un tejido conectivo líquido, que circula por capilares, venas y arterias de todos los vertebrados.

Eritrocito: Células anucleadas cargadas de hemoglobina de forma aplanada (disco bicóncavo). Su función es el transporte de oxígeno y CO₂.

Desviación estándar (σ): es una medida de dispersión que indica que tan dispersos están los datos con respecto a la medida.

Trombocito: Fragmentos de células grandes con abundantes vesículas de secreción de forma irregular, pequeño tamaño, sin núcleo.

Plaquetas: Las plaquetas son pequeñas células que circulan en la sangre; participan en la formación de coágulos sanguíneos y en la reparación de vasos sanguíneos dañados.

Leucocito: Son células de aspecto blanquecino, con núcleo y características específicas para realizar funciones de defensa.

Energía: es la capacidad que tiene todo cuerpo para realizar una acción o trabajo.

Intensidad: es la cantidad de energía de radiación que fluye por unidad de área.

La Luz: Es una forma de radiación electromagnética, llamada energía radiante, capaz de excitar la retina del ojo humano y producir, en consecuencia, una sensación visual.

Propagación de la luz: La naturaleza ondulatoria de la luz puede ser despreciada debido a que aquí la luz es como un chorro lineal de partículas que pueden colisionar y, dependiendo del medio, se puede conocer cuál es su camino a seguir.

Longitud de onda (λ): Es la distancia entre dos puntos máximos de la amplitud, es decir, la distancia entre dos crestas consecutivas o entre dos valles consecutivos.

Amplitud (A): es la máxima distancia de cualquier punto de la onda respecto a su posición de equilibrio. Podría decirse que es la altura de la onda.

Cresta: Es el máximo valor positivo de la amplitud.

Valle: Es el máximo valor negativo de la amplitud.

Frecuencia: Es la cantidad de ondas que se propagan en cada unidad de tiempo.

Elongación: Es la longitud o distancia que se encuentra entre la posición de equilibrio de un punto determinado en oscilación y el lugar donde está un objeto en un momento determinado.

Periodo (T): Es el tiempo que emplea la onda en realizar un desplazamiento total, llamada elongación.

Reflexión de la luz: Es el fenómeno que se observa cuando un rayo de luz incide sobre una superficie y se refleja.

Refracción de la luz: La refracción es el fenómeno físico que explica la incidencia de las ondas de luz contra la superficie de un material y su curso posterior cuando el material sobre el cual absorbe la onda.

Interferencia constructiva: Esta se produce al interponerse dos o más ondas que coinciden en el mismo lugar del espacio, aumentando la amplitud de la onda resultante.

La óptica física: Parte de la física que explica los fenómenos producidos por la interacción de la luz con objetos materiales, cuyas dimensiones son similares a las de la longitud de onda.

Polarización de la luz: Es un fenómeno físico donde las ondas de luz están restringidas a una sola dirección de vibración, describiendo la orientación de sus oscilaciones.

Coherencia: Propiedad de las ondas electromagnéticas que están en fase (cuando se suman sus amplitudes) tanto en el tiempo como en el espacio.

Luz no coherente: Esta se produce cuando los rayos de la fuente luminosa salen en múltiples frecuencias y fases de vibración dispersa, se ensancha haciéndose menos intensa en un corto periodo de tiempo

Luz coherente: Es cuando los rayos de la fuente luminosa salen de ella paralelos entre sí, es decir tienen todas las mismas frecuencias y se propagan en la misma dirección, y en forma acompasada o en fase.

Instrumentos ópticos: Tienen como base conocimiento científico, sirve para procesar ondas de luz con el fin de mejorar una imagen para su visualización.

Sistemas ópticos: Es un conjunto de medios transparentes y homogéneos separados por superficies de forma geométrica sencilla.

Microscopio óptico: El microscopio es un instrumento óptico que permite visualizar cuerpos pequeños que no son observados a simple vista.

LED: Son dispositivos en estado sólido que generan luz, constituidas por material semiconductor dotado de dos terminales positivo y negativo, al estar el LED encendido libera energía en forma de fotones, el color de la luz depende del material semiconductor utilizado.

Una lente convexa o positiva: Esta tallada de tal manera que todos los rayos paralelos que incide sobre ella son desviados hacia el mismo punto, originando una imagen real.

Una lente cóncava o negativa: Es aquella que siempre aumente la divergencia de los rayos que pasan por ella, los rayos paralelos que incide sobre una lente negativa divergen después de pasar por ella formando una imagen virtual.

BIBLIOGRAFÍA

Acosta, Ayala Luis Alonso. Eritrocito Humano. 2000, págs. 4,6.

Burbano, Santiago. Física General . [En línea] 2003. [Citado el: 2 de 09 de 2018.] https://es.wikipedia.org/wiki/%C3%8Dndice_de_refracci%C3%B3n.

Bushong, Stewart C. *Manual de radiología para Técnicos*. 2003. págs. 3-5. Vol. 1ª Edición. Ed.

Cajas, Cyntia. Eritrocito Humano. [En línea] 2000. [Citado el: 26 de 10 de 2018.] <https://www.scribd.com/document/308446124/TRIPTICO-TEJIDO-SANGUINEO>.

Chena, J.M.L.C. Física Óptica. [En línea] 2000. [Citado el: 22 de 10 de 2018.] http://www.juntadeandalucia.es/averroes/centrostitic/41008970/helvia/sitio/upload/beamer_sobre_la_luz.pdf.

Cromer, Alan H. *Óptica Geométrica, Lentes*. Segunda. s.l. : Reverté, 1981. págs. 360-380.

Davis, Universidad de California en. Radiación Electromagnética. [En línea] 2003. [Citado el: 21 de 8 de 2018.] <https://es.khanacademy.org/science/physics/light-waves/introduction-to-light-waves/a/light-and-the-electromagnetic-spectrum>.

Esperanza Purón, Antonio Fontela,Roberto Homs, Rodney Hechavarría, Elda Palomo. Cambios morfológicos del eritrocito humano con luz no coherente de un diodo electroluminisante infrarrojo. [En línea] 29 de 11 de 2010. [Citado el: 30 de 11 de 2017.] http://karin.fq.uh.cu/acc/2014/CBM/108%202014/Articulos/Eritrocitos_EFING2010.pdf.

Fogantini, Paula Natalia. *Refraccion de la luz*. 2011. págs. 34-56.

Fontela, A. M. y Purón, E. Efecto del Campo Magnetostático sobre la Membrana del Eritrocito Humano. [En línea] 2011. [Citado el: 12 de 11 de 2017.] <http://karin.fq.uh.cu/acc/2014/CBM/108%202014/Articulos.pdf>.

Fontela, Lamelas Mica. Estudio del comportamiento de la membrana del eritrocito humano bajo la acción de la radiación electromagnética. 2002, 3, pág. 35.

García, Elena. La luz. Naturaleza y Propagación. [En línea] 2007. [Citado el: 11 de 09 de 2018.] <https://www.preparadores.eu/temamuestra/Secundaria/PMC.pdf>.

Giancoli, Douglas. *Física Principios con aplicación*. [ed.] Pearson Educación. Sexta. 2006. págs. 308-309. 970-26-0695-0.

González, Dr. E Gómez. *Optica Geométrica.* [En línea] 22 de 11 de 2010. [Citado el: 12 de 08 de 2018.] <http://laplace.us.es/campos/optica/Optica%20-%20Tema%201%20-%20Optica%20Geometrica%20-%202010-11.pdf>.

Hernández, Abreu Emilio. Deformaciones de la membrana del eritrocito bajo la acción de luz no coherente en sangre extendida. 2010, págs. 12-13.

Hewitt, Peter. *Física Conceptual.* México : V. A. Flores, 2017. págs. 87-91. Vol. 10ª. ed.

Hirald, Lebrón Rosa. La Sangre y sus Componentes. 2013, págs. 9-11.

Jerry D. Wilson, Anthony J. Buffa. 2003. *Física* . [ed.] Pearson Educación. 759-760. 2003.

José Rodríguez García, José Virgós Rovira. *Fundamentos de Óptica Ondulatoria.* [ed.] Universidad de Oviedo. 1998. 84-8317-117-1.

Kevin Valencia, Ricardo Cruz. Física Materia . [En línea] 20 de 11 de 2011. [Citado el: 22 de 6 de 2018.] <https://edbar01.wordpress.com/segundo-corte/lentes/metodos-graficos-para-lentes/>.

Laura Oviedo. Física y Química . [En línea] 16 de 02 de 2009. [Citado el: 15 de 10 de 2018.] <http://fisicaquimica4b.blogspot.com/2009/02/ondas-luz-y-sonido.html>.

María Sagrario Millán, María Sagrario Millán García-Varela, Jaume Escofet Soteras, Elisabet Pérez Cabré. *Óptica Geométrica.* s.l. : Amazonas. com, 2004. págs. 19,20,21.

Méndez, Karen Lizzette Velásquez. Espectro Electromagnético. [En línea] 12 de 6 de 2014. [Citado el: 12 de 8 de 2018.] <https://slideplayer.es/slide/1856405/>.

Merino, Anna. Alteraciones Morfológicas de Eritrocito . [En línea] 12 de 2015. [Citado el: 22 de 10 de 2018.] <http://www.seqc.es/download/tema/3/2767/346271904/2987076/cms/tema-5-alteraciones-morfologicas-de-los-eritrocitos.pdf/>.

Merino, Julián Pérez Porto y María. Definición de Reflexión de la Luz . [En línea] 2012. [Citado el: 1 de 10 de 2018.] <https://definicion.de/reflexion-de-la-luz/>.

Montalvo, Arenas Cesar. *Microscopia.* 2010. págs. 13-15.

Muñoz, Antonio Valero. *Principios de color y holopintura.* Barcelona : Club Universitario, 2013. págs. 33-35. 978-84-15787-08-2.

Nuñez, Tomas. Ondas Sonoras. [En línea] 28 de 06 de 2017. [Citado el: 4 de 5 de 2018.] <http://www.electrontools.com/Home/WP/2017/07/28/ondas-sonoras-constructivas-y-destructivas/>.

Oleari, Claudio. Schema microscopio.png. [En línea] 1 de 9 de 2007. [Citado el: 8 de 10 de 2018.] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Schema_microscopio.png.

Ortiz, Moisés Carral. LEDs. [En línea] 05 de 2014. [Citado el: 12 de 05 de 2018.] http://www.edu.xunta.gal/centros/iesblancoamorculleredo/aulavirtual2/file.php/122/documentos/07/Trabajo_de_investigacion_sobre_la_Tecnologia_LED_Moises_Carral_Ortiz.pdf.

Ortiz, Pedro Pablo. *Principios elementales de física experimentos y aplicaciones*. [ed.] D. Appleton y Compañía de Roma. 2013. págs. 295-310.

Peña, Isaias Rojas. *Interferencia*. s.l. : USM, 2015. Vol. II. 798-956-332-535-5.

Purón, Esperanza, y otros. Cambios morfológicos del eritrocito humano irradiado con luz no coherente de un diodo electroluminiscente infrarrojo. [En línea] 29 de 11 de 2010. [Citado el: 26 de 11 de 2018.] http://karin.fq.uh.cu/acc/2014/CBM/108%202014/Articulos/Eritrocitos_EFING2010.pdf.

Puron, Sopenña Esperanza, y otros. Efectos biológicos de la luz no coherente y no polarizada de GaAs en eritrocitos humanos. [En línea] 25 de 11 de 1996. [Citado el: 12 de 05 de 2018.] <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/2929/1/Biological-effects-of-noncoherent-and-nonpolarized-light-of-GaAs-on/10.1117/12.259990.short>.

Revilla, Miguel Antón. Ondas Electromagnéticas. [En línea] 13 de 10 de 2000. [Citado el: 12 de 08 de 2018.] http://webs.ucm.es/info/opticaf/OPT_FIS/apuntes_sueltos_prov/pdf/Tema2.pdf.

Rodríguez, Alberto Raquena y Balibrea, Luis Miguel Tomás. *Óptica*. [ed.] Maria Martínez. Segunda en Español. Murcia : Netbiblo, 2008. págs. 92-94. 978-84-9745-234-2.

Rodríguez, Alejandro Cornejo. Óptica Geométrica. [En línea] 19 de 10 de 2005. [Citado el: 05 de 08 de 2018.] https://www-optica.inaoep.mx/~gurcid/aca/og_acorgurc2005.pdf.

Rossi, Bruno. *Fundamentos de Óptica*. [ed.] Reverté. Barcelona : s.n., 1973. págs. 80-90.

Silva, Vanessa dos Santos, y otros.. Analisis comparativo de diferentes dosis de luz coherente y no coherente sobre la necrosis celular y apoptosis. [En línea] 11 de 2016. [Citado el: 01 de 01 de 2018.] http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2446-47402016000400372.

Society, American Chemical. 2007. *Difracción de la luz*. [ed.] Madison Avenue. Barcelona : Reverté, 2007. págs. 221-224. 978-84-291-7001-6.

Sopeña, Purón –, y otros. Discusión de los efectos de la luz con varias longitudes de onda en los eritrocitos humanos. [En línea] 1999. [Citado el: 02 de 01 de 2018.] <http://karin.fq.uh.cu/acc/2014/CBM/108%202014/Articulos.pdf>.

Yanez, Angel Gilberto. Maduración de los Eritrocitos. [En línea] 2013. [Citado el: 12 de 05 de 2018.] [https://saracbtis.webcindario.com/Descargas/BIOMETRIA/3.-%201.5%20Eritropoyesis%20sin%20imagenes%20\(terminologia\).pdf](https://saracbtis.webcindario.com/Descargas/BIOMETRIA/3.-%201.5%20Eritropoyesis%20sin%20imagenes%20(terminologia).pdf).

Zabala Miguel. Diodos Emisores de luz. [En línea] 2008. [Citado el: 25 de 01 de 2018.] <https://www.greenpeace.org/argentina/Global/argentina/report/2008/4/leds.pdf>.

ANEXOS

Anexo A: Observación en el microscopio



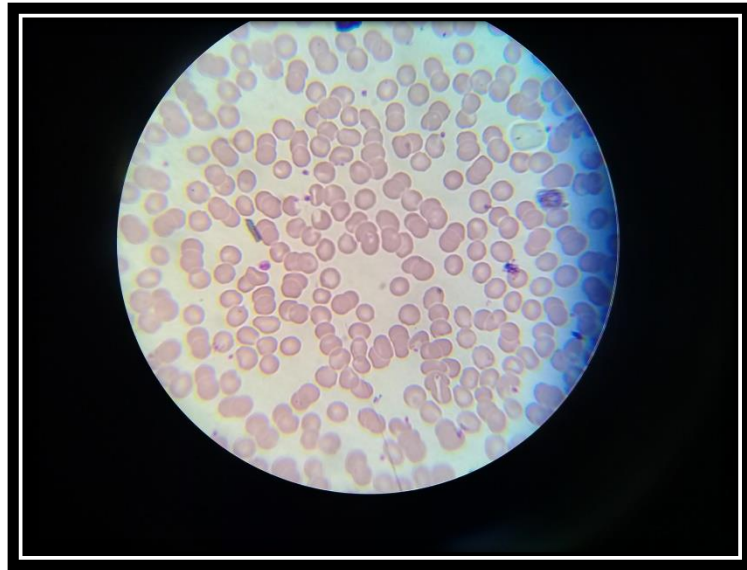
Realizado por: María Ilguan, 2018

Anexo B: Observando las muestras sanguíneas en el microscopio.



Realizado por: María Ilguan, 2018

Anexo C: Resultados de las observaciones de las muestras sanguíneas



Realizado por: María Ilguan, 2018