



UNIVERSIDAD DE CUENCA

RESUMEN

La contaminación atmosférica es causa directa de problemas de salud de las personas.

El Centro Histórico de Cuenca es un área con un progresivo crecimiento del parque automotor que es el principal responsable del 85% de las emisiones de monóxido de carbono, esto conlleva a un aumento de carboxihemoglobina. Para esto decidimos determinar monóxido de carbono en sangre total y correlacionar estos valores con la concentración de CO en aire en la población urbana expuesta por períodos mayores a 8 horas diarias. Correlacionando con un Control que no está expuesto a una atmósfera de similares condiciones.

Se hizo un estudio descriptivo, cuasiexperimental, orientado a la medición de carboxihemoglobina que es el indicador biológico de la exposición a CO ambiental. Se estudió a 60 voluntarios, de ellos el 58% corresponde a Mujeres y el 42% a Hombres, con una media de 41 años de edad, con un tiempo de exposición diaria promedio de 14 horas. La determinación de carboxihemoglobina se realizó por el método químico de Microdifusión y cuantificado por espectrofotometría; el porcentaje de Saturación de Hemoglobina se obtuvo mediante cálculo matemático haciendo uso de la hemoglobina.

Se concluyen que la población del Centro Histórico presenta un nivel promedio de 4.83 % COHb, valor que supera el promedio del grupo Control de 2.34 % COHb, aunque no exista niveles de monóxido de carbono ambiental que superen el referencial de $40000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de la NECAA, estos hallazgos nos hacen considerar la posibilidad de reducir el Límite Máximo Permisible de monóxido de carbono.

Palabras clave: *monóxido de carbono, CO, carboxihemoglobina, COHb, monitoreo ambiental.*



UNIVERSIDAD DE CUENCA

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN.....	6
CAPÍTULO I	12
1. GASES CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS.....	12
1.1. INTRODUCCIÓN.....	13
1.2. COMPOSICIÓN DEL AIRE ATMOSFÉRICO PURO	13
1.3. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA	15
1.3.1. CLASIFICACIÓN DE LOS CONTAMINANTES DEL AIRE	16
1.3.2. PRINCIPALES CONTAMINANTES DEL AIRE	16
1.4. FUENTES DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.....	20
1.5. LA CONTAMINACIÓN Y SUS EFECTOS SOBRE LA SALUD.....	20
1.6. ESTUDIO DE LA POLUCIÓN DEL CENTRO HISTÓRICO DE CUENCA.....	21
1.6.1. DESCRIPCIÓN DEL CENTRO HISTÓRICO	21
1.6.2. EL PARQUE AUTOMOTOR DE LA CIUDAD DE CUENCA	22
1.6.3. CONFLICTO VEHICULAR EN EL CENTRO HISTÓRICO	22
CAPÍTULO II	24
2. PARÁMETROS AMBIENTALES URBANOS DE LA CALIDAD DEL AIRE.....	24
2.1. INTRODUCCIÓN.....	25
2.2. MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE	25
2.3. NORMA ECUATORIANA DE CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE	26
CAPÍTULO III	29
3. MONÓXIDO DE CARBONO	29
3.1. GENERALIDADES DEL MONÓXIDO DE CARBONO	30
3.1.1. DEFINICIÓN.....	30
3.1.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS	30
3.1.3. FUENTES DE INTOXICACIÓN.....	31
3.1.4. ETIOLOGÍA DE LAS INTOXICACIONES	33
3.2. PATOGENIA	34
3.2.1. MECANISMO FISIOPATOLÓGICO.....	34
3.2.2. CAPACIDAD DE TRANSPORTE DE LA HEMOGLOBINA	35
3.3. METABOLISMO.....	38
3.3.1. ABSORCIÓN.....	38



UNIVERSIDAD DE CUENCA

3.3.2.	DISTRIBUCIÓN.....	39
3.3.3.	BIOTRANSFORMACIÓN Y ELIMINACIÓN.....	39
3.4.	TOXICIDAD.....	39
3.4.1.	ACCIÓN TÓXICA.....	39
3.4.2.	DOSIS TÓXICA.....	40
3.5.	SINTOMATOLOGÍA.....	41
3.5.1.	CUADRO CLÍNICO SEGÚN LA CONCENTRACIÓN DE COHb.....	41
3.5.2.	MANIFESTACIONES CLÍNICAS SEGÚN EL SISTEMA.....	42
3.5.3.	CUADRO CLÍNICO DE ACUERDO AL SUJETO.....	44
3.6.	ANATOMOPATOLOGÍA FORENSE.....	44
3.6.1.	EXAMEN EXTERNO DEL CADÁVER.....	44
3.6.2.	EXAMEN INTERNO DEL CADÁVER.....	44
3.7.	DIAGNÓSTICO.....	45
3.7.1.	PRUEBAS DE LABORATORIO.....	45
3.7.2.	EXÁMENES COMPLEMENTARIOS.....	47
3.8.	INVESTIGACIÓN ANALÍTICA DE CO.....	48
3.8.1.	TÉCNICAS FÍSICAS INSTRUMENTALES.....	48
3.8.2.	TÉCNICAS FÍSICAS NO INSTRUMENTALES (CUALITATIVAS).....	49
3.8.3.	TÉCNICAS QUÍMICAS.....	49
3.9.	TRATAMIENTO.....	50
3.9.1.	MEDIDAS DE URGENCIA.....	50
3.9.2.	MEDIDAS GENERALES EN INTOXICACIONES SEVERAS.....	50
3.9.3.	MEDIDAS ALTERNATIVAS.....	51
3.10.	PREVENCIÓN.....	51
CAPÍTULO IV.....		53
4.	METODOLOGÍA.....	53
4.1.	MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS.....	54
4.1.1.	MATERIALES.....	54
4.1.2.	EQUIPOS.....	54
4.1.3.	REACTIVOS.....	54
4.2.	SOLUCIONES PARA LA DETERMINACIÓN DE COHb.....	54
4.2.2.	ÁCIDO SULFÚRICO (H ₂ SO ₄ al 10%).....	55
4.2.3.	YODURO DE POTASIO(KI al 15%).....	56



UNIVERSIDAD DE CUENCA

4.2.4.	COLORURO DE PALADIO (PdCl ₂ 0,1% en HCl 0,01 N).....	56
4.2.5.	SOLUCIÓN DE GOMA ARÁBIGA al 1%.....	57
4.3.	SET PARA LA DETERMINACIÓN DE HEMOGLOBINA	57
4.3.1.	PRUEBA COLORIMÉTRICA FOTOMÉTRICA (CASA HUMAN)	57
4.3.1.1.	Método de la Cianmetahemoglobina	57
4.3.1.2.	Contenido del Reactivo.....	57
4.3.1.3.	Preparación.....	57
4.3.2.	ESQUEMA DEL ENSAYO	58
4.3.3.	CÁLCULOS.....	58
4.4.	DETERMINACIÓN DE CO EN SANGRE (COHb)	58
4.4.1.	MÉTODO QUÍMICO POR MICRODIFUSIÓN	58
4.4.1.1.	Fundamento (Técnica de Feldstein-Klendshoj).....	58
4.4.1.2.	Muestra.....	59
4.4.2.	TÉCNICA	59
4.4.3.	ANÁLISIS.....	62
4.5.	DETERMINACIÓN DE CO EN AIRE AMBIENTE.....	64
4.5.1.	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.....	64
4.5.2.	MÉTODO ELECTROQUÍMICO	64
4.5.3.	PROCEDIMIENTO DEL MONITOREO AMBIENTAL POR EL CEA	65
4.5.4.	PROCEDIMIENTOS ESTADÍSTICOS	65
	CAPÍTULO V.....	66
5.	CASUÍSTICA.....	66
5.1.	MÉTODODE ESTUDIO.....	67
5.1.1.	ESTUDIO DESCRIPTIVO	67
5.1.2.	ENFOQUE CUANTITATIVO	67
5.2.	DELIMITACIÓN DEL ÁREA GEOGRÁFICA DE ESTUDIO	67
5.3.	MÉTODO DE MUESTREO	68
5.4.	UNIVERSO DE ESTUDIO.....	68
5.5.	MONITOREO AMBIENTAL Y RECUENTO DE VEHÍCULOS AUTOMOTORES	
	69	
5.6.	PLANDE MUESTREO	69
5.6.1.	CRITERIOS DE INCLUSIÓN	69
5.6.2.	CRITERIOS DE EXCLUSIÓN	70



UNIVERSIDAD DE CUENCA

5.7.	CRITERIOS DE LAS MUESTRAS.....	70
5.8.	RECOLECCIÓN DE MUESTRAS Y PROCESAMIENTO	70
	CAPÍTULO VI.....	72
6.	RESULTADOS.....	72
6.1.	COMPARACIÓN Y ANÁLISIS DE CUADROS Y GRÁFICAS	73
6.1.1.	CORRELACIÓN DE RESULTADOS ENTRE EL GRUPO 1 Y GRUPO 2	73
6.1.2.	RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE COHb y CO ATMOSFÉRICO .	74
6.1.3.	RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE COHb Y TIEMPO DE EXPOSICIÓN	75
6.1.4.	RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE CO ATMOSFÉRICO Y RECuento VEHICULAR.....	76
6.1.5.	CONCENTRACIÓN DE COHb SEGÚN LA EDAD EN LA POBLACIÓN DEL CENTRO HISTÓRICO	77
6.1.6.	PORCENTAJE DE LA POBLACIÓN QUE SUPERA EL VALOR DEL GRUPO CONTROL.....	78
6.2.	PRUEBA t DE STUDENT-WELCH.....	78
	CAPÍTULO VII.....	82
7.	CONCLUSIONES.....	82
	CAPÍTULO VIII.....	85
8.	RECOMENDACIONES	85
	CAPÍTULO IX.....	87
9.	ANEXOS	87
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98
	GLOSARIO	104



UNIVERSIDAD DE CUENCA



**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
ESCUELA DE BIOQUÍMICA Y FARMACIA**

TEMA:

**“DETERMINACIÓN SANGUÍNEA DE MONÓXIDO DE CARBONO EN
RESIDENTES DEL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE CUENCA
Y COMPARACIÓN CON LA CONCENTRACIÓN DE CO EN EL AIRE
AMBIENTE”**

***Tesis previa a la obtención
del Título de Bioquímico
Farmacéutico***

AUTORES:

**Jessenia Lizbeth Romero Asanza
Jofre Marcelo Espinoza Berrezueta**

DIRECTORA:

Dra. Ruth Rosas Castro

ASESORA:

Dra. Silvana Donoso

Cuenca-Ecuador

2011



UNIVERSIDAD DE CUENCA

DECLARATORIA

El presente documento y todo su contenido, así como los resultados que de él derivan son de explícita responsabilidad de su Autores, los firmantes.

Cuenca, Julio 2011

ATENTAMENTE

X

Jessenia Romero Asanza

X

Jofre Espinoza Berrezueta



UNIVERSIDAD DE CUENCA

DEDICATORIA

A mis padres, Julio y Bersabeth, a mis hermanas, Alexandra y Patty, quienes de forma incondicional me brindaron su apoyo, por estar ahí cuando los necesito, gracias por alentarme, orientarme y ayudarme a conseguir ésta que es nuestra meta.

A Jessenia por ser una excelente amiga y compañera, por su dedicación y valor que puso día tras día para lograr este desenlace, tan importante proyecto que nos propusimos realizar.

A mis amigos quienes de forma muy grata en su momento me supieron brindar su apoyo.

JOFRE

A mis padres Héctor y Zoila, a mis hermanos Fernando y Vanessa por su constante apoyo que ha sido el estímulo para culminar con éxito esta tesis, por inyectarme día tras día valor para continuar con las metas propuestas, por acortar distancias cuando necesité compañía.

A Vicente por haber sido pilar importante en mi carrera y en mi vida, sus consejos me orientaron siempre a la superación, a dar todo de sí para ser grande.

A mis grandes amigos, Jofre, Miguel, a las personas cercanas, de las cuales valoro cada gesto que tuvieron conmigo y por su inagotable paciencia.

JESSENIA

A todos Ustedes

¡Mil Gracias!



UNIVERSIDAD DE CUENCA

AGRADECIMIENTO

Dejamos constancia de nuestro agradecimiento a la prestigiosa Universidad de Cuenca que nos abrió las puertas para nuestra formación académica.

A la Doctora Ruth Rosas Castro, quien con sus conocimientos supo encaminarnos en la consecución de tan importante proyecto que hemos llevado a cabo y que nos ha permitido forjarnos como profesionales.

A la Doctora Silvana Donoso, quien desinteresadamente nos brindó asesoría en distintas ocasiones para el desarrollo del presente estudio.

Al Ingeniero Diego Cuzco Torres por su valiosa contribución en la parte estadística.

Al Centro de Estudios Ambientales de la Universidad de Cuenca por el aporte prestado en el monitoreo ambiental que resultó indispensable para corroborar con la investigación del monóxido de carbono en sangre.

A todos los voluntarios que participaron del estudio por su generosa colaboración, ya que sin ellos no habría sido factible la realización de este trabajo.

Y muy especialmente a Dios que ha sido siempre nuestro guía y nuestra fortaleza en todo momento y a nuestros queridos padres por su incondicional apoyo.

LOS AUTORES

AUTORES: JESSENIA ROMERO – JOFRE ESPINOZA

9



UNIVERSIDAD DE CUENCA

INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica hoy en día continúa en aumento, a tal punto de constituirse en un problema ambiental y especialmente en un serio problema de salud pública por las consecuencias que de ella derivan, entendiéndose como contaminación del aire a la presencia en la atmósfera de gases nocivos y partículas suspendidas en cantidades tales y de larga perdurabilidad que puedan afectar a la salud humana.

El monóxido de carbono es un gas producto de la combustión incompleta de compuestos de carbono, y comúnmente es vertido al aire ambiente de automotores y de industrias, no obstante también se atribuye su emisión a mecanismos como la acumulación intramuros por procesos domésticos y/o el hábito de fumar.

El principal efecto nocivo del monóxido de carbono es su alta afinidad para combinarse con la hemoglobina formando carboxihemoglobina, compuesto que impide la normal entrega de oxígeno a los tejidos del cuerpo.

El riesgo que implica la exposición a este gas varía desde el efecto de pequeñas cantidades atmosféricas en individuos con problemas circulatorios (pacientes con angina de pecho, con arterioesclerosis), hasta una intoxicación aguda por inhalación de colosales cantidades en espacios cerrados y en un lapso corto de tiempo.

De acuerdo a la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire Ambiente (NECAA) de la Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente, existen criterios de calidad del aire ambiente que establecen límites máximos permisibles de muchos contaminantes, entre ellos el monóxido de carbono, parámetro importante a la hora de evaluar la salud de la población cuencana, gracias a determinaciones sanguíneas de carboxihemoglobina.

En los últimos años, la ciudad de Cuenca se ha visto sometida a un progresivo incremento de la afluencia automotor debido a las grandes concentraciones urbanas, lo que genera una alta contaminación atmosférica por la emisión de gases procedentes de la combustión vehicular, disminuyendo así la calidad del aire.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Siendo el Centro Histórico, una de las áreas de mayor tránsito vehicular, esta investigación procuró correlacionar los valores de carboxihemoglobina paralelamente con la saturación de monóxido de carbono en el aire ambiente.

Este estudio aporta información a las autoridades municipales sobre las condiciones ambientales a las que se encuentra expuesta la población del área urbana estudiada, conociendo de antemano que hoy en día existe un Departamento de Monitoreo de la Calidad del aire regido por la Empresa Municipal de Movilidad EMOV-EP que cuenta con un equipado laboratorio que hace monitorización periódica de los diversos contaminantes atmosféricos en diferentes puntos de la ciudad, incluso para este año 2011, se ha incorporado la operación de una estación automática en el centro de la ciudad para mediciones de monóxido de carbono, con el fin de establecer una base para este contaminante.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

CAPÍTULO I

1. GASES CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS



UNIVERSIDAD DE CUENCA

1.1. INTRODUCCIÓN

El aire puede a veces variar su composición, convirtiéndose en vehículo de gases nocivos, si un contaminante excede el límite tolerable, desplaza a los componentes normales, disminuyendo la presión parcial de cada uno de ellos. Si la presión del elemento más importante, el oxígeno, disminuye, aparece un fenómeno conocido como hipoxia.

Todas las personas que respiren aire contaminado están expuestas a sus efectos. Sin embargo, no todas exhibirán patologías similares, pues dependerá de factores como la edad, la salud, especialmente respiratoria, hemática y circulatoria.

Se puede presagiar una intoxicación por las características organolépticas del tóxico que hacen posible detectarlo; otras veces, el tóxico es incoloro, inodoro e incluso combinado con agradable fragancia incrementando el riesgo de intoxicación.

Sin duda alguna, ante intoxicaciones por gases contaminantes, la primera maniobra es retirar al paciente de la atmósfera contaminada. Esta medida, a más de descontaminar, corrige la hipoxia, complicación común en intoxicaciones por gases.⁽¹⁾

1.2. COMPOSICIÓN DEL AIRE ATMOSFÉRICO PURO

La atmósfera es la capa protectora indispensable para la vida de todo ser vivo, es tan importante que podríamos subsistir sin alimento y sin agua por unos cuantos días, pero sin aire no por mucho más de tres minutos.⁽²⁾

El aire que inhalamos corresponde a una mezcla gaseosa formada por tres grupos de componentes, los que se hallan en *proporciones constantes*, en *proporciones variables* y en *proporciones muy variables*, de densidad 1,29 g/Litro y peso molecular 28,96 g/mol en condiciones normales. Se llaman gases constantes aquellos cuya concentración no varía significativamente en el tiempo, tienen una permanencia en la atmósfera superior a 1000 años, destacan el nitrógeno, oxígeno y gases nobles; entre los gases variables el dióxido de carbono, metano, hidrógeno, óxido nitroso, ozono; en

1ASTOLFI, 1982

2ANDER-EGG, 1995



UNIVERSIDAD DE CUENCA

tanto que, entre los gases muy variables, el vapor de agua y los diversos contaminantes.

En las proporciones que figuran los gases en la Tabla 1, ninguno es considerado contaminante, forman parte de la composición natural del aire. Sin embargo, algunos se identifican como contaminantes atmosféricos (CO_2 , CO , H_2S , NO_x , SO_x o el mismo O_3), cuando su concentración supera a la concentración natural en la atmósfera.

La composición natural media del aire atmosférico se detalla a continuación:

COMPOSICIÓN APROXIMADA DEL AIRE ATMOSFÉRICO PURO	
Componentes	Concentración (% en volumen)
Principales	
Nitrógeno (N_2)	78.08
Oxígeno (O_2)	20.94
Argón (Ar)	0.93
Dióxido de Carbono (CO_2)	0.03
Menores	
Neón (Ne)	0.001818
Helio (He)	0.000524
Metano (CH_4)	0.000179
Criptón (Kr)	0.000114
Hidrógeno (H_2)	0.000055
Óxido nitroso (N_2O)	0.00003
Monóxido de Carbono (CO)	0.00001
Xenón (Xe)	0.000009
Ozono (O_3)	0.000002
Amoníaco (NH_3)	0.0000006
Dióxido de Nitrógeno (NO_2)	0.0000001
Óxido Nítrico (NO)	0.00000006
Dióxido de Azufre (SO_2)	0.00000002
Sulfuro de Hidrógeno (H_2S)	0.00000002
No incluido en aire seco	
Vapor de Agua	0,01% a 0,4% en capas altas de la atmósfera; y 1% a 5% en la superficie.

Tabla 1. Composición aproximada del aire atmosférico puro

La Tabla exhibe los componentes del aire seco, y al final se incluye el vapor de agua, debido a que se encuentra en el aire en cantidades muy variables, pues depende de la temperatura y la altitud.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Los componentes “menores” que son cuantiosos derivan de fenómenos naturales. El dióxido de azufre (SO_2), fluoruro de hidrógeno (HF), cloruro de hidrógeno (HCl), monóxido de carbono (CO) y sulfuro de hidrógeno (H_2S) proceden de volcanes, éste último también del gas natural. El metano (CH_4), amoníaco (NH_3) y sulfuro de hidrógeno (H_2S) surgen de la descomposición anaerobia de plantas y animales. Los óxidos de nitrógeno (NO_x) y el ozono (O_3) por descargas eléctricas de tormentas; el monóxido de carbono (CO) es producido también por los incendios.

En cuanto a los “componentes principales”, como el nitrógeno, es inactivo, actúa diluyendo el oxígeno, moderando su acción. El oxígeno en cambio es el componente activo, pues ya en los tejidos oxida carbohidratos y produce energía.⁽³⁾

1.3. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Se llama contaminación atmosférica a la presencia en el aire de una o más sustancias o sus combinaciones, en cantidades tales y de larga perdurabilidad que alteren la calidad del aire, afectando indistintamente la vida en la Tierra.

La contaminación produce alteraciones en dos dimensiones: a escala macroecológica y a escala microecológica; ambas sin embargo, obedecen a las mismas causas, pues las alteraciones macroecológicas son función y consecuencia de las microecológicas.

La contaminación es un problema ambiental importante en las grandes ciudades, debido a la ardua actividad industrial, al metabolismo de la materia viva y al flujo vehicular (causas antropogénicas), sumándose las condiciones naturales (causas telúricas), todo ello conlleva a emisiones de gases, vapores y polvos que quedan suspendidos en la atmósfera y pasan a formar parte del aire que respiramos.⁽⁴⁾

3RUZA TARRIO, 1993

4Gobierno del Estado de Nuevo León, México, 2010



UNIVERSIDAD DE CUENCA

1.3.1. CLASIFICACIÓN DE LOS CONTAMINANTES DEL AIRE

Contaminantes Atmosféricos Primarios

Son los que se hallan en la atmósfera tal y como fueron emitidos de la fuente, por lo que su naturaleza física y su composición química es muy variada. Los contaminantes primarios más frecuentemente emitidos a la atmósfera son:

- Aerosoles, incluido el polvo y los humos
- Óxidos de azufre (SO_x)
- Monóxido de carbono (CO)
- Óxidos de nitrógeno (NO_x)
- Hidrocarburos (H_nC_m)
- Ozono (O_3)^{(3),(5)}

Contaminantes Atmosféricos Secundarios

Son los que no se emiten directamente al aire, sino que se producen por reacciones atmosféricas entre los contaminantes primarios, esto es, entre los óxidos de nitrógeno, los hidrocarburos y el oxígeno (precursores) en presencia de una fuerte radiación solar.

En estas reacciones se originan sustancias complejas como aldehídos, peróxido de hidrógeno, peroxiacetilnitrilo, partículas sólidas y radicales libres de corta existencia como el ozono, denominados **oxidantes fotoquímicos**.⁽⁶⁾

1.3.2. PRINCIPALES CONTAMINANTES DEL AIRE

a) Monóxido de Carbono (CO)

El CO es el contaminante más abundante, principalmente en el entorno de las ciudades. Se trata de un gas incoloro, inodoro, insípido, inflamable, no irritante, emitido durante la combustión defectuosa de material carbonoso, características que hacen que sea imperceptible al ser inhalado, pero tóxico cuando es respirado a elevadas

3RUZA TARRIO, 1993

5WAGNER, 2010

6LORENZO, 2006



UNIVERSIDAD DE CUENCA

concentraciones. Es un gas más ligero que el aire, por cuya razón se encontrará en la parte superior del ambiente donde se emite. A niveles reducidos, los efectos dependen de las concentraciones de CO en el aire.

La permanencia media de las moléculas de CO en la atmósfera es de aproximadamente dos a cuatro meses antes de oxidarse y convertirse en CO₂.⁽⁶⁾

b) Dióxido de Carbono (CO₂)

El CO₂ no es un gas tóxico como tal, sino un componente natural del aire, el problema está en que su incremento provoca cambios climáticos incrementando la temperatura de la Tierra, lo que se conoce como *efecto invernadero*. El CO₂ forma parte del ciclo del carbono, las plantas a través de la fotosíntesis utilizan la energía solar para hacer reaccionar este CO₂ con el agua y producir carbohidratos y oxígeno.

Los humanos cuando respiramos O₂ del aire, liberamos de nuevo CO₂ a la atmósfera, produciéndose una reacción inversa a la realizada por las plantas.

El balance de este ciclo genera concentraciones constantes de CO₂, pero las actividades humanas, la tala de bosques e incendios forestales, alteran este ciclo, y las concentraciones de CO₂ tienden a incrementarse paulatinamente, y hoy en día se habla mucho del calentamiento de la corteza terrestre debido al efecto del CO₂ sobre el clima.⁽⁶⁾

c) Óxidos de Azufre (SO_x)

El óxido de azufre que se emite mayoritariamente a la atmósfera es el anhídrido sulfuroso (SO₂) y en menor proporción, el anhídrido sulfúrico (SO₃).

El SO₂ es incoloro, estable, sabor ácido, picante e irritante en concentración alta, más pesado que el aire, y sin embargo se desplaza ágilmente en la atmósfera. El SO₃ es también incoloro y muy reactivo, este gas no se encuentra habitualmente en la atmósfera, porque reacciona rápidamente con la humedad y forma ácido sulfúrico.

3 RUZA TARRIO, 1993

6 LORENZO, 2006



UNIVERSIDAD DE CUENCA

La emisión de estos gases se produce por la combustión de materiales que contienen azufre. Los efectos son variados en el hombre, plantas y materiales en general, acorde al tiempo de exposición y a la concentración de éstos en el aire. En el hombre, el efecto del SO_2 es en esencia irritación del aparato respiratorio. A diferencia del CO y de los NO_x que pueden persistir hasta meses en la atmósfera, los SO_x sólo permanecen tres o cuatro días, no obstante, sus efectos contaminantes son importantes.⁽³⁾

d) Ozono (O_3)

El O_3 es una forma alotrópica del oxígeno, en condiciones normales es un gas incoloro, de olor picante, de gran poder oxidante y de gran tendencia a convertirse en oxígeno molecular (O_2).

El O_3 existe en la estratósfera, en donde es absolutamente necesario como escudo protector de la Tierra, ya que filtra los rayos solares más perjudiciales que son los rayos ultravioleta (UV), de modo que su intensidad queda opacada; a más de esta función, la capa de ozono contribuye a mantener una temperatura adecuada.⁽³⁾

Pero el O_3 no sólo existe en la estratósfera, sino también en las capas más bajas, en donde es venenoso, puesto que produce efectos negativos, especialmente en personas con problemas cardiovasculares, asmáticos, niños y adultos mayores; y también efectos sobre la vegetación con apenas pequeñas concentraciones.^{(2),(3)}

e) Óxidos de Nitrógeno (NO_x)

Interesan como nocivos, el óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO_2).

El NO es un gas incoloro, inodoro, no inflamable y tóxico; mientras que el NO_2 es un gas pardo-rojizo, no inflamable pero tóxico por su olor asfixiante, es cuatro veces más tóxico que el NO. Una característica notable de estos gases es su participación en la formación de contaminantes secundarios responsables de la contaminación fotoquímica.

2ANDER-EGG, 1995

3RUZA TARRIO, 1993



UNIVERSIDAD DE CUENCA

La mayoría se forman por oxidación del nitrógeno atmosférico en procesos de combustión a altas temperaturas, los NO_x sufren reacciones transformando el NO en NO_2 , lo que se conoce como ciclo fotolítico del NO_2 , lo cual no modifica las concentraciones de NO y NO_2 , pues tanto como se destruye se forma. Pero existen muchos agentes que desequilibran este ciclo a favor de la formación de NO_2 .⁽²⁾

Sólo a dosis mucho mayores que las habituales en la atmósfera, los NO_x llegan a producir alteraciones del tracto respiratorio.⁽³⁾

f) Aerosoles

Aerosol o partícula se utiliza indistintamente ya que los aerosoles son dispersiones de sólidos o líquidos en el aire. Los aspectos importantes de los aerosoles involucrados en la contaminación son el tamaño, la forma y la composición química de partículas.

Por su tamaño, las partículas oscilan entre 10^{-1} hasta $10 \mu\text{m}$, aspecto que influye en los efectos producidos, ya que de él depende tanto el tiempo de permanencia en el aire, como la facilidad de introducirse a las vías respiratorias. Por su forma, las partículas líquidas son esféricas, mientras que las sólidas adoptan diversas figuras. Por su composición química, depende de su origen, hay partículas procedentes del suelo (contienen calcio, aluminio y silicio), humo procedente de la combustión del carbón, petróleo, madera y residuos domésticos (contienen compuestos orgánicos), etc.

La acción neta de estas partículas en la salud del hombre es su penetración al sistema respiratorio, cuyo efecto depende del grado de penetración en el sistema, que es función tanto de su granulometría como de su toxicidad.⁽⁴⁾

g) Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs)

Son sustancias orgánicas cuya base es el carbono, fácilmente se convierten en vapores a temperatura y presión ambiental. También contienen hidrógeno, flúor, oxígeno, cloro, bromo, nitrógeno o azufre. Poseen propiedades volátiles, liposolubles, tóxicas e inflamables; pero son buenos disolventes, eficaces para disolución de pinturas y desengrase de materiales.

⁴Gobierno del Estado de Nuevo León, México, 2010



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Los COVs se liberan de fuentes naturales como la quema de combustible (gasolina, madera o gas natural), y de fuentes artificiales como los disolventes, pinturas, pegantes y otros productos domésticos. Muchos son peligrosos contaminantes del aire, porque cuando se mezclan con NO_x producen O_3 a nivel del suelo, el cual como ya se ha descrito en párrafos anteriores, es altamente peligroso.

Son COVs el butano, propano, xileno, alcohol butílico, acetona, clorobenceno. Los efectos en la salud varían mucho según el compuesto, ya que comprenden desde un alto grado de toxicidad hasta la ausencia de efectos conocidos.

1.4. FUENTES DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

La emisión de contaminantes a la atmósfera tiene lugar sea por un foco localizado (emisión primaria) o como consecuencia de su formación por reacciones atmosféricas (emisión secundaria). Entre las emisiones primarias, destacan las siguientes fuentes:

EMISIÓN PRIMARIA			
<i>Fuentes Naturales</i>	<i>Fuentes de origen antropogénico</i>		
	Focos fijos	Focos móviles (Transporte)	Focos compuestos
Actividades volcánicas	Industriales	Vehículos automóviles	Aglomeraciones industriales
Incendios forestales	Combustiones en instalaciones fijas	Aviación	Áreas urbanas
Deforestación		Navegación marina	

Tabla 2. Fuentes de Emisión Primaria⁽³⁾

La contaminación antropogénica es la que realmente amenaza la vida, pues excede la capacidad de la atmósfera para depurarse a sí misma, siendo la principal fuente, la combustión, ya que el 75% de los contaminantes como el CO, hidrocarburos y NO_x proceden de los gases de escape de los automotores.⁽⁷⁾

1.5. LA CONTAMINACIÓN Y SUS EFECTOS SOBRE LA SALUD

a. **Aguda.**-A causa de concentraciones elevadas de contaminantes, que incluso podrían llegar a ocasionar la muerte en pocos días.

2 ANDER-EGG, 1995

3RUZA TARRIO, 1993

7Asociación Española para la Cultura, el Arte y la Educación (ASOCAE O.N.G.D), 2010



UNIVERSIDAD DE CUENCA

b. **Crónica.**-A través de efectos que se presentan en tiempos más prolongados, como consecuencia de vivir habitualmente en ambientes contaminados.

Las afecciones atribuidas a la polución, se dividen en 4 categorías: *respiratoria* (agresión inmediata y directa), *cardiovascular* (el CO es el que más afecta al corazón), *cancerosa* (cáncer de pulmón, frecuente en las grandes ciudades) y *alérgica*.⁽²⁾

En general, los efectos de la contaminación radican en alteraciones de los ecosistemas, propagación de nuevas enfermedades y en casos extremos, desaparición de especies animales y vegetales y en definitiva degradación de la calidad de vida.⁽⁸⁾

1.6. ESTUDIO DE LA POLUCIÓN DEL CENTRO HISTÓRICO DE CUENCA

El Centro Histórico es una ciudad de aires coloniales por sus edificaciones del siglo XVIII, pero también una ciudad republicana por sus atractivas construcciones del siglo XIX. El Centro Histórico está conformado por 26 edificios de valor monumental, 602 de valor arquitectónico, 830 de valor ambiental y unas cuantas casas particulares.

En la actualidad, Cuenca vive un lloentre la modernización y la conservación de su patrimonio arquitectónico-urbanístico, pues algunos adoquineshan sido renovados y algunas construcciones reedificadas, lo que desdibuja la imagen tradicional, afectada también por el creciente tráfico vehicular y la consecuente polución ambiental.⁽⁹⁾

1.6.1. DESCRIPCIÓN DEL CENTRO HISTÓRICO



Figura 1: El Centro Histórico, Patrimonio de la Humanidad⁽¹⁰⁾

8Perú Ecológico, 2006

9M. I. Municipalidad de Cuenca, 2010

10Fundación Municipal Turismo Cuenca, 2011



UNIVERSIDAD DE CUENCA

El Centro Histórico localizado en el corazón de Cuenca, está circundado por las calles de Norte a Sur, Av. Héroes de Verdeloma y Calle Larga (Bajada de Todos Santos), y de Este a Oeste por las calles Miguel Heredia y Av. HuaynaCápac, extendiéndose sobre un área de aproximadamente 200 hectáreas.⁽¹¹⁾

La zona histórica y central, conserva su trazado en cuadras perpendiculares, típico del prototipo urbanístico español de la época de su fundación, y dispone de pocos espacios abiertos, como los parques que constituyen lugares públicos.^{(11),(12)}

1.6.2. EL PARQUE AUTOMOTOR DE LA CIUDAD DE CUENCA

▪ Crecimiento del Parque Automotriz

La empresa municipal EMOV-EP, ejecutora de la Revisión Técnica Vehicular y medición de la calidad del aire en Cuenca, informó que el parque automotor consta de cerca de 105.000 vehículos, 5.000 son buses urbanos, buses escolares, taxis y camionetas de alquiler, y los 100.000 restantes son automóviles particulares.⁽¹²⁾

▪ Crecimiento Poblacional

La ciudad de Cuenca según la proyección del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) cuenta con aproximadamente 495.776 habitantes sólo en la zona urbana, que representa el 75% de la población cantonal total. “La tasa promedio de crecimiento poblacional anual es del 2%”.^{(12),(13)}

▪ Relación entre el Parque Automotor y la Población

Al existir un continuo incremento poblacional, el parque automotriz también se amplía; por tanto, la relación entre estos dos puntos, es en promedio, una de cada cinco personas tiene su propio vehículo, y el resto se moviliza en transporte urbano. La problemática de la contaminación del aire en el Centro Histórico, se atribuye el 85% a vehículos y el 15% restante a industrias y al transporte aéreo.⁽¹²⁾

1.6.3. CONFLICTO VEHICULAR EN EL CENTRO HISTÓRICO

11 ViajandoX ECUADOR, 2008

12 Diario El Telégrafo, 2010

12 Diario El Telégrafo, 2010

13 Municipio de Cuenca, 2011



UNIVERSIDAD DE CUENCA



Figura 2: Calle donde se aprecia el conflicto vehicular⁽¹⁴⁾

La densidad vehicularse debe en primera instancia a la estrechez de las calles, y en segundo lugar a la circulación de alrededor de 475 buses públicos, 4.000 taxis, 623 busetas escolares, que provocan un caos vehicular; sumándose a esto la falta de semáforos o su deficiente funcionamiento, también a eventos conmemorativos que se hacen en el centro de la ciudad. Pese al paulatino crecimiento automotriz, Cuenca aún no rebasa los límites de contaminación respecto de la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire Ambiente (NECAA), pero esos límites están próximos para la OMS, pues el incremento vehicular es de un 8% anual, según Cuencaire.⁽¹⁴⁾

¹⁴Diario Hoy, 2010



UNIVERSIDAD DE CUENCA

CAPÍTULO II

2. PARÁMETROS AMBIENTALES URBANOS DE LA CALIDAD DEL AIRE



UNIVERSIDAD DE CUENCA

2.1. INTRODUCCIÓN

La realidad es distinta en el Litoral y en la Sierra, ya que desde el punto de vista de permanencia del contaminante, en el Litoral no existe contaminación técnica como tal por una razón: es tierra costera, con un flujo de aire de llanura, lo que permite que el contaminante sea dispersado; realidad que no ocurre a nivel de montañas, ya que entre éstas, los vientos y los altos edificios se produce una atmósfera en la que los gases vehiculares quedan encapsulados y sin poder extenderse, situación llamada smog (smoke=humo; jog=niebla), es por ello, que los vientos no tienen la capacidad de dispersar los contaminantes como sucede en la Costa.

A diferencia de Quito, que es la ciudad con más polución, Cuenca es más bien una ciudad industrial desarrollada y menos afectada, porque geográficamente está en una ubicación denominada volcanismo viejo, cuyas elevaciones no son muy altas, lo que permite literalmente una mejor difusión de los gases contaminantes.⁽¹²⁾

2.2. MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE

A. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE MONITOREO ATMOSFÉRICO

El monitoreo de la calidad del aire es una herramienta primordial para conocer científicamente el estado de un recurso esencial. El monitoreo utiliza instrumentos y equipos cuyo funcionamiento se basa en principios fisicoquímicos, termodinámicos y electrónicos, a lo cual se suma personal técnico calificado para su operación.

La información derivada del monitoreo resulta útil no solo para la autoridad pública, sino también para el sector académico, investigadores, turistas, planificadores urbanos, el equipo de salud, y los responsables en transporte, puesto que la calidad del aire es un tema que reviste todas las actividades humanas.⁽¹⁵⁾

B. RED DE MONITOREO DE CUENCA (EMOV-EP)

En 1986 Cuenca se integró a la red de monitoreo de la calidad del aire (ECUAIRE), cuyo funcionamiento en ese entonces no fue idóneo por cuestiones de presupuesto y personal. Más tarde, la Empresa Municipal de Teléfonos, Agua Potable y

¹²Diario El Telégrafo, 2010

¹⁵Informe de la Calidad del Aire de Cuenca, año 2008, 2009



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Alcantarillado (ETAPA) acordó encargarse de su operación, reactivándose el monitoreo; no obstante, este monitoreo fue interrumpido, por cuanto no era campo de acción de ETAPA. En el año 2006, se crea la Corporación para el Mejoramiento del Aire de Cuenca (CUENCAIRE) quien asume dicho monitoreo por poco tiempo. Para el 2010, la Municipalidad instaura la Empresa Pública Municipal de Movilidad, Tránsito y Transporte Terrestre EMOV, quien es actualmente la responsable de operar el nuevo sistema de vigilancia atmosférica de Cuenca, a través de las competencias asignadas a CUENCAIRE, hasta que de acuerdo a la Ley sea disuelta.⁽¹⁶⁾

EMOV-EP es una entidad municipal responsabilizada de minimizar el impacto ambiental mediante el control del proceso de Revisión Técnica Vehicular y el monitoreo de la calidad del aire, además establecer lugares críticos de contaminación, contribuir con información elemental para correlacionarla con estudios en salud, entre otras atribuciones. En la actualidad, la red de monitoreo tiene 18 puntos de vigilancia representativos de las áreas urbana, industrial, comercial y residencial, en diversos puntos de la ciudad. El monitoreo comprende:

- Una red pasiva de muestreo para contaminantes gaseosos con 18 puntos de medición. Las determinaciones corresponden a NO₂, O₃, y SO₂. El método pasivo radica en la difusión de los gases por un gradiente de concentración, los dispositivos de muestreo captan por un prolongado tiempo de exposición las moléculas gaseosas sobre un sustrato químico específico. Ya en el laboratorio, se procede a la desorción^[1] del contaminante y a su posterior cuantificación, y así se determina la concentración promedio de estos gases contaminantes.
- Una red de depósito de partículas sedimentables (PS), con 15 puntos de medición, este contaminante se analiza por método gravimétrico.
- Una red activa de material particulado <10 µm (MP₁₀) que consta de tres equipos semiautomáticos.⁽¹⁶⁾

2.3. NORMA ECUATORIANA DE CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE

La **Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire Ambiente (NECAA)** es una normativa nacional contenida en la Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del

¹⁶MUNICIPALIDAD DE CUENCA, 2010



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Ambiente. “El objetivo principal de la NECAA es proteger la salud de las personas, la calidad del aire ambiente, el bienestar de los ecosistemas y del ambiente en general”.

La norma define y establece los límites máximos permitidos para los contaminantes comunes del aire ambiente a nivel de suelo, indicándose los niveles en concordancia con los promedios de medición y los criterios de excedencia anuales permitidos (Tabla 3).

Contaminante	Valor máximo	Unidad	Promedio de Medición	Excedencia
Partículas Sedimentables	1	mg/cm ² X30d	Acumulado en 30 días	No se permite
MP₁₀	50	µg/m ³	Promedio aritmético anual	No se permite
	150	µg/m ³	Concentración máxima en 24 horas.	2 veces por año
MP_{2.5}	15	µg/m ³	Promedio aritmético anual	No se permite
	65	µg/m ³	Concentración máxima en 24 horas.	2 veces por año
SO₂	80	µg/m ³	Promedio aritmético anual	No se permite
	350	µg/m ³	Concentración máxima en 24 horas.	1 vez por año
CO	10.000	µg/m ³	Promedio aritmético móvil de 8 horas consecutivas	1 vez por año
	40.000	µg/m ³	Media aritmética horaria	1 vez por año
O₃	120	µg/m ³	Promedio aritmético móvil de 8 horas consecutivas	1 vez por año
	160	µg/m ³	Media aritmética horaria	1 vez por año
NO₂	100	µg/m ³	Media aritmética anual	No se permite
	150	µg/m ³	Concentración máxima en 24 horas.	2 veces por año

Tabla 3. Resumen de la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire Ambiente (*)
 (*)Valores basados en condiciones de referencia, 25°C y 760 mm Hg

Además la NECAA incluye los niveles críticos de contaminación del aire que manifiestan señales de alerta, alarma y de emergencia, expresados en µg/m³ a 25°C y 760 mm Hg. Estos niveles constituyen “la presencia de altas concentraciones de contaminantes comunes del aire y por cortos períodos de tiempo, como resultado de condiciones meteorológicas desfavorables que impiden la dispersión de los contaminantes previamente emitidos”. (Tabla 4)⁽¹⁶⁾

Contaminante y período de tiempo	Alerta	Alarma	Emergencia
CO, concentración promedio en 8 horas	15.000	30.000	40.000
O₃, concentración promedio en 1 hora	300	600	800
NO₂, concentración promedio en 1 hora	1.200	2.300	3.000
SO₂, concentración promedio en 24 horas	800	1.600	2.100
MP₁₀, concentración promedio en 24 horas	250	400	500

Tabla 4. Niveles críticos de contaminación del aire-NECAA (*)
 (*) Valores basados en condiciones de referencia, 25°C y 760 mm Hg⁽¹⁷⁾

¹⁶MUNICIPALIDAD DE CUENCA, 2010

¹⁷CORPORACIÓN PARA EL MEJORAMIENTO DEL AIRE DE QUITO, 2005



UNIVERSIDAD DE CUENCA

No obstante, es importante también recalcar que la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha fijado *Directrices sobre Calidad del Aire* (Tabla 5), que constituyen un análisis más riguroso y actualizado sobre efectos nocivos de las sustancias contaminantes en la salud humana. Estas directrices proponen concentraciones más exigentes para reducir significativamente los riesgos sanitarios.⁽¹⁸⁾

Contaminante	NECCA* 2003	OMS 2005 Valor fijado en las Directrices	Tiempo de Medición
Part. en suspensión	15 µg/m ³	10 µg/m ³	media anual
MP _{2.5}	65 µg/m ³	25 µg/m ³	media en 24 h.
Part. en suspensión	50 µg/m ³	20 µg/m ³	media anual
MP ₁₀	150 µg/m ³	50 µg/m ³	media en 24 h.
O ₃	120 µg/m ³	100 µg/m ³	media en 8 h.
NO ₂	100 µg/m ³	40 µg/m ³	media anual
		200 µg/m ³	media en 1 h.
SO ₂	350 µg/m ³	20 µg/m ³	media en 24 h.
		500 µg/m ³	media en 10 min.
CO	10 mg/m ³	10 mg/m ³	media en 8 h.
	40 mg/m ³	30 mg/m ³	media en 1 h.

Tabla 5. Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire Ambiente y Guías de la OMS.⁽¹⁶⁾

16MUNICIPALIDAD DE CUENCA, 2010

18OMS, 2008



UNIVERSIDAD DE CUENCA

CAPÍTULO III

3. MONÓXIDO DE CARBONO



3.1. GENERALIDADES DEL MONÓXIDO DE CARBONO

3.1.1. DEFINICIÓN

El monóxido de carbono de fórmula química CO, llamado también óxido carbonoso o anhídrido carbonoso es un gas, cuyas imperceptibles características facilitan el proceso de una intoxicación, pues no alerta al aparato respiratorio, convirtiéndose en un asesino invisible. Es un asfixiante químico que se une a la hemoglobina formando un compuesto que impide el transporte de O₂ a las células.

El CO procede de la combustión incompleta del carbono o materiales carbonosos; es aceptada la sentencia de que donde hay combustión incompleta hay CO.^{(19), (20), (21)}

3.1.2. CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS

a) Propiedades Físicas

El CO es un gas incoloro, insípido, inflamable, no irritante, tóxico, sin olor en su estado puro, por cuya razón es motivo de intoxicaciones accidentales, aunque a veces puede hallarse mezclado con otros gases que le otorgan un olor característico, parcialmente soluble en agua (0,004 g/100cm³) dando soluciones estabilizadas, de densidad 0,97 g/L siendo más liviano que el aire y por ello difunde fácilmente, peso molecular de 28g, punto de solidificación -211,6°C, punto de fusión - 200 a 205°C, punto de ebullición -119,5°C, temperatura crítica -138,7°C, presión crítica 34,6 atm y densidad crítica 0,311 g/cm³, presión de vapor en milibar de 58,800 a 20°C.⁽²²⁾

b) Propiedades Químicas

El CO a temperatura ambiente es relativamente inerte en ausencia de catalizadores o de luz, debido a que su estructura es análoga a la de la molécula de nitrógeno; sin embargo puede reducir el paladio en forma de cloruro. Mientras que a altas temperaturas como 300-1500°C es potente reductor de metales como: cobalto,

19CÓRDOVA, 2006

20BRANTES MARTÍNEZ, BRIONES BILBAO, y BÖRGEL AGUILERA, 2001

21CLARK, y HAWLEY, 1991

22CALABUIG, y VILLANUEVA, 2004



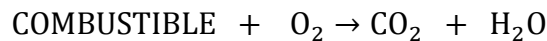
UNIVERSIDAD DE CUENCA

cobre, hierro, plomo, estaño y plata. El CO arde con llama azul clara a temperatura de 650 °C uniéndose a un oxígeno, generando anhídrido carbónico (CO₂), con lo cual pierde su toxicidad.⁽²²⁾

3.1.3. FUENTES DE INTOXICACIÓN

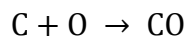
A. Combustiones Incompletas

La combustión de la materia orgánica en presencia de suficiente O₂ es una oxidación completa y produce principalmente CO₂ y H₂O, pero pueden aparecer otros compuestos como el SO₂ (si el combustible contiene azufre) y los NO_x, dependiendo de la temperatura de reacción. Una *combustión completa* se representa así:



Ésta es una reacción exotérmica, cuyo calor liberado evapora el agua, quedando sólo productos gaseosos. Una combustión completa genera una llama azul pálido, la cual proporciona mayor calor que una combustión incompleta. No obstante, a veces se reduce el CO₂ resultante, perdiendo un átomo de O₂ y convirtiéndose en CO.

En una *combustión incompleta*, sucede que el aporte de O₂ no es suficiente para oxidar por completo el combustible, con lo que se forman gases como el CO.



Esta combustión origina una llama amarilla y un humo negro, el mismo que al depositarse en objetos forma el hollín, que constituye partículas sólidas de hasta 100 nm que contienen carbono impuro pulverizado, de coloración negra. En esta combustión también se produce agua en vapor y la cantidad de energía liberada es menor que en una combustión completa en la misma cantidad de combustible.⁽²²⁾



UNIVERSIDAD DE CUENCA



Figura 3: Emisión de grandes cantidades de hollín por las chimeneas de un camión a diesel⁽²³⁾

Las principales materias carbonosas que emanan CO al ambiente por combustión incompleta son:

- 1) **Combustibles sólidos:** Carbón mineral y vegetal, madera, leña, parafina sólida, aserrín, materiales frecuentemente empleados en aplicaciones domésticas e industriales.
- 2) **Combustibles líquidos:** Derivados del petróleo como gasolina, fuel-oil, gas-oil, queroseno, gases licuados (propano o butano), que son carburantes usados en automotores, en calentadores domésticos (calefones, cocinas, chimeneas), etc.
- 3) **Explosivos:** Empleados en minas, ocasionan intoxicación por la acumulación en estas áreas del gas grisú^[2] que contiene CO.
- 4) **Humo de tabaco:** Si bien no aumenta significativamente la concentración de CO en el ambiente, los fumadores son los más gravemente afectados, pues en ellos la carboxihemoglobina es más alta frente a individuos no fumadores.⁽²²⁾

Maquinarias de combustión interna:

Obtienen energía *mecánica* de la energía *química* (un combustible) dentro de una cámara de combustión, se realiza en los motores de automóviles, cuya emisión de gases posee 3-7% de CO.

Maquinarias de combustión externa:

Son máquinas que convierten energía *calorífica* en energía *mecánica* mediante combustión que se hace en contacto con el ambiente, en cuyo caso, las emisiones de CO son insignificantes respecto a los sistemas de combustión interna.⁽²⁴⁾

22 CALABUIG, y VILLANUEVA , 2004

23 WIKIPEDIA, 2010



UNIVERSIDAD DE CUENCA

B. Gas Natural

Es una mezcla de hidrocarburos (metano, etano, propano, butano, otros de mayor peso molecular, CO₂ y N₂), no posee CO, es insípido, incoloro e inodoro. En ocasiones es transportado en gasoductos o también licuado al ser sometido a temperatura de -162°C.

Se usa en combustión interna como combustible para vehículos y externa como combustible para cocinetas y calefones. El gas natural al no contener CO no provoca intoxicación, pero su combustión en precarias condiciones de O₂, favorece la formación de óxidos de carbono menos oxigenados que el dióxido.^{(22),(25)}

C. Otras Fuentes

Las operaciones industriales como fabricación de metanol sintético y otros compuestos a partir de CO, manufactura de carburos, pirólisis^[3] y oxidación de lubricantes, las calderas y hornos industriales provocan intoxicaciones profesionales en los obreros.

Otra fuente no muy común son los aerosoles que contienen diclorometano, sustancia disolvente que tras ser inhalada se metaboliza lentamente a CO por lo que la intoxicación es demorada.

La única fuente endógena es el humano que genera pequeñas cantidades de CO como producto final del catabolismo de la hemoglobina y otros grupos hemo, normalmente entre 0,4-0,7% COHb, pudiendo subir en sectores urbanos; en las personas habituadas a drogas como fenobarbital y difenilhidantoína también hay aumentado el catabolismo de la hemoglobina y por ende de la concentración normal de CO. Sin embargo, esta producción endógena carece de importancia toxicológica.⁽²²⁾

3.1.4. ETIOLOGÍA DE LAS INTOXICACIONES

Las causas por las que se puede producir intoxicaciones por CO son:

22 CALABUIG, y VILLANUEVA, 2004

24 ALVARADO, y HERNÁNDEZ, 2008

22 CALABUIG, y VILLANUEVA, 2004

25 LÓVINE, y SELVA. 1985



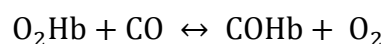
UNIVERSIDAD DE CUENCA

- a) **Criminal y/o bélica:** Este tipo de intoxicación es muy rara por el riesgo que ello implica.
- b) **Suicida:** Este envenenamiento es bastante corriente, los suicidas recurren a cualquier fuente de CO, como la puesta en marcha del automóvil dentro del garaje.
- c) **Accidental:** Sin duda es la causa más frecuente, pues la emanación del gas tiene lugar por mal el funcionamiento de los aparatos domésticos.
- d) **Profesional:** También accidental cuando ocurre en el trabajo, como sucede para los mineros por los gases de las explosiones de grisú, es una intoxicación propia de profesiones en las que la emanación de CO constituye un riesgo.⁽²²⁾

3.2. PATOGENIA

3.2.1. MECANISMO FISIOPATOLÓGICO

El CO es un veneno que tras ser inhalado ingresa por diferencia de presiones de los alveolos pulmonares a la sangre donde se disuelve a razón de 2 a 2,5 cm³ de CO en 100 cm³ de sangre. El CO tiene una afinidad 250 veces más que el O₂ por la Hb, produce hipoxia anémica por la formación de la molécula llamada *carboxihemoglobina* (COHb), de color rojo cereza, cuya presencia aumenta la estabilidad de la *oxihemoglobina* (O₂Hb), por tanto, reduce la disponibilidad de O₂ a los tejidos de dos formas: impidiendo el transporte de O₂ de la COHb a las células, y evitando la liberación del O₂ de la O₂Hb por la baja presión de éste. La reacción es:



Su afinidad se debe a la lenta velocidad de disociación que tiene la COHb, si la Hb es sometida a una mezcla de 250 volúmenes de O₂ y un volumen de CO, ésta se hallará un 50% como COHb y el resto como O₂Hb.^{(22),(26), (27),(28)}

El CO se liga también a otras hemoproteínas como mioglobina, citocromo-oxidasa, citocromo P450 y la hidroxiperoxidasa, interfiriendo en el normal mecanismo de

22 CALABUIG, y VILLANUEVA, 2004

24 ALVARADO, y HERNÁNDEZ, 2008

26 FERATO.com, 2011

27 DEL ÁLAMO, 2009

28 MIR RAMOS, AZON LÓPEZ, y HERNÁNDEZ PÉREZ, 2010



UNIVERSIDAD DE CUENCA

la cadena respiratoria. El CO inhibe la citocromo-oxidasa, bloqueando la transferencia de electrones, que tiene lugar en la mitocondria, reduciendo la capacidad de la célula para producir energía y generando moléculas altamente oxidantes, que podrían dañar proteínas, lípidos y ácidos nucleicos, es decir, citotoxicidad directa del CO. La afinidad del CO por la mioglobina es 40 veces más que la del O₂, su combinación provoca disminución del O₂ a nivel muscular.^{(24), (29)}

El resultado es una anoxemia y consecuentemente una anoxia tisular, los tejidos se privan del O₂ necesario para sus funciones metabólicas, a continuación una ilustración que muestra una serie de resultados derivados de una intoxicación:

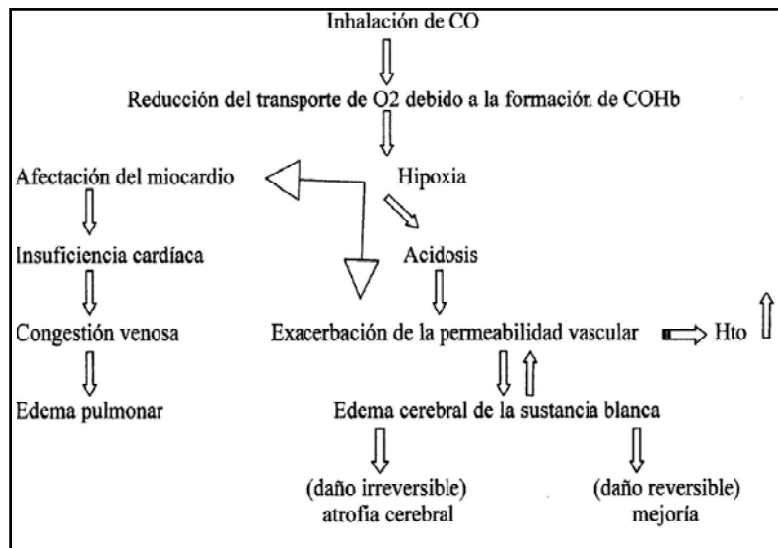


Figura 4. Efectos de una intoxicación por CO⁽³⁰⁾

3.2.2. CAPACIDAD DE TRANSPORTE DE LA HEMOGLOBINA

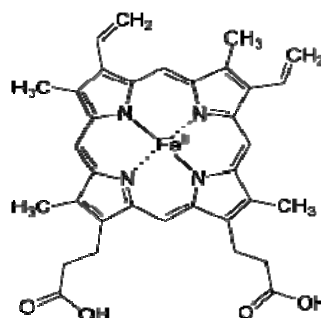


Figura 5. Estructura de la Hemoglobina

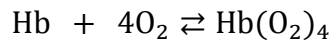
29 GUYTON, y HALL, 2006

30 SUBBOTINA, 2003



UNIVERSIDAD DE CUENCA

La hemoglobina (Hb) es una heteroproteína formada por cuatro *globinas*, cada una unida a un grupo *hemo*, que contiene un átomo de *hierro* que une un O₂, así la Hb se encuentra unida a cuatro moléculas de O₂, es por tanto una molécula transportadora de oxígeno:



En condiciones normales, la Hb oxigenada de color rojo intenso (característico de la sangre arterial) está saturada de O₂ en un 97%, y la Hb desoxigenada de color rojo oscuro de la sangre venosa, está saturada en un 70%. La diferencia se debe a que la O₂Hb libera el O₂ para darlo a las células que tienen una presión parcial baja de oxígeno.

a) Combinación del O₂ con la Hb

La sangre puede transportar 20 ml O₂/100 ml, gran parte se une a la Hb(97%) y una pequeña parte disuelto en el plasma (3%). El O₂ difunde al hematíe donde se combina con la Hb para formar O₂Hb. La relación entre la unión del O₂ y Hb y su presión parcial se llama curva de equilibrio Hb-O₂ y se relaciona por varios factores:

1. La unión con el O₂ es reversible.
2. La reacción del O₂ con la Hb es muy rápida (en milisegundos).
3. La estructura cuaternaria de la Hb permite la captación de los cuatro O₂ a su suministro. El movimiento de sus cuatro cadenas dado por cambios en la posición de sus grupos *hemo*, crea un estado de relajamiento (captación de O₂) o un estado tenso (reducción de O₂). Estas transiciones producen roturas o formación de puentes entre las cadenas, que ocurren en promedio 108 veces en la vida de un eritrocito. Cuando la Hb capta una pequeña cantidad de O₂, se facilita una captación adicional de O₂. Ésta es la razón por la que la curva de disociación de la O₂Hb (Figura 6) tiene forma de S (sigmoide), porque cuando el primer *hemo* de la Hb se combina con el O₂, incrementa la afinidad del segundo *hemo*, y la oxigenación de éste, aumenta la afinidad del tercero, de manera que la afinidad de la Hb por el cuarto O₂ es mucho mayor que para el primer O₂.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

La sangre contiene 150 g Hb/L de sangre (15g/dl), cuando se combina con 100% de O_2 , toda la Hb se halla saturada al 100%, a su vez cada gramo de Hb puede combinarse con 1,34 ml O_2 .⁽³¹⁾

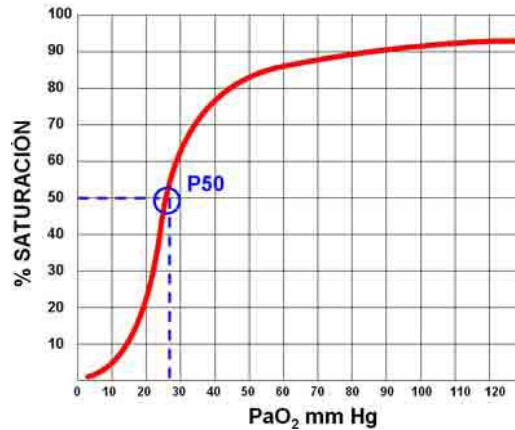
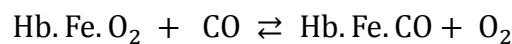
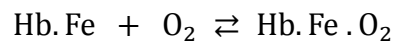


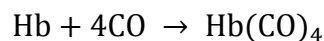
Figura 6. Curva de equilibrio Hemoglobina-Oxígeno⁽³²⁾

b) Combinación del CO con la Hb

El CO se combina con la Hb en el mismo sitio donde se combina con el O_2 , el cual es desplazado de la O_2Hb y sustituido para la formación de $COHb$:



La saturación de Hb con CO es directamente proporcional a la presión alveolar del CO, el cual con 4,4 mm Hg en los alveolos permite que la Hb se una al CO en lugar de unirse al O_2 .⁽²⁹⁾



Desplazamiento de la Curva de Disociación de Oxihemoglobina

En condiciones basales, los tejidos requieren alrededor de 5 ml O_2 /100 ml sangre. Una vez que la sangre arterial llega a los tejidos, los gradientes de presión permiten la difusión de O_2 entre los capilares tisulares y las células. El punto de inflexión es una presión parcial de O_2 (pO_2) de 60 mm Hg, que corresponde a una

31 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA-Sede Bogotá, 2011

32 Multimedia de Gases Sanguíneos, 2006



saturación de oxígeno (sO_2) del 90%. Cuando disminuye esta presión parcial, la afinidad de la Hb por el O_2 también disminuye y entonces el O_2 es cedido a las células.

Existen tres factores importantes que desvían la curva de disociación de la O_2 Hb: pH, temperatura, y la concentración de 2-3 DPG (2-3 difosfoglicerato). Un aumento de temperatura (T_a) o una caída del pH desplazan la curva hacia la derecha, en cuyo caso se requiere una pO_2 mayor para que la Hb ceda O_2 . Al contrario, una caída de temperatura y aumento del pH desplazan la curva hacia la izquierda y se necesita una pO_2 baja para que la Hb capte O_2 . Un indicador es la P_{50} , que es la pO_2 a la cual la Hb está semisaturada con O_2 , mientras mayor sea la P_{50} , menor será la afinidad de la Hb por el O_2 .^{(29), (31),(33)}

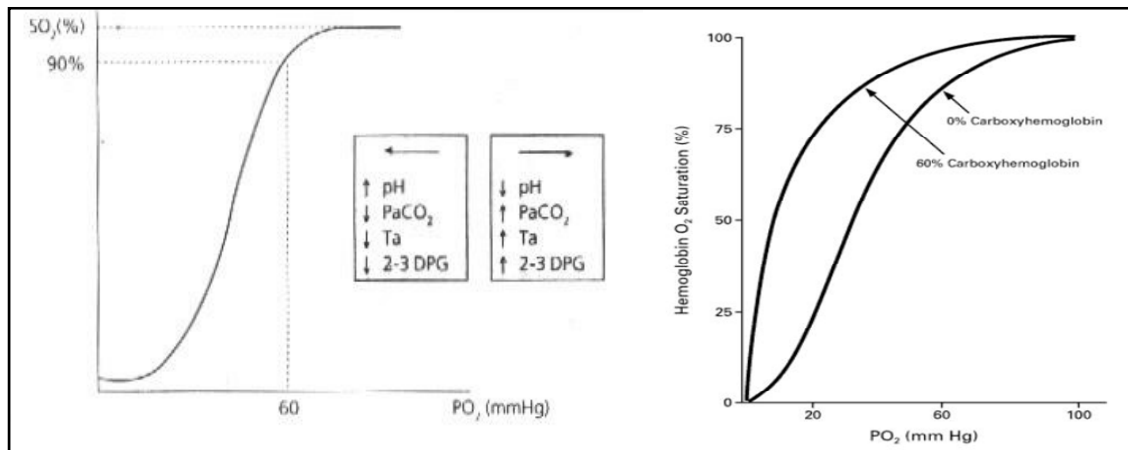


Figura 7: Curva de disociación de la O_2 Hb^{(34), (35)}

3.3. METABOLISMO

3.3.1. ABSORCIÓN

El CO se absorbe inadvertidamente por vía alveolar sin modificar la función respiratoria, pues es un gas que difunde fácilmente en el aire, y de los alveolos pulmonares pasa a los capilares tisulares para llegar a la sangre. La cantidad de CO absorbida es directamente proporcional a la concentración de CO en el aire inspirado, al tiempo de exposición, a la velocidad de ventilación alveolar por minuto que a su vez

29GUYTON, y HALL, 2006

31UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA-Sede Bogotá, 2011

33MACARULLA, y GOÑI, 1994

34PERÉZ, y MARCHESSE, 2004

35DÍAZ, y CASTAÑOS, 2005



UNIVERSIDAD DE CUENCA

depende del ejercicio realizado durante la exposición, a la capacidad de difusión del CO en los pulmones; e inversamente proporcional a la concentración de O₂ en el aire.

3.3.2. DISTRIBUCIÓN

El CO una vez en la sangre, gran parte se liga a la Hb de los hematíes, una pequeña parte se une a otras proteínas como la mioglobina formando carboximioglobina, a la citocromo-oxidasa, citocromo P450 y la hidroxidroxidasa, a las cuales se une en un 15-20%, y menos del 1% se halla disuelto en el plasma.

3.3.3. BIOTRANSFORMACIÓN Y ELIMINACIÓN

La COHb se disocia y el CO es eliminado en gran parte a través de los pulmones y solo el 1% se metaboliza a nivel hepático oxidándose a CO₂. La vida media del CO en personas sanas que respiran aire ambiente oscila entre 3-5 horas, disminuyendo conforme aumenta la presión parcial de O₂ en el aire inspirado. Sin embargo, las personas con anemia son propensas a una mayor intoxicación que las que tienen Hb normal y depende también del tiempo de exposición al tóxico.⁽²⁴⁾

3.4. TOXICIDAD

3.4.1. ACCIÓN TÓXICA

La **acción tóxica indirecta** del CO es una asfixia oxipriva. El sistema nervioso, que es el de mayor exigencia de O₂, es el primero en padecer sus efectos, éstos al inicio son funcionales y reversibles, pero tras largo tiempo se vuelven irreversibles, lo que explica las secuelas permanentes que a veces quedan después de una intoxicación oxicarbonada.

La **acción directa** del CO a dosis suficiente es sobre las células, como se ha demostrado con la utilización de CO marcado con *carbono radioactivo*, probándose que la eliminación del CO fijado en los tejidos como en el miocardio es prolongada, incluso semanas. Esta acción es debida prioritariamente al CO disuelto en el plasma y no al unido a la Hb. Se trata de un efecto tóxico específico sobre los procesos metabólicos celulares por parálisis del fermento respiratorio de Warburg (unión a los citocromos

22CALABUIG, y VILLANUEVA, 2004

24ALVARADO, y HERNÁNDEZ, 2008



UNIVERSIDAD DE CUENCA

celulares), pero antes de que esto ocurra, ya se habrá producido la muerte por mecanismo asfíctico^[4], típica de una intoxicación aguda.⁽²²⁾

3.4.2. DOSIS TÓXICA

No se puede hablar de dosis tóxicas absolutas, pues el CO se encuentra en el aire que se respira y sus efectos dependen de la concentración en el aire y el tiempo de inhalación. Por otra parte, la dosis tóxica no depende del peso corporal, ni del número de personas presentes en el área contaminada, dado que todos están expuestos. No obstante, ancianos, niños y personas con anemia son los más afectados.

- La concentración máxima permitida (CMP) en el ambiente durante un máximo de 8 horas es de **10-30 ppm** siendo mayor en zonas urbanas que en las rurales.
- La concentración máxima permitida en el ambiente de trabajo, a la cual la mayoría de trabajadores se expone día tras día, sin sufrir efectos adversos, con una permanencia promedio de 8 horas es de **25-50 ppm**.

Los animales pequeños son los primeros y los más sensibles en sufrir intoxicación, por ello son utilizados como detectores biológicos de concentraciones peligrosas.^{(19), (25),(36),(37)}

A continuación se muestra las proporciones de CO en el ambiente, las previsibles concentraciones de COHb y sus síntomas:

Concentración de CO en aire	COHb %	Síntomas
35 ppm	5	Ninguno o cefalea suave
50 ppm	10	Cefalea leve, disnea y vasodilatación cutánea
100 ppm	20	Cefalea pulsátil, disnea forzada
200 ppm	30	Cefalea severa, irritabilidad, fatiga y visión borrosa
300-500 ppm	40-50	Cefalea, taquicardia, náusea, confusión, letargia, colapso.
800-1200 ppm	60-70	Coma, convulsiones, falla respiratoria y cardíaca
1900 ppm	80	Muerte

Tabla 6. Concentración de CO en aire, COHb y correlación clínica⁽³⁷⁾

19 CÓRDOVA, 2006

25 LÓVINE, y SELVA, 1985

36 A.E.P. Asociación Española de Pediatría, 2009

37 Estructplan On Line, 2009



3.5. SINTOMATOLOGÍA

3.5.1. CUADRO CLÍNICO SEGÚN LA CONCENTRACIÓN DE COHb

a) Intoxicación Sobreaguda o Fulminante

Es una forma de intoxicación muy rara provocada por inhalación masiva de CO cuya concentración atmosférica es mayor a **1200 ppm**. El cuadro evoluciona con extrema rapidez, la víctima cae al suelo, presenta convulsiones y sobreviene la muerte instantáneamente por síncope respiratorio o cardíaco.

b) Intoxicación Aguda

Intoxicación muy común provocada por exposición a un ambiente de CO entre **100 y 500 ppm**. La evolución es más lenta y se desarrolla en tres períodos:

- **Primer período (Pre-comatoso):** Caracterizado por trastornos nerviosos: cefalea, vértigo, zumbidos, calor, náuseas, somnolencia, impotencia muscular, paresia de los miembros inferiores, astenia de los músculos laríngeos (impide el habla).
- **Segundo período (Comatoso):** Se observa débil respiración, taquicardia (alteraciones que se interpretan como lesión específica del miocardio o resultado de hemorragias y focos de necrosis en el miocardio), pérdida de reflejos, hipotensión, parálisis pupilar con midriasis o miosis, contracturas musculares, fibrilación, casualmente vómito, pérdida del conocimiento y finalmente evoluciona a un coma. El coma dura 2 o 3 días, si la víctima sobrepasa ese tiempo, el pronóstico empeora y sobreviene la muerte, la cual se produce por paro respiratorio-circulatorio o edema pulmonar, la parálisis respiratoria ocurre siempre antes que la circulatoria.
- **Tercer período (Pos-comatoso):** Si el paciente sobrevive este trance, pasa a un período pos-comatoso, durante el cual, el paciente se recupera paulatinamente, quedando por algún tiempo residuos de la intoxicación como: cefalea, confusión mental con amnesia, debilidad muscular, fatiga y obnubilación^[5].

El paciente tras su recuperación puede mostrar secuelas que involucran diversos órganos:

- ❖ En la *piel*, un edema duro y doloroso, exantemas y alteraciones tróficas.
- ❖ En los *pulmones*, congestión, neumonías y edema agudo de pulmón.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

- ❖ En el *sistema nervioso*, neuritis periférica y central que provocan síndromes como: parálisis de los pares craneales, hemiplejía^[6], parkinsonismo^[7], corea^[8]. Las secuelas psíquicas son también numerosas: confusiones, estupor o delirio, crisis de agitación psicomotriz y psicosis endógena.
- ❖ En el *sistema endócrino*, consecutivamente a la intoxicación se ha descrito hipertiroidismo basedowiano^[9], diabetes incluso hiperamilasemia^[10].⁽²²⁾

c) Intoxicación Crónica (Oxicarbonismo)

Causada por inhalación de pequeñas dosis durante períodos de tiempo prolongados de exposición a CO que fluctúan entre **50-100 ppm**. Los síntomas son menos severos y los pacientes pueden no ser diagnosticados o asignárseles un diagnóstico erróneo.

El oxicarbonismo se caracteriza por tres síntomas claves: cansancio, cefalea y vértigo, a los que en ocasiones se suman manifestaciones dispépticas, poliglobulia, alteraciones visuales (falta de apreciación de las distancias y daltonismo^[11]), auditivas (zumbidos e hipoacusia^[12]), olfatorias (anosmia^[13]), psíquicas (apatía, cambios de carácter, alteraciones de memoria, falta de concentración). Tiene siempre carácter profesional, pues ocurre en ambientes industriales, también en el ámbito familiar, inclusive las pequeñas cantidades de gas inhaladas al fumar.⁽²⁵⁾

No debe confundirse con la sintomatología persistente después de una intoxicación aguda, explicable por los efectos anoxiantes de CO, pues en una intoxicación crónica su efecto radica en la interferencia de los procesos metabólicos celulares, al bloquear el fermento respiratorio de Warburg y los citocromos.⁽²²⁾

3.5.2. MANIFESTACIONES CLÍNICAS SEGÚN EL SISTEMA

▪ Sistema Nervioso Central (SNC)

En cuadros leves, cefalea pulsátil, fotofobia, vértigo, náuseas, vómito e irritabilidad. Luego, alteraciones cognoscitivas, ataxia, convulsiones y disminución del nivel de conciencia, directamente relacionados con la hipoperfusión^[14].

22 CALABUIG, y VILLANUEVA, 2004

22 CALABUIG, y VILLANUEVA, 2004

25 LÓVINE, y SELVA, 1985



UNIVERSIDAD DE CUENCA

En intoxicaciones graves ($>50\%COHb$) aparecen alteraciones de conciencia que pueden acompañarse de epilepsia, hiperreflexia^[15] y rigidez muscular generalizada. En la TAC (tomografía axial computarizada) suele verse edema cerebral difuso como hallazgo temprano. Posteriormente pueden aparecer lesiones de isquemia cerebral sobre todo en zonas de menor aporte sanguíneo. Si el paciente no muere, se recuperará sea tratado o no, pudiendo sufrir un nuevo deterioro tras un intervalo lúcido que oscila entre días y semanas.

▪ **Sistema Cardiovascular**

El CO tiene efecto directo sobre el miocardio produciendo síncope, arritmias, la causa frecuente de muerte, además la hipoxemia produce angina o infarto. Los signos clínicos más frecuentes son hipotensión, taquicardia y depresión de la función miocárdica.

▪ **Pulmones**

Los hallazgos son respiración superficial, taquipnea y disnea, aunque a veces el examen físico es normal. En casos de inhalación de otros tóxicos puede asociarse a dificultad respiratoria severa. En pacientes con enfermedad pulmonar previa pueden empeorarla y provocar disnea; en casos graves puede generarse edema de pulmón.

▪ **Sistema Renal**

Lo más frecuente es lesión por rhabdomiólisis^[16] y mioglobinuria^[17], además el CO puede producir, por acción directa, necrosis tubular y falla renal.

▪ **Piel**

El cambio de color de la piel "rojo carmín", pocas veces se ve y ha sido reportado en niveles de COHb mayores a 40%.

▪ **Ocular**

La intoxicación puede provocar defectos visuales: ceguera, papiledema^[18], hemorragias retinianas y arterialización de las venas al fondo de ojo.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

3.5.3. CUADRO CLÍNICO DE ACUERDO AL SUJETO

▪ Clínica en niños

En los pacientes pediátricos, la intoxicación puede ser inespecífica, como náusea, vómitos, y puede confundirse fácilmente con enfermedad viral. Se ha visto un incremento en la presencia de síncope y letargo en comparación con los adultos.

▪ Clínica en la embarazada

Dado que el paso del CO por la placenta se hace por difusión simple y la fijación del CO a la Hb fetal es mayor, las consecuencias para el feto son más nocivas que para adultos. En el feto se tarda más tiempo en alcanzar el picomáximo de COHb y la eliminación es más lenta; los efectos adversos suelen ser: bajo peso, malformaciones anatómicas, alteraciones neurológicas, se ha demostrado daño fetal en autopsias principalmente en ganglios basales y globo pálido^[19]. En exposiciones tempranas las malformaciones son de predominio anatómicas, pero en cualquier lapso del embarazo se presentan disturbios funcionales y pobre desarrollo neurológico.⁽²⁴⁾

3.6. ANATOMOPATOLOGÍA FORENSE

3.6.1. EXAMEN EXTERNO DEL CADÁVER

La muerte de la víctima se produce con valores de COHb $\geq 80\%$, las lesiones son diversas, la piel y mucosas del cadáver presentan una coloración rosada, los ojos y las livideces^[20] que son muy extensas tienen un color rojo cereza.

3.6.2. EXAMEN INTERNO DEL CADÁVER

Internamente, la sangre y los órganos exhiben un color rojo carmín debido a la COHb que especifica muerte por asfixia, además la sangre aparece muy fluida; este color se observa en las mucosas ocular, bucal y digestiva y por sobre todo en órganos muy vascularizados (hígado, riñón, bazo). Los pulmones denotan edema, signo clínico conocido como Lacassagne, pues al exprimir una sección de tejido pulmonar emana una espuma sanguinolenta, típico de la sangre carboxihemoglobínica. El SNC presenta

24 ALVARADO, y HERNÁNDEZ, 2008



UNIVERSIDAD DE CUENCA

hemorragias de forma anular y puntiforme alrededor de los vasos, encéfalo y meninges están congestionados y el cerebro edematoso.^{(38),(39),(40)}



Figura 8: Livideces cadavéricas de color rojo cereza, edema en laringe y congestión cerebral⁽⁴¹⁾

3.7. DIAGNÓSTICO

El diagnóstico de intoxicación requiere de una exhaustiva sospecha y una historia clínica bien detallada para evitar falsos juicios. El examen físico es el primero en facilitar evidencia de lesión por inhalación de CO.

Las pruebas de laboratorio muestran cierta correlación entre los síntomas y los niveles de COHb, ya que confirman el diagnóstico y evalúan la eficacia del tratamiento.

3.7.1. PRUEBAS DE LABORATORIO

A. Pruebas Básicas

a) **Determinación de la concentración de COHb:** Es el examen básico en sangre venosa o arterial. En casos pos-mortem es útil solicitar la COHb a familiares de la víctima que hayan estado expuestos al CO, aunque estén asintomáticos, pues con frecuencia suele estar elevada, debiendo ser tratados.

38 STEVENS, y LOWE, 2006

39 MENDOZA, 2010

40 ROMO PIZARRO, 2010

41 SIBÓN OLANO, MARTÍNEZ GARCÍA, VISCAYA ROJAS, y ROMERO PALANCO, 2007



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Niveles de COHb >20% son compatibles con el diagnóstico y >40% aluden a intoxicación aguda severa, pero la correlación no es exacta si hay demora en el traslado del paciente al hospital o ha recibido O₂. En otros casos, un 4% en no fumadores y 8% en fumadores son diagnósticos de intoxicación crónica. La medición de COHb es útil para el diagnóstico y para el control del paciente, pero no para su pronóstico.

- b) Gasometría arterial:** La **determinación de la pO₂** puede ser normal aún en presencia de niveles altos de COHb, pues su determinación mide el O₂ disuelto y no el unido a la Hb. En consecuencia, la **pulso-oximetría** o saturación de la O₂Hb a partir de la pO₂ no confirma intoxicación por CO, ya que los pulso-oxímetros no precisan si es O₂Hb o COHb, sugiriendo una saturación normal o falsamente elevada de Hb oxigenada; y la pCO₂ suele ser normal o ligeramente disminuida por la taquipnea.

El *cooxímetro* o *espectrofotómetro* son métodos adecuados para conocer la saturación real de la Hb ya que la mide directamente.

Los gases arteriales permiten identificar la acidosis metabólica debida a la acumulación de **ácido láctico** de la respiración anaeróbica (hipoxia) en intoxicaciones graves.

- c) Medición de CO en aire espirado:** Se correlaciona bien con la COHb detectada en sangre, como también la **medición en aire ambiente** en el sitio de intoxicación por medio de equipos portátiles no invasivos, puede ser un método alternativo muy útil.

B. Pruebas Secundarias

Se trata de pruebas que valoran el grado de lesión en distintos órganos en intoxicaciones graves:

- a) Análisis de orina:** Útil para detectar **mioglobinuria** que explica la lesión cardíaca y la rabdomiólisis, así como la necrosis tubular aguda. La tira reactiva da positivo para hematuria, mientras que el sedimento no muestra glóbulos rojos. También pueden existir otras alteraciones: albuminuria, glucosuria, etc.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

b) Hemograma: Sirve para examinar los niveles de Hb. Una leve leucocitosis con desviación a la izquierda es usual.

c) Pruebas de coagulación: Los pacientes graves pueden presentar ocasionalmente coagulación intravascular diseminada.

En realidad, son bastante raras las complicaciones hematológicas como la anemia hemolítica o la coagulación intravascular diseminada.

d) Bioquímica sanguínea: En intoxicaciones graves resulta conveniente solicitar: glucemia, amilasa, ión K, CPK, LDH, GOT, GPT, úrea, creatinina, ya que puede observarse hipocalemia e hipercalemia, hiperglucemia causada por la respuesta al estrés que supone la intoxicación, elevación de la CPK y de enzimas hepáticas. La valoración de la función renal con la medición de la úrea y de creatinina es importante si existe mioglobinuria.

3.7.2. EXÁMENES COMPLEMENTARIOS

- El electrocardiograma (**ECG**) revela afectación del miocardio, se observa taquicardia, signos isquémicos y arritmias, éstos últimos propios de intoxicaciones graves. Por tanto, es útil hacer determinación seriada de enzimas cardíacas en pacientes con alteraciones en el ECG. Los pacientes cardiopatas pueden tener descompensación cardíaca, incluso con niveles insignificantes de COHb.
- El electroencefalograma (**EEG**) muestra las múltiples secuelas neurológicas mencionadas.
- Una tomografía axial computarizada (**TAC**) o resonancia magnética nuclear (**RMN**) del cráneo, muestra edema cerebral en las primeras 24 horas, además de otras secuelas neurológicas.
- Estos signos empobrecen el pronóstico neurológico del paciente. La RMN valora mejor las lesiones focales y la desmielinización de la sustancia blanca del cerebro.
- La **radiografía de tórax** suele ser normal, pero en casos graves es posible encontrar edema pulmonar e incluso hemorragias.
- Tras la recuperación del enfermo unas tres semanas después, habrá que realizar una **exploración neuropsiquiátrica** para detectar secuelas tardías.^{(24),(42)}

24 ALVARADO, y HERNÁNDEZ, 2008



3.8. INVESTIGACIÓN ANALÍTICA DE CO

3.8.1. TÉCNICAS FÍSICAS INSTRUMENTALES

- **Gasometría**

Es una técnica basada en la liberación de gases de la sangre como O_2 , CO_2 , CO y N_2 y posteriormente se mide la presión que ejercen dichos gases cuando son absorbidos cada uno de éstos.

- **Absorción en el infrarrojo**

El CO es capaz de absorber la radiación infrarroja cuando es disociado de la Hb mediante soluciones de ferricianuro de potasio. Esta técnica puede demostrar hasta 1% de saturación oxicarbonada.

- **Cromatografía gaseosa**

Es una técnica de elección que impide que los otros gases presentes en la sangre interfieran con la determinación de CO. Se detectan cantidades del 0,5 al 1% de CO.

- **Calorimetría**

El CO se oxida a CO_2 desprendiendo 68 kcal/mol, esta característica es aprovechada cuando se libera CO de la Hb y es oxidado catalíticamente a CO_2 para medir la temperatura que se genera con dispositivos especiales. Se detecta hasta 5% de COHb.

- **Espectroscopía**

Se basa en la observación de los espectros de absorción (dos bandas oscuras) de la O_2Hb y COHb cuando la sangre se trata con una sustancia reductora como el sulfhidrato amónico o hidrosulfito sódico, ya que la O_2Hb pasa a Hb reducida, cuyo espectro está formado por una banda ancha y única; mientras que la COHb no se modifica por el reductor, conserva las dos bandas.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

- **Espectrofotometría**

Consiste en la determinación de la absorbancia a longitudes de onda características para la O₂Hb y COHb y de su relación se deduce el % de COHb en sangre.

3.8.2. TÉCNICAS FÍSICAS NO INSTRUMENTALES (CUALITATIVAS)

- **Ensayo de dilución**

Consiste en la apreciación de la coloración de soluciones sanguíneas al 1% de muestra a analizar y de sangre normal, la sangre normal presenta color rojo amarillento, mientras que la muestra, si contiene COHb presenta color rojo carminado. Este ensayo es práctico para concentraciones de COHb superiores al 20%.

- **Ensayo alcalino**

Se basa en la mayor estabilidad de COHb frente a la Hb en iguales condiciones alcalinas. Este ensayo consiste en agregar 5 gotas de NaOH 10% a las soluciones sanguíneas al 1% de muestra a analizar y de muestra normal. La sangre normal adquiere color castaño a castaño verdoso (hematina alcalina), mientras que la sangre oxicarbonada se mantiene inalterada (color carminado durante cierto tiempo). El contraste es claro y resulta positivo cuando la COHb es superior al 10%. Hay que tener en cuenta que la Hb fetal manifiesta una resistencia, pues produce una transformación retardada del color.

3.8.3. TÉCNICAS QUÍMICAS

- **Método espectrofotométrico (TÉCNICA DE BUCHWALD)**

Consiste en introducir sangre capilar de áreas como el lóbulo de la oreja o yema de dedos en un recipiente lleno de solución amoniaca evitando introducir aire. Esta solución homogénea se divide en tres alícuotas: una sin saturar, otra saturada con O₂ 99,5%, otra saturada con CO 99,5%. Mediante las absorbancias se obtiene el % de COHb.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

- **Método químico por microdifusión (TÉCNICA DE FELDSTEIN-KLENDSHOJ)**

Se basa en la difusión de CO de la cámara exterior de una celda de Conway con H_2SO_4 10% al centro sobre solución clorhídrica de $PdCl_2$. Transcurrido el tiempo, se toma un alícuota del centro donde podrá observarse un precipitado en caso de haber CO, se hace reaccionar esta alícuota y otra de solución original con KI formándose complejos de tetrayodo paladio que se determinan frente a un blanco de agua, de preferencia se agrega un coloide protector para evitar que precipite el complejo. Es un método adecuado para valores altos de COHb.^{(22),(25)}

3.9. TRATAMIENTO

3.9.1. MEDIDAS DE URGENCIA

a) Evacuación

La primera medida es retirar al intoxicado del ambiente con CO, tomando las debidas precauciones como el uso de máscaras, romper las ventanas y facilitar la aireación del local, todo ello para evitar accidentes en cadena.

b) Oxigenación

Una vez evacuado el paciente y como la función respiratoria está comprometida, se administra oxígeno 100% con máscara, no recirculante a un flujo de 10-12 L/min hastabajar la COHb. Si la cifra de COHb excede el 20% se debe recurrir a la oxigenoterapia a presión (O_2 hiperbárico), que consiste en introducir al intoxicado en cámaras de hiperpresión con O_2 a 3 atm. El O_2 es el *antídoto* pues acorta la vida mediadel CO de manera significativa, y se debe continuar administrándolo hasta total recuperación.

3.9.2. MEDIDAS GENERALES EN INTOXICACIONES SEVERAS

- 1) Mantener la temperatura corporal y la presión arterial normal. Si existe hipertermia, reducirla con la aplicación de paños fríos.

22CALABUIG, y VILLANUEVA, 2004

25LÓVINE, y SELVA, 1985



UNIVERSIDAD DE CUENCA

- 2) Para reducir el edema cerebral se administra manitol al 20% 1 g/Kg/IV por 20 minutos, o suero glucosado hipertónico y punción lumbar.
- 3) Administrar prednisona 1 mg/Kg/IV o IM c/4 horas para contrarrestar igualmente el edema cerebral.
- 4) En caso de neumonía bacteriana por aspiración tratar con quimioterapia específica.
- 5) Reposo en cama por varias semanas para minimizar las complicaciones del SNC. En caso de existir convulsiones o hiperactividad tratar con diazepam 0,1 mg/Kg/IV por infusión, luego continuar con fenitoína.

3.9.3. MEDIDAS ALTERNATIVAS

a) Sustitutivos de la Hb

Algunos autores recomiendan la administración de sustancias que por su capacidad oxidorreductora, sustituyen parcialmente la Hb en su función transportadora de O₂, como por ejemplo la *tionina* vía IV y el *citocromo C* vía IM. Incluso, investigadores japoneses han fabricado una “sangre artificial”, constituida por hidrocarburos fluorados con capacidad de transportar dos veces más O₂ que la Hb.

b) Vasodilatadores y Espasmolíticos

Es también recomendable por los espasmos vasculares que agravan el daño hístico al disminuir el riego sanguíneo, la administración vía IV de procaína o novocaína.

c) Tratamiento Sintomático

Se completa el tratamiento cuando sea preciso con estimulantes del centro respiratorio y del SNC como la lobelina, la efedrina o coramina.

3.10. PREVENCIÓN

La concentración de CO en el aire ambiente no debe exceder el límite máximo permisible. Todos los artefactos de combustión domiciliarios (calentadores de agua, estufas, motores de combustión interna, etc.) deben ser desfogados al exterior, tener mecanismos de ventilación adecuada y ser revisados periódicamente, igualmente los



UNIVERSIDAD DE CUENCA

vehículos deben precisar revisión periódica. Las áreas laborales donde haya fuente de producción de CO, deben ser supervisadas por ingenieros sanitarios quienes deben implementar mecanismos estructurales o funcionales para disminuir la producción y la acumulación de CO.^{(1),(22),(43)}

1ASTOLFI, 1982

22CALABUIG, y VILLANUEVA, 2004

43DREISBACH, y ROBERTSON, 1988



UNIVERSIDAD DE CUENCA

CAPÍTULO IV

4. METODOLOGÍA



UNIVERSIDAD DE CUENCA

4.1. MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

4.1.1. MATERIALES

- ❖ Cámaras de Conway
- ❖ Pipetas serológicas y automáticas
- ❖ Tubos de ensayo
- ❖ Vasos de precipitación
- ❖ Puntas para pipeta automática
- ❖ Cubetas para lectura espectrofotométrica

4.1.2. EQUIPOS

- ❖ Espectrofotómetro
- ❖ Centrífuga
- ❖ Estufa
- ❖ Vórtex
- ❖ Equipo GAS ALERT MICRO 5 PID para determinación de gases en aire ambiente (facilitado por el CEA).

4.1.3. REACTIVOS

Para la determinación de COHb

- ✓ PdCl₂ 0,1% en HCl 0,01 N
- ✓ HCl 0,01 N(V/V)
- ✓ H₂SO₄ al 10% (V/V)
- ✓ KI al 15% (P/V)
- ✓ Goma arábica 1% (P/V)
- ✓ H₂O destilada

Para la determinación de Hb

- ✓ Reactivo de Drabkin
- ✓ Patrón (muestra valorada)
- ✓ Muestra de sangre anticoagulada con EDTA

4.2. SOLUCIONES PARA LA DETERMINACIÓN DE COHb

4.2.1. ÁCIDO CLORHÍDRICO (HCl 0,01 N)

Datos del HCl	
Peso Molecular	36 g
Densidad (□)	1,19 g/cm ³
Riqueza	37%

Cálculos:

Para preparar 250 cm³ de solución HCl 0,01 N

$$36 \text{ g HCl} \dots\dots\dots 1 \text{ N} \dots\dots\dots 1000 \text{ cm}^3$$

$$X \dots\dots\dots 0,01 \text{ N} \dots\dots\dots 1000 \text{ cm}^3$$

$$X = \frac{36 \text{ g} \times 0,01 \text{ N} \times 1000 \text{ cm}^3}{1 \text{ N} \times 1000 \text{ cm}^3}$$

$$0,36 \text{ g HCl} \dots\dots\dots 0,01 \text{ N} \dots\dots\dots 1000 \text{ cm}^3$$



UNIVERSIDAD DE CUENCA

X.....0,01 N.....250 cm³

X = 0,09 g HCl al 100%

$$X = \frac{0,36 \text{ g} \times 0,01 \text{ N} \times 250 \text{ cm}^3}{0,01 \text{ N} \times 1000 \text{ cm}^3}$$

X = 0,36 g HCl al 100%

0,09 g HCl.....100%

X.....37%

$$X = \frac{0,09 \text{ g} \times 100\%}{37\%}; X = 0,24 \text{ g HCl al } 37\%$$

Volumen a medir empleando la densidad:

$$= \frac{m}{v}; v = \frac{m}{\rho}; v = \frac{0,24 \text{ g}}{1,19 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}}; v = 0,20 \text{ cm}^3 \text{ HCl al } 37\%$$

Preparación: Con una pipeta tomar 0,20 cm³ de HCl al 37% y pasar a un balón de aforo de 250 cm³ de capacidad y llenarlo hasta su marca con agua destilada.

4.2.2. ÁCIDO SULFÚRICO (H₂SO₄ al 10%)

Datos del H ₂ SO ₄	
Peso molecular	98 g
Densidad (□)	1,84 g/cm ³
Riqueza	95%

Cálculos:

Parapreparar 250 cm³ de solución H₂SO₄ al 10%

10 g H₂SO₄.....100 cm³ solución

25 g H₂SO₄.....100%

X.....250 cm³ solución

X.....95%

$$X = \frac{10 \text{ g} \times 250 \text{ cm}^3}{100 \text{ cm}^3}$$

$$X = \frac{25 \text{ g} \times 100\%}{95\%}$$

X = 25 g H₂SO₄ al 100%

X = 26,31 g H₂SO₄ al 95%

Volumen a medir empleando la densidad:



UNIVERSIDAD DE CUENCA

= m/v; v = m/ρ; v = 26,31 g / 1,84 g/cm³; v = 14,29 cm³ H₂SO₄ al 95%

Preparación: Pipetear 14,29 cm³ H₂SO₄ al 95%, verter en un balón de aforo de 250 cm³ de capacidad y aforar con agua destilada hasta la marca señalada.

4.2.3. YODURO DE POTASIO(KI al 15%)

Table with 2 columns: Riqueza, 100%

Cálculos:

Parapreparar 200 cm³ de solución de KI al 15%

15g KI.....100 cm³ solución
X.....200 cm³ solución

X = (15 g x 200 cm³) / 100 cm³; X = 30 g KI al 100%

Preparación: Pesar 30 g de KI y disolver en un vaso de precipitación con un volumen aproximado de 50 cm³ de agua destilada, luego pasar a un balón de aforo de 200 cm³ y completar hasta su marca con el agua destilada.

4.2.4. CLORURO DE PALADIO (PdCl₂ 0,1% en HCl 0,01 N)

Table with 2 columns: Riqueza, 100%

Cálculos:

Para preparar 200 cm³ de solución clorhídrica de PdCl₂ 0,1%

0,1g PdCl₂.....100 cm³ solución
X.....200 cm³ solución

X = (0,1 g x 200 cm³) / 100 cm³

X = 0,22 g PdCl₂ al 100%



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Preparación: Pesar 0,22 g de PdCl_2 y transferir a un vaso de precipitación, disolver en un volumen aproximado de 50 cm^3 de HCl 0,01 N en caliente y pasar a un balón de aforo de 200 cm^3 de capacidad y completar hasta el límite con dicho vehículo.

4.2.5. SOLUCIÓN DE GOMA ARÁBIGA al 1%

Preparación: Pesar 1 g de goma arábica y disolver en caliente con un volumen de agua destilada aproximado de 50 cm^3 , se traspasa a un balón de aforo de 100 cm^3 de capacidad y se completa hasta su límite con el mismo vehículo.

NOTA: De preferencia todas las soluciones fueron conservadas en frascos ámbar y almacenadas a temperatura ambiente. Debe tomarse en cuenta que la solución de goma arábica tiene un corto tiempo de estabilidad.

4.3. SET PARA LA DETERMINACIÓN DE HEMOGLOBINA

4.3.1. PRUEBA COLORIMÉTRICA FOTOMÉTRICA (CASA HUMAN)

4.3.1.1. Método de la Cianmetahemoglobina

Se basa en determinar cianmetahemoglobina. La Hb de la sangre total es liberada de los eritrocitos y oxidada por hexacianoferrato de potasio III formando metahemoglobina. Ésta reacciona con cianuro formando cianmetahemoglobina estable cuya absorbancia a 540 nm de longitud es directamente proporcional a la concentración de Hb.

4.3.1.2. Contenido del Reactivo

Reactivo A	Hexacianoferrato de potasio (III)
	Bicarbonato de potasio
Reactivo B	Cianuro de potasio
	Bicarbonato de potasio

4.3.1.3. Preparación

El reactivo de Hb se prepara mezclando el reactivo A y el reactivo B con 450 cm^3 de agua destilada en frasco ámbar de 500 cm^3 de capacidad y etiquetado.



4.3.2. ESQUEMA DEL ENSAYO

Método Macro	Muestra	Estándar	Blanco
Reactivo de Trabajo	5 ml	5 ml	5 ml
Muestra	20 ul	-----	-----
Patrón / Estándar	-----	20 ul	-----

Mezclar y leer la absorbancia a 540 nm después de 5 minutos frente al Blanco

4.3.3. CÁLCULOS

Cálculo del Factor de Hb:

$$F = \frac{C_{\text{patrón}}}{L_{\text{patrón}}}$$

Cálculo de la Concentración de Hb:

$$C_{\text{muestra}} \left(\frac{\text{g}}{\text{dl}} \right) = F \times L_{\text{muestra}} \text{ Valor de Referencia:}$$

HOMBRES: 14-18 g/dl

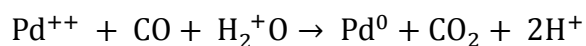
MUJERES: 12-16 g/dl

4.4. DETERMINACIÓN DE CO EN SANGRE (COHb)

4.4.1. MÉTODO QUÍMICO POR MICRODIFUSIÓN

4.4.1.1. Fundamento (Técnica de Feldstein-Klenshøj)

Del compartimiento exterior de la cámara se libera el CO en forma de COHb como resultado de la desnaturalización de las proteínas por el H₂SO₄ 10 %. Este CO es captado en el centro por la solución clorhídrica de PdCl₂. Posterior al tiempo de difusión se extrae el contenido del compartimiento interno, de existir CO, disminuirá el catión paladioso (Pd⁺⁺) ya que éste se reduce a paladio metálico (Pd⁰) que precipita y se puede separar por centrifugación. La interpretación química es la siguiente:

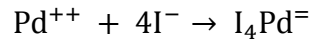


La solución paladiosa centrifugada y una alícuota de la solución original de PdCl₂ se hacen reaccionar con el KI, formándose complejos de tetrayodo paladio, cuya



UNIVERSIDAD DE CUENCA

extinción (mayor que la del PdCl_2) se determina frente a un blanco de agua. Químicamente:



Es aconsejable añadir goma arábica como protector para evitar precipitación del complejo.

4.4.1.2. Muestra

Sangre total. La extracción se hace al vacío para impedir exposición innecesaria al aire y evitar pérdidas de CO , y además se homogeneizará antes de su uso.

4.4.2. TÉCNICA

- 1) Inspeccionar que las cámaras de microdifusión estén limpias y secas.



- 2) Enumerar las cámaras para las muestras de sangre y una cámara para el Blanco.



- 3) Colocar gotas de agua en los cuatro extremos de las cámaras para su posterior cierre hermético.



- 4) Colocar 2 ml de H_2SO_4 al 10 % en el compartimiento externo de la cámara.



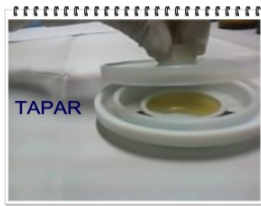
- 5) Colocar 2 ml de PdCl_2 0,1% en HCl 0,01 N en el compartimiento interno.



- 6) Colocar 2 ml de sangre total en el compartimiento externo al lado opuesto donde se vertió el H_2SO_4 .



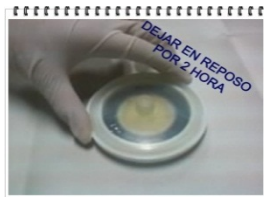
7) Tapar inmediatamente la cámara.



8) Homogenizar varias veces hasta que se mezcle totalmente la sangre con el H_2SO_4 .



9) Dejar en reposo por 2-3 horas a temperatura ambiente en superficie plana.



10) Transcurrido el tiempo destapa y observar si hay presencia de un barniz metálico (Análisis Cualitativo).



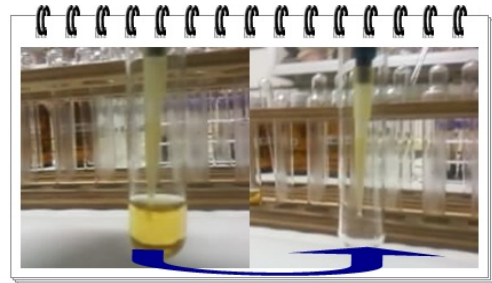
11) Extraer con pipeta el contenido del compartimiento interno y transferirlo a un tubo de ensayo.



12) Centrifugar el tubo de ensayo a 3000 rpm por 3 min.



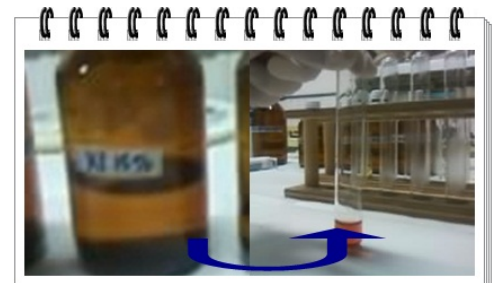
13) Extraer 100 μ l del sobrenadante y pasarlo a un tubo de ensayo de 10 ml de capacidad.



14) Agregar 1 ml de goma arábica 1% al contenido anterior.



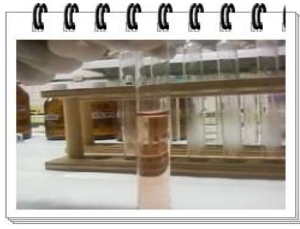
15) Agregar 1 ml de KI 15% al tubo.



16) Completar a un volumen de 10 ml agregando 7,9 ml de agua destilada.



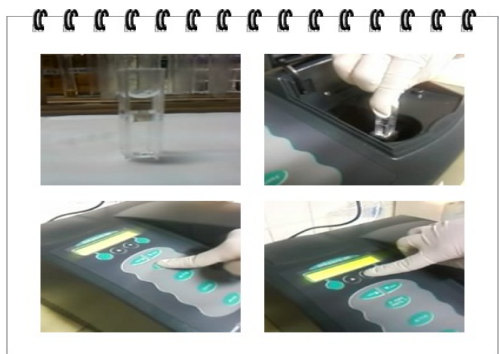
UNIVERSIDAD DE CUENCA



17) Homogenizar en el vórtex.



18) Colocar una celda con agua destilada en el canal de lectura del espectrofotómetro y encerrar a 490 nm de longitud de onda.

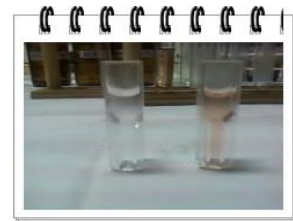


19) El Blanco se prepara siguiendo los mismos pasos relatados, pero en lugar de sangre se incorpora al

20) compartimiento externo 2 ml de H₂O destilada, y se procede igual como las muestras.

21) El Blanco no debe presentar el brillo metálico descrito para las muestras positivas (control negativo).

22) Se transfiere también 1 ml del Blanco a una celda de lectura.



23) Leer las absorbancias tanto del Blanco como de las muestras respectivamente y registrarlas.



24) Hacer los cálculos respectivos para obtener el % COHb siguiendo el procedimiento que a continuación se detalla (Análisis Cuantitativo).



4.4.3. ANÁLISIS

▪ Análisis Cualitativo

Transcurrido el tiempo de difusión, de existir CO en la muestra de sangre, dependiendo de su concentración, aparece un precipitado de paladio (Pd^0), es decir, un barniz de color gris metálico en la superficie de la solución de $PdCl_2$.



De acuerdo a la intensidad de esta pátina, se debe reportar por cruces la concentración de CO en sangre.

▪ Análisis Cuantitativo

Para finalmente medir el % de saturación de laHb con CO (% COHb), se requiere también conocer la concentración de Hb de la persona. Por ello, efectuadas las lecturas en el espectrofotómetro del blanco, del desconocido y de la Hb, esos valores son utilizados en las siguientes fórmulas:

D_{blanco}	Densidad óptica del blanco
D_{desconocido}	Densidad óptica del desconocido
0,05335	Es la cantidad de $PdCl_2$ contenido en 0,1 ml de solución de reactivo
520	Proviene de multiplicar $20 \times 100 \times 0,26$, que son respectivamente el factor de alícuota tomada de la cámara central (0,1ml/2ml), 100 para referir a 100 ml de sangre y 0,26 el factor de conversión de mg de Pd^{++} a mg de CO.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

La fórmula describe a **D** como densidad óptica, que para fines ilustrativos trataremos como la absorbancia.

Ejemplificando: Si la $D_{\text{blanco}} = 0,364$ y $D_{\text{desconocido}} = 0,211$

$$X = \frac{0,364 - 0,211}{0,364} \times 27,75 = 11,6 \text{ mg CO\%}$$

- Para convertir los mg CO% a ml CO%, se multiplica por el factor 0,8:

$$\text{ml CO\%} = \text{mg CO\%} \times 0,8$$

El factor 0,8 resulta de la relación: 28 mg de CO ocupan 22,4 ml a 0°C y 760 mm Hg de presión. Por regla de tres se deduce que 1 mg de CO ocupa 0,8 ml.

28 ml de CO.....22,4 ml
1 ml de CO.....**X**

$$X = \frac{1 \text{ ml CO} \times 22,4 \text{ ml}}{28 \text{ ml CO}} = 0,8$$

$$\text{ml CO\%} = 11,6 \text{ mg CO\%} \times 0,8 = 9,28 \text{ ml CO\%}$$

- Para saber el porcentaje de saturación de una muestra de sangre es necesario conocer su concentración de Hb:

Si 1 g de Hb fija 1,34 ml de CO, la concentración de Hb de una muestra "**X**" fijará una cantidad "**X**" de ml CO, valor que corresponderá al 100% de saturación.

Entonces la fijación de **11, 55 g/dl** de Hb será:

1 g de Hb fija.....1,34 ml CO
11,55 g de Hb.....X

$$X = \frac{11,55 \text{ g Hb} \times 1,34 \text{ ml CO}}{1 \text{ g Hb}}$$
$$X = 15,41 \text{ ml CO\%}$$

Si:

15,41 ml CO%.....100% de Saturación de Hb con CO
9,28 ml CO%.....**X**



Es decir, el paciente presentaría un nivel de 60,22% de COHb en su sangre.

4.5. DETERMINACIÓN DE CO EN AIRE AMBIENTE

4.5.1. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO



La determinación de la concentración de monóxido de carbono fue realizada con un equipo de medición de gases en aire ambiente Marca BW Technologies **GasAlertMicro 5 PID**, se trata de un detector de gas portátil que monitorea simultáneamente hasta cinco peligros gases atmosféricos, el equipo tiene instalado sensores electroquímicos para detección individual de sustancias tóxicas.

GasAlertMicro 5 PID activa alarmas sonoras, visuales y de vibración en el caso de detección de altas concentraciones de gases.

4.5.2. MÉTODO ELECTROQUÍMICO

El equipo analizador utiliza la técnica de celdas electroquímicas, estas celdas electroquímicas individuales detectan gases como:

- Monóxido de Carbono (CO)
- Dióxido de Azufre (SO₂)
- Óxidos de Nitrógeno (NO_x)
- Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs)
- Hidrógeno sulfurado (H₂S)
- Incluso detecta Límite de Explosividad (LEL)



UNIVERSIDAD DE CUENCA

4.5.3. PROCEDIMIENTO DEL MONITOREO AMBIENTAL POR EL CEA

Para la determinación atmosférica del CO recurrimos al Centro de Estudios Ambientales (CEA) de la Universidad de Cuenca, el monitoreo fue llevado a cabo bajo la responsabilidad de dos técnicos, quienes operaron el equipo.

El monitoreo se efectuó en tres puntos del Centro Histórico de Cuenca, con una duración de una hora en cada punto. El equipo fue colocado en un lugar tal donde los detectores estén en contacto directo con el aire por el lapso de una hora para analizar la presencia del gas CO. Se tomaron muestreos del gas durante la hora programada con un intervalo de muestreo (Data Rate) de 30 segundos. Los resultados fueron expresados en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de CO en 1 hora.

Recordemos que durante el monitoreo ambiental, paralelamente se realizó el recuento de vehículos por minuto en las calles que fueron monitoreadas (esquinas).

4.5.4. PROCEDIMIENTOS ESTADÍSTICOS

a) Comparación y Análisis de Cuadros y Gráficas

Uno de los objetivos planteados en nuestro estudio fue establecer una correlación entre el % de saturación de la hemoglobina obtenida en los voluntarios del Centro Histórico de Cuenca frente a la concentración ambiental de CO, por ello, una vez tabulados los datos obtenidos, procedimos a realizar estas comparaciones expresadas a través de gráficas y tablas que más adelante se expondrán.

b) Prueba t de Student-Welch

Otro de los estudios aplicados a los datos obtenidos fue la *prueba t de Student-Welch para dos muestras independientes con varianzas desiguales*, ésta es una prueba estadística útil para contrastar hipótesis en función de la media aritmética de una población normalmente distribuida cuando el tamaño de la muestra es pequeño, particularmente la prueba nos sirvió para comparar la media del % de saturación de Hb de la población del Centro Histórico frente a la media del % de saturación de Hb de las parroquias Sinincay y Miraflores. Para un mejor manejo de los resultados, se considera al Centro Histórico = **GRUPO 1** y a las Parroquias Miraflores y Sinincay = **GRUPO 2**.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

CAPÍTULO V

5. CASUÍSTICA



UNIVERSIDAD DE CUENCA

La casuística seguida para desarrollar el presente estudio, responde en general a la ejecución de la siguiente secuencia de actividades.

5.1. MÉTODODE ESTUDIO

Se trata de un estudio *descriptivo ycuasiexperimental* con enfoque cuantitativo, practicado en una pequeña población del Centro Histórico con exposición crónica a ambientes con CO, considerándose como población expuesta, aquella que reside por períodos de tiempo prolongados en áreas de alto tráfico vehicular y que se hallen directamente vinculadas con el entorno ambiental. El estudio incluye además un Control de población no expuesta a contaminación ambiental que fue llevado a cabo paralelamente.

5.1.1. ESTUDIO DESCRIPTIVO

Para quien ejecuta una investigación, un estudio descriptivo busca detallar las características más relevantes de las poblaciones que son sujeto de estudio, como es éste el caso. El estudio descriptivo evalúa diversos aspectos, dimensiones o componentes del sujeto a investigar y es por ello que una descripción considera una serie de parámetros o variables que se refieren a conceptos que sirven para ejecutar el estudio.

5.1.2. ENFOQUE CUANTITATIVO

En vista de que nuestro estudio fue también cuasiexperimental, es de mucha utilidad el enfoque cuantitativo que permite la expresión de los parámetros o variables en valores numéricos que facilitan las interpretaciones a través del análisis estadístico.

Las unidades de estudio utilizadas para hacer el análisis de los resultados fueron la concentración sanguínea de carboxihemoglobina (% COHb) y concentración atmosférica de CO (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

5.2. DELIMITACIÓN DEL ÁREA GEOGRÁFICA DE ESTUDIO

El área estudiada fue el Centro Histórico de Cuenca y puntualmente el área comprendida entre la Av. HuaynaCápac y calle Coronel Talbot, Pío Bravo y Calle Larga; y la determinación de la concentración de CO en aire ambiente en las



UNIVERSIDAD DE CUENCA

intersecciones de las calles Tarqui y Presidente Córdova, Mariscal Lamar y Manuel Vega, Vega Muñoz y Juan Montalvo. **CROQUIS** (ANEXO 1).

El área ensayada como *Control de COHb* fue seleccionada de entre 5 lugares propuestos, tomando en cuenta de que se trataran de sectores donde no haya afluencia de vehículos, de preferencia se escogió un lugar con bastante vegetación, la comunidad de las parroquias aledañas Sinincay y Miraflores de la ciudad de Cuenca.

PARROQUIAS	ALTITUD
Sinincay	2540 msnm
Miraflores	2535 msnm

5.3. MÉTODO DE MUESTREO

En la presente investigación no recurrimos a ninguno de los métodos conocidos para la obtención del tamaño de la muestra, definiéndose como *tamaño de la muestra* el número de sujetos que componen la muestra extraída de una población, primero porque estos métodos requieren tomar una muestra aleatoria, sin considerar si las personas que formarían parte de la muestra accedan o no al análisis para revelar algún grado de contaminación, además que se dejaría de lado a personas con mayor probabilidad de presentar elevados niveles de COHb; segundo por el costo económico que ello implicaría.

Es por ello, que utilizamos sólo los criterios de inclusión y de exclusión que más adelante se puntualizarán, ya que de esta manera se analizó en mayor detalle aquellos individuos con la mayor probabilidad de manifestar algún grado de contaminación por CO.

5.4. UNIVERSO DE ESTUDIO

La población del presente estudio corresponde a 60 voluntarios escogidos del Centro Histórico de Cuenca; y una población de 15 blancos (Control) de las parroquias Sinincay, sectores Pan de Azúcar y Las Cochas, y Miraflores, sector Nuevos Horizontes.

La muestra poblacional estudiada fue seleccionada atendiendo a las calles de mayor congestionamiento vehicular; mientras que el control fue seleccionado



UNIVERSIDAD DE CUENCA

considerando que se tratara de un área no expuesta a contaminación por CO. Por lo tanto:

- a. Para el Centro Histórico se ha establecido como áreas de investigación, las zonas de las calles donde haya mayor circulación vehicular, especialmente de buses.
- b. Para el estudio del Blancose consideró a personas que residan fuera del perímetro del Centro Histórico de Cuenca, un área no expuesta al congestionamiento vehicular, sino más bien un área con forestación. Este Blanco nos sirvió como Control para establecer un nivel permisible de COHb y para realizar un estudio comparativo con los valores hallados en la población del Centro Histórico.

5.5. MONITOREO AMBIENTAL Y RECuento DE VEHÍCULOS AUTOMOTORES

Para el monitoreo ambiental se valoró las emisiones de gases producidas exclusivamente por el parque automotor, donde tiene lugar la mayor densidad vehicular. La emisión atmosférica fue estimada en base al recuento de vehículos por minuto (Veh/min), estos recuentos se realizaron en unas 15 determinaciones, a la misma hora en que se llevó a cabo el monitoreo ambiental, tomando particular atención a la circulación de buses, pues son éstos los que emanan grandes cantidades de humo, en esencia CO, que es detectado por el equipo Gas Alert Micro 5 PID que fue utilizado en el estudio. Véase ANEXO 4, ANEXO 5 y ANEXO 6.

Ambas determinaciones se ejecutaron en hora pico de tráfico vehicular, de 12H00 a 13H00 en las intersecciones de las calles previamente mencionadas.

5.6. PLAN DE MUESTREO

5.6.1. CRITERIOS DE INCLUSIÓN

- a) Las personas objeto de estudio comprendieron edades de 18 años en adelante con pronóstico saludable, con la intención de trabajar en sujetos más posiblemente afectados por el entorno ambiental y para evitar posibles implicaciones legales. Igualmente las que sirvieron como Control comprendieron edades de 18 años en adelante.
- b) Los voluntarios del estudio de ambas poblaciones abarcaron ambos géneros (hombres y mujeres).



UNIVERSIDAD DE CUENCA

- c) Las muestras del Centro Histórico fueron tomadas en horas y en calles de mayor afluencia de buses.
- d) Los voluntarios fueron personas que habitan o laboren en el centro por un mínimo de 8 horas diarias.
- e) Se prefirieron personas que laboren en locales comerciales que no tengan protección de puertas de vidrio hacia la calle por la directa interacción con el ambiente contaminante de la calle.

5.6.2. CRITERIOS DE EXCLUSIÓN

- a) En el caso del Centro Histórico se excluyó del estudio a transeúntes asiduos de las paradas de buses y personas fumadoras activas.
- b) Para el Centro Histórico se excluyó personas de lugares que no estén en contacto directo con la atmósfera de la calle, que estén muy adentrados a sus viviendas.
- c) Se excluyó a personas que no tengan un tiempo de permanencia de 8 horas al día.
- d) Para el Centro Histórico y para el Blanco se excluyeron personas < 18 años, y las que acostumbren a cocinar con leña, porque no reflejaría una COHb debida a emisiones vehiculares.

Todos estos criterios nos sirvieron para descartar a individuos que no cumplan con las pautas establecidas y que puedan interferir o desviar la objetividad de la investigación. Además, este planteamiento nos otorga la mayor probabilidad de obtener una población con algún grado de contaminación.

5.7. CRITERIOS DE LAS MUESTRAS

- a. **Muestra:** Sangre total (anticoagulada con EDTA) tomada al vacío.
- b. **Medición:** CO en sangre
- c. **Indicador biológico de exposición:** % COHb
- d. **Valores de referencia:** No fumadores: <3%
- e. **Conservación:** No fue necesaria la conservación de las muestras en refrigeración porque éstas fueron analizadas en el día.

5.8. RECOLECCIÓN DE MUESTRAS Y PROCESAMIENTO



UNIVERSIDAD DE CUENCA

El proceso de recolección de muestras se llevó a cabo bajo las siguientes consideraciones:

- El muestreo se efectuó a través de un consentimiento verbal dirigido a toda aquella persona que desee participar voluntariamente, alegando que dicho estudio nos permitirá determinar posibles niveles elevados de COHb atribuidos a la contaminación atmosférica por el frecuente congestionamiento vehicular.
- Para el estudio se aplicó una breve encuesta a los voluntarios (Centro Histórico y Control) con el fin de recopilar datos en Hojas de Registro que fueron usados posteriormente. Véase ANEXO 2 y ANEXO 3.
- La toma de muestras se efectuó en el lugar de residencia de los voluntarios, las mismas que eran debidamente identificadas y transportadas en un kit de hematología a temperatura ambiente. Véase ANEXO 7.
- Las pruebas sanguíneas para la determinación de carboxihemoglobina en los voluntarios se realizaron en el Laboratorio de Toxicología de la Universidad de Cuenca, previa autorización de la Facultad. Véase ANEXO 7.
- A los voluntarios admitidos se les practicó el análisis bioquímico para la detección de niveles de COHb, aún resultando un análisis cualitativo negativo en algunos casos, ya que aspiramos igualmente demostrar niveles de COHb en una población tan heterogénea, porque en la población investigada también encontramos personas de otras provincias que residen por años en Cuenca.
- Por otra parte, la realización del muestreo no se hizo siguiendo la metodología tradicional como se manifiesta en el punto Universo de Estudio, sino ajustándonos a los criterios de inclusión y de exclusión, y sin presionar a la población, pues no todas las personas previamente informadas del estudio contribuyeron.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

CAPÍTULO VI

6. RESULTADOS



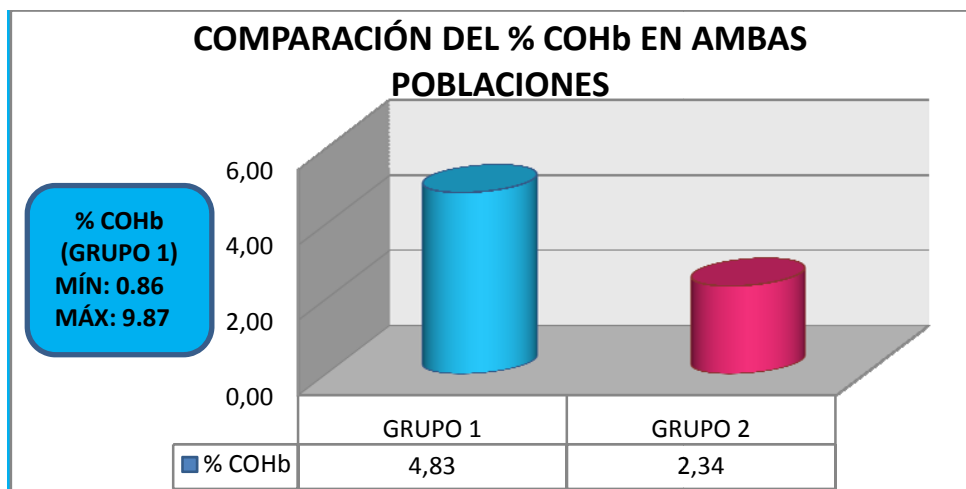
6.1. COMPARACIÓN Y ANÁLISIS DE CUADROS Y GRÁFICAS

6.1.1. CORRELACIÓN DE RESULTADOS ENTRE EL GRUPO 1 Y GRUPO 2

POBLACIÓN	-% COHb	-EDAD	GÉNERO/ PORCENTUALIZACIÓN			
			HOMBRES	%	MUJERES	%
GRUPO 1	4.83	41	25	42	35	58
GRUPO 2	2.34	37	7	47	8	53

Cuadro 1. Datos Generales de las Poblaciones estudiadas

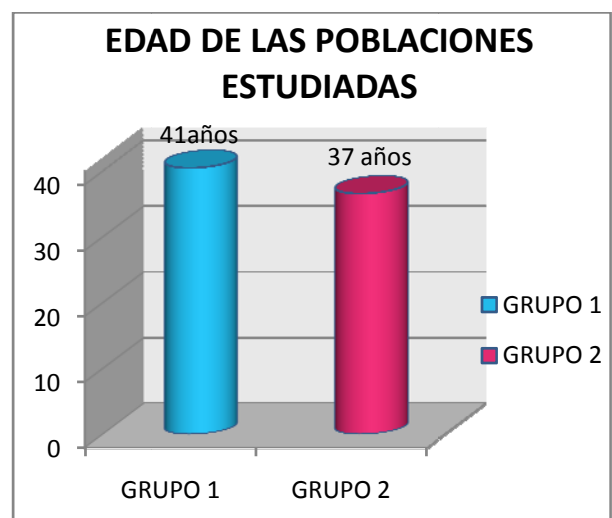
A. COMPARACIÓN DEL $\bar{\text{}}_{\text{del}} \text{ \% COHb}$ ENTRE EL GRUPO 1 Y GRUPO 2



Gráfica 1. $\bar{\text{}}_{\text{del}} \text{ \% COHb}$

Interpretación: Como se aprecia en la gráfica, el GRUPO 1 excede el nivel de COHb al GRUPO 2 tomado como valor referencial de la población cuencana, este indicador biológico señala el grado de exposición a una atmósfera de CO a la que se ven sometidos los habitantes del Centro Histórico.

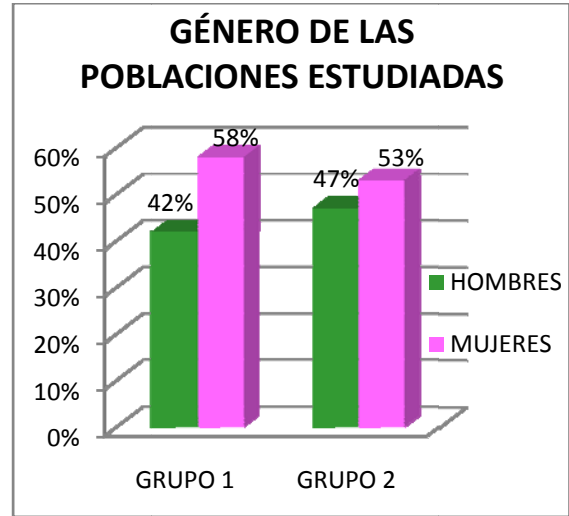
B. EDAD DE LOS GRUPOS 1 Y 2



Gráfica 2. Edad de la Población estudiada



C. GÉNERO DE LOS GRUPOS 1 Y 2



Gráfica 3. Género de la Población estudiada

Interpretación: En la Gráfica 2 se evidencia que la edad promedio en la que se encuentra la mayoría de la población estudiada del GRUPO 1 oscila en los 41 años, mientras que en el GRUPO 2, la edad promedio se halla por los 37 años.

En la Gráfica 3 se observa que la mayoría de los voluntarios del estudio tanto del GRUPO 1 y 2 son mujeres.

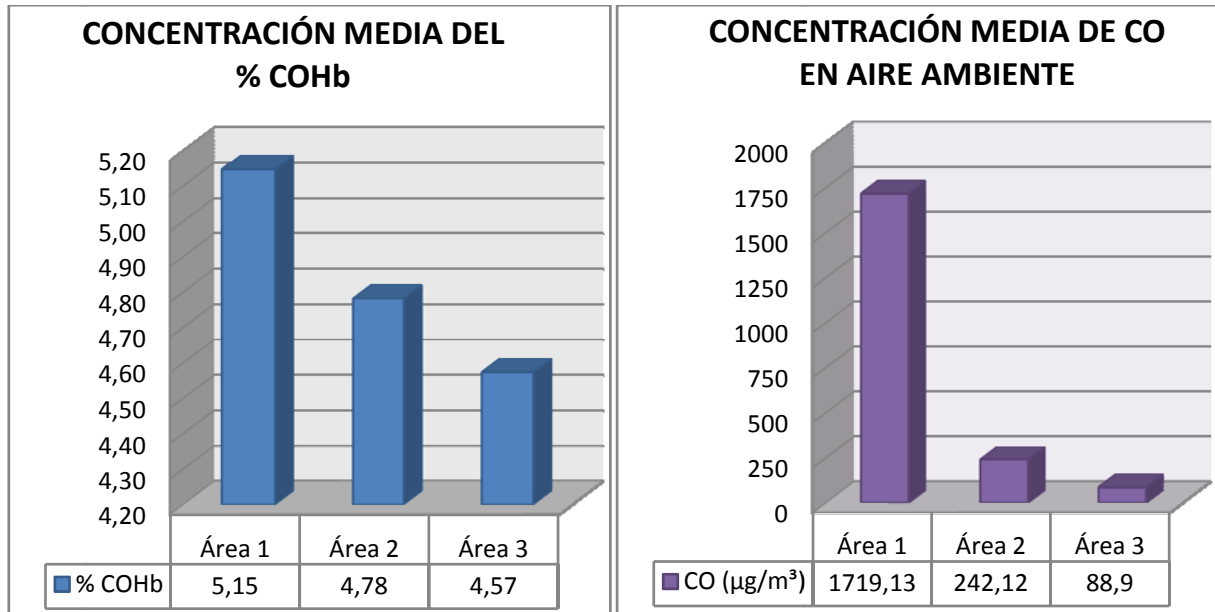
6.1.2. RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE COHb y CO ATMOSFÉRICO

GRUPO 1	̄ de Saturación de Hb (% COHb)	PUNTO DE MONITOREO AMBIENTAL	̄ de CO en aire ambiente (µg/m ³)
Área 1	5.15	1 Tarqui y Presidente Córdova	1719.13
Área 2	4.78	2 Mariscal Lamar y Manuel Vega	242.12
Área 3	4.57	3 Vega Muñoz y Juan Montalvo	88.9
—	4.83	—	683.38

Cuadro 2. ̄ del% COHb y ̄ de la Concentración atmosférica de CO por un período de una hora.

GRUPO 1	# PERSONAS	PORCENTUALIZACIÓN
ÁREA 1	18	30%
ÁREA 2	25	42%
ÁREA 3	17	28%
TOTAL	60	100%

Cuadro 3. Población del Centro Histórico



Gráfica 4. Concentración $\bar{}$ del % COHb

Gráfica 5. Concentración $\bar{}$ de CO en Aire Ambiente

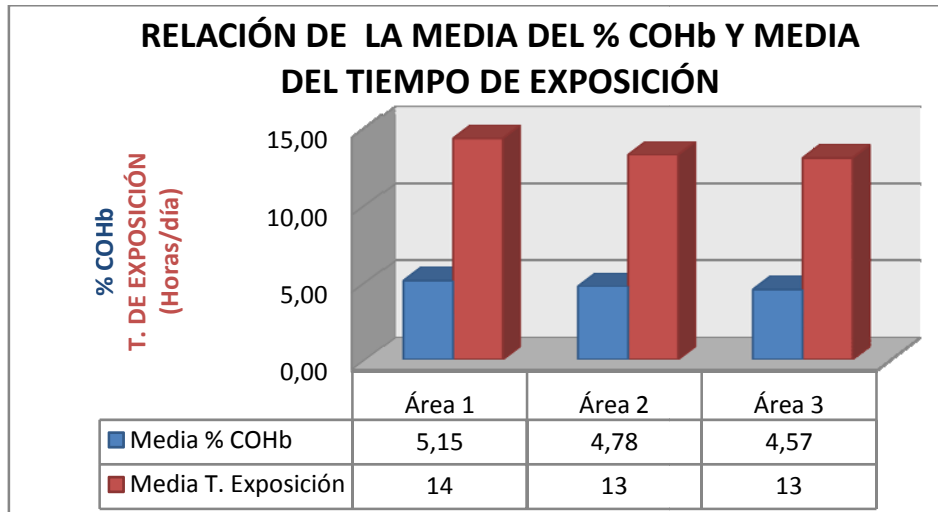
Interpretación: Las gráficas nos indican la concentración media tanto del % COHb como de CO ambiental respectivamente, dado que el estudio se efectuó en los lugares delimitados por áreas, donde se observa que el Área 1 presenta una concentración ambiental de CO mayoritariamente diferente de las otras áreas, igualmente, esta misma Área 1 muestra la máxima saturación de Hb con CO, parámetro que en cambio no difiere muy significativamente de las otras áreas.

Por tanto, a mayor concentración ambiental de CO, mayor será la probabilidad de presentar niveles elevados de COHb.

6.1.3. RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE COHb Y TIEMPO DE EXPOSICIÓN

GRUPO 1	$\bar{}$ de Saturación de Hb (% COHb)	$\bar{}$ de Tiempo de Exposición Diaria (Horas/día)
Área 1	5.15	14
Área 2	4.78	13
Área 3	4.57	13
$\bar{}$	4.83	14

Cuadro 4. $\bar{}$ de % COHb en las Áreas 1, 2 y 3 y $\bar{}$ del Tiempo de Exposición Diaria a la atmósfera circundante a las Áreas 1, 2 y 3



Gráfica 6. Relación de la $\bar{\text{}}$ del % COHb y $\bar{\text{}}$ del T. Exposición Diaria (Horas/día)

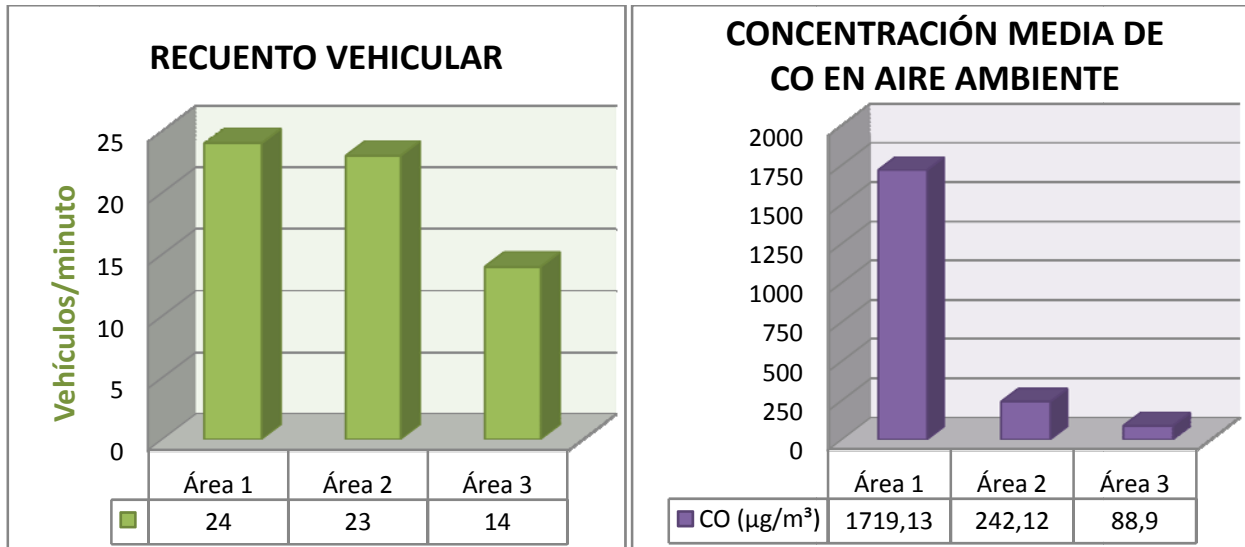
Interpretación: La gráfica nos muestra que el % de COHb es ligeramente más elevado en el Área 1 con respecto al Área 2 y 3 respectivamente. El tiempo de exposición $\bar{\text{}}$ de las tres áreas es relativo por cuanto es un criterio dado por el voluntario, sujeto a variación de la permanencia en dicha área.

Por tanto, según los valores observados en la gráfica, a mayor tiempo de exposición diaria a una atmósfera de CO, mayor es la probabilidad de tener concentraciones elevadas de COHb. Consecuentemente, el Área 1 es la que muestra esa directriz, pero notemos que no existe mucha oscilación con los dos siguientes promedios de Tiempo de Exposición.

6.1.4. RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE CO ATMOSFÉRICO Y RECUESTO VEHICULAR

GRUPO 1	PUNTOS DE MONITOREO AMBIENTAL	$\bar{\text{}}$ Flujo Vehicular (Vehículos/minuto)	$\bar{\text{}}$ de CO en aire ambiente ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Área 1	Presidente Córdova y Tarqui	24	1719.13
Área 2	Mariscal Lamar y Manuel Vega	23	242.12
Área 3	Vega Muñoz y Juan Montalvo	14	88.9
—		20	683.38

Cuadro 5. $\bar{\text{}}$ del Flujo Vehicular frente a la $\bar{\text{}}$ de la Concentración atmosférica de CO



Gráfica 7. \bar{x} del Recuento Vehicular

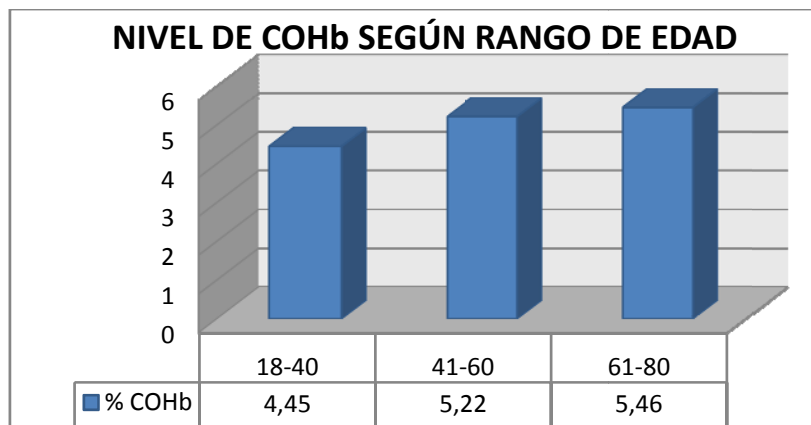
Gráfica 8. Concentración \bar{x} de CO en Aire Ambiente

Interpretación: La Gráfica 7 indica el \bar{x} del flujo vehicular registrado en las tres áreas paralelamente al monitoreo ambiental. La Gráfica 8 muestra la \bar{x} de la concentración ambiental de CO en las mismas áreas. En consecuencia, la contaminación atmosférica está ligada al flujo de vehículos circundantes.

6.1.5. CONCENTRACIÓN DE COHb SEGÚN LA EDAD EN LA POBLACIÓN DEL CENTRO HISTÓRICO

RANGO DE EDAD (AÑOS)	\bar{x} % COHb
18-40	4.45
41-60	5.22
61-80	5.46

Cuadro 6. Variación de la COHb según la Edad



Gráfica 9. Variación de los niveles de COHb según el rango de edad



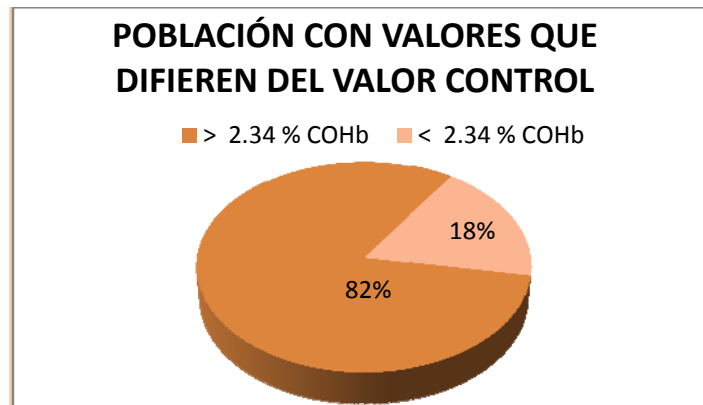
UNIVERSIDAD DE CUENCA

Interpretación: Se observa que hay una tendencia ascendente conforme aumenta la edad de los residentes del Centro Histórico, esto puede asumirse porque los adultos mayores llevan generalmente una vida más sedentaria, asilados más tiempo en sus viviendas en comparación con los más jóvenes, quienes acostumbran una vida más activa.

6.1.6. PORCENTAJE DE LA POBLACIÓN QUE SUPERA EL VALOR DEL GRUPO CONTROL

VALOR DEL CONTROL	VOLUNTARIOS	PORCENTAJE
Población \leq a 2.34 % COHb	49	82%
Población $>$ a 2.34 % COHb	11	18%
Población Total	60	100%

Cuadro 7. Porcentualización de los voluntarios del GRUPO 1 que superan el \bar{x} de % COHb del GRUPO 2 tomado como valor Control para la ciudad de Cuenca.



Gráfica 10. Porcentaje de la Población con niveles superiores e inferiores al Valor Control

Interpretación: La gráfica muestra que el 82% de las personas del Centro Histórico tienen una COHb ligeramente elevada, producto de la contaminación ambiental debida al alto tráfico vehicular, frente al restante 18% de la población.

6.2. PRUEBA t DE STUDENT-WELCH

Se realizó un estudio para determinar los niveles de COHb en sangre en personas expuestas a una atmósfera contaminada con CO, y para compararlos contra personas no expuestas a dicha atmósfera. Los niveles fueron cuantificados en % de saturación de Hb con CO (COHb). Por tanto **¿Los resultados obtenidos evidencian una diferencia entre los niveles de COHb de las personas del GRUPO 1 en comparación con los niveles de COHb de las personas del GRUPO 2?**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

a. Modelo Estadístico:

Prueba t de Student-Welch para dos muestras independientes con varianzas no homogéneas

Este modelo estadístico difiere del tradicional t de Student por el agregado de Welch que incorpora una ecuación distinta para calcular los *grados de libertad*, lo que permite disminuir el error por la no homogeneidad de las varianzas. Además, existe una modificación de la ecuación original de la correspondiente t de Student que se empleará más adelante.

b. Especificaciones:

En el estudio participaron 60 voluntarios (35 mujeres y 25 hombres) sometidos a una sola determinación de COHb en sangre, de allí que se deduce que el modelo sea aplicado para dos muestras independientes y con varianzas desiguales.

c. Planteamiento de la Hipótesis:

- 1. { **Hipótesis nula: H₀** $\bar{X}_a = \bar{X}_b$ **Prueba a cola derecha**
- { **Hipótesis alternativa: H_a** $\bar{X}_a > \bar{X}_b$

\bar{X}_a : Media de la Población (GRUPO 1)

\bar{X}_b : Media del Blanco (GRUPO 2)

- 2. { **Nivel de Confianza: 95%**
- { **Significancia: $\alpha = 0.05$**

3. Cálculo t estadístico:

Fórmulas:

Grados de libertad (gl)

$$gl = \frac{\left(\frac{S_a^2}{n_a} + \frac{S_b^2}{n_b}\right)^2}{\frac{\left(\frac{S_a^2}{n_a-1}\right)^2}{n_a} + \frac{\left(\frac{S_b^2}{n_b-1}\right)^2}{n_b}} + 2$$



UNIVERSIDAD DE CUENCA

n_a : Tamaño de la muestra del GRUPO 1

n_b : Tamaño de la muestra del GRUPO 2

S_a^2 : Varianza del GRUPO 1

S_b^2 : Varianza del GRUPO 2

t estadístico = t de Student

$$t = \frac{\bar{X}_a - \bar{X}_b}{\sqrt{\left(\frac{S_a^2}{n_a} + \frac{S_b^2}{n_b}\right)}}$$

t crítico $t^*(\alpha; gl)$

d. Prueba mediante Software

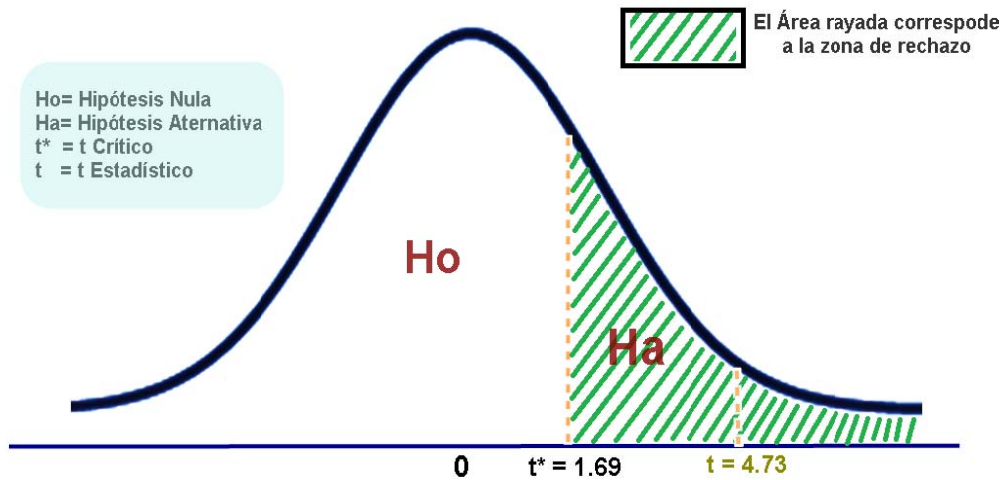
Para el cálculo t Student-Welch para dos muestras con varianzas desiguales, se utilizó el programa Análisis de Datos de Microsoft Excel 2010, las fórmulas antes descritas obtienen los mismos resultados que la hoja de cálculo.

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales	GRUPO 1	GRUPO 2
Media	4.83233804	2.34078045
Varianza	5.82485486	2.69829112
Observaciones (Tamaño de la muestra)	60	15
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	31	
Estadístico t	4.73431254	
P(T<=t) una cola	2.2967E-05	
Valor crítico de t (una cola)	1.69551878	
P(T<=t) dos colas	4.5933E-05	
Valor crítico de t (dos colas)	2.03951345	

Cuadro 8. Resultados del Cálculo t de Student-Welch



UNIVERSIDAD DE CUENCA



Gráfica 11. Distribución t de Student-Welch

e. Interpretación

Siendo la *prueba a una cola*, en nuestro trabajo a *cola derecha*, si el t estadístico es mayor al t crítico se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto aceptamos que hay diferencia entre la \bar{C} de COHb del **GRUPO 1** y del **GRUPO 2**, específicamente que la \bar{C} del **GRUPO 1** es mayor a la \bar{C} del **GRUPO 2** ($4.83233804 > 2.34078045$); se acepta entonces la hipótesis alternativa ; $\bar{C}_1 > \bar{C}_2$.

Otra forma de corroborar es en base al valor p que es la probabilidad de obtener un resultado al menos tan extremo como el que realmente se ha obtenido. Si:

$p > 0.05$ se acepta la H_0 y se rechaza la H_a

$p < 0.05$ se rechaza la H_0 y se acepta la H_a

Consecuentemente se acepta la H_a porque el valor de p es igual a $2.2967E-05$ ratificando la decisión de rechazar la H_0 .



UNIVERSIDAD DE CUENCA

CAPÍTULO VII

7. CONCLUSIONES



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Para una mejor operación de los resultados, se prefirió dividir el área estudiada en tres áreas en base a los puntos de monitoreo ambiental, con el propósito de hacer un estudio comparativo entre éstas y la concentración media del % de COHb en la población, y además un estudio con el tiempo de exposición y el tráfico vehicular.

- En la presente investigación se determinó que la concentración promedio de carboxihemoglobina en la población crónicamente expuesta a emisiones de CO del Centro Histórico de Cuenca comprende un valor de **4.83 % COHb**, con un mínimo de 0.86 % COHb y un máximo de 9.87 % COHb. El valor de 4.83 % COHb obtenido supera la media encontrada en la población estimada como Control en la misma ciudad, cuyo resultado es de **2.34 % COHb**. Este valor se asemeja al establecido como valor estándar \square 3%, razón por la cual este nivel de COHb puede ser considerado para futuros estudios como valor de referencia para la Ciudad de Cuenca.
- Con respecto al estudio ambiental de CO efectuado por el CEA de la Universidad de Cuenca en las tres áreas aproximadamente equidistantes, se observó que la mayor concentración atmosférica registrada fue en el Área 1 con un valor de **1719.13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** , seguido por el Área 2 con **242.12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** , y la mínima registrada fue en el Área 3 con **88.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** . Dada la marcada diferencia entre estos números, no es sensato obtener un valor promedio representativo, porque son pocas las determinaciones atmosféricas, y segundo por las variadas condiciones de dichas áreas. Es por ello, que resulta factible la determinación de COHb por áreas, demostrándose que el Área 1 con mayor concentración ambiental de CO, presenta el nivel de **5.15 % COHb**, siendo éste el valor más alto, proseguido por **4.78 % COHb** del Área 2 y finalmente **4.57 % COHb** del Área 3.
- El resultado ambiental más alto reconocido se asume que sea debido a la estrechez de las calles, a las altas edificaciones adyacentes al lugar donde se llevó a cabo el monitoreo ambiental y al mayor flujo vehicular (**24 Veh/min**), lo que condiciona a una menor difusión del CO y del resto de gases resultantes de la emisión vehicular, consecuentemente los gases permanecen por más tiempo encapsulados en la atmósfera y al ser inhalados repetidas veces aumenta la probabilidad de incrementar el % de saturación de Hb. Los demás puntos de monitoreo ambiental (Área 2 y Área 3) presentan condiciones un tanto diferentes a las expuestas, esto es, calles más anchas, edificios más bajos y menor tráfico vehicular; el Área 2 con **23 Veh/min** y el Área 3 con **14 Veh/min**, la distinción entre estos recuentos es debida a la diferente semaforización vial. Estos recuentos vehiculares corresponden en su mayoría a vehículos pequeños, de estos resultados encontramos que existe una afluencia promedio de 2 buses/minuto, siendo la mínima 1 y la máxima 4, ya que es precisamente de éstos que el equipo portátil Gas Alert Micro 5 PID detecta el CO.
- No obstante, ninguna de las concentraciones ambientales de CO registradas por el CEA en las áreas de alto flujo vehicular del Centro Histórico excede el Límite



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Máximo Permissible de CO(40000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ / 1 hora) señalado por la NECAA, menos aún el valor indicado por la OMS, a pesar de existir evidencia de altas concentraciones de COHb en sangre.

- Existe una significativa asociación entre la exposición prolongada por períodos de tiempo mayores a 8 horas diarias al CO y los niveles de COHb en sangre, notándose que el Área 1 con una media de exposición de 14 horas/día le corresponde un nivel de 5.15 % COHb, mientras que las Áreas 2 y 3 con una media de exposición de 13 horas/día tienen 4.78% y 4.57 % COHb respectivamente.
- La edad promedio de la población del Centro Histórico comprendió los 41 años, con una mínima de 18 años y una máxima de 77 años, sin patologías respiratorias concomitantes, siendo de éstos el 42% Hombres y el 58% Mujeres.
- Finalmente, del presente estudio se desprende que aproximadamente el 82% de la población del Centro Histórico excede el valor referencial establecido para la ciudad de Cuenca que corresponde a 49 de los voluntarios examinados, y tan sólo el 18% restante se halla por debajo de este límite, es decir, 11 personas.
- En consecuencia, a pesar de que el CO ambiental no supere el límite permisible, la cronicidad de la exposición eleva los niveles de COHb aunque no sean éstos alarmantes para manifestar repercusión clínica en las personas que residen permanentemente en lugares de alta congestión vehicular.
- El t de Student-Welch acepta la hipótesis alternativa y demuestra estadísticamente que la población del Centro Histórico presenta una COHb mayor a la del Control. Los resultados obtenidos con esta prueba son 95 % confiables.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

CAPÍTULO VIII

8. RECOMENDACIONES



UNIVERSIDAD DE CUENCA

De acuerdo a todo lo expuesto y con el propósito de aportar a la sociedad en el mejoramiento de la calidad del aire en nuestra ciudad y por sobre todo para conservar una salud íntegra, se plantean las siguientes recomendaciones:

- Las determinaciones de carboxihemoglobina realizadas en la población del Centro Histórico de Cuenca nos plantean sugerir la posibilidad de estrechar el Límite Máximo Permisible (LMP) de CO en aire ambiente, ya que con los resultados ambientales que aunque no son alarmantes se evidenció niveles altos de COHb, situación que también se ha observado en otros países donde se ha ejecutado el mismo estudio con distintas técnicas para determinación de carboxihemoglobina en sangre.
- Por otra parte, el valor de carboxihemoglobina obtenido de la población estimada como Control, aquella que no está expuesta a las mismas condiciones atmosféricas del Centro Histórico, puede ser establecido como valor referencial para la Ciudad de Cuenca (2.34 % COHb).
- Se recomienda para aquellas personas que deseen realizar futuras investigaciones de CO en sangre, efectúen el análisis con una técnica diferente a la expuesta en este estudio para verificar si el valor de referencia es equivalente con otras técnicas.
- Dada la exposición crónica de los residentes del Centro Histórico a una atmósfera con niveles tolerables pero continuos de CO, se recomienda a las personas que constantemente se exponen a este contaminante, acostumbren rutinas que involucren exponerse a una atmósfera menos contaminada, como lugares con bastante vegetación.
- Se sugiere a las autoridades municipales que analicen la posibilidad de incrementar áreas verdes en el Centro Histórico.
- Es importante además que este tipo de estudios sirva para involucrar a profesionales de distintas áreas afines al tema, para buscar soluciones al problema ambiental y a sus efectos en la salud humana, tales como la instauración de políticas para el mantenimiento periódico de los vehículos, control de calidad de los combustibles, redistribución del flujo vehicular y otras que se consideren convenientes.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

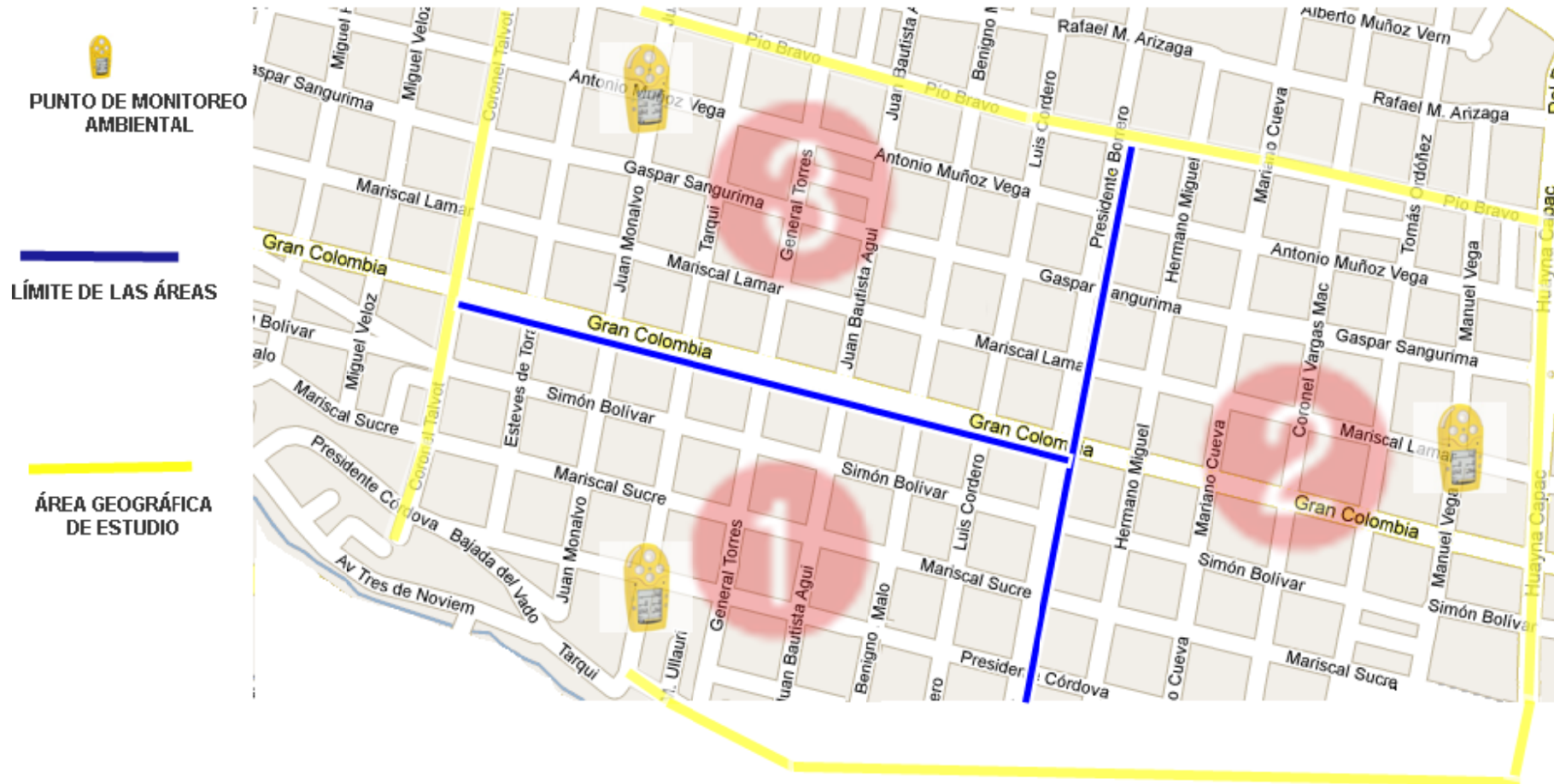
CAPÍTULO IX

9. ANEXOS



UNIVERSIDAD DE CUENCA

ANEXO 1



CROQUIS (Centro Histórico de Cuenca)



UNIVERSIDAD DE CUENCA

ANEXO 2

TABULACIÓN DE DATOS DEL CENTRO HISTÓRICO									
ÁREA 1	No.	Edad	Sexo	Dirección	Fecha	T. Exposición (Horas/día)	Hb (g/dl)	Cualitativo (+/-)	Cuantitativo (% Sat. de Hb)
	1	48	M	Coronel Tálbot 9-33 y Simón Bolívar	10/01/2011	10	14.6	+	3.81
	2	49	F	Coronel Tálbot 9-33 y Simón Bolívar	10/01/2011	18	12.8	2+	7.06
	3	22	F	Coronel Tálbot 9-33 y Simón Bolívar	11/01/2011	10	12.3	+	6.19
	4	37	F	Coronel Tálbot 9-19 y Bolívar	11/01/2011	11	11.5	-	5.41
	5	24	F	Coronel Tálbot 9-33 y Bolívar	11/01/2011	16	12.4	2+	6.72
	6	21	M	Presidente Córdova 12-29 y Tarqui	11/01/2011	12	14.6	+	3.33
	7	50	F	Presidente Córdova 12-29 y Tarqui	11/01/2011	12	13.2	+	4.21
	8	50	M	Presidente Córdova 12-29 y Tarqui	11/01/2011	12	15.7	+	8.21
	9	24	M	Presidente Córdova 12-29 y Tarqui	11/01/2011	12	12.9	+	2.69
	10	62	M	Presidente Córdova 12-29 y Tarqui	11/01/2011	18	12.5	2+	8.31
	11	44	F	Presidente Córdova 12-29 y Tarqui	11/01/2011	24	12.0	+	2.32
	12	73	M	Estévez de Toral 9-33 y Simón Bolívar	18/01/2011	10	14.2	+	2.89
	13	38	F	Estévez de Toral 9-33 y Simón Bolívar	18/01/2011	10	12.2	+	4.47
	14	48	M	Estévez de Toral y Presidente Córdova	18/01/2011	24	14.1	2+	5.79
	15	56	M	Presidente Córdova y Juan Montalvo	18/01/2011	12	15.9	-	5.15
	16	62	F	Juan Montalvo 8-07 y Mariscal Sucre	18/01/2011	12	14.2	2+	5.27
	17	57	F	Juan Montalvo 8-45 y Mariscal Sucre	18/01/2011	12	14.0	-	7.31
18	24	F	Simón Bolívar y Hno. Miguel	06/01/2011	24	15.7	+	3.54	

Tabla 7.1. Hoja de Registro de Datos del Área 1



UNIVERSIDAD DE CUENCA

TABULACIÓN DE DATOS DEL CENTRO HISTÓRICO								
No.	Edad	Sexo	Dirección	Fecha	T. Exposición (Horas/día)	Hb (g/dl)	Cualitativo (+/-)	Cuantitativo (% Sat. de Hb)
1	53	M	Mariscal Lamar y Hno. Miguel	06/01/2011	14	17,5	+	2,82
2	34	F	Manuel Vega y Pío Bravo	06/01/2011	12	13,8	-	1,34
3	38	F	Gran Colombia y Mariano Cueva	06/01/2011	24	16,3	-	1,14
4	46	F	Gran Colombia y Mariano Cueva	06/01/2011	8	16,4	+	2,63
5	33	M	Manuel Vega y Pío Bravo	06/01/2011	24	17,9	-	1,04
6	19	F	Mariscal Lamar 1-75 y Manuel Vega	06/01/2011	24	13,5	3+	4,57
7	24	F	Mariscal Lamar 1-75 y Manuel Vega	10/01/2011	24	15,0	2+	8,22
8	23	F	Presidente Córdova 4-20 y Vargas Machuca	10/01/2011	14	16,1	+	2,70
9	42	M	Vargas Machuca 4-20 y Presidente Córdova	10/01/2011	12	15,7	3+	9,87
10	30	F	Presidente Córdova 4-20 y Vargas Machuca	10/01/2011	10	15,6	-	1,59
11	65	F	Presidente Córdova 4-20 y Vargas Machuca	10/01/2011	10	16,3	2+	7,99
12	28	M	Hno. Miguel y Gran Colombia	10/01/2011	10	12,8	-	1,08
13	29	F	Vargas Machuca y Calle Larga	13/01/2011	14	12,1	2+	8,46
14	57	F	Vargas Machuca y Calle Larga	14/01/2011	24	12,5	2+	7,09
15	24	F	Gran Colombia y Hno. Miguel	14/01/2011	14	13,0	2+	8,96
16	25	M	Mariano Cueva y Vega Muñoz	14/01/2011	8	15,7	+	3,93
17	50	F	Pío Bravo y Vargas Machuca	26/01/2011	12	13,4	2+	5,41
18	65	M	Pío Bravo 3-50 y Vargas Machuca	26/01/2011	8	15,1	+	4,78
19	58	M	Pío Bravo 3-50 y Vargas Machuca	26/01/2011	8	15,5	+	4,25
20	77	M	Manuel Vega y Vega Muñoz	26/01/2011	11	15,0	+	3,50
21	52	F	Presidente Córdova 1-91 y Manuel Vega	26/01/2011	8	13,7	2+	6,22
22	35	F	Presidente Córdova 1-91 y Manuel Vega	26/01/2011	8	12,1	2+	5,45
23	32	F	Juan Jaramillo y Manuel Vega	26/01/2011	12	12,5	2+	8,98
24	28	F	Juan Jaramillo y Manuel Vega	26/01/2011	12	11,9	2+	6,66
25	35	M	Tomás Ordóñez y Honorato Vásquez	26/01/2011	8	15,3	-	0,86

Tabla 7.2. Hoja de Registro de Datos del Área 2



UNIVERSIDAD DE CUENCA

TABULACIÓN DE DATOS DEL CENTRO HISTÓRICO									
ÁREA 3	No.	Edad	Sexo	Dirección	Fecha	T. Exposición (Horas/día)	Hb (g/dl)	Cualitativo (+/-)	Cuantitativo (% Sat. de Hb)
	1	32	F	Coronel Tálbot 9-78 y Gran Colombia	11/01/2011	11	12,1	2+	6,32
	2	38	M	Gran Colombia y Coronel Tálbot	18/01/2011	8	15.4	-	1.77
	3	46	F	Gran Colombia y Coronel Tálbot	18/01/2011	8	12.6	-	1.08
	4	24	M	Esteves de Toral y Vega Muñoz	16/02/2011	24	17.3	+	5.88
	5	18	F	Vega Muñoz y Juan Montalvo	16/02/2011	8	13.6	-	1.99
	6	55	F	Vega Muñoz y Juan Montalvo	16/02/2012	8	12.3	2+	4.40
	7	37	F	Vega Muñoz y Juan Montalvo	16/02/2013	14	13.5	2+	8.50
	8	56	M	Vega Muñoz y Gral. Torres	16/02/2014	10	15.0	2+	6.29
	9	44	F	Vega Muñoz y Gral. Torres	16/02/2015	10	13.5	3+	7.00
	10	31	M	Vega Muñoz y Gral. Torres	16/02/2016	24	16.9	2+	7.21
	11	54	M	Vega Muñoz y Gral. Torres	16/02/2017	8	17.0	2+	5.96
	12	49	F	Padre Aguirre y Pío Bravo	11/01/2011	24	11.5	2+	4.23
	13	49	M	Padre Aguirre y Pío Bravo	11/01/2011	24	15.2	+	3.66
	14	24	M	Gaspar Sangurima y Benigno Malo	11/01/2011	8	14.1	+	2.94
	15	40	M	Vega Muñoz y Benigno Malo	11/01/2011	12	14.2	-	1.45
	16	24	F	Mariscal Lamar y Presidente Borrero	11/01/2011	12	15.3	+	4.03
17	18	F	Mariscal Lamar y Presidente Borrero	12/01/2011	10	12.2	+	5.04	

Tabla 7.3. Hoja de Registro de Datos del Área 3



UNIVERSIDAD DE CUENCA

ANEXO 3

TABULACIÓN DE DATOS DEL CONTROL								
No.	Edad	Sexo	Dirección	Fecha	T. Exposición (Horas/día)	Hb (g/dl)	Cualitativo (+/-)	Cuantitativo (% Sat. de Hb)
1	25	M	Pan de Azúcar (Sinincay)	14/02/2011	24	14.9	-	0.96
2	17	M	Pan de Azúcar (Sinincay)	14/02/2011	24	15.9	+	4.48
3	53	F	Pan de Azúcar (Sinincay)	14/02/2011	24	14.3	-	1.00
4	21	M	Pan de Azúcar (Sinincay)	14/02/2011	24	15.2	-	4.23
5	20	M	Pan de Azúcar (Sinincay)	14/02/2011	24	18.0	-	0.40
6	44	F	Pan de Azúcar (Sinincay)	14/02/2011	24	14.0	-	0.51
7	44	F	Pan de Azúcar (Sinincay)	14/02/2011	24	14.3	+	2.00
8	24	M	Las Cochas (Sinincay)	14/02/2011	24	18.3	-	0.78
9	29	M	Nuevos Horizontes (Miraflores)	16/02/2011	8	13.5	-	2.02
10	26	F	Nuevos Horizontes (Miraflores)	16/02/2012	24	13.2	-	2.06
11	28	F	Nuevos Horizontes (Miraflores)	16/02/2013	24	14.2	-	5.29
12	28	F	Nuevos Horizontes (Miraflores)	16/02/2014	24	17.7	+	5.01
13	55	F	Nuevos Horizontes (Miraflores)	16/02/2015	24	16.2	+	2.10
14	67	F	Nuevos Horizontes (Miraflores)	16/02/2018	24	14.5	-	1.88
15	68	M	Nuevos Horizontes (Miraflores)	16/02/2019	24	14.3	+	2.39

Tabla 8. Hoja de Registro de Datos del Control



UNIVERSIDAD DE CUENCA

ANEXO 4

LEGISLACIÓN AMBIENTAL VIGENTE

La NECAA en su Legislación Ambiental Secundaria especifica lo siguiente para los gases contaminantes: Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Azufre (SO₂) y Óxidos de Nitrógeno (NO_x):

Numeral 4.1.2 Normas Generales para concentraciones de contaminantes comunes en el aire ambiente:

Monóxido de Carbono (CO).- La concentración de monóxido de carbono en las muestras determinadas de forma continua, en un periodo de 8 (ocho) horas, no deberá exceder en diez mil microgramos por metro cúbico (10000µg/m³) más de una vez en un año. La concentración máxima en una hora de monóxido de carbono no deberá exceder en cuarenta mil microgramos por metro cúbico (40000µg/m³) más de una vez en un año.

MONITOREO AMBIENTAL						
No.	Ubicación	Fecha (dd/mm/aa)	Hora (hh:mm)	Concentración de Gases	CO (µg/m ³)	Límite Máximo Permissible CO (µg/m ³) 1 hora
1	Tarqui y Presidente Córdova	31/01/2011	12:00–13:00	Promedio	1719.13	40000
				Máximo	39730.99	40000
2	Mariscal Lamar y Manuel Vega	01/02/2011	12:00–13:00	Promedio	242.12	40000
				Máximo	10704.1	40000
3	Vega Muñoz y Juan Montalvo	02/02/2011	12:00–13:00	Promedio	88.9	40000
				Máximo	10667.6	40000

Tabla 9. Resultado del Monitoreo Ambiental

RESULTADO: Los valores de Monóxido de Carbono detectados en los puntos monitoreados no superan los límites establecidos en la Legislación Ambiental Ecuatoriana.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

ANEXO 5

RECuento VEHICULAR						
# Recuento	Presidente Córdova y Tarqui 31/01/2011 12H00-13H00 Veh/min		M. Lamar y Manuel Vega 01/02/2011 12H00-13H00 Veh/min		Juan Montalvo y Vega Muñoz 02/02/2011 12H00-13H00 Veh/min	
	# Veh. Pequeños	# de Buses	# Veh. Pequeños	# de Buses	# Veh. Pequeños	# de Buses
1	23		23	3	11	3
2	20		24	1	9	1
3	20		27	1	11	3
4	28	3	21	1	12	
5	20	3	18	3	13	
6	16	3	24	1	10	1
7	22		23	1	17	
8	27	2	21	2	15	2
9	19		10	1	10	
10	28		15	1	13	4
11	26	1	14		8	2
12	19		22	3	13	1
13	14	2	23		13	2
14	21	1	23	2	12	2
15	27		31	1	16	2

Tabla 10.1. Hoja de Recopilación de Datos del Recuento de Vehículos

RECuento VEHICULAR						
# Recuento	Presidente Córdova y Tarqui 31/01/2011 12H00-13H00 Veh/min		M. Lamar y Manuel Vega 01/02/2011 12H00-13H00 Veh/min		Juan Montalvo y Vega Muñoz 02/02/2011 12H00-13H00 Veh/min	
	# Veh. Peq.	# de Buses	# Veh. Peq.	# de Buses	# Veh. Peq.	# de Buses
Media	22	2	21	2	12	2
Total Vehículos	24		23		14	

Tabla 10.2. Datos de la Media del Recuento de Vehículos



UNIVERSIDAD DE CUENCA

ANEXO 6



Foto 1. Punto de Monitoreo Ambiental (Tarqui y Presidente Córdova)



Foto 2. Punto de Monitoreo Ambiental (Mariscal Lamar y Manuel Vega)



Foto 3. Punto de Monitoreo Ambiental (Vega Muñoz y Juan Montalvo)



UNIVERSIDAD DE CUENCA



Foto 4. Parroquia Sinincay (Control)



Foto 5. Parroquia Miraflores (Control)



UNIVERSIDAD DE CUENCA

ANEXO 7



Foto 6. Laboratorio de Toxicología



Foto 7. Kit Hematológico para Toma de Muestras



UNIVERSIDAD DE CUENCA

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **ASTOLFI, Emilio.** *Toxicología de Pregrado*. Buenos Aires-Argentina : La Prensa Médica Argentina S.R.L., 1982.
2. **ANDER-EGG, Ezequiel.** *Para salvar la Tierra. El Desafío Ecológico 1. 8va. Edición*. Buenos Aire-Argentina : Lumen, 1995.
3. **RUZA TARRIO, Felipe.** *Trabajo Universal del Medio Ambiente. Tomo 2. 1ra. Edición*. Madrid, España : Notigraf, 1993.
4. **Gobierno del Estado de Nuevo León, México.** Nuevo León Unido. Gobierno para todos. *Características de los Contaminantes*. [En línea] 23 de Octubre de 2010. [Citado el: 20 de Enero de 2011.] http://www.nl.gob.mx/?P=med_amb_mej_amb_sima_cont.
5. **WAGNER.** Monografias.com S.A. *El Aire*. [En línea] 2010. [Citado el: 24 de Enero de 2011.] <http://www.monografias.com/trabajos/aire/aire.shtml?monosearch>.
6. **LORENZO, Chicón.** Contaminación Atmosférica. [En línea] 2006. [Citado el: 24 de Abril de 2010.] <http://usuarios.multimania.es/ambiental/atmosfer.html>.
7. **Asociación Española para la Cultura, el Arte y la Educación (ASOCAE O.N.G.D).** Naturaleza Educativa. *Portal Educativo de Ciencias Naturales y Aplicadas*. [En línea] 29 de Mayo de 2010. [Citado el: 31 de Marzo de 2011.] http://www.natureduca.com/cont_atmosf_fuentes.php.
8. **Perú Ecológico.** La Contaminación Ambiental. *Perú Ecológico*. [En línea] 14 de Febrero de 2006. [Citado el: 10 de Abril de 2010.] http://www.peruecologico.com.pe/lib_c22_t04.htm.
9. **M. I. Municipalidad de Cuenca.** Cuenca (Ecuador). [En línea] 23 de Enero de 2010. [Citado el: 14 de Abril de 2011.] [http://es.wikipedia.org/wiki/Cuenca_\(Ecuador\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Cuenca_(Ecuador)).
10. **Fundación Municipal Turismo Cuenca.** Cuenca-Ecuador. El Centro Histórico, Patrimonio de la Humanidad. [En línea] 2011. [Citado el: 31 de Marzo de 2011.] <http://www.cuenca.com.ec/index.php?id=380>.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

11. **ViajandoX ECUADOR.** ViajandoX.com. *Centro Histórico*. [En línea] ViajandoX Consultores, 2008. [Citado el: 31 de Marzo de 2011.] http://www.viajandox.com/azuay/azua_cuenca_centrohistorico.htm.
12. **Diario El Telégrafo.** Combustión, el principal contaminante. [En línea] 15 de Febrero de 2010. [Citado el: 31 de Marzo de 2011.] http://www.eltelegrafo.com.ec/temadeldia/noticia/archive/temadeldia/2010/02/15/Combusti_F300_n_2C00_-el-principal-contaminante.aspx.
13. **Municipio de Cuenca.** Guía Oficial Cuenca. [En línea] 2011. [Citado el: 31 de Marzo de 2011.] <http://www.cuenca.com.ec/index.php/171/0/>.
14. **Diario Hoy.** hoy.com.es. *Conflicto vehicular en calles*. [En línea] 25 de Noviembre de 2010. [Citado el: 31 de Marzo de 2011.] <http://www.hoy.com.ec/noticias-ecuador/conflicto-vehicular-en-calles-443723.html>.
15. **MUNICIPALIDAD DE CUENCA-CUENCAIRE.** *Informe de la Calidad del Aire de Cuenca, año 2008*. Cuenca-Ecuador : s.n., 2009.
16. **MUNICIPALIDAD DE CUENCA.** *ORDENANZA DE CONSTITUCIÓN, ORGANIZACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE LA EMPRESA PÚBLICA DE MOVILIDAD, TRÁNSITO Y TRANSPORTE DE CUENCA*. Cuenca-Ecuador : s.n., 2010.
17. **CORPORACIÓN PARA EL MEJORAMIENTO DEL AIRE DE QUITO.** Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire. Corporación para el Mejoramiento del Aire de Quito. Quito-Ecuador. *Límites máximos permitidos y niveles críticos*. [En línea] 10 de Mayo de 2005. [Citado el: 31 de Marzo de 2011.] <http://remmaq.corpaire.org/paginas/articulos/norma.pdf>.
18. **OMS.** Calidad del aire y salud. *Guías de Calidad del aire de la OMS*. [En línea] Agosto de 2008. [Citado el: 31 de Marzo de 2011.] <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/index.html>.
19. **CÓRDOVA, Darío.** *Toxicología. 5ta. Edición*. Colombia : El Manual Moderno S.A., 2006.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

20. **BRANTES MARTÍNEZ, Jorge, BRIONES BILBAO, Gloria y BÖRGEL AGUILERA, Laura.***Protocolos para el Manejo del Paciente Intoxicado. Organización Panamericana de la Salud. Oficina Regional de la OMS. Washington D.C. : s.n., 2001.*
21. **CLARK, George y HAWLEY, Gessner.***Enciclopedia de Química OMEGA.* Barcelona-España : Ediciones OMEGA. S.A, 1991.
22. **CALABUIG, Gisbert y VILLANUEVA , C. Enrique.***Medicina Legal y Toxicología. 6ta. Edición.* Madrid-España : Elsevier Mosby, 2004.
23. **WIKIPEDIA.** Wikipedia, la enciclopedia libre. *Hollín.* [En línea] 10 de Octubre de 2010. [Citado el: 5 de Febrero de 2011.] <http://es.wikipedia.org/wiki/Holl%C3%ADn>.
24. **ALVARADO, José y HERNÁNDEZ, Gustavo.** UTPL. Área Biológica. Efectos del Monóxido de Carbono en la Salud de los Comerciantes de la Ciudad de Loja. [En línea] Abril-Agosto de 2008. [Citado el: 11 de Abril de 2011.] <http://repositorio.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/3361/1/360X1079.pdf>.
25. **LÓVINE, Enrique y SELVA, Alejandro.***El laboratorio en la Clínica. Metodología Analítica, Fisiopatología e Interpretación, Semiología.3ra Edición.* Buenos Aires-Argentina : Médica Panamericana., 1985.
26. **FERATO.com.** Enciclopedia Médica. [En línea] Enero de 2011. [Citado el: 19 de Marzo de 2011.] http://www.ferato.com/wiki/index.php/Intoxicaci%C3%B3n_por_mon%C3%B3xido_de_carbono.
27. **DEL ÁLAMO, Ángel.** Intoxicación por Monóxido de Carbono. *Bloggereando.* [En línea] 25 de Enero de 2009. [Citado el: 14 de Marzo de 2011.] <http://bloggereando.blogspot.com/2009/01/intoxicacion-por-monoxido-de-carbono.html>.
28. **MIR RAMOS, Eduardo, AZON LÓPEZ, Esther y HERNANDEZ PÉREZ, Javier.** Revista Científica de la Sociedad Española de Enfermería de Urgencias y Emergencias-SEEUE. *Intoxicación por Monóxido de Carbono.* [En línea] 14 de Julio de 2010. [Citado el: 14 de Marzo de 2011.] <http://www.enfermeriadeurgencias.com/ciber/julio2010/pagina8.html>.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

29. **GUYTON, Arthur y HALL, John.** Google libros. Tratado de Fisiología Médica. 11va. Edición. Editorial Elsevier. Barcelona-España. Pág. 510. [En línea] 2006. [Citado el: 14 de Marzo de 2011.] http://books.google.com/books?id=K8-d-KzxvTYC&pg=PA510&lpg=PA510&dq=mecanismos+de+accion+fisiologica+de+monoxido+de+carbono&source=bl&ots=cmQ_2J84mU&sig=t_xnBj-dQMgEt0sf10imKu21A_Y&hl=es&ei=hr-XTfmFKKKM0QH0xdDyCw&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=10&ve.
30. **SUBBOTINA, Nina.** HIPERCÁMARAS S.A. *Secuelas neurológicas post intoxicación por Monóxido de Carbono.* [En línea] 2003. [Citado el: 11 de Abril de 2011.] <http://www.hipercamaras.com.ar/intoxicacion-por-monoxido-de-cabono.htm>.
31. **UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA-Sede Bogotá.** Dirección Nacional de Servicios Académicos Virtuales. [En línea] 2011. [Citado el: 20 de Mayo de 2011.] http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/enfermeria/2005359/contenido/respiratorio/11_13.html.
32. **Multimedia de Gases Sanguíneos.** Sistema Respiratorio. [En línea] 14 de Febrero de 2006. [Citado el: 10 de Mayo de 2011.] <http://telesalud.ucaldas.edu.co/telesalud/Anestesia/Documentos/Gases%20Sanguineos.pdf>.
33. **MACARULLA, José y GOÑI, Félix.** Google libros. Bioquímica Humana. Curso Básico. 2da. Edición. Editorial Reverté S.A. Barcelona-España. [En línea] 1994. [Citado el: 14 de Marzo de 2011.] http://books.google.com/books?id=4h_losytGvkC&printsec=frontcover&dq=Bioqu%C3%ADmica+humana:+curso+b%C3%A1sico++Escrito+por+Jos%C3%A9+M+Macarulla+Reverte&hl=es&ei=9mjBTcfxCIn50gHvxexC3Cg&sa=X&oi=book_result&ct=book-thumbnail&resnum=1&ved=0CD0Q6wEwAA#v=onep.
34. **PERÉZ, Carol y MARCHESSE, Miguel.** Universidad Católica de Chile. Facultad de Medicina. Programa de Medicina de Urgencias. [En línea] Marzo de 2004. [Citado el: 14 de Marzo de 2011.] http://www.urgenciauc.com/profesion/intox_monox.htm.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

35. **DÍAZ, Nora y CASTAÑOS, Claudio.** Scielo. Archivos Argentinos de Pediatría. [En línea] Diciembre de 2005. [Citado el: 14 de Marzo de 2011.]
http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0325-00752005000600012.
36. **A.E.P. Asociación Española de Pediatría.** Google libros. Manual del Residente de Pediatría y sus Áreas Específicas. Volumen 1. Madrid-España. Ediciones Norma-Capitel. 1997. Pág. 386. [En línea] 2009. [Citado el: 24 de Marzo de 2011.]
http://books.google.com/books?id=ObLodZiPSK8C&pg=PA386&dq=patogenia+del+monoxido+de+carbono&hl=es&ei=rbSxTdf_LePi0gH4h731CA&sa=X&oi=book_result&ct=book-thumbnail&resnum=3&ved=0CDcQ6wEwAg#v=onepage&q&f=false.
37. **Estrucplan On Line.** Toxicología-Sustancias. *Monóxido de Carbono*. [En línea] 2009. [Citado el: 11 de Abril de 2011.]
<http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/imprimir.asp?IdEntrega=39>.
38. **STEVENS, Alan y LOWE, James.** Google Libros. Anatomía Patológica. 2da. Edición. Madrid-España. Editorial Harcour S.A. 2001. [En línea] 2006. [Citado el: 1 de Mayo de 2011.]
http://books.google.com.ec/books?id=YkfRsm2ZI4AC&printsec=frontcover&dq=stevens+alan+anatomia+patologica&hl=es&ei=2PlpTt65MOLb0QGqx4DkCg&sa=X&oi=book_result&ct=book-thumbnail&resnum=1&ved=0CC4Q6wEwAA#v=onepage&q&f=false.
39. **MENDOZA, Carlos.** Slideshare. Toxicología Forense. *Intoxicaciones por Cáusticos*. [En línea] 2010. [Citado el: 1 de Mayo de 2011.]
<http://www.slideshare.net/malaverry/toxicologia-forense-presentation>.
40. **ROMO PIZARRO, Osvaldo.** Google ligros. Medicina Legal. Elementos de Ciencias Forenses. Editorial Jurídica de Chile. Chile. 2000. Pág. 429. [En línea] 2010. [Citado el: 10 de Marzo de 2011.]
http://books.google.com/books?id=hb-nNb1JMRUC&pg=PA429&lpg=PA429&dq=monoxido+de+carbono+anatomia+patologica&source=bl&ots=y7rc_6P5fb&sig=5-dEyhnNDVN7mA4YG_eM0XBxKRs&hl=es&ei=nzG-Te2DAoWUtwe0uZHQBQ&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=6&ved=0CC4Q6AEwBQ#v=o.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

41. **SIBÓN OLANO, A; MARTÍNEZ GARCÍA, P; VISCAYA ROJAS, MA; ROMERO PALANCO, JL.** Google Académico. Medicina Forense en Imágenes. Intoxicación por Monóxido de Carbono. [En línea] 2007. [Citado el: 24 de Marzo de 2011.] <http://scielo.isciii.es/pdf/cmfn47/imagenes.pdf>.
42. **DE LA TORRE ESPÍ, M. y MOLINA CABAÑERO, J.C.** Intoxicaciones por Monóxido de Carbono. [En línea] 04 de Noviembre de 2003. [Citado el: 10 de Abril de 2011.] <http://www.seup.org/seup/html/gtrabajo/manualIntoxicaciones/capitulo18.pdf>.
43. **DREISBACH, Robert H y ROBERTSON, William O.** *Manual de Toxicología Clínica*. México D.F. : El Manual Moderno S.A., 1988.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

GLOSARIO

[1] DESORCIÓN.- Proceso opuesto a la adsorción, separación de una molécula o átomo adherido en una superficie.

[2]GRISÚ.- Es un gas que puede encontrarse en las minas subterráneas de carbón, capaz de formar atmósferas explosivas.

[3] PIRÓLISIS.- Es la descomposición química de materia orgánica causada por el calentamiento en ausencia de oxígeno.

[4]ASFÍCTICO.- Relativo a la asfixia.

[5] OBNUBILACIÓN.- Estado de confusión mental que tiene una persona que se caracteriza por la lentitud e incoordinación de los movimientos.

[6] HEMIPLEJÍA.- Parálisis originada por lesión unilateral de los centros o vías del sistema piramidal. Se manifiesta por la pérdida, más o menos completa de la movilidad de la mitad del cuerpo opuesta a la localización de la lesión.

[7] PARKINSONISMO.- Es un trastorno degenerativo del sistema nervioso central.

[8]COREA.- Enfermedad nerviosa que se caracteriza por los movimientos involuntarios, rápidos y violentos que sufre el enfermo.

[9] HIPERTIROIDISMO BASEDOWIANO.- Es una tiroiditis autoinmune de etiología desconocida, que estimula la glándula tiroides, y es la causa de tirotoxicosis más común. Caracterizada por hiperplasia difusa de la tiroides resultando en un bocio e hipertiroidismo.

[10] HIPERAMILASEMIA.- Es un exceso de la enzima pancreática amilasa en la sangre.

[11] DALTONISMO.-Es la incapacidad para ver ciertos colores en la forma usual.

[12] HIPOACUSIA.- Es la pérdida parcial de la capacidad auditiva.

[13] ANOSMIA.- Es la pérdida o disminución del sentido del olfato.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

[14] HIPOPERFUSIÓN.- Disminución del flujo de sangre que pasa por un órgano.

[15] HIPERREFLEXIA.- Es una reacción del sistema nervioso autónomo (involuntario) a la estimulación excesiva.

[16] RABDOMIÓLISIS.- Es un trastorno producido por una necrosis muscular que provoca la liberación a la sangre de diversas sustancias que en condiciones normales se encuentran en el interior de las células del tejido muscular, como la Creatin-Fosfoquinasa (CPK) y la Mioglobina.

[17] MIOGLOBINURIA.- Es la presencia de mioglobina en la orina que le otorga un color óxido.

[18]PAPILEDEMA.- Es un edema de papila producido exclusivamente por aumento de la presión intracraneal.

[19] GLOBO PÁLIDO.- Es una estructura triangular de color gris claro con una fina capa de sustancia blanca en su mitad que, en ocasiones, se une con el putamen para formar el núcleo lentiforme.

[20] LIVIDECES.- Color amoratado que toma la carne por el frío, un golpe, o una herida.