



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

ESTABLECIMIENTO DE RANGOS REALES DE ETANOL EN MUESTRAS
BIOLÓGICAS DE UN SECTOR DE LA POBLACIÓN MEXICANA DENTRO DEL
LABORATORIO DE QUÍMICA FORENSE DE LA PGJDF A TRAVÉS DE SU
CUANTIFICACIÓN POR CROMATOGRAFÍA DE GASES

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

QUÍMICO FARMACÉUTICO BIÓLOGO

PRESENTA:

JOSÉ EDUARDO SEBASTIÁN SANDOVAL

ASESOR : Q.F.B. PEDRO CARLOS MIJANGOS VARGAS



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

El presente trabajo se realizo con datos y equipo proporcionados en:

PROCURADURÍA GENERAL DE JUSTICIA DEL DISTRITO FEDERAL
SUBPROCURADURÍA DE ATENCIÓN A VÍCTIMAS DEL DELITO Y SERVICIOS
A LA COMUNIDAD
DIRECCIÓN GENERAL DE SERVICIOS A LA COMUNIDAD

En las instalaciones de:

COORDINACIÓN GENERAL DE SERVICIOS PERICIALES
LABORATORIO DE QUÍMICA FORENSE
AV. COYOACÁN No. 1635 COLONIA DEL VALLE SUR, MÉXICO DISTRITO
FEDERAL



TURNO NOCTURNO DE MARTES, JUEVES Y SÁBADO.

DEDICATORIA

Este trabajo y todo lo que representa, está dedicado a las personas que contribuyeron para que pudiera tomar las decisiones correctas.

Es para mis padres, ya que sin su esfuerzo, nada de lo que he vivido y logrado hasta ahora hubiera sido posible.

Para mis amigos, aquellos pocos que saben que los aprecio y que con su especial sentido del humor y de la constante competencia, hicieron más fácil el camino hacia la meta.

Para Andrea, que me llevó de la mano desde el inicio y con quien comparto todo el crédito de haber concluido esta etapa tan importante.

AGRADECIMIENTOS

A los Peritos del área Química y Balística de la PGJDF del turno nocturno MAJUSA, por las facilidades brindadas para obtener los datos y la información que dieron origen a este trabajo, de quienes aprendí mucho y cuyos consejos me hicieron crecer tanto personal como profesionalmente, en especial a:

IBQ Myrna Adriana López González

Q María del Pilar Saucedo Ramírez

PQ Edmundo Vázquez Martínez

Por el tiempo y la atención que invirtieron en este proyecto.

A mi asesor QFB Pedro Mijangos Vargas, por su interés en este tema y haber tenido la confianza en mi propuesta.

I. ÍNDICE GENERAL

	Página
I.INDICE GENERAL	5
II. ÍNDICE DE FIGURAS	9
III.ÍNDICE DE GRÁFICOS	10
IV. ÍNDICE DE TABLAS	12
V. GLOSARIO	13
VI. ABREVIATURAS	14
JUSTIFICACIÓN	15
RESUMEN	16
OBJETIVO GENERAL	18
OBJETIVOS PARTICULARES	19
HIPÓTESIS	20
INTRODUCCIÓN	21
CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS	25
1.1. Concepto de tóxico.....	25
1.2. Antecedentes de la Toxicología.....	26
1.2.1. Concepto de Toxicología.....	26
1.2.2. Historia y evolución de la Toxicología.....	26

1.3 Nacimiento de la Toxicología Forense.....	27
1.3.1. Concepto de Toxicología Forense y sus aplicaciones actuales.....	28
1.4 Función del análisis toxicológico.....	29
CAPÍTULO 2. ANÁLISIS TOXICOLÓGICO Y CROMATOGRAFÍA DE GASES....	30
2.1. Introducción al análisis toxicológico.....	30
2.2. Elección del método analítico.....	31
2.3. Concepto y principio de Cromatografía.....	32
2.4. Cromatografía de Gases.....	32
2.4.1. Instrumentación para Cromatografía de Gases.....	33
2.4.1.1. Características de la muestra para Cromatografía de Gases.....	34
2.4.1.1.1 Derivatización.....	34
2.4.1.1.2 Cromatografía de espacio de cabeza.....	34
2.4.1.1.3 Pirólisis.....	35
2.4.1.2. Sistema de inyección de la muestra.....	35
2.4.1.3. Sistema de gas portador.....	37
2.4.1.4 Columnas.....	37
2.4.1.4.1 Columnas rellenas.....	37
2.4.1.4.2 Columnas abiertas o capilares.....	38
2.4.1.5 Detector.....	39

CAPÍTULO 3. TOXICOLOGÍA DEL ETANOL.....	41
3.1. Propiedades y usos del etanol.....	41
3.2. Antecedentes históricos del consumo de alcohol.....	42
3.2.1. Consumo de alcohol en México.....	42
3.2.2. Relación del consumo de etanol con la comisión de delitos.....	44
3.2.3. Relación del consumo de alcohol con accidentes.....	45
3.3. Metabolismo del etanol.....	47
3.3.1. Distribución.....	48
3.3.2. Absorción.....	48
3.3.3. Equilibrio.....	48
3.3.4. Eliminación.....	49
3.4. Catabolismo del etanol.....	52
3.5. Factores que influyen en el metabolismo del etanol y sus efectos en el organismo.....	57
3.6 Cuadro clínico de la intoxicación por etanol.....	58
CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA.....	61
4.1 Material y equipo.....	61
CAPÍTULO 5. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....	63
CAPÍTULO 6. FLUJO DE PROCESO	64
CAPÍTULO 7. CUANTIFICACIÓN DEL ETANOL.....	65

CAPÍTULO 8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	68
CAPÍTULO 9. CONCLUSIONES.....	84
CAPÍTULO 10. REFERENCIAS.....	86

II. ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
1. Esquema de detector ion flama.....	40
2. Tipos de lesiones relacionadas con accidentes de tránsito asociados a la ingesta de alcohol.....	44
3. Estadística del INEGI que muestra las principales causas de mortalidad entre la población del D.F. en 2008.....	47
4. Curva de alcoholemia.....	49
5. Cinéticas comparativas de eliminación de alcohol en sangre, aliento y orina.....	52
6. Ruta metabólica del etanol en el organismo.....	53
7. Degradación del etanol a acidó acético por medio de la enzima ADH utilizando NAD como cofactor.....	54
8. Regeneración de NAD ⁺ como resultado de la reducción de diferentes sustratos.....	54
9. Degradación del etanol a acido acético por medio del SOME con la utilización de NADPH ⁺ como cofactor.....	56
10. Metabolismo de la molécula de acetaldehído, producto de la degradación del etanol, por medio de la enzima ALDH utilizando NAD ⁺ como cofactor.....	57
11. Cromatograma obtenido del equipo para cromatografía de gases utilizado, mostrando el tiempo de retención y concentración de etanol presente en la muestra analizada en mg%.....	67

III. ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Página
Gráfico 1. Porcentaje de muestras pertenecientes a occisos y personas vivas con niveles de alcohol por arriba de 80mg/100mL.....	74
Gráfico 2. Incidencia de los delitos y/o hechos en lo cuales se encontraron involucradas personas vivas.....	74
Gráfico 3. Concentraciones de alcohol encontradas en muestras de orina de personas vivas que sobrepasaron el nivel permitido por el Reglamento de Tránsito Metropolitano.....	74
Gráfico 4. Edades de personas involucradas en hechos delictivos cuyas muestras sobrepasaron el límite permitido por el Reglamento de Tránsito Metropolitano.....	75
Gráfico 5. Cantidad de muestras pertenecientes a occisos del sexo masculino y femenino.....	78
Gráfico 6. Cantidad de muestras pertenecientes a personas vivas del sexo masculino y femenino.....	78
Gráfico 7. Causas de muerte más comunes en el período de Mayo – Agosto del 2010.....	79

Gráfico 8. Causas de muerte violenta en occisos en el período de Mayo – Agosto del 2010.....	80
Gráfico 9. Concentraciones de alcohol en muestras provenientes de occisos que sobrepasaron el nivel permitido por el Reglamento de Tránsito Metropolitano.....	80
Gráfico 10. Edades de occisos cuyas muestras sobrepasaron el límite permitido por el Reglamento de Tránsito Metropolitano.....	81

IV. INDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Concentraciones obtenidas en muestras de sangre pertenecientes a occisos.....	68
Tabla 2. Datos de concentraciones de etanol en muestras de hígado proveniente de occisos.....	70
Tabla 3. Datos de concentración de etanol obtenidos a partir de muestras de sangre de personas vivas.....	70
Tabla 4. Datos de concentración de etanol obtenidos a partir de muestras de orina de personas vivas.....	70
Tabla 5. Concentraciones de etanol encontradas en muestras que sobrepasan el nivel de alcohol permitido por el Reglamento de Tránsito Metropolitano.....	75
Tabla 6. Edades de personas que sobrepasan el nivel de alcohol permitido por el Reglamento de Tránsito Metropolitano.....	76
Tabla 7. Concentraciones encontradas en muestras de sangre que sobrepasaron el nivel de alcohol permitido por el Reglamento de Tránsito Metropolitano.....	81
Tabla 8. Edades de occisos que sobrepasaron el nivel de alcohol permitido por el Reglamento de Tránsito Metropolitano.....	82

V. GLOSARIO

Alcoholemia: Es la cantidad de alcohol que hay en la sangre. Se mide a través de la cantidad de alcohol en miligramos por cada 100 mL de sangre.

Alcoholuria: Es la cantidad de alcohol presente en la orina en mg por 100 mL.

Culposo: En derecho se define como el acto que produce un resultado sancionado por la ley, a causa de no haber previsto ese resultado o se actuó confiando en que no se produciría. En los delitos culposos no hay coincidencia entre lo querido y lo realizado por el autor, la finalidad no es producir el hecho cometido.

Doloso: En derecho penal, significa la intención de cometer la acción típica a sabiendas de que está prohibida por la ley.

Ebriedad o Embriaguez: Trastorno temporal de las capacidades físicas o mentales causado por un consumo excesivo de bebidas alcohólicas o por intoxicación de otras sustancias.

VI. ABREVIATURAS

A.T.V: ACCIDENTE DE TRANSITO VEHICULAR.

A.F: ARMA DE FUEGO.

A.P.C: ARMA PUNZO CORTANTE.

P.R: PRESUNTO RESPONSABLE.

JUSTIFICACIÓN

Las referencias que existen en la literatura acerca de la toxicología del etanol en seres humanos, están basadas en datos obtenidos en países como España, Argentina y Estados Unidos, por lo que los datos no representan a la población mexicana.

Es necesario establecer un registro de datos que sean reales y referentes a una población en particular; esto para que la legislación sea ejercida con apego a la realidad y no esté basada en aportaciones que no son aplicables a la totalidad de la población del país donde se ejercen, ya que los efectos que causa el alcohol, son diferentes de persona a persona. Para este trabajo, se busca obtener datos referentes a la población mexicana involucrada en hechos delictivos acontecidos en el Distrito Federal, ya que no existe una referencia bibliográfica que indique niveles de alcohol encontrados en muestras de mexicanos.

El Q.F.B tiene amplio campo de desarrollo en el estudio de la Química Forense, ya que en la práctica utiliza los conocimientos adquiridos del estudio de ciencias como la Química, Farmacología y la Toxicología, asignaturas profesionales que permiten a los egresados tener las herramientas conceptuales para desarrollarse en el campo profesional forense, situación que justifica y fortalece el interés personal que tuve para desarrollar este proyecto de investigación y adquirir los argumentos teóricos que permitan el análisis y la discusión de los resultados.

RESUMEN

La cantidad de alcohol presente en el organismo de una persona cuando se suscita un hecho delictivo, es crucial para adjudicar o deslindar responsabilidades legales a los involucrados y la impartición de justicia.

El objetivo de este trabajo fue obtener la cantidad de etanol presente en individuos involucrados en hechos delictivos. Conocer los tipos de delitos de mayor incidencia, así como el sexo, la edad de las personas involucradas en los diferentes tipos de delitos y en accidentes fatales.

El trabajo se realizó determinando la concentración de alcohol a partir de muestras de sangre, hígado y orina de personas involucradas en hechos delictivos o víctimas fatales de estos hechos o accidentes, mediante Cromatografía de Gases; recolectando las muestras en el lugar de los hechos por parte de Peritos Químicos de Campo con el consentimiento de los involucrados o a partir de cadáveres en el Servicio Médico Forense.

Se consideraron 153 muestras para el análisis de datos ya que en el resto se encontraron valores de concentración muy por debajo de la curva de calibración, obteniendo 57 muestras de orina de personas vivas y 46 muestras de sangre de occisos con concentraciones de etanol mayores a 80 mg/100mL.

La concentración promedio de alcohol observada en personas vivas fue de 162.23mg/100ml, en los cuales el 55% estuvieron involucradas en accidentes de tránsito vehicular y 17% en delitos sexuales (abusos y violaciones).

En occisos el 68% fue víctima de muerte violenta, observándose la incidencia de víctimas por accidentes de tránsito vehicular (48%), lesiones (29%) y suicidios (17%), con una concentración promedio 185.85mg/100mL. Se obtuvo un mayor número de muestras provenientes de varones (87% vivos y 77% de

occisos) en las cuales se obtuvieron las concentraciones mas altas, 330mg/100mL en orina y 475.75mg/100mL en sangre craneana, las cuales difieren en cuanto a los efectos clínicos esperados.

Se concluye que son adultos jóvenes los más propensos a verse involucrados en hechos delictivos así como en accidentes fatales con altas concentraciones de alcohol en el organismo. Las concentraciones promedio obtenidas de 330mg/100mL y 475mg/100mL difieren con los efectos clínicos esperados. Los datos consultados establecen que a concentraciones mayores de 300mg/100mL se presenta incapacidad para permanecer de pie, habla ininteligible y evolución hacia el coma, con hipotermia, bradicardia e hipotensión pudiendo producirse la muerte por paro respiratorio, lo cual no ocurrió en estos casos ya que al momento de cometer o involucrarse en el hecho se encontraban conscientes.

OBJETIVO GENERAL

- ❖ Establecer rangos y valores de concentraciones reales de etanol obtenidas de muestras de sangre, hígado y orina de individuos involucrados en hechos delictivos, mediante la técnica de Cromatografía de Gases en el Laboratorio de Química Forense de la Coordinación General de Servicios Periciales de la Procuraduría General de Justicia del Distrito Federal, para obtener registros representativos de la cantidad de alcohol presente en una parte de la población mexicana involucrada en hechos considerados como constituyentes de delito por los diferentes códigos, leyes y normatividades que rigen al Distrito Federal.

OBJETIVOS PARTICULARES

- ❖ A partir de la información obtenida de cada caso obtener la totalidad de hechos delictivos cometidos por personas vivas y causas de muerte en occisos para conocer cuáles fueron los de mayor incidencia y si son hombres o mujeres los que se encuentran con mayor frecuencia involucrados.
- ❖ Determinar la cantidad de muestras de sangre, orina e hígado remitidas al laboratorio de Química Forense de la PGJDF que presenta una concentración fuera del límite máximo permisible de 80 mg/ 100mL establecido en el Reglamento de Transito Metropolitano para conocer que tipo de delitos se cometen con altos niveles de alcohol en el organismo.
- ❖ Determinar el rango de edad de los individuos y occisos que presentaron concentraciones fuera del límite permitido, para establecer el sector de la población más propenso a involucrarse en accidentes fatales y a cometer hechos delictivos

HIPÓTESIS

Si se cuantifica la cantidad de etanol en muestras biológicas provenientes de personas involucradas en hechos delictivos recibidas en el laboratorio de Química Forense de la PGJ del Distrito Federal, se encontrarán concentraciones de etanol que serán diferentes a los que actualmente se encuentran en las referencias correspondientes a los efectos clínicos por intoxicación de etanol basada en datos de poblaciones de otros países.

INTRODUCCIÓN

En el Código Penal para el Distrito Federal del 2010, se indican los delitos en los cuales es considerado como un agravante importante el estado de ebriedad de la persona que es considerada probable responsable, estando alcoholizado, bajo el influjo de estupefacientes, psicotrópicos o de cualquier otra sustancia que produzca efectos similares. Los siguientes artículos de dicho Código están relacionados entre sí en lo referente a la provocación de lesiones a terceros, un hecho que es considerado una consecuencia del efecto que tiene en el comportamiento de las personas el consumo de alcohol.

Artículo 135: “Se perseguirán por querrela las **lesiones simples** que no pongan en peligro la vida y tarden en sanar menos de quince días, así como las lesiones culposas, cualquiera que sea su naturaleza, salvo que sean con motivo de tránsito de vehículos, en los siguientes casos:

Fracción I. “Que el conductor hubiese realizado la acción u omisión en estado de ebriedad, bajo el influjo de estupefacientes, psicotrópicos o de cualquier otra sustancia que produzca efectos similares.”

Artículo 138:“El homicidio y las lesiones son calificadas cuando se cometan con: ventaja, traición, alevosía, retribución, por el medio empleado, saña, en estado de alteración voluntaria u odio.” (Código Penal del D.F., 2010: 31)

El acto de homicidio (que en algunos casos es resultado de lesiones graves) es considerado al igual que las lesiones como una consecuencia de los efectos del alcohol en las personas y dentro de este existen dos fracciones que nos conciernen:

Fracción I. Existe ventaja:

c) “Cuando el agente se vale de algún medio que debilita la defensa del ofendido”

Uno de los efectos del consumo de alcohol, es un estado de letargia en el cual se presenta debilidad muscular, el cual puede contribuir a que la persona que resulta víctima del delito, se encuentre vulnerable y sin posibilidad de defenderse, lo cual facilita ser la víctima de un delito.

Fracción VII: “Existe estado de alteración voluntaria: cuando el agente lo comete en estado de ebriedad o bajo el influjo de estupefacientes o psicotrópicos u otras sustancias que produzcan efectos similares”

En este apartado, está establecido bajo qué condiciones la legislación considera que existe un estado de alteración voluntaria en la persona, situación relacionada con el consumo del alcohol, ya que uno de los primeros efectos fisiológicos del alcohol es un estado de alteración o euforia.

Artículo 139: “No se impondrá pena alguna a quien por culpa ocasione lesiones u homicidio en agravio de un ascendiente o descendiente consanguíneo en línea recta, hermano, adoptante o adoptado, cónyuge, concubina, concubinario o cuando entre el agente y el pasivo exista relación de pareja permanente, amistad o de familia, salvo que el agente se encuentre bajo el efecto de bebidas embriagantes, de estupefacientes o psicotrópicos, sin que medie prescripción médica, o bien que se diere a la fuga y no auxiliare a la víctima. (Código penal del D.F., 2010: 31)

Debido a que el hecho pudo haberse suscitado con una violencia mayor o con intención de dañar a otros, provocados ambos por el comportamiento que resulta del consumo de alcohol o psicotrópicos y estupefacientes, la ley decide imponer una pena determinada, contrario a lo que sucedería si el responsable no estuviera bajo los efectos de dichas sustancias al momento de cometer el acto.

Un aspecto importante en cuanto a la comisión de delitos, es el alto índice de incidentes provocados por el tránsito de vehículos. El Código Penal para el Distrito Federal contiene los siguientes artículos relacionados con este tipo de

hechos y que además involucran el consumo de alcohol como agravante del hecho y la pena hacia el que resulte responsable de lesiones u homicidio

Dentro del **art. 140** cabe resaltar lo siguiente:

Fracción III. “El agente que conduzca en estado de ebriedad o bajo el influjo de estupefacientes o psicotrópicos u otras sustancias que produzcan efectos similares; cuando se ocasionen lesiones de las previstas en las fracciones VI y VII del artículo 130 de este Código cometidas culposamente y se trate de vehículos de pasajeros, carga, servicio público o servicio al público o de transporte escolar, o servicio de transporte de personal de alguna institución o empresa, y el agente conduzca en estado de alteración voluntaria de la conciencia a que se refiere la fracción VII del artículo 138, la pena aplicable será de dos años seis meses a ocho años de prisión. Además, **se impondrá suspensión de los derechos en cuyo ejercicio hubiese cometido el delito, por un lapso igual al de la pena de prisión que se le imponga; o si es servidor público, inhabilitación por el mismo lapso para obtener otro empleo, cargo o comisión de la misma naturaleza.**”(Código penal del D.F., 2010: 32)

Un elemento importante es el **Reglamento de Transito Metropolitano**, el cual establece los lineamientos a seguir y las sanciones legales establecidas para la conducción de vehículos en el Distrito Federal. Relacionado a las sanciones por conducir en estado de ebriedad estipula lo siguiente en su Capítulo VI “De la conducción de vehículos bajo los efectos del alcohol y narcóticos”.

Artículo 36: “Queda prohibido conducir vehículos por la vía pública, cuando se tenga una cantidad de alcohol en sangre superior a 0.8 gramos/ Lt o de alcohol en aire expirado superior a 0.4 mg/Lt o bajo el influjo de narcóticos”. Los conductores de vehículos destinados al servicio de transporte de pasajeros, de transporte de carga o de transporte de sustancias tóxicas o peligrosas, no deben presentar ninguna cantidad de alcohol en la sangre o en aire expirado, o síntomas simples de aliento alcohólico o de estar bajo los efectos de narcóticos. Los

conductores deben someterse a las pruebas de detección de ingestión de alcohol o de narcóticos cuando lo solicite la autoridad competente.”(Código penal del D.F., 2010: 26)

Artículo 37: “Los conductores de vehículos a quienes se les encuentre cometiendo actos que violen las disposiciones del presente Reglamento y/o muestren síntomas de que conducen en estado de ebriedad o bajo el influjo de narcóticos, están obligados a someterse a las pruebas necesarias con el Médico Legista ante el cual sean presentados o por el personal autorizado para tal efecto”. (Reglamento de Tránsito Metropolitano, 2010: 27)

Por lo anterior, el análisis para determinar la cantidad de alcohol en el organismo de la persona al momento del incidente se convierte en una parte fundamental de un proceso legal que se lleva a cabo en cadena. En el cual el Químico analista determina la cantidad de etanol en la muestra biológica proporcionada por el conductor del vehículo o en su caso el perito químico toma la muestra directamente del cadáver en el anfiteatro para que el Médico Legista establezca si realmente existía un nivel de alcohol fuera del límite permitido en el momento en que la persona conducía y posteriormente las autoridades encargadas de impartir justicia impongan las sanciones correspondientes.

1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS

1.1. Concepto de Tóxico

Con frecuencia se utilizan los nombres de tóxico y veneno haciendo una distinción popular y atribuyendo la denominación de **veneno** a aquella sustancia que ha sido suministrada con fines lesivos premeditados y dejando el nombre de **tóxico** a la sustancia que aunque puede ocasionar daño no se suministra con esta intención. Se acepta también en forma popular la idea de que veneno es aquella sustancia que tiene naturaleza intrínsecamente peligrosa aún en dosis pequeñas tales como el cianuro ó el arsénico y tóxico para aquellos que pueden ocasionar daño pero no por la naturaleza misma de la sustancia, como serían los fármacos, el agua y el oxígeno. (Córdoba, 2006: 19)

Recientemente ha sido propuesta una definición en el sentido de que tóxico es toda radiación física o agente químico que, tras generarse internamente o entrar en contacto, penetrar o ser absorbido por un organismo vivo, en dosis suficientemente alta, puede producir un efecto adverso directo o indirecto en el mismo. De acuerdo con esto, cualquier sustancia puede actuar como tóxico, ya que tanto los productos exógenos como los propios constituyentes del organismo, cuando se encuentran en él en excesivas proporciones, pueden producir trastornos tóxicos. Según el grado de afectación del individuo, la intoxicación puede calificarse como leve, moderada y severa o grave. También puede ser considerada bajo un criterio patocrónico, es decir, estimando su curso o evolución en función del tiempo, así podemos clasificarlas en intoxicaciones agudas y crónicas o recidivantes. (Klassen, 2005: 523)

1.2. Antecedentes de la Toxicología

1.2.1. Concepto de Toxicología

Desde la antigüedad fue necesario el surgimiento de una ciencia que estudie los efectos que algunas sustancias tienen sobre el organismo. Desde el punto de vista etimológico, la palabra toxicología deriva de dos palabras griegas: toxikon (veneno) y logos (tratado), que en conjunto significan “Ciencia que estudia los venenos”. En el tiempo en el que surgió se definió de este modo, pero pronto esta definición resultó incompleta, ya que el objeto de esta ciencia abarca un campo mucho más amplio.

Una definición más acorde a las aplicaciones que en la actualidad tiene esta materia sería la siguiente: “Ciencia que estudia las sustancias químicas y los agentes físicos en cuanto son capaces de producir alteraciones patológicas a los seres vivos, a la par que estudia los mecanismos de tales alteraciones y los medios para contrarrestarlas, así como los procedimientos para detectar, identificar y determinar tales agentes y valorar y prevenir el riesgo que representan.” (Repetto, 2009: 22)

1.2.2. Historia y evolución de la Toxicología

Puede decirse que cada época histórica ha tenido su tóxico y que los venenos han desempeñado un importante papel en la historia, sea con fines positivos (caza, exterminio de plagas o animales dañinos, medicamentos, etc.) o con fines criminales, lo cual ha hecho que su estudio, se haya desarrollado gradual y paralelamente a estas prácticas. Existe abundante literatura sobre la difusión de los envenenamientos criminales en la Italia del siglo XV, y en algunas obras se destaca a la familia Borgia entre los mejores especialistas. La única operación de toxicología analítica consistía en dar de comer a un animal los restos del alimento sospechoso. Por ello, la única forma de descubrir al envenenador era atraparlo en el momento de contaminar el alimento; de aquí que durante los siglos

XVI y XVII los envenenamientos llegaron a constituir una seria amenaza pública en Italia, Francia, Holanda e Inglaterra.

De considerable interés histórico son los trabajos de Paracelso ya que fue el primero que utilizó el concepto de dosis con un sentido cuantitativo; empleando como medicamentos cantidades apropiadas de extractos herbolarios y sustancias ya reconocidas como tóxicas como mercurio, plomo y antimonio, para el tratamiento de diversas enfermedades. Sin embargo aun no se estudiaba concretamente el enfoque legal de la toxicología y es hasta después de la Edad Media cuando empiezan a surgir autores enfocados a la aplicabilidad que tiene la toxicología en el área médico-legal. (Repetto, 2009:2-6)

1.3. Nacimiento de la Toxicología Forense

La frecuencia de envenenamientos en Francia determinó que las autoridades comenzaran con designar peritos médicos y químicos, y se dictó una ley que obligaba a recurrir a tales asesoramientos, y aunque en muchos casos las intervenciones dieran muy poco resultado por ser la Química muy rudimentaria, llevaron a estudiar el desarrollo de las técnicas de análisis, con lo que se inicio la verdadera toxicología analítica. En 1830 el químico inglés James M. Marsh, desarrolla un método para evidenciar la presencia de arsénico en vísceras y alimentos que contribuyo en parte a disminuir los envenenamientos mediante este elemento químico. Este método basado en la liberación del arsénico en forma de arsina, mediante reducción con hidrógeno y sublimación del elemento al incidir una llama de los gases desprendidos sobre una placa fría, fue utilizado judicialmente por primera vez en 1842, donde intervinieron las figuras toxicológicas de la época. Es internacionalmente reconocido que Mateo José Buenaventura Orfila (1787-1853) fue uno de los fundadores de la moderna ciencia toxicológica. En 1813 publicó *Elementos de Química y Tratado de las Exhumaciones Jurídicas*, desarrolló multitud de pruebas para identificar los tóxicos. En su obra describe las propiedades físicas, químicas, fisiológicas y

tóxicas de las sustancias, deteniéndose en los métodos de tratamiento. Experimentó con animales a los que administraba cantidades conocidas de sustancias, observando la sintomatología de la intoxicación, y después de muertos examinaba los órganos y analizaba los tejidos. Entre sus más importantes contribuciones destaca el descubrimiento de que los tóxicos se acumulan en diferentes tejidos. Se retiró en 1848, aunque siguió escribiendo y sus libros sobre Tóxicos y Medicina Legal estuvieron ampliamente difundidos y sirvieron de base para el desarrollo de estas ciencias en otros países. (Repetto, 2009: 9)

1.3.1. Concepto de Toxicología Forense y aplicaciones actuales

El término de Toxicología Forense se usa para englobar toda aplicación que pueda tener el estudio de los tóxicos, sus efectos, identificación, cuantificación y antídotos existentes, para poder brindar un apoyo a interrogantes que puedan surgir en un determinado procedimiento legal. Generalmente, la Toxicología Forense se asocia con el trabajo en conjunto con los elementos e instituciones encargadas de impartir justicia tanto en asuntos de índole civil como penal. Sin embargo, el análisis y la identificación de fármacos y el mantenimiento de la legislación agricultora, industrial y de salud pública (para asegurar la pureza del aire y el agua así como distribución segura de alimentos a la población en general) son también aspectos que abarca la toxicología forense. Tiene como objetivos el aislamiento, identificación y determinación cuantitativa de la sustancia tóxica e intenta contestar ciertas preguntas que pueden surgir en una investigación criminal, tales como: ¿Qué clase de sustancia pudo administrarse al sujeto en cuestión? ¿En qué cantidad? ¿Qué efectos pudo causar? ¿Se trata de sustancias de uso legal? En la mayoría de los casos en los que se necesita la aplicación de la Toxicología Forense, se tiene la sospecha de que está involucrada en la comisión del delito algún tipo de sustancia tóxica o droga y debido al gran número de sustancias existentes que pueden funcionar como tales, se vuelve necesario la implementación de sistemas analíticos que sean capaces de indicar cualitativa y/o cuantitativamente la presencia de dichas sustancias. (Jickells, 2008: 2)

1.4 Función del análisis toxicológico

Por análisis toxicológico se entiende el conjunto de procesos analíticos encaminados a poner de manifiesto la presencia de una sustancia considerada tóxica, en una muestra. Conforme la diversificación de la ciencia toxicológica, los problemas que se presentan son infinitos, y las muestras pertenecen a la más amplia gama de variedades, ya que existen varias ramas aplicadas de la Toxicología (laboral, alimentaria, ambiental, forense). Actualmente la mayor demanda de análisis toxicológicos surge a partir de intereses de naturaleza forense y clínica. La mayoría de métodos de análisis que se utilizan comúnmente en esta rama de la Toxicología, emplean alguna forma de detección que se basa en las propiedades fisicoquímicas específicas del compuesto que se está investigando. Debido a que dichas propiedades son tan diferentes como el número de compuestos, no existe un método de análisis universal para todas las sustancias, tomando en cuenta que dichos métodos deben ser capaces de detectar sustancias a concentraciones muy pequeñas, presentes en muestras complicadas para el análisis, como lo es por ejemplo, el tejido biológico. Aspectos tales como la forma de tomar la muestra, evitar contaminación, embalaje apropiado y la recopilación de información, son muy importantes para obtener resultados contundentes y apegados a la realidad. (Bataller, 2004: 196)

CAPÍTULO 2. ANÁLISIS TOXICOLÓGICO Y CROMATOGRAFÍA DE GASES

2.1. Introducción al análisis toxicológico

La toxicología analítica está relacionada con la detección, identificación y cuantificación de drogas y de otros compuestos ajenos al organismo (xenobióticos) y sus metabolitos en muestras biológicas. Con frecuencia el analista dedicado a la toxicología debe tener la capacidad de saber comunicarse adecuadamente con médicos, patólogos, oficiales de policía, entre otros. Por lo que requiere un buen entendimiento de materias como la química clínica, la farmacología y farmacocinética. (Flanagan, et. al., 2005: 1-2)

El uso de técnicas fisicoquímicas en el análisis de drogas y otro tipo de sustancias en fluidos biológicos o tejidos, tiene sus orígenes en el desarrollo de la toxicología forense. Métodos químicos sensibles y selectivos para la detección de venenos metálicos tales como el arsénico, antimonio, bismuto y mercurio en muestras biológicas, eran ya descubiertos en 1830. A partir de aquí, algunos ejemplos de avances importantes incluyeron la introducción de técnicas colorimétricas para la detección de barbitúricos, el uso de sulfato de amonio para extraer alcaloides, precipitación de proteínas con ácido tricloroacético para la obtención de la sustancia de interés y el desarrollo de métodos de microdifusión (Conway) para analitos volátiles. Mayores avances en la metodología analítica sucedieron después de la introducción y aplicación de técnicas fisicoquímicas como la espectrofotometría y la cromatografía. Particularmente, la espectrofotometría UV y la infrarroja, en conjunto con la espectrofotometría visible (colorimetría), la cromatografía en papel y de intercambio iónico comenzaron a utilizarse ampliamente. La cromatografía ha sido de los métodos más utilizados por sus ventajas de velocidad de análisis y límites de detección más bajos. Actualmente, las mejoras en instrumentación para espectrofotometría UV, espectrofluorometría, espectrometría de absorción atómica, electroquímica,

difracción de rayos X, espectrometría de masas, resonancia magnética nuclear, entre otras, han convertido a estas técnicas en las más utilizadas para resolver problemas particulares.

Actualmente un amplio rango de métodos analíticos, comúnmente cromatográficos, de inmunoensayo y otras técnicas, están disponibles para su uso en el área toxicológica. Sin embargo, aun es imposible buscar todas las sustancias presentes en todas las muestras con una sensibilidad adecuada del método. Es por esta razón, que en cualquier análisis se tenga un objetivo claro, ya que la elección de un método en particular para realizar un análisis, se ve influenciada por diversos factores que se mencionan a continuación. (Flanagan, 2005: 2)

2.2. Elección del método analítico

Para iniciar un proceso de análisis químico-toxicológico, las primeras y fundamentales operaciones han de encaminarse a separar del medio problema o muestra, las sustancias que posean interés toxicológico por lo que el analista tiene que extremar esfuerzos en el aislamiento y purificación, para tener la máxima seguridad en la identificación. Es evidente que el método a utilizar debe ser apropiado de acuerdo al tipo de análisis que se quiere realizar. En la práctica, la elección del método depende de varios factores tales como: las circunstancias por la que se requiere el análisis, la muestra a analizar, la naturaleza del analito (si se conoce cual), la concentración a la cual se espera que se encuentre ese compuesto en cuestión, el tiempo y el equipo disponibles para el análisis y el entrenamiento y experiencia del analista. La naturaleza de la muestra y la concentración esperada del analito, son los factores que más influyen en la elección del método adecuado.

Por ejemplo, quizá sea posible medir la concentración de una sustancia conocida en solución directamente con la técnica de espectrofotometría por UV, sin embargo, si la muestra es una porción de tejido de hígado postmortem, el problema es distinto. De esta manera, una porción representativa del tejido tendría

que ser homogenizada y se obtendría el analito en su forma libre mediante una extracción líquido-líquido con solventes a partir del tejido homogenizado a un pH apropiado. Posteriormente se necesitaría purificar o concentrar el extracto antes del análisis. (Repetto, 2009: 502)

2.3. Concepto y principio de Cromatografía

La cromatografía es un método muy utilizado y que permite la separación, identificación y determinación de los componentes químicos en mezclas complejas. Los métodos cromatográficos tienen en común el uso de una fase estacionaria y una fase móvil. Los componentes de una mezcla son transportados a través de la fase estacionaria por el flujo de una fase móvil, y las separaciones se basan en las diferentes afinidades por la fase móvil que determinan la velocidad de migración entre los distintos componentes de la mezcla.

La fase estacionaria está fija en un lugar, ya sea en una columna o en una superficie plana y la fase móvil se mueve sobre la fase estacionaria o a través de ella, arrastrando consigo la mezcla de analitos, la fase móvil puede ser un gas, un líquido o un fluido supercrítico. Las dos fases se eligen de tal forma, que los componentes de la muestra se distribuyen de modo distinto entre la fase móvil y la fase estacionaria. Aquellos componentes que son fuertemente retenidos por la fase estacionaria se mueven lentamente con el flujo de la fase móvil; por el contrario, los componentes que se unen débilmente a la fase estacionaria, se mueven con rapidez. Como consecuencia de la distinta movilidad, los componentes de la muestra se separan en bandas o zonas que pueden analizarse cualitativa y/o cuantitativamente. (Skoog, 2001: 731)

2.4. Cromatografía de Gases

La cromatografía de gases es una de las técnicas más versátiles y ubicuas en los laboratorios, y se usa mucho en la determinación de compuestos orgánicos. Con esta técnica se pueden separar mezclas muy complejas; cuando se acopla

con la espectrometría de masas como sistema de detección, es posible la identificación con una muy alta sensibilidad, creando un sistema analítico muy poderoso. Los gases de mayor densidad producen separaciones más lentas, pero más eficientes, mientras los de menor densidad producen separaciones más rápidas aunque no tan bien definidas. Existen dos tipos dentro de la Cromatografía de Gases:

Cromatografía Gas-Líquido: Comúnmente llamada solamente Cromatografía de Gases, este tipo de cromatografía distribuye el analito entre una fase móvil gaseosa y una fase líquida no volátil inmovilizada que recubre la pared interior de una columna o de un soporte sólido inerte.

Cromatografía Gas-Sólido: Se basa en la adsorción de sustancias gaseosas sobre superficies en estado sólido. Es de aplicación limitada debido a la poca eficacia de separación por retención semipermanente de moléculas activas a la superficie de la fase estacionaria, haciéndola útil solo para separar compuestos gaseosos de bajo peso molecular y que no pueden ser retenidas por fases estacionarias en Cromatografía Gas-Líquido como aire, sulfuro de hidrógeno, bisulfuro de carbono, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono y los gases nobles. (Higson, 2007:224)

2.4.1. Instrumentación para Cromatografía de Gases

Desde su introducción comercial, han ocurrido muchos cambios y mejoras en los instrumentos de Cromatografía de gases. Las décadas de 1980 y de 1990 contemplaron el uso de computadores en el control automático de muchos parámetros instrumentales, como la temperatura de la columna, velocidades de flujo e inyección de la muestra; el desarrollo de instrumentos de muy alto rendimiento a costo moderado y, quizá más importante, el desarrollo de columnas tubulares abiertas, que permiten separar los componentes de mezclas complejas en periodos relativamente breves. (Skoog, 2005: 960).

2.4.1.1. Características de la muestra para Cromatografía de Gases.

La separación de compuestos directamente, sin transformaciones previas, requiere que las muestras cumplan las condiciones siguientes:

- Que sean estables a la temperatura de separación.
- No se adsorban o descompongan por el soporte sólido donde se encuentra la columna.
- Detectables al salir de la columna.

Actualmente la mayoría de los compuestos no cumplen con estos requisitos por lo que se ha ampliado el campo de utilización de la CG. Así, es posible analizar compuestos, como azúcares o aminoácidos, totalmente no volátiles, pero que se transforman en derivados volátiles por reacciones apropiadas.

Asimismo, compuestos no detectables se transforman en otros sensibles al método de detección y por diversos artificios se reduce el grado de descomposición de muestras inestables. En muchos casos, puede llevarse a cabo la determinación indirecta aplicando alguno de los siguientes métodos:

2.4.1.1.1 Derivatización.- Puede estimarse que entre el 80 y 90% de los compuestos orgánicos no son adecuados para su determinación directa por CG debido a su baja volatilidad. Tal es el caso de una gran cantidad de muestras biológicas, como proteínas, hidratos de carbono y aminoácidos. Una solución a esta aplicabilidad limitada está en la preparación de derivados adecuados, para lo que se utilizan normalmente los métodos de silylación, acilación y esterificación. (Hernández, et. al., 2002: 387)

2.4.1.1.2 Cromatografía de espacio de cabeza: Es una técnica que hace posible la determinación de los constituyentes volátiles de muestras sólidas o líquidas por análisis de la fase de vapor que está en equilibrio termodinámico con la fase sólida o líquida. Dichos compuestos pueden determinarse en casi todo tipo

de matrices sin necesidad de recurrir a procesos de extracción, disolución o incluso dilución. Para ello, las muestras se colocan en dispositivos adecuados que se mantienen a temperatura constante el tiempo suficiente para que se establezcan los equilibrios sólido o líquido/vapor correspondientes y seguidamente se transfiere un determinado volumen de la fase gaseosa a la columna cromatográfica. La temperatura debe ser controlada de forma precisa debido a la dependencia entre esta variable y la presión de vapor.

2.4.1.1.3 Pirólisis: La muestra se calienta en la cámara de inyección de un cromatógrafo de gases a una temperatura a la que tenga lugar su descomposición. Al obtener los productos originados en el proceso de pirolisis es posible, al menos teóricamente, elucidar la estructura del material original. El método más común para pirolizar muestras consiste en la utilización de un filamento metálico de platino que se calienta eléctricamente. (Hernández, et. al., 2002: 388)

2.4.1.2. Sistema de inyección de muestra

Las muestras a separar por cromatografía de gases pueden ser de diferente naturaleza y estado físico, pero necesariamente han de convertirse al estado de vapor. El procedimiento de vaporizar las muestras y de introducir las en la columna tiene gran importancia desde el punto de vista de la eficacia de la separación. Por otra parte, es importante que el tamaño de muestra sea el adecuado a las características del equipo utilizado. Así, cuando se añade a la columna una cantidad de soluto superior a su capacidad, no se establece el equilibrio entre la fase gaseosa y la fase líquida reduciendo su eficacia. Debe inyectarse la cantidad adecuada de muestra, en el menor tiempo posible y conseguir la vaporización total de las muestras no gaseosas (para ello se emplean diversos artificios y técnicas de muestreo). Un método prácticamente universal para la introducción de muestras en CG, implica el uso de una microjeringa para inyectar a través de un diafragma o "septum" en una cámara de vaporización situada en la cabeza de la

columna y calentada unos 50° C por encima del punto de ebullición del componente menos volátil de la muestra. Alternativamente, la inyección puede realizarse directamente en la columna. En estos casos, la aguja llega hasta la columna, donde se deposita directamente la muestra líquida. Se inserta directamente al principio de la columna operando a una temperatura inicial relativamente baja y la separación ocurre al elevarse la temperatura de la columna. (Day, 1989: 628)

En Cromatografía de Gases, cuando es probable que la cantidad de analito en una muestra supere el 0.1% del total resulta mejor utilizar un sistema de inyección con división (split). Los mejores resultados de resolución se obtienen con la mínima cantidad de muestra ($\leq 1\text{mL}$) ya que una inyección completa de la muestra provocaría ensanchamiento de bandas y poca resolución. Existen equipos que cuentan con un sistema divisor que permite utilizar solo una fracción de la cantidad de muestra inyectada, esto debido también a las características de la columna, que puede requerir una cantidad de muestra mucho menor a la suministrada. (Harris, 2006: 588)

Cuando la inyección directa no es apropiada, por ejemplo en muestras sólidas, un dispositivo auxiliar efectivo para introducir la muestra en el CG o directamente en la columna es el Head Space, que es útil para el análisis de especies volátiles y se puede obtener la sustancia de interés mientras que los componentes que no son requeridos se quedan en el recipiente (vial). Un aparato Head Space puede ser programado para introducir la muestra en una cámara a través de una línea de vacío y los componentes volatilizados de la muestra son introducidos en el CG por medio del gas acarreador, donde se concentran en la cabeza de la columna antes de su separación y elución. (Handley, et. al., 2001: 85-86)

2.4.1.3 Sistema de gas portador

Deben ser químicamente inertes para no interferir o reaccionar con los componentes de la muestra ni con el analito en cuestión, entre estos se encuentran gases como el helio, nitrógeno, hidrógeno y argón, los cuales varían en su uso dependiendo de su compatibilidad con el detector utilizado por razones de seguridad, ya que el hidrógeno es explosivo si se mezcla a cierta proporción con el aire o porque algunos difunden por la columna más rápido que otros resultando en una resolución variable. Estos gases están disponibles en tanques presurizados. Se requieren reguladores de presión, calibradores y medidores de flujo para controlar la velocidad de flujo del gas. Con el uso de gases para transportar la muestra se hace necesario la introducción de equipo para el suministro del gas, reguladores de presión, manómetros y medidores de la cantidad de gas que fluye y la velocidad. (Higson, 2007: 225)

2.4.1.4. Columnas

Comúnmente están formadas de acero inoxidable, vidrio, sílice fundida (SiO_2) o teflón, algunas tienen recubrimientos interiores que funcionan como soporte y protectores a la oxidación, contra la absorción de humedad y a las altas temperaturas. Se encuentran dentro de un horno el cual controla la temperatura. Se utilizan dos tipos de columnas: rellenas y abiertas o capilares.

2.4.1.4.1 Columnas Rellenas

Las columnas rellenas o empaquetadas se fabrican con materiales como el vidrio, acero inoxidable, teflón y metales como el níquel, cobre o aluminio, con longitudes promedio de 1-5 m (menores que las columnas abiertas) y con diámetros interiores de 2 a 4 mm (mayores que las columnas abiertas). El interior de este tipo de columnas se encuentra relleno con un material sólido que funciona como soporte y consiste en partículas esféricas recubiertas de fase estacionaria en estado líquido que no se volatiliza. Para este tipo de rellenos normalmente se

utiliza tierra de diatomeas (esqueletos silíceos de algas unicelulares). Poseen una mayor capacidad de carga en comparación con las columnas capilares, debido a que el área superficial de las partículas de relleno es mucho mayor. (Baugh, 1993: 20-22).

2.4.1.4.2 Columnas Abiertas o Capilares

Se diferencian de las columnas rellenas en que el diámetro interior es mucho más pequeño, de entre 200 y 350 μm . Tienen una longitud mayor que puede ir desde 15 hasta 100 m., están hechas de sílice fundida que es recubierta con poliimidias (un plástico capaz de resistir 350^o C) para protegerla de las altas temperaturas, la humedad atmosférica y para hacerlas menos frágiles a la manipulación.

Son de dos tipos básicos:

- Pared recubierta (WCOT: wall coated open tubular)
- Recubierta con soporte (SCOT: support coated open tubular)

En el caso de las *columnas capilares de pared recubierta*, la superficie de la pared interna de la columna se encuentra recubierta con una fina capa de fase estacionaria unida químicamente y en el caso de las *columnas capilares recubiertas con soporte*, el interior de la columna está cubierto por partículas sólidas que funcionan como soporte las cuales tienen adherida la fase estacionaria. Aunque requieren la aplicación de una presión mucho mayor para hacer pasar la muestra a través de la columna y poseen una menor capacidad de carga de muestra, las columnas capilares son las más utilizadas actualmente en la cromatografía de gases ya que se obtienen separaciones en menor tiempo (ya que la superficie de contacto es menor y se aplica una mayor presión) y mayor resolución (la longitud de la columna permite al analito separarse completamente). (Christian, 2009: 578).

2.4.1.5. Detector

Durante el desarrollo de la Cromatografía de Gases se han investigado y utilizado varios tipos de detectores. Algunos ejemplos de los tipos de detectores que se utilizan en toxicología analítica son los siguientes:

- Ion Flama (FID)
- Espectrometría de Masas (MSD).
- Conductividad Térmica (TCD).
- Captura de Electrones (ECD).
- Nitrógeno-Fósforo (NPD).
- Descarga de Pulsos (PDD).
- Emisión Atómica (AED).

El detector ideal para CG debe tener las siguientes características, aunque ninguno en la actualidad cumple con todas ellas:

1. Adecuada sensibilidad. Aunque todos se utilizan extensamente y son adecuados en ciertos casos, los menos sensibles no resultan convenientes para algunas aplicaciones.
2. Intervalo de temperaturas de trabajo comprendido desde la temperatura ambiente hasta al menos 400° C.
3. Alta fiabilidad y manejo sencillo.
4. Tiempo de respuesta corto que sea independiente de la velocidad de flujo de la muestra en la columna.

El tipo de detector que más importancia ha tomado es el detector MS (Mass Spectrometry) o espectrometría de masas. El cual acoplado a la CG, sirve no sólo

para detectar la aparición de los picos de los analitos al final de la columna, sino también para identificarlos. El detector de ionización de llama (FID), en un quemador mezcla el efluente de la columna con hidrógeno y con aire para luego encenderse eléctricamente. Cuando se aplica una diferencia de potencial de unos pocos cientos de voltios entre el extremo del quemador y un electrodo colector situado por encima de la llama, la corriente que resulta se dirige para su medida hacia un amplificador operacional de alta impedancia. El detector responde al número de átomos de carbono que entra en el detector por unidad de tiempo, por ello, es más un detector sensible a la masa, que a la concentración. Grupos funcionales como los carbonilos, alcoholes, halógenos y aminas, originan en la llama pocos iones o prácticamente ninguno. Es insensible al agua y a gases no combustibles como CO_2 , SO_2 y NO_x . Estas propiedades hacen del detector FID uno de los más utilizados para el análisis de la mayoría de compuestos orgánicos. (Fowlis, 1995: 21)

Posee una elevada sensibilidad, buena estabilidad (poco ruido de fondo) y por lo general es resistente y fácil de utilizar.

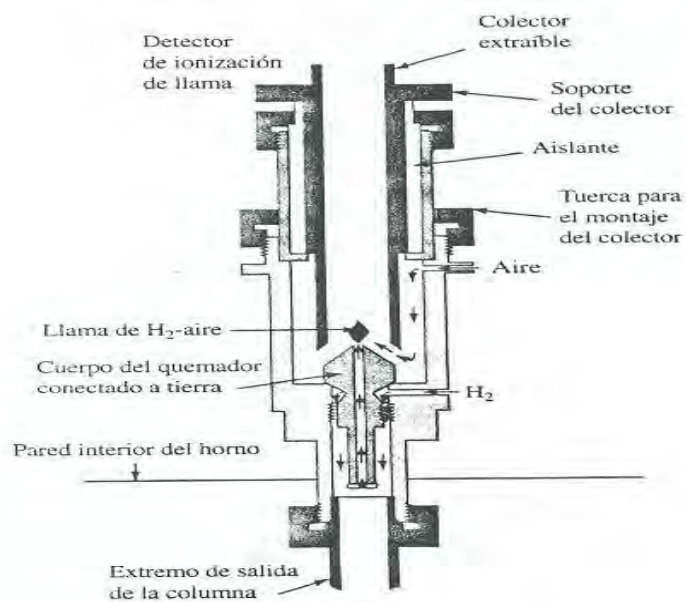


Figura 1. Esquema de un detector tipo ión flama. (Skoog, et. al: 2005)

CAPITULO 3. TOXICOLOGÍA DEL ETANOL

3.1 Propiedades y usos del etanol

El alcohol etílico ($\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{OH}$), es líquido a temperatura ambiente, incoloro e inflamable; tiene un bajo peso molecular (p.m.= 46); es de elevada volatilidad e hidrofílico pero ligeramente liposoluble. Se utiliza como disolvente en la industria, en muchos productos domésticos (como antisépticos) y en la industria farmacéutica es el componente fundamental de las bebidas alcohólicas destinadas al consumo. También se encuentra etanol en los enjuagues bucales (hasta 75% del volumen), colonias (de 40 a 60%) y preparados medicinales (0.4 al 65%). La graduación alcohólica de las bebidas suele expresarse en mililitros del alcohol por 100 mililitros de líquido (%v/v). (Bataller: 2004:53)

Es una sustancia derivada de la descomposición de carbohidratos vegetales, proceso que puede ser espontáneo pero que se ve acelerado por la acción catalítica de una levadura, *Saccharomyces cerevisiae*, presente en forma natural o añadida por el hombre con el fin de obtener bebidas alcohólicas. Se forma cuando las levaduras son forzadas a oxidar los azúcares en forma anaeróbica. Este proceso continúa hasta alcanzar la concentración deseada según el producto que se quiere obtener. Por ejemplo, la concentración del vino de mesa llega hasta 12 ó 14%. La concentración de etanol en las cervezas, que se elaboran a partir de mezclas que inicialmente contienen menos azúcar, por lo común es de sólo el 4 al 5%. (Leza, 2003: 233).

3.2. Antecedentes históricos del consumo de alcohol

El etanol ha acompañado a la humanidad desde la antigüedad aunque existen excepciones, pero en general el consumo de alcohol etílico llámese “bebidas alcohólicas”, “licores” o cualquier otra denominación que se le dé, ha tenido una función simbólica muy clara: lo vemos en ritos religiosos, en grandes celebraciones sociales, por situaciones de alegría o tristeza, por triunfos o derrotas, defunciones o nacimientos, es decir, se consume por una gran cantidad de motivaciones. La intoxicación por el alcohol etílico conlleva entre la población serios aspectos: es una intoxicación de origen social, lo cual hace disfrazar su carácter de tóxico. La frecuencia de su uso popular y la propaganda realizada por medios de comunicación, inducen al consumo del alcohol a personas de todas las edades, teniendo consecuencias graves en el estado de salud y de convivencia en sociedad de los individuos (en algunas regiones los habitantes son muy asiduos consumidores de alcohol). Fechas como la Navidad y el Año Nuevo aumentan su consumo y hacen necesaria la atención a intoxicados y lesionados, bien en forma accidental (tránsito, caídas) como por causas delincuenciales. En la práctica, podría decirse que el alcohol está presente en la mayoría de casos de homicidios o accidentes. No solamente se cometen los crímenes bajo el efecto del alcohol etílico, sino que también los agresores seleccionan a sus víctimas cuando éstas se encuentran bajo los efectos etílicos, factor que los coloca en inferioridad frente a sus agresores. (Córdoba, 2005: 459)

3.2.1. Consumo de alcohol en México

La manera de beber de los mexicanos y sus consecuencias, colocan a nuestro país en un nivel de riesgo, si no en el más alto, sí por arriba del promedio de los demás países de América Latina; a diferencia de otras naciones en donde la ingesta de alcohol es desmedida, en México el problema no es sólo qué y cuanto se toma, sino incluso de mayor importancia, las conductas que las personas presentan después de beber.

El consumo de alcohol constituye un creciente y preocupante problema de salud y seguridad pública, todo esto debido al patrón de consumo que se observa en México:

Consumo episódico agudo. Es el más recurrente entre la población, ocurre comúnmente en fines de semana y días festivos, que aunque pueden suscitarse con poca frecuencia, siempre terminan en un grado de embriaguez que puede acarrear problemas a largo plazo ya sea de salud o incluso legales en algunos casos.

Consumo crónico excesivo. Característico de individuos alcohólicos y que conlleva en su mayoría problemas de salud. Entre las consecuencias sociales del consumo de alcohol destacan los delitos relacionados con la violencia, los accidentes de tránsito y de otro tipo (laboral por ejemplo), el suicidio, el ausentismo en el trabajo, además de diversos problemas que se presentan en el ámbito familiar y en el estado de salud del individuo. *(López, 1998: 489)*

El patrón de consumo de alcohol en México se sitúa en un nivel de mayor peligro pues se ingieren grandes cantidades en cada ocasión sin alimentos y de manera riesgosa fuera del hogar. En un artículo relacionado con el consumo de alcohol en la Ciudad de México, publicado en Abril de 2010, se mencionan los siguientes datos estadísticos (La Jornada 2010):

“De acuerdo con un diagnóstico del Gobierno del Distrito Federal elaborado en conjunto por las secretarías de Salud y de Seguridad Pública y la Procuraduría General de Justicia del Distrito Federal, los dos primeros meses de 2010 en la ciudad de México ocurrieron 27 muertes en accidentes de tránsito asociados al consumo de alcohol y se atendió a 569 pacientes por este motivo, de los cuales casi 60 por ciento involucraron a personas de 20 a 40 años de edad. Las lesiones asociadas al consumo de alcohol se agudizan de viernes a domingo en el horario nocturno y la mayor incidencia ocurre entre individuos de 10 a 29 años además de que 72% de los accidentes de tránsito por estado de ebriedad se suscitan entre

las ocho de la noche y las ocho de la mañana, la mayoría en la madrugada, cuando también ocurren 40 por ciento de los delitos registrados por esta circunstancia.”

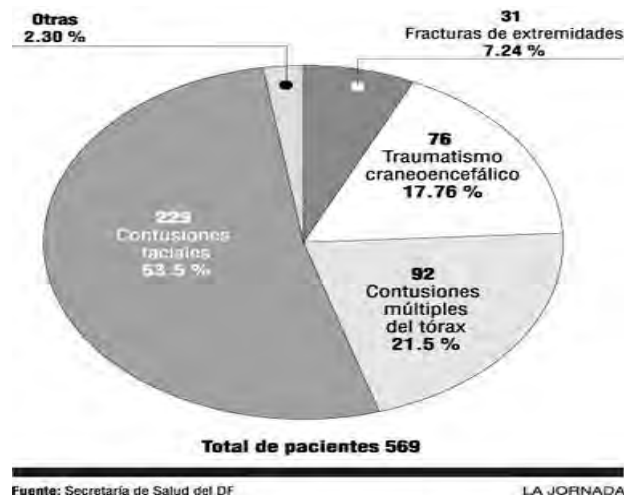


Figura 2. Tipos de lesiones relacionadas con accidentes de tránsito asociados a la ingesta de alcohol. (Periódico en línea La Jornada Abril 08 abril 2010)

3.2.2. Relación del consumo de etanol con la comisión de delitos

La embriaguez de un sujeto al verse involucrado en asuntos legales o que terminan con la remisión a las agencias del Ministerio Público, posee importancia sociológica y criminológica, ya que es motivo de frecuentes acciones médico-legales que dan lugar a problemas periciales por lo que el alcohol es considerado un factor criminógeno de primer orden. Está comprobado que aquellos días en los que estadísticamente es más elevado el número de delitos en una determinada región, corresponden precisamente a los días de intemperancia en el consumo de bebidas alcohólicas. De modo paralelo, aquellas regiones de un país, ciudades o distritos de una población, en que el consumo de alcohol es mayor, poseen igualmente un mayor índice de criminalidad. De manera específica el alcohol en muchas ocasiones provoca la comisión de delitos, cuya frecuencia se incrementa en los días de mayor consumo alcohólico (festividades, por ejemplo). Entre estos merecen mencionarse las riñas y altercados, las alteraciones del orden público, las

lesiones a terceros y homicidios. Cabe destacar los delitos sexuales, en cuya ejecución el alcohol tiene un papel desencadenante. La mayor importancia, desde el punto de vista estadístico así como por su gravedad, corresponde a los accidentes de tránsito vehicular (*Calabuig, 2004: 879*)

La relación entre la comisión de crímenes y el consumo de alcohol es tan compleja que se han propuesto varios modelos para su entendimiento. Personalidad, antecedentes, circunstancias familiares y predisposición a beber, posiblemente la influencia genética puede ser considerada. A juzgar por las autoridades, la relación entre el consumo de alcohol y la conducta violenta generada es evidente al momento de procesar a los involucrados. Series de casos muestran la alta frecuencia de intoxicación entre los delincuentes violentos en el momento del acto criminal.

3.2.3. Relación del consumo de alcohol con accidentes

El alcohol es un factor de riesgo subyacente y frecuente en accidentes en la población general, no solo en individuos con problemas de alcoholismo o dependencia. La ingestión de alcohol causa disminución de la coordinación y balance, incrementa el tiempo de reacción y afecta la atención, la percepción y el juicio, todo esto en conjunto es factor de accidentes. Los accidentes de tráfico en los cuales el alcohol está implicado son más graves que los accidentes en los que no y el riesgo de estar involucrado en un accidente aumenta en función de la concentración de alcohol en sangre (BAC). Aproximadamente un tercio de los peatones muertos en accidentes de tráfico al día tienen una BAC medible. Así también, la literatura relacionada con accidentes por el consumo de alcohol tiene un enfoque histórico en la conducción en estado alcohólico, accidentes de tráfico, accidentes en el hogar, el trabajo y la aviación comercial. El consumo de más de 60g de alcohol en un periodo de 6 horas está asociado con un importante riesgo de lesiones. Estudios de varios países señalan que el alcohol está involucrado en 26 – 54% de los casos de lesiones provocadas en el hogar. Está asociado con los

incidentes violentos en el núcleo familiar e implicado en el abuso infantil. Niveles de alcohol positivos han sido obtenidos en el 40% de los accidentes fatales en la industria y en 35% de accidentes laborales no fatales. (Edwards, 2003: 166)

Debido a esta relación, se exige el apoyo de las pruebas científicas de embriaguez llevadas a cabo por el médico legista o la determinación de la cantidad de alcohol por métodos directos o indirectos. El método directo para establecer la concentración sanguínea es el examen de alcoholemia el cual requiere por supuesto de la extracción de muestra hemática del individuo, existiendo métodos considerados indirectos como pueden ser a través de muestras de orina, saliva y aire expirado con base en la relación proporcional que existe con la sangre en las concentraciones alcohólicas, con resultados confiables y aceptables. (Estes, 2001: 345)

Otra consecuencia del consumo de alcohol es la propensión a accidentes entre personas alcoholizadas. En 2008, en una encuesta acerca de las principales causas de mortalidad entre personas de 25 a 34 años, se muestran los siguientes resultados en donde se observa que una de las principales causas de muerte entre personas jóvenes son los accidentes de tráfico vehicular, en los cuales es común encontrar que los responsables consumieron alcohol previamente. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2008).

Entidad federativa : Distrito Federal Grupo de edad : De 25 a 34 años		
Orden de Importancia	Causas	Defunciones
	TOTAL	1,196 a/
1	ACCIDENTES	297
	De tráfico de vehículos de motor	209
2	AGRESIONES	200
3	TUMORES MALIGNOS	92
	Leucemias	28
4	LESIONES AUTOINFLIGIDAS INTENCIONALMENTE	75
5	ENFERMEDADES DEL CORAZÓN	49
	Enfermedades isquémicas del corazón	18
6	MALFORMACIONES CONGÉNITAS, DEFORMIDADES Y ANOMALÍAS CROMOSÓMICAS	39
	Malformaciones congénitas del sistema circulatorio	19
7	ENFERMEDAD POR VIRUS DE LA INMUNODEFICIENCIA HUMANA	31
8	INFLUENZA Y NEUMONÍA	27
9	EMBARAZO, PARTO Y PUERPERIO d/	25
10	INSUFICIENCIA RENAL	23
11	TRASTORNOS SISTÉMICOS DEL TEJIDO CONJUNTIVO	21
12	PARÁLISIS CEREBRAL Y OTROS SÍNDROMES PARALÍTICOS	20
13	ENFERMEDADES CEREBROVASCULARES	19
14	DIABETES MELLITUS	18
15	ENFERMEDADES DEL HÍGADO	17
16	DESNUTRICIÓN Y OTRAS DEFICIENCIAS NUTRICIONALES	11
17	EPILEPSIA	10
18	SEPTICEMIA	9
19	ANEMIAS	9
20	PANCREATITIS AGUDA Y OTRAS ENFERMEDADES DEL PÁNCREAS	6
	SUBTOTAL	998
	PARO CARDÍACO	0
	SÍNTOMAS, SIGNOS Y HALLAZGOS ANORMALES CLÍNICOS Y DE LABORATORIO, NO CLASIFICADOS EN OTRA PARTE	24
	LAS DEMÁS CAUSAS	174

a/ El total no corresponde a la suma de ambos sexos, ya que incluye sexo no especificado.

FUENTE: www.inegi.gob.mx

Figura 3. Estadísticas del INEGI que muestran las principales causas de mortalidad entre la población del D.F. en 2008 (Instituto Nacional de Estadística y Geografía: 2008)

3.3. Metabolismo del etanol

El alcohol se absorbe en un 20-30% en el estómago y el resto, en el intestino delgado (duodeno principalmente). Todo el alcohol que se ingiere es absorbido y pasa a la sangre entre 30 y 60 min después de la ingestión; aunque en algunas circunstancias puede retrasarse hasta un máximo de 3h. Los procesos que aceleran la evacuación gástrica favorecen la absorción como pueden ser

ciertas gastritis, dispepsias, gastrectomías, etcétera. Cuando el estómago está vacío, la absorción es mayor, al aumentar la superficie de la mucosa gástrica disponible; por el contrario, con la presencia de alimento, en especial proteínas, retrasa la absorción. Bebidas fuertemente alcohólicas se absorben con mayor rapidez que las débiles. (Bello, 2001: 221)

3.3.1. Distribución

La distribución *in vivo* del etanol está gobernada por su partición entre agua y grasa de 30/1. Así, en equilibrio, su distribución es muy similar a la del agua corporal. Dado que la grasa constituye una mayor proporción del peso corporal en las mujeres que en los varones, el volumen de distribución resultante del etanol en las mujeres es de 0.6 L/kg, mientras que en los varones es de 0.7 L/kg. De acuerdo con esto, la absorción de una cantidad dada de etanol da como resultado un nivel sanguíneo de etanol más elevado en las mujeres que en los varones de igual peso.

Una vez que el alcohol es distribuido por todo el organismo, se establece un proceso de difusión que vendrá regulado por dos factores: la concentración de agua y la de alcohol con respecto a la sangre. El proceso de reparto se realiza a velocidades muy distintas y no siempre la concentración de alcohol responde a lo que teóricamente le debería corresponder en función de su riqueza en agua.(Smith, 1993: 255)

La concentración de alcohol en esta fase de distribución dependerá de la fase en que se encuentre el proceso:

3.3.2 Absorción: Dependerá de muchos factores, entre ellos, la cantidad ingerida. La pendiente de la recta será más o menos inclinada en función de la velocidad de difusión.

3.3.3 Equilibrio: Una vez que el alcohol llega a la sangre, difunde a los tejidos en función de la riqueza en agua de líquidos extra e intracelulares. Durante

la absorción llega un momento en el que se produce un punto de equilibrio en forma de vértice o meseta en la curva cuando el alcohol que pasa de la sangre a los tejidos sufre un catabolismo inmediato. La pérdida de alcohol en los tejidos se repone con una nueva situación de equilibrio con la sangre y una caída de la concentración de alcohol en ésta. Será una meseta cuando la absorción no se ha concluido y el alcohol que llega del tubo digestivo se equilibra con la que difunde a los tejidos (se metaboliza la cantidad que se absorbe)

3.3.4 Eliminación: Más del 90% del alcohol absorbido se metaboliza por diferentes vías y en forma inalterada se excreta aproximadamente un 10% a través del aliento, saliva heces, orina, sudor y la leche materna. No obstante, estas pequeñas cantidades permiten determinar indirectamente la alcoholemia, por lo que presentan un gran interés toxicológico y legal. (Cerver, et. al., 2003: 115)

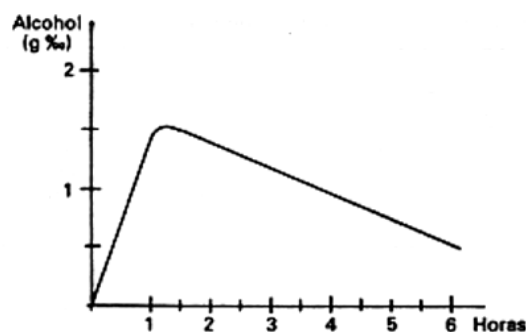


Figura 4. Curva de alcoholemia que representa la evolución de la concentración de alcohol en sangre en el período de tiempo que sigue a la ingestión (Calabuig, 2004: 883)

En función del equilibrio de difusión que se alcanza entre la sangre y los tejidos es posible conocer la concentración de alcohol en sangre en un tiempo cero después de establecido el equilibrio en una dosis única de alcohol, lo que se puede calcular según la fórmula propuesta por Widmark:

En la cual C es la concentración de alcohol en sangre; A, la dosis de alcohol ingerida; p, el peso del sujeto y r, un coeficiente de reparto que relaciona la concentración de alcohol en los tejidos y la alcoholemia que según Widmark, es de 0.68 para el varón y 0.55 para la mujer. Con concentraciones sanguíneas moderadas a altas de etanol, la eliminación metabólica ocurre por una aparente cinética de orden cero, es decir el proceso es independiente del tiempo y ocurre en cantidad constante más que con una tasa proporcional a la concentración. El metabolismo hepático constituye la principal vía de eliminación del etanol aunque también es excretado por la respiración, la orina y el sudor. En cuanto a la cantidad de etanol que el adulto promedio puede metabolizar, la cantidad varía desde 7 a 10g de alcohol por hora, mientras que el ritmo normal de eliminación es de 12 a 20 mg, con un promedio de 15mg por hora. (Hoyos, 2002:6)

Vía Pulmonar: Solo un 2-3% del alcohol ingerido se elimina por esta vía y desde el punto de vista analítico y judicial es de gran importancia, pues algunos métodos de análisis se basan en la determinación del alcohol en aire espirado ya que se ha calculado que 2 Lt de aire espirado equivalen a la cantidad que habría en 1mL de sangre arterial. Es posible estimar la concentración de alcohol en sangre a partir de la concentración alcohólica en aire espirado, constituyendo la base de la utilización de los alcoholímetros como instrumento de cuantificación alcohólica.

Vía Urinaria: El alcohol difunde a través del glomérulo y no sufre proceso de reabsorción tubular. La concentración de alcohol en la orina dependerá de la alcoholemia, pero ésta cambia continuamente y la de la orina no lo hace; la correlación alcoholemia/alcoholuria no es de 1 sino inferior. La concentración de alcohol de la orina reflejará la existente en la sangre durante un período medio de tiempo, pero teniendo en cuenta que su riqueza en agua es mayor y no se metaboliza o degrada, el cociente de alcoholuria/alcoholemia puede variar desde 0.94 a 1.40, pero se utiliza un valor medio de 1.3. (Calabuig; 2004: 884)

Debe tenerse presente que la orina de una micción ha sido recolectada en la vejiga durante un tiempo en el que la alcoholemia ha podido evolucionar, mientras que la alcoholuria en un momento dado es la concentración media de todo aquel tiempo. Estudios experimentales han demostrado la gran variabilidad de la correlación de alcohol en orina/sangre, ya que la alcoholuria depende de muchos factores, entre los que destacan los siguientes:

- a) El momento de la toma de muestra, ya que la alcoholuria es inferior a la alcoholemia hasta que esta llega a su máximo y a partir de ahí la alcoholuria es mayor.
- b) Estado de hidratación del sujeto, dieta y función renal, que influyen en la densidad de la orina

Por estas razones cuando se aplica el examen de alcoholuria con fines legales, la finalidad no es precisamente conocer la concentración alcohólica sanguínea; ya que esta es la base para establecer el grado de ebriedad en las personas, la relación entre sangre y orina de esta concentración es constante una vez que la sangre ha alcanzado su máxima concentración de alcohol etílico, el cálculo se logra aplicando el factor que aplica dividiendo el resultado obtenido en orina para transformarlo a su equivalencia en sangre obteniendo resultados aceptables. Lo mismo ocurre con concentraciones de alcohol en saliva, para cuya transformación en alcohol/sangre se ha propuesto un coeficiente de 1.12, con grandes variaciones, de acuerdo con los cambios en la constitución de la saliva. Dado que los valores de alcoholemia han sido mejor estudiados por los investigadores que los de alcohol en saliva, orina, heces y aliento, y por resultar los más reproducibles y fiables, la concentración se suele expresar en gramos de alcohol por mil mililitros o por litro de sangre(g/L). Las curvas de evolución de las concentraciones de etanol en los distintos tejidos son bastante diferentes de la curva de alcoholemia. (Hoyos,2002:7)

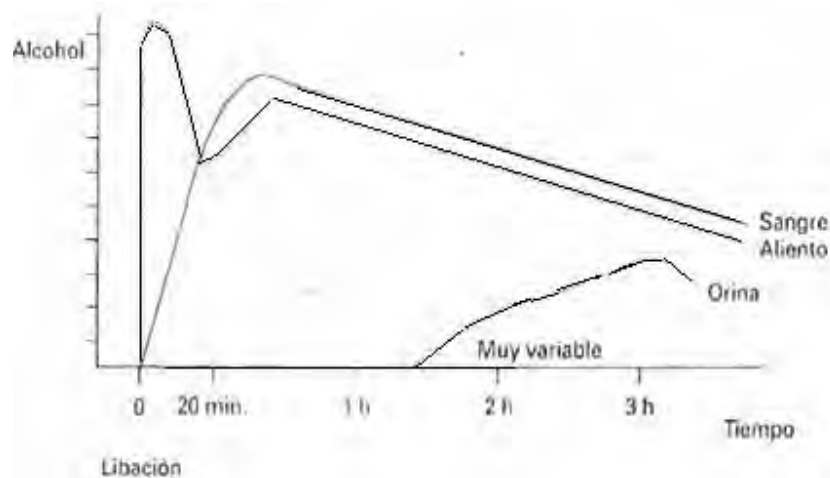


Figura 5. Cinéticas comparativas de eliminación de alcohol en sangre, aliento y orina. (Repetto, 1995:435)

3.4 Catabolismo del etanol

Del 90 al 95% del alcohol presente en el organismo se metaboliza por un proceso de oxidación. Esta oxidación es uniforme para cada individuo y no se ve modificada por la concentración del alcohol presente en ese momento en los tejidos. El catabolismo oxidativo del alcohol se puede realizar por varias rutas metabólicas, conduciendo todas a la producción de acetaldehído; éste es metabolizado a acetato, que es integrado en diversas vías metabólicas.

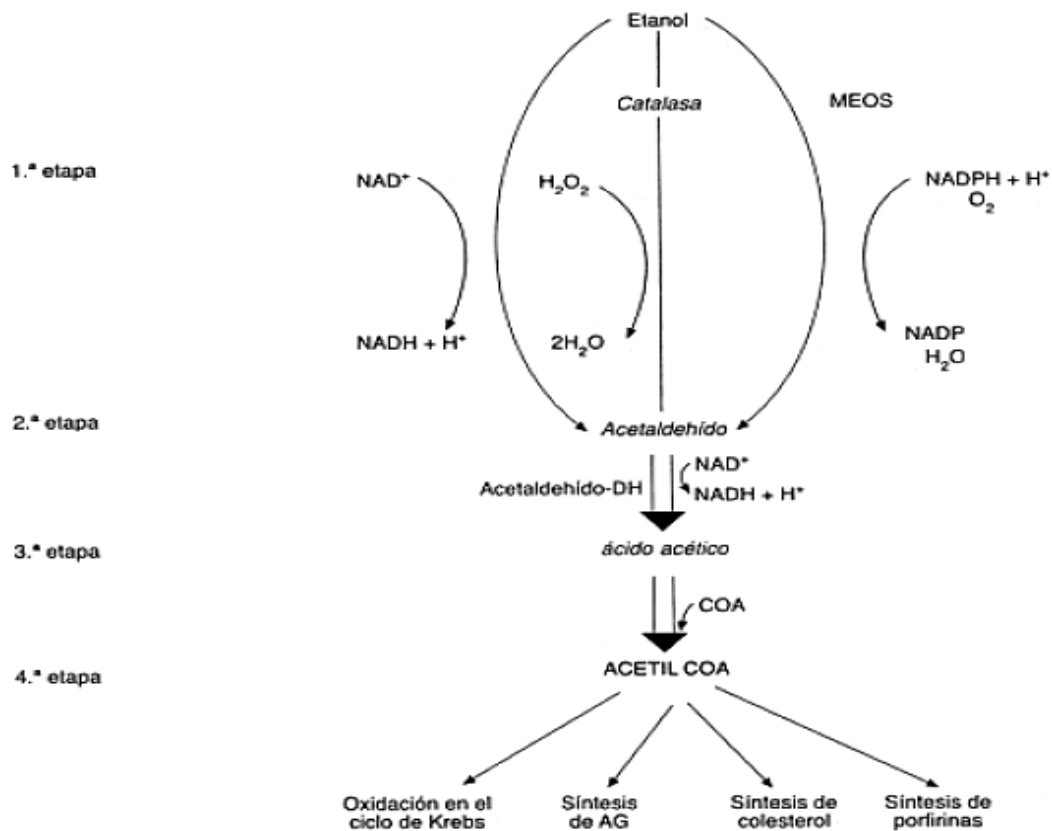


Figura 6. Ruta metabólica del etanol en el organismo. (Calabuig, 2004:884)

PRIMERA ETAPA

Se lleva a cabo por tres vías diferentes:

a) Vía alcohol-deshidrogenasa (ADH)

La ADH es una enzima presente en tejidos (pulmón, estómago, riñón) pero fundamentalmente en el hígado, en el citoplasma del hepatocito y cataliza la siguiente reacción. Esta vía es la más importante en bebedores ocasionales y funciona a concentraciones bajas de alcohol.

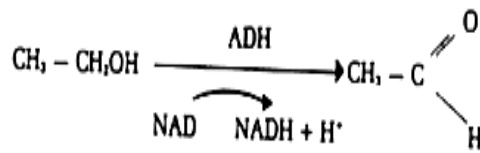


Figura 7. Degradación del etanol a ácido acético por medio de la enzima ADH utilizando NAD como cofactor. (Calabuig, 2004: 885)

Está catalizada por la NAD, que se consume ampliamente en este proceso, por lo que la velocidad de la reacción depende de la re-oxidación de la NADH. Esta se lleva a cabo por diversos mecanismos que generan metabolitos que participan también en los procesos bioquímicos de la intoxicación. (Calabuig, 2004: 885)

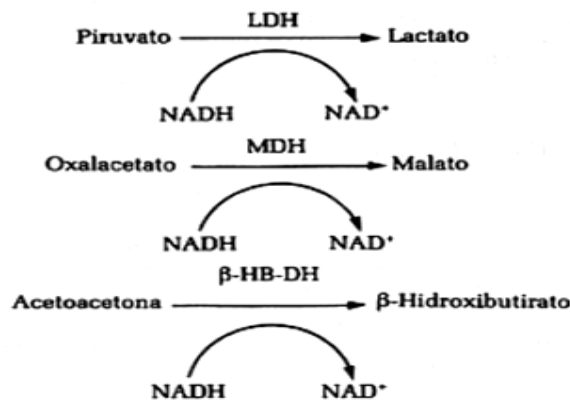


Figura 8. Regeneración de NAD+ como resultado de la reducción de diferentes sustratos (Calabuig, 2004: 885)

En el proceso el dinucleótido de nicotinamida y adenina oxidado (NAD⁺), un cofactor, es reducido al dinucleótido de nicotinamida y adenina (NADH). La cantidad de NAD⁺ en el citosol disminuye rápidamente y se convierte en el factor que limita la velocidad de metabolización del etanol. La regeneración del NAD⁺ a partir del NADH puede ocurrir por la reducción de diversos sustratos, por ejemplo, de piruvato a lactato. El oxalacetato es otro sustrato que, en el proceso de ser

reducido a malato por la málico-deshidrogenasa, regenera NAD^+ a partir del NADH. (Smith, 1993:258)

Como un resultado neto, la oxidación de alcohol genera un exceso de equivalentes reducidos en el hígado, principalmente como NADH. El exceso en la producción de NADH aparece subyacente a un número de trastornos metabólicos que acompañan al consumo de alcohol. (Katzung, 2002: 436).

Este supera la capacidad de los hepatocitos de mantener el equilibrio redox y origina las siguientes consecuencias metabólicas:

- **Hipoglucemia:** Estas alteraciones se deben al desequilibrio del par NAD/NADH y consecuentemente los de Lactato/Piruvato y Malato/Oxalacetato. La regeneración del NAD^+ se realiza a expensas de un descenso del piruvato y oxalacetato, que son los puntos de partida más importantes de la gluconeogénesis. Por otra parte el exceso de NADH inhibe otras reacciones necesarias para procesos gluconeogénicos.
- **Hiperlactacidemia:** Para regenerar el NAD, la enzima lactato deshidrogenasa transforma gran parte del ácido pirúvico en ácido láctico. La consecuencia es un aumento de la acidosis y de ácido úrico en sangre debido a que el desequilibrio NAD/NADH se transmite al par piruvato/lactato.
- **Hiperuricemia:** Que se debe a que el lactato disminuye la capacidad excretora renal de ácido úrico y en parte al estímulo por la producción de AMP a partir del acetato, que deriva en una mayor producción de ácido úrico. (Leza, et. al., 2009: 242)

b) SOME (Sistema de Oxidación Microsomal de Etanol)

Este sistema utiliza como cofactor NADPH en el metabolismo de etanol. Cuando se consumen grandes cantidades de etanol el sistema alcohol-deshidrogenasa se

satura debido al agotamiento del cofactor requerido, el NAD^+ . Conforme aumenta la concentración de etanol hasta 100mg/dL, existe un incremento del SOME.

Esta claramente establecido que este sistema entra en funcionamiento ante el consumo reiterado de alcohol y que funciona a concentraciones muy altas de un sustrato pues es el mismo que metaboliza otras drogas. El alcohol estimula la proliferación del retículo endoplásmico liso; de ahí que tenga una interacción con otros xenobióticos que tienen capacidad para producir inducción enzimática.



Figura 9. Degradación del etanol a ácido acético por medio del SOME con la utilización de NADPH^+ como cofactor. (Calabuig, 2004: 85)

c) Vía de las Catalasas

La enzima está presente en casi todos los tejidos, especialmente en los microsomas hepáticos. La actividad catalizadora depende de la disponibilidad de peróxido de hidrogeno. Su papel en el metabolismo del alcohol es escaso, por lo que la vía de las catalasas resulta poco importante en la práctica.

SEGUNDA ETAPA

Metabolismo del acetaldehído: El acetaldehído es metabolizado a ácido acético por la enzima acetaldehído deshidrogenasa de acuerdo a la siguiente reacción (Calabuig, 2004: 885)

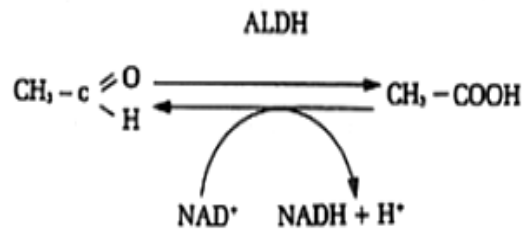


Figura 10. Metabolismo de la molécula de acetaldehído, producto de la degradación del etanol, por medio de la enzima ALDH utilizando NAD⁺ como cofactor. (Calabuig, 2004: 885)

Aunque diversos sistemas enzimáticos pueden efectuar esta reacción, la aldehído deshidrogenasa mitocondrial dependiente de NAD⁺ parece ser la principal vía para la oxidación del acetaldehído. (Katzung, 2002:436)

TERCERA ETAPA

Metabolismo del acetato. El acetato es un compuesto normal del metabolismo humano que se transforma en agua y anhídrido carbónico tras ser utilizado como fuente energética. El exceso de acetato originado por un consumo elevado de etanol disminuye la movilización de ácidos grasos en los hepatocitos e incrementa la transformación de ATP en AMP, el cual colabora a la hiperuricemia. (Leza, et. al., 2009: 241)

3.5. Factores que influyen en el metabolismo del etanol y sus efectos en el organismo.

La capacidad de un individuo para metabolizar el alcohol depende de la funcionalidad de sus sistemas enzimáticos de ADH, SOME, ALDH, así como de la disponibilidad de NAD, producida por oxidación de NADH. Las enzimas ADH y ALDH exhiben polimorfismo genético, es decir, son expresadas de manera diferente en los distintos grupos raciales. Ello contribuye a explicar, al menos en parte, las variaciones en la tasa de metabolismo del alcohol, y de niveles de alcohol en sangre, que se observan entre personas. Para entender los efectos farmacológicos del etanol es preciso tener en cuenta lo siguiente:

Consumo agudo o crónico: Cuando el consumo de alcohol se realiza de manera aguda, existe relación más clara entre el nivel de alcohol en sangre y el perfil de efectos farmacológicos. Con el consumo crónico, y en especial en cantidades relevantes de alcohol, se produce una marcada tolerancia. Es decir, se necesitan mayores niveles de alcohol en sangre para producir los mismos efectos farmacológicos y con igual intensidad. Cuando la persona presenta abuso/consumo perjudicial de alcohol, y en especial dependencia al alcohol, se han instaurado ya los mecanismos de neuroadaptación, dependencia física y sintomatología de abstinencia si la persona no bebe. En estas circunstancias el efecto farmacológico del alcohol ha cambiado se puede decir que el cerebro ya sólo funciona normalmente bajo los efectos del alcohol, modificando al mismo tiempo la concentración en sangre que se esperaría en una persona con estado de salud normal. Por todo ello, las acciones farmacológicas del alcohol deben entenderse siempre en el contexto de cada persona. En alguien que consume el alcohol de manera intermitente y de forma aguda es fácil predecir los efectos farmacológicos, en comparación con una persona que lo consume de manera crónica, ya que existirá tolerancia. (Cerver, 2003: 118)

3.6 Cuadro clínico de la intoxicación por etanol.

Las consecuencias jurídicas en la sociedad que se derivan del consumo de alcohol, hacen indispensable que la interpretación de los datos deba hacerse con prudencia. La valoración puede hacerse a partir de datos clínicos y bioquímicos. Aunque existe una relación entre niveles de alcohol y síntomas clínicos, al momento de tener una expresión en forma de conducta puede admitir grandes variantes dependiendo de características propias de cada individuo: susceptibilidad, costumbre, patología previa, etcétera. También debe quedar claro que las cifras bioquímicas son absolutamente relevantes para sustanciar alguna transgresión a algún Reglamento o Ley, definiendo el nivel de embriaguez como causa deslindante o adjudicante de cualquier responsabilidad criminal. Dentro de la variabilidad individual que existe, los efectos sobre el Sistema Nervioso Central

(SNC) son proporcionales a su concentración en sangre. (Fernández, et. al., 2003:118).

El efecto neurotóxico del etanol en sujetos no habituados se empieza a detectar con alcoholemias de 50mg/100mL. Los sujetos con tolerancia suelen mantener conductas normales con tasas de alcoholemia muy superiores. La intoxicación aguda tiene tres fases: excitación, embriaguez y coma. El efecto neurotóxico del alcohol se va extendiendo de centros superiores a centros vegetativos: córtex, sistema límbico, cerebelo, formación reticular y bulbo.

Fase de excitación

Alcoholemia menor de 50mg/100mL: habitualmente, no hay alteraciones detectables, pero puede haber ligera incoordinación motora. Muchas personas notan cambios en su estado psíquico y emocional que consiguen no exteriorizar.

Alcoholemia entre 50 y 75mg/100mL: efecto ansiolítico, sensación de relajación. Hay una ligera pero evidente incoordinación motora y alteraciones sensoriales incipientes. La conducción puede ser peligrosa

Alcoholemia entre 100 y 150mg/100mL: cambio evidente del estado anímico y de la conducta. Se produce un descenso de la autocrítica, ataxia incipiente.

Alcoholemia entre 150 y 200mg/100mL: desinhibición, manifestación de los rasgos profundos de la personalidad: sociabilidad jocosos, agresividad. Se observa ataxia y alteraciones en el curso del pensamiento. Generalmente el consumidos de alcohol busca esta fase de la intoxicación, aunque un consumo rápido de varias bebidas puede conducirle a la siguiente.

Fase de embriaguez

Alcoholemia entre 200 y 300mg/100mL. La disartria, con habla incoherente y entrecortada, y la ataxia, con incapacidad para caminar, son muy

intensas y el sujeto es incapaz de ejecutar una conducta orientada a un objetivo. Hay una intensa sensación vertiginosa, náuseas y vómitos frecuentes.

Fase comatosa

Alcoholemia mayor a 300mg/100mL. Hay estupor creciente, incapacidad para permanecer de pie, habla ininteligible y evolución hacia el coma, con hipotermia, bradicardia e hipotensión. En esta fase puede producirse la muerte por paro respiratorio. Su duración no suele exceder las 12 horas, en función de la velocidad individual con que se elimine el alcohol. (Leza, et. al., 2009: 398)

CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA

4.1. MATERIAL Y EQUIPO



Fotografía 1 y 2. Laboratorio de Química Forense (instalaciones de la Coordinación General de Servicios Periciales de la PGJDF).

Equipo:

- Cromatógrafo de Gases Agilent Technologies Modelo 6890 N Network System. Columna Capilar de HP-5 (5% Phenyl Metyl Siloxano) # A8001 29.7m x 320 μ m x 0.25 μ m y Headspace Sampler Agilent Technologies G1888 con detector del tipo Ion-Flama.



Fotografía 3. Equipo para Cromatografía de Gases Modelo Agilent 6890N (Laboratorio de Química Forense de la PGJDF).

Material

- | | |
|----------------------------------|--------------------------------------|
| -Viales de vidrio | -Lentes de protección |
| -Recipientes de plástico | -Cubre bocas |
| -Bolsas para desechos biológicos | -Guantes de nitrilo |
| -Pinzas de disección | -Micropipeta |
| -Matraces aforados | -Puntas de plástico para micropipeta |

Reactivos

- Etanol grado Cromatográfico.

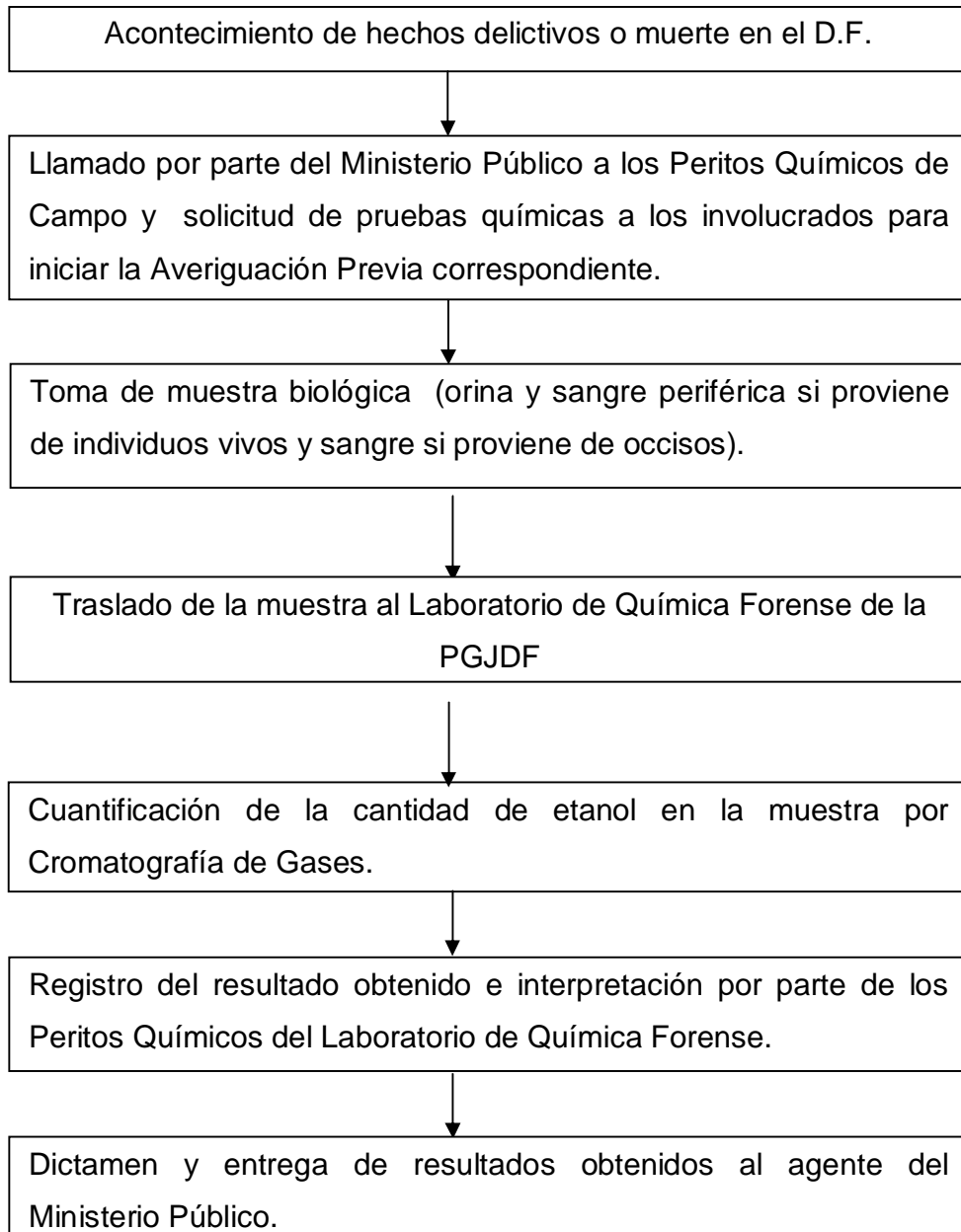
CAPÍTULO 5. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Para este trabajo únicamente se tomaron los datos de concentración de etanol obtenidos durante 4 meses en el turno nocturno de los días Martes, Jueves y Viernes en el periodo de Mayo - Agosto del 2010, además de la información proporcionada de cada caso en particular por los Peritos Químicos de Campo que recolectaron la muestra y estuvieron presentes en el lugar donde se encuentre la persona involucrada; ya sea donde ocurrieron los hechos, donde se encuentra detenido o en el Servicio Médico Forense si se trata de un occiso.

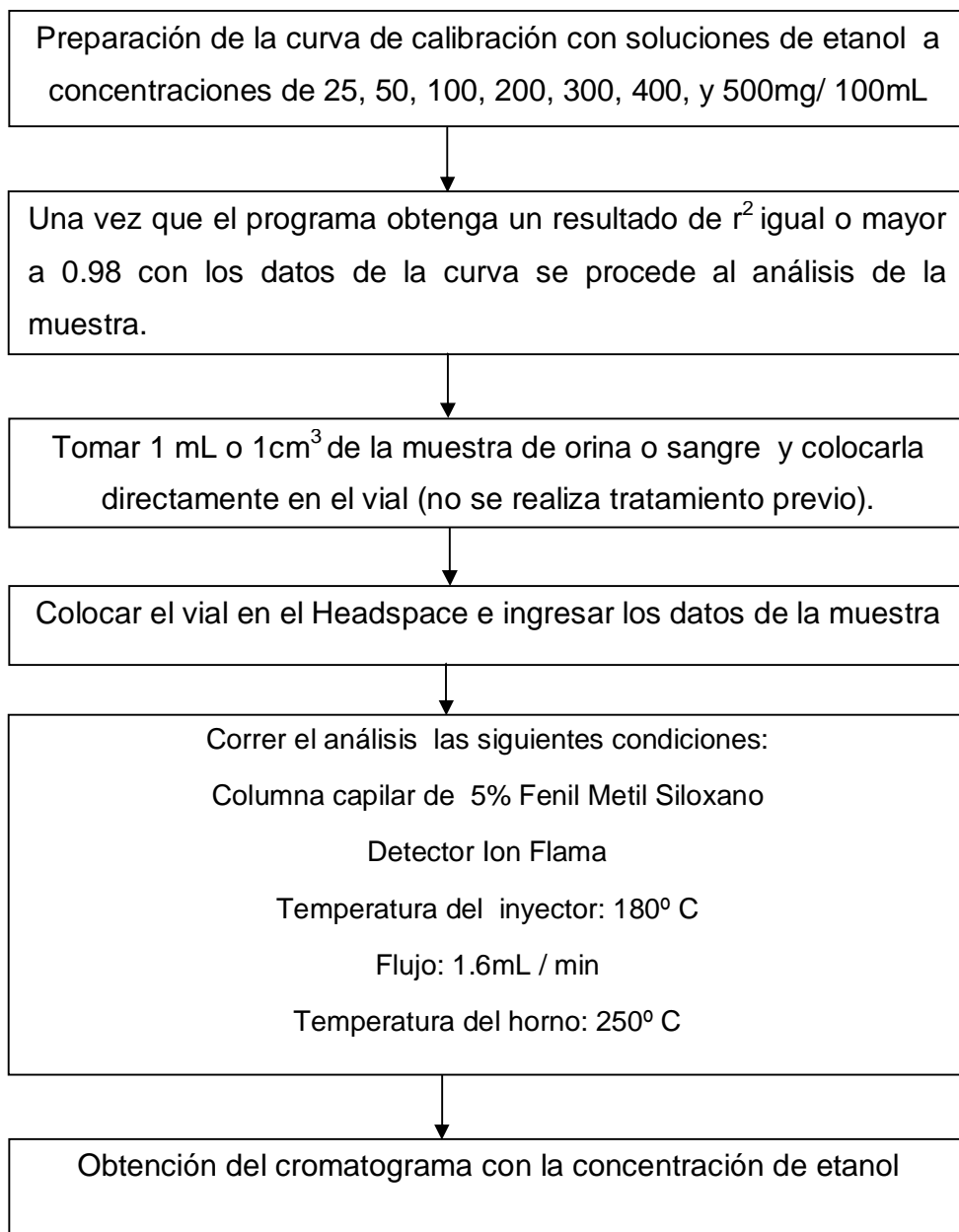
Los tipos de muestra que se analizaron fueron orina y sangre periférica de individuos vivos; así como hígado y sangre de cráneo, tórax e hígado proveniente de occisos.

Una vez que el Perito de Campo toma las muestras a los involucrados en los hechos, estas son remitidas al Laboratorio de Química de Servicios Periciales a petición del M.P., que abre un número de averiguación previa contra las personas involucradas. Esta muestra se analiza para determinar la presencia o concentración de una sustancia química determinada, en este caso el etanol.

CÁPITULO 6.FLUJO DEL PROCESO



CAPÍTULO 7 -CUANTIFICACIÓN DE ETANOL



(Moffat, et.al., 2005: 13)



Fotografía 4. Toma de muestra de hígado proveniente de occiso.

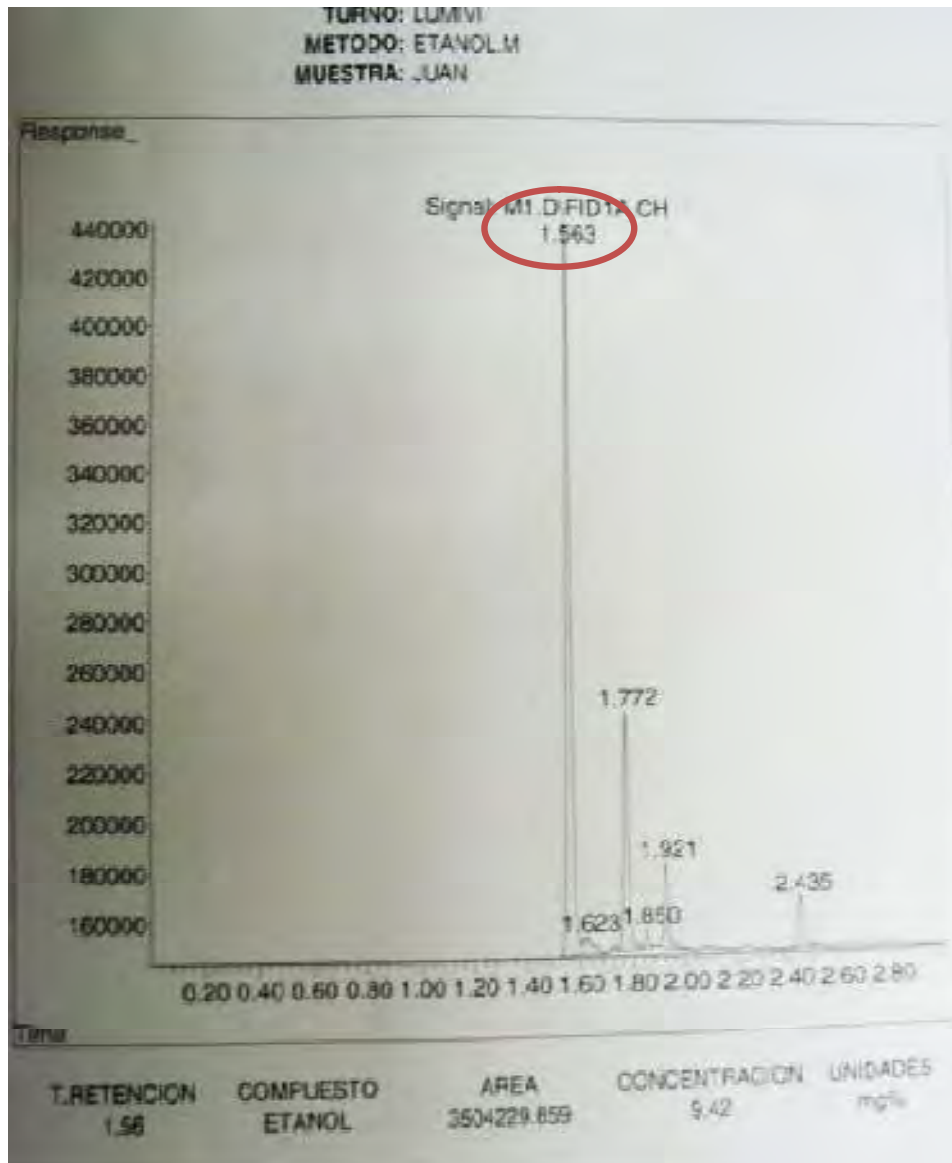


FIGURA 11. Cromatograma obtenido del equipo para cromatografía de gases utilizado, mostrando el tiempo de retención y concentración de etanol presente en la muestra analizada en mg%.

CAPÍTULO 8. RESULTADOS y DISCUSIÓN

Durante 4 meses de estancia en el laboratorio de Servicios Periciales se obtuvieron datos de un total de 429 muestras.

Se consideraron un total de 153 datos del total de muestras. En las muestras restantes se obtuvieron valores de concentración por debajo de la curva de calibración utilizada.

Tabla 1. Concentraciones obtenidas en muestras de sangre pertenecientes a occisos.

SEXO	EDAD	CONCENTRACIÓN DE ETANOL (mg/100mL)	CAUSA DE MUERTE
Occ Masc	50	205.14	MUERTE POR CAUSAS DESCONOCIDAS
Occ Masc	20	189.98	MUERTE POR CAUSAS DESCONOCIDAS
Occ Masc	58	161.49	MUERTE POR CAUSAS DESCONOCIDAS
Occ Masc	60	126.67	MUERTE POR CAUSAS DESCONOCIDAS
Occ Masc	47	105.31	MUERTE POR CAUSAS DESCONOCIDAS
Occ Masc	94	29.98	MUERTE POR CAUSAS DESCONOCIDAS
Occ Masc	65	172.4	MUERTE POR CAUSAS DESCONOCIDAS
Occ Masc	45	50.26	MUERTE POR CAUSAS DESCONOCIDAS
Occ Masc	55	158.41	MUERTE POR CAUSAS DESCONOCIDAS
Occ Masc	34	197.32	MUERTE NATURAL
Occ Masc	45	45.38	MUERTE NATURAL
Occ Masc	60	179.32	MUERTE NATURAL
Occ Masc	46	214.5	RIÑA POLICONTUNDIDO
Occ Masc	19	244.35	VICTIMA EN RIÑA POLICONTUNDIDO
Occ Masc	59	149.06	RIÑA VICTIMA DE LESIONES CON A.P.C.
Occ Masc	70	76.48	VICTIMA POLICONTUNDIDO
Occ Masc	28	76.74	VICTIMA DE LESIONES POR RIÑA
Occ Masc	19	156.23	LESIONES POR RIÑA
Occ Masc	18	148.98	P.V. DE ROBO Y HERIDAS DE A.P.C.
Occ Masc	24	180.9	SUICIDIO X ASFIXIA
Occ Masc	20	188.45	SUICIDIO X ASFIXIA
Occ Masc	35	210.34	SUICIDIO X ASFIXIA
Occ Masc	38	475.75	SUICIDIO POR ASFIXIA

Occ Masc	28	44.19	SUICIDIO POR ASFIXIA
Occ Masc	37	146.3	SUICIDIO POR ASFIXIA
Occ Masc	24	166.78	SUICIDIO CON A.F.
Occ Masc	35	179.32	SUICIDIO X ASFIXIA
Occ Masc	56	99.92	SUICIDIO X ASFIXIA
Occ Femenino	17	131.91	SUICIDIO POR ASFIXIA
Occ Masc	40	209.33	SUICIDIO SE LANZA A LAS VIAS
Occ Masc	38	93.91	SUICIDIO X ASFIXIA
Occ Masc	24	215.98	SUICIDIO
Occ Masc	18	38.73	HOMICIDIO
Occ Masc	45	39.24	VICTIMA DE HERIDAS POR A.F.
Occ Masc	37	44.8	VICTIMA HERIDAS POR A.F.
Occ Masc	19	130.27	VICTIMA DE HERIDAS POR A.F.
Occ Masc	21	166.28	VICTIMALESIONES POR A.P.C. EN RIÑA
Occ Masc	48	167.56	VICTIMA DE A.T.V.
Occ Masc	32	287.62	VICTIMA DE A.T.V.
Occ Masc	26	28.93	PROVOCA Y FALLECE POR A.T.V.
Occ Masc	54	203.18	VICTIMA DE A.T.V.
Occ Masc	19	167.93	VICITMA DE A.T.V
Occ Masc	18	162.69	PROVOCA A.T.V.
Occ Masc	42	218.06	INVOLUCRADO EN A.T.V.
Occ Femenino	45	235.97	VICTIMA DE A.T.V.
Occ Masc	45	194.64	PROVOCA Y FALLECE EN A.T.V.
Occ Femenino	25	142.48	VICITMA DE A.T.V.
Occ Masc	43	240.56	VICTIMA DE A.T.V.
Occ Masc	25	30	VICTIMA DE A.T.V.
Occ Masc	56	25.17	VICTIMA DE A.T.V.
Occ Masc	22	295.72	PROVOCA Y FALLECE EN A.T.V.
Occ Masc	17	96.23	VICTIMA POR A.F.
Occ Masc	38	99.87	VICTIMA DE HERIDAS POR A.F.
Occ Masc	54	104.73	VICTIMA PROVOCA A.T.V.
Occ Masc	47	284.6	MUERTE POR CAUSAS DESCONOCIDAS
Occ Masc	47	148.04	MUERTE POR CAUSAS DESCONOCIDAS
Occ Femenino	40	301.63	MUERTE POR CAUSAS DESCONOCIDAS
Occ Masc	48	193.15	VICTIMA DE A.T.V.
Occ Masc	22	30.93	VICTIMA DE A.T.V.

Tabla 2. Datos de concentraciones de etanol en muestras de hígado proveniente de occisos.

SEXO	EDAD	CONCENTRACIÓN DE ETANOL (mg/100mL)	CAUSA DE MUERTE
Occ Masc	20	116.76	MUERTE POR CAUSAS DESCONOCIDAS
Occ Masc	58	124	MUERTE POR CAUSAS DESCONOCIDAS
Occ Masc	47	140.47	MUERTE POR CAUSAS DESCONOCIDAS
Occ Femenino	40	199.09	MUERTE POR CAUSAS DESCONOCIDAS
Occ Masc	25	85.17	MUERTE ACCIDENTAL
Occ Masc	50	78.53	VICTIMA DE ROBO
Occ Femenino	35	51.99	SUICIDIO DESANGRAMIENTO
Occ Masc	48	152.453	VICTIMA DE A.T.V.
Occ Femenino	25	112.5	VICITMA DE A.T.V.
Occ Masc	62	36.67	VICTIMA DE A.T.V.
Occ Masc	47	138.88	PROVOCA Y FALLECE EN A.T.V.
Occ Masc	35	170.18	VICTIMA POR A.T.V.

Tabla 3. Datos de concentración de etanol obtenidos a partir de muestras de sangre de personas vivas.

SEXO	EDAD	CONCENTRACIÓN DE ETANOL (mg/100mL)	TIPO DE HECHO Ó DELITO
MASCULINO	25	25.9	INVOLUCRADO EN A.T.V.
MASCULINO	30	108.7	RIÑA (VIOLENCIA FAMILIAR)
MASCULINO	59	112.05	PROVOCA A.T.V.
MASCULINO	35	92.57	PROVOCA A.T.V.

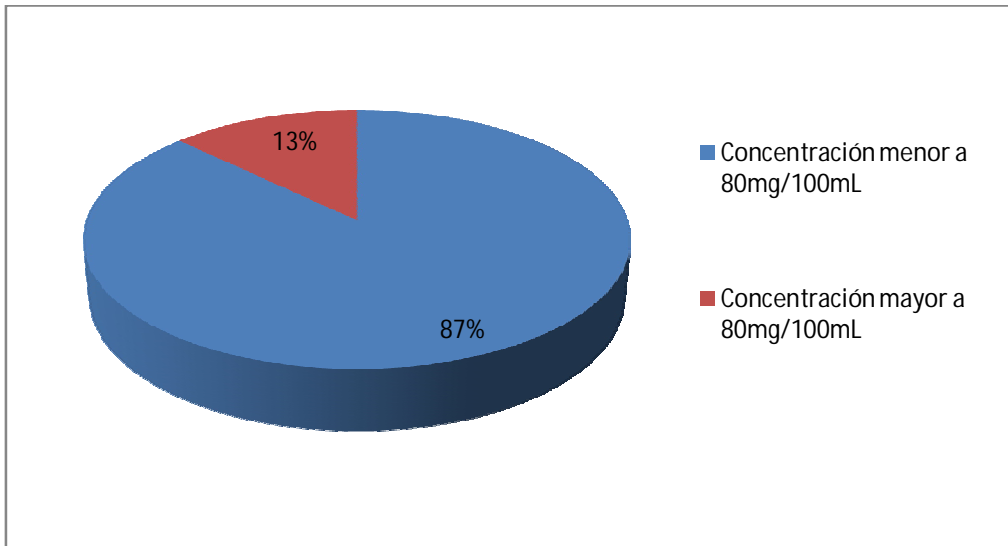
Tabla 4. Datos de concentraciones de etanol obtenidos a partir de muestras de orina de personas vivas.

SEXO	EDAD	CONCENTRACIÓN DE ETANOL (mg/100mL)	TIPO DE HECHO O DELITO
MASCULINO	34	250.05	VICTIMA DE A.T.V.
MASCULINO	22	90.59	LESIONADO POR A.T.V.
MASCULINO	23	32.1	LESIONADO POR A.T.V.
MASCULINO	47	62.93	LESIONADO POR A.T.V.
MASCULINO	29	28.98	PROVOCA A.T.V.

MASCULINO	19	46.22	PROVOCA A.T.V.
MASCULINO	22	158.43	PROVOCA A.T.V.
MASCULINO	25	105.03	LESIONADO POR A.T.V.
MASCULINO	45	144.03	PROVOCA A.T.V.
MASCULINO	31	330.19	LESIONADO POR A.T.V.
MASCULINO	43	211.96	PROVOCA A.T.V. DAÑOS A LA VIA PUBLICA
MASCULINO	37	202.03	INVOLUCRADO EN A.T.V.
MASCULINO	39	225.61	PROVOCA A.T.V.
FEMENINO	28	250.34	PROVOCA A.T.V.
MASCULINO	33	195.62	PROVOCA A.T.V.
MASCULINO	22	186.17	PROVOCA Y LESIONA POR A.T.V.
MASCULINO	26	85.64	PROVOCA A.T.V.
MASCULINO	33	81.15	VICTIMA DE A.T.V.
MASCULINO	58	167.51	PROVOCA A.T.V.
MASCULINO	19	145.47	PROVOCA Y LESIONA POR A.T.V.
MASCULINO	52	101.01	PROVOCA A.T.V. Y LESIONA
MASCULINO	29	107.06	PROVOCA Y LESIONA POR A.T.V.
MASCULINO	42	173.01	PROVOCA Y LESIONA POR A.T.V.
MASCULINO	60	178.47	VICTIMA DE A.T.V.
MASCULINO	31	54.83	VICTIMA DE A.T.V.
FEMENINO	32	162.07	PROVOCA A.T.V.
MASCULINO	28	139.12	PROVOCA A.T.V.
MASCULINO	22	31.44	PROVOCA A.T.V.
MASCULINO	36	107.66	PROVOCA A.T.V.
MASCULINO	34	36.78	PROVOCA A.T.V.
MASCULINO	32	140.76	INVOLUCRADO EN A.T.V.
MASCULINO	59	104.4	PROVOCA A.T.V.
MASCULINO	23	97.15	PROVOCA A.T.V.
MASCULINO	38	27.07	RIÑA
MASCULINO	32	94.02	VIOLENCIA FAMILIAR
MASCULINO	35	133.46	RIÑA Y LESIONA CON A.P.C.
MASCULINO	43	126.88	LESIONES POR RIÑA
MASCULINO	37	137.09	LESIONA EN RIÑA
MASCULINO	25	46.96	PROVOCA LESIONES EN RIÑA
MASCULINO	60	124.7	P.R. LESIONES POR RIÑA
MASCULINO	30	161.08	INVOLUCRADO EN RIÑA
MASCULINO	16	33.7	INVOLUCRADO EN DELITO SEXUAL
FEMENINO	28	128.22	VICTIMA DE DELITO SEXUAL
MASCULINO	22	160.13	P.R. DE DELITO SEXUAL
FEMENINO	15	154.67	P.V. DE DELITO SEXUAL
MASCULINO	27	233.16	P.R. DELITO SEXUAL

MASCULINO	28	36.37	P.R. DELITO SEXUAL
FEMENINO	25	37.48	VICTIMA DE DELITO SEXUAL
FEMENINO	29	166.54	VICTIMA DELITO SEXUAL
MASCULINO	34	260.49	P.R. DELITO SEXUAL
FEMENINO	28	83.26	P.R. DELITO SEXUAL
MASCULINO	66	127	P.R. DELITO SEXUAL
MASCULINO	22	266.93	P.R. DELITO SEXUAL
MASCULINO	17	66.91	P.R. DELITO SEXUAL
MASCULINO	22	164.65	P.R. DELITO SEXUAL
MASCULINO	37	104.63	P.R. DELITO SEXUAL
FEMENINO	15	231.42	VICTIMA DELITO SEXUAL
MASCULINO	38	32.36	P.R. DELITO SEXUAL
FEMENINO	25	83.71	P.R. DELITO SEXUAL
FEMENINO	20	26.95	P.R. DELITO SEXUAL
MASCULINO	17	103.66	VICTIMA DELITO SEXUAL
MASCULINO	24	43.88	P.R.ROBO
MASCULINO	25	42.24	P.R.ROBO
MASCULINO	22	49.26	VICTIMA DE ROBO
MASCULINO	35	245.56	P.R. ROBO
MASCULINO	24	62.33	P.R. ROBO Y PORTACIÓN DE A.F.
MASCULINO	18	72.08	P.R. DE ROBO
MASCULINO	33	106.91	P.R. ROBO
MASCULINO	35	33.26	P.R. ROBO DE VEHICULO
MASCULINO	42	49.26	P.R. DE ROBO A TRANSEUNTE
MASCULINO	29	293.96	P.R. ROBO DE BOLSO
MASCULINO	23	189.21	P.R. DE ROBO Y LESIONES
MASCULINO	45	136.03	P.R. ROBO MERCANCIA
MASCULINO	34	222.56	LESIONADO POR A.F. EN RIÑA
MASCULINO	36	81.8	PORTACIÓN DE A.F.
MASCULINO	51	286.28	INVOLUCRADO EN HOMICIDIO
MASCULINO	50	108.83	INVOLUCRADO EN HOMICIDIO
MASCULINO	38	211.15	PORTACIÓN DE A.F.

Gráfico 1. Porcentaje de muestras pertenecientes a occisos y personas vivas con niveles de alcohol por arriba de 80mg/100mL.



De 429 muestras, el porcentaje que se obtuvo para los casos de occisos y personas vivas de muestras con niveles de alcohol por arriba del límite permisible de 80mg/100mL representa el 24% del total (46 y 57 datos respectivamente). De acuerdo con la cantidad de muestras y la información al alcance de cada caso en particular, se obtuvieron los siguientes datos:

Gráfico 2. Incidencia de los delitos y/o hechos en lo cuales se encontraron involucradas personas vivas

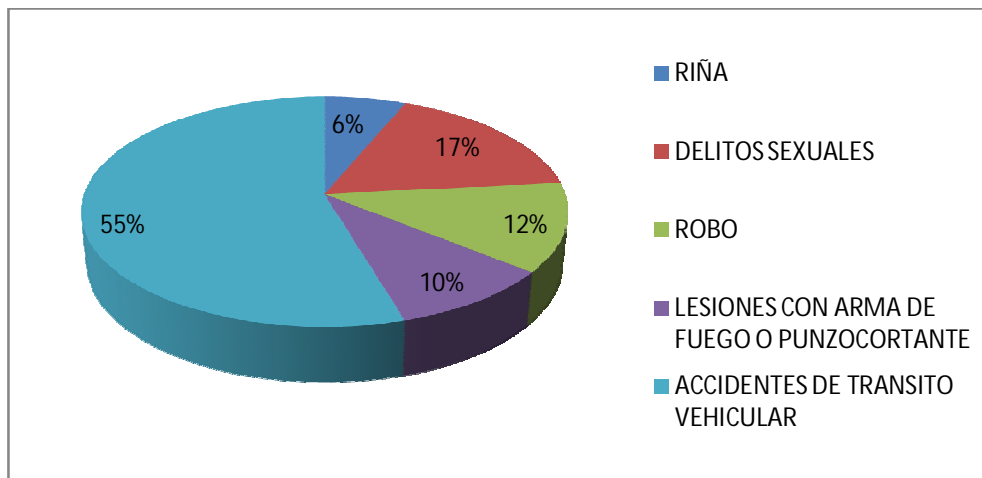


Gráfico 3. Concentraciones de alcohol encontradas en muestras de orina de personas vivas que sobrepasaron el nivel permitido por el Reglamento de Tránsito Metropolitano

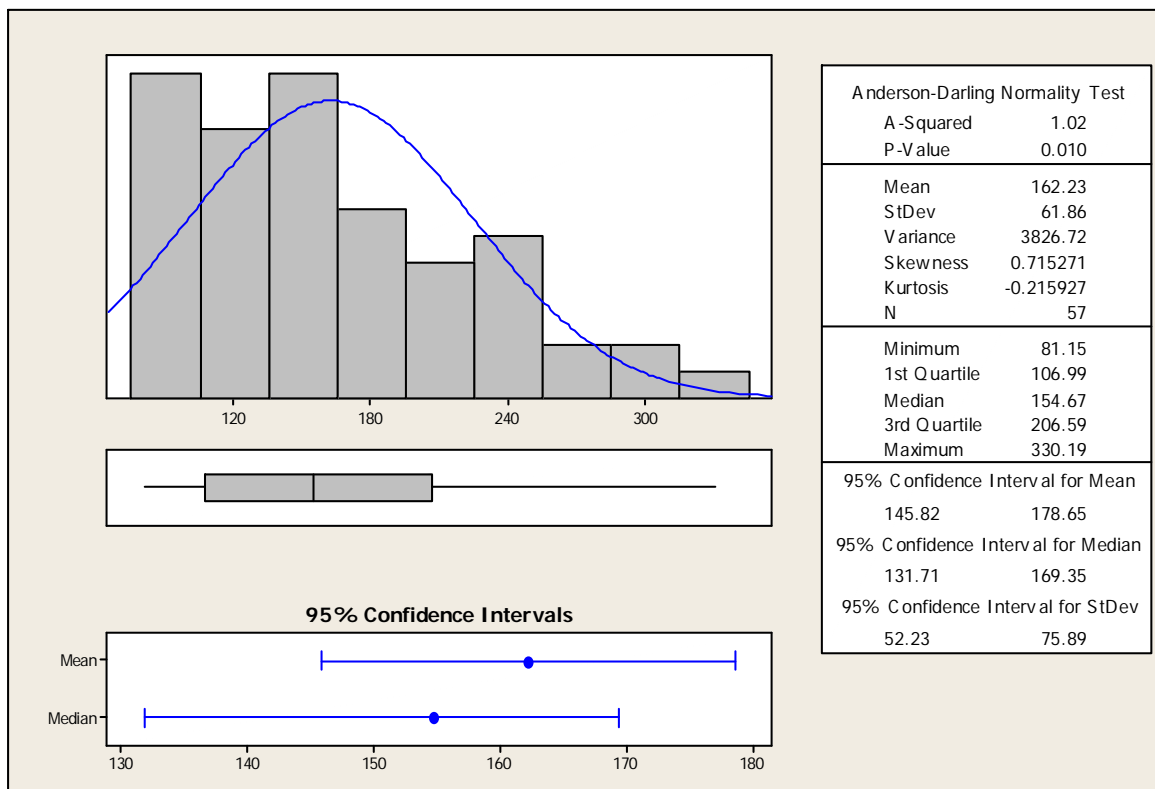


Tabla5. Concentraciones de etanol encontradas en muestras de orina que sobrepasan el nivel de alcohol permitido por el Reglamento de Tránsito Metropolitano.

CONCENTRACIÓN PROMEDIO	162.23mg/100mL
RANGO DE CONCENTRACIONES DE LA MAYORÍA DE MUESTRAS	106.99 – 206.59mg/100mL

Gráfico 4. Edades de personas involucradas en hechos delictivos cuyas muestras sobrepasaron el límite permitido por el Reglamento de Tránsito Metropolitano.

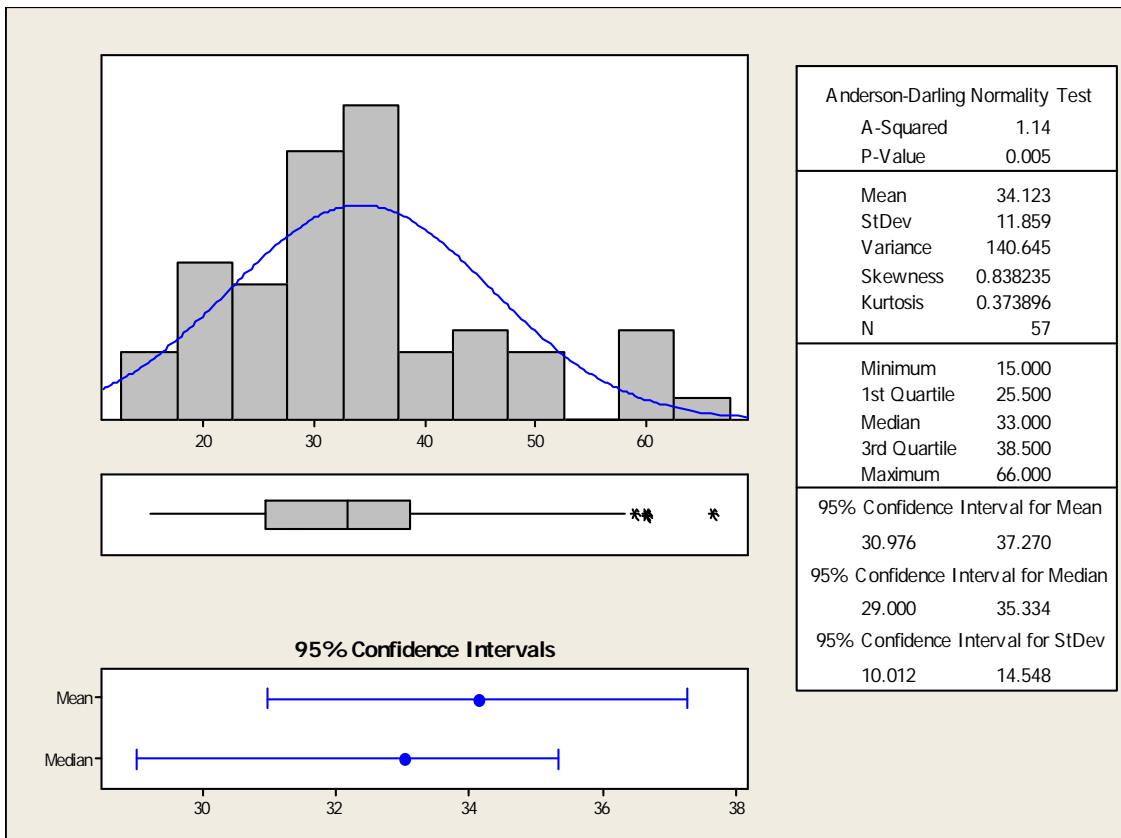


Tabla 6. Edades de personas que sobrepasan el nivel de alcohol permitido por el Reglamento de Tránsito Metropolitano.

<i>EDAD PROMEDIO</i>	34 años
<i>EDADES CON MAYOR NÚMERO DE MUESTRAS FUERA DEL LÍMITE</i>	25 - 38 años

Se tomó como referencia el Reglamento de Tránsito Metropolitano el cual establece que está prohibido conducir cuando se tiene un nivel de alcohol por arriba de 80mg/100mL ò 0.8g/ Lt, debido a los efectos que se presentan a tales concentraciones en el organismo.

El gráfico 2 muestra los hechos o delitos por los cuales se inició una averiguación previa por parte del Ministerio Público y fueron remitidas muestras al laboratorio para determinar el nivel de alcohol de los involucrados. En estos casos predominaron dos tipos de hecho: el 55% de un total de 240 casos, estuvieron involucrados en accidentes de tránsito vehicular, de los cuales el 11.2% presentaron niveles de alcohol por arriba del límite permitido, con una concentración promedio de 159.97mg/100mL, y los delitos sexuales con un 17% de los que el 5.8% correspondiente al total de personas vivas resultaron con niveles de alcohol por arriba del límite permitido, con una concentración promedio de 162.23mg/100mL.

De acuerdo al Gráfico 3, considerando la totalidad de los hechos ó delitos (accidentes de tránsito, robo, lesiones y riñas), las muestras con niveles que sobrepasaron los 80mg/100mL presentan un promedio general de 162.23mg/100mL. A estas concentraciones, se observarían signos característicos de intoxicación por alcohol como desinhibición, agresividad, visión borrosa, perdida de la capacidad de concentración y del control muscular así como aumento del tiempo de reacción a estímulos. Síntomas que

combinados pudieron ser factor causante de los hechos delictivos en los que se encontraron involucrados estos individuos.

Según encuestas del INEGI en 2008, el tipo de violencia de mayor frecuencia de la que son víctima las mujeres son los delitos sexuales. En un estudio realizado en Nueva Zelanda (Connor, et. al., 2004) el 60% de los responsables de lesiones en accidentes de tránsito presentaban un nivel de alcohol mayor de 150mg/100mL, por lo que los datos obtenidos indican que a mayor concentración de alcohol en el organismo existe mayor riesgo de accidente.

En un caso particular, se obtuvo una concentración máxima de 330mg/100mL a partir de una muestra de orina de un individuo involucrado en un accidente de tránsito vehicular; este resultado en particular difiere con los efectos clínicos esperados, ya que con ese nivel de alcohol en el organismo tendría dificultad incluso para respirar pero se encontraba conduciendo un vehículo al momento del accidente en el que se vio involucrado (Leza, et. al. 2009). Es aquí donde se observa la diferencia de los efectos clínicos reportados para la población de otras partes del mundo con los datos obtenidos en la población mexicana.

La edad promedio de las personas involucradas en accidentes ó hechos delictivos que tuvieron niveles de alcohol por encima de lo que establece el Reglamento de Tránsito es de 25 a 38 años (tabla 6), adultos jóvenes que socialmente son los que consumen mayores cantidades de alcohol y por ende están más propensos a provocar accidentes o cometer algún delito.

Gráfico 5. Cantidad de muestras pertenecientes a occisos del sexo masculino y femenino.

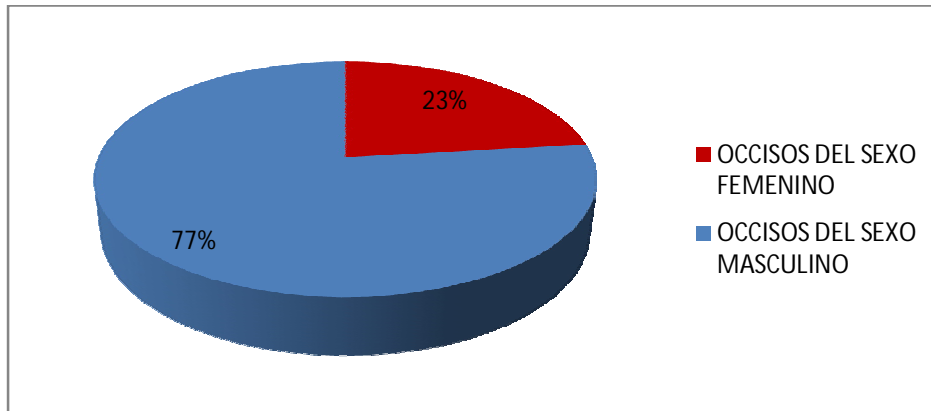
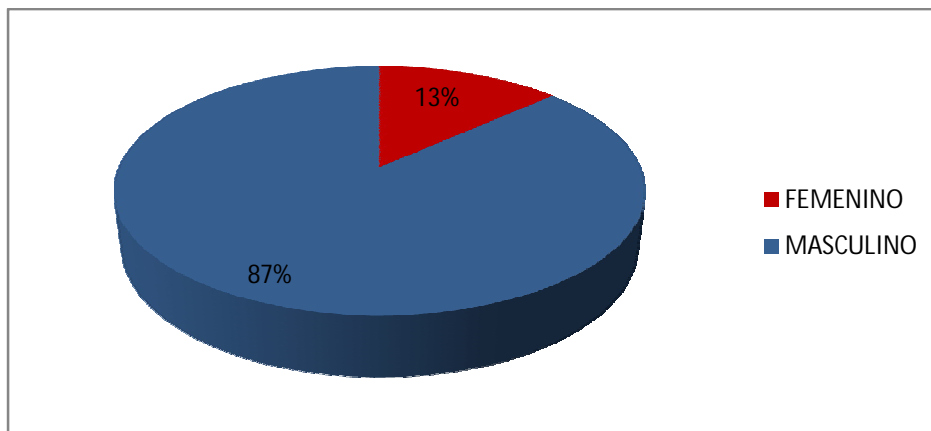
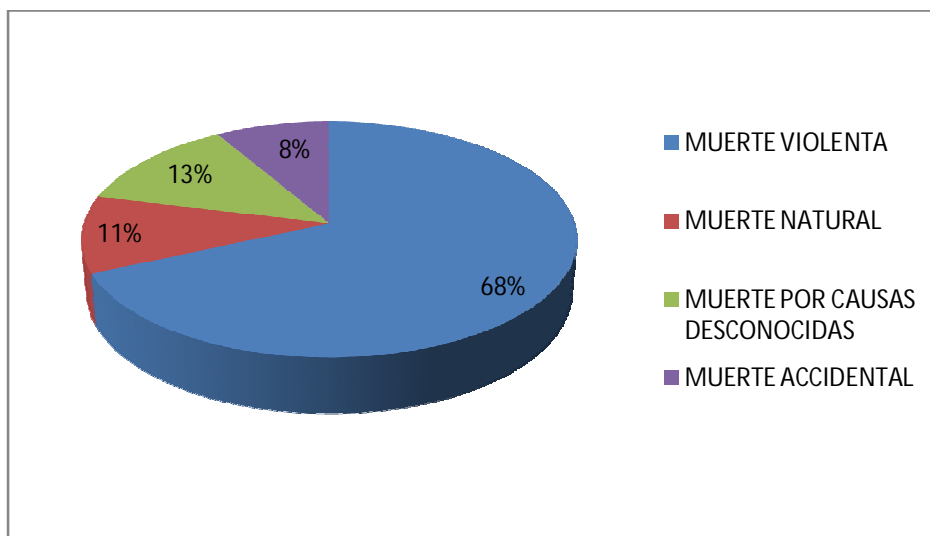


Gráfico 6. Cantidad de muestras pertenecientes a personas vivas del sexo masculino y femenino.



En los gráficos 5 y 6 se observa que con los datos recopilados se obtuvo un mayor número de muestras analizadas provenientes de personas del sexo masculino, esto indica que en la mayor parte de los casos fueron varones los que se encontraron involucrados en hechos delictivos. De acuerdo a un estudio realizado en Suecia (Broström, et. al, 2000) el alcohol está relacionado con la mortalidad de varones en un mayor porcentaje que de las mujeres. Esto puede atribuirse al hecho de que los varones consumen alcohol con mayor frecuencia y en una proporción mayor en comparación con la cantidad que consumen las mujeres (Hoyos, 20026).

Gráfico 7. Causas de muerte más comunes en el período de Mayo – Agosto del 2010.



En los casos de occisos, se necesita la cantidad de alcohol en el organismo para posteriormente establecer por parte del Ministerio Público si el alcohol tuvo influencia en la muerte de manera directa (p.ej. congestión alcohólica) o indirecta (los efectos del alcohol llevaron a situaciones que facilitaron la muerte). Existen casos de muerte por los cuales no se inicia una averiguación previa debido a que las circunstancias en las que se dio la muerte no violaron ninguna ley y no ameritan la intervención del Ministerio Público.

Se consideraron como muertes violentas, los casos en los que el deceso tuvo lugar de manera repentina o inesperada (p. ej. por lesiones o suicidio) y en situaciones en la que hubo violencia de por medio (p. ej. durante un robo).

En el gráfico 7 se observa que el tipo de muerte violenta fue el de mayor incidencia con un 68%. Las causas de muerte violenta más comunes fueron los accidentes de tránsito (gráfico 8) con 43% de un total de 189 casos de occisos; lesiones con un 29% y los suicidios con 19%.

Gráfico 8. Causas de muerte violenta en occisos en el período de Mayo – Agosto del 2010.

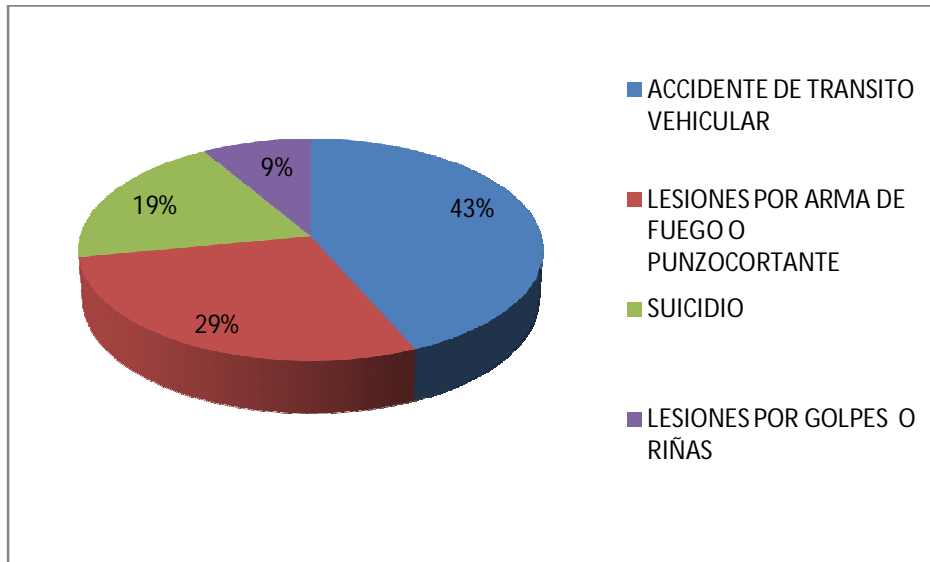


Gráfico 9. Concentraciones de alcohol en muestras de sangre de occisos que sobrepasaron el nivel permitido por el Reglamento de Tránsito Metropolitano

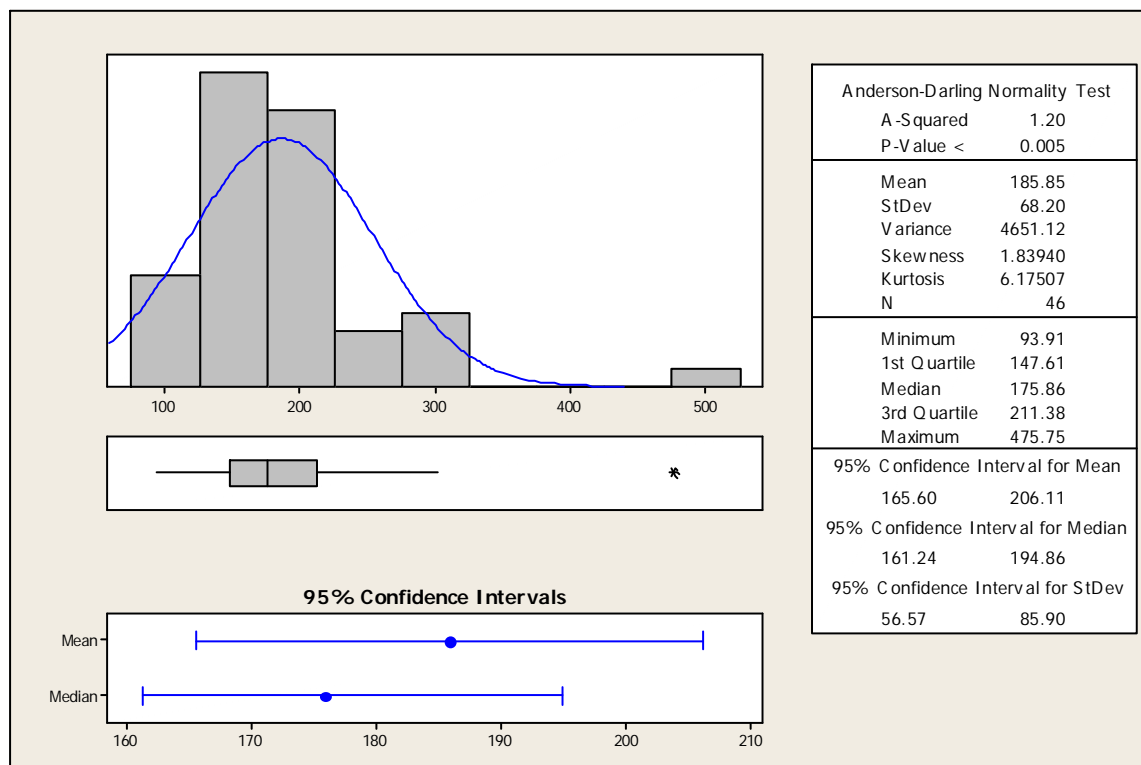


Tabla 7. Concentraciones encontradas en muestras de sangre que sobrepasaron el nivel de alcohol permitido por el Reglamento de Tránsito Metropolitano.

CONCENTRACIÓN PROMEDIO DE LAS MUESTRAS	185.85 mg /100mL
RANGO DE CONCENTRACIONES QUE PRESENTA LA MAYORÍA DE MUESTRAS	147.61 – 211.38 mg /100mL

Gráfico 10. Edades de occisos cuyas muestras sobrepasaron el límite permitido por el Reglamento de Tránsito Metropolitano.

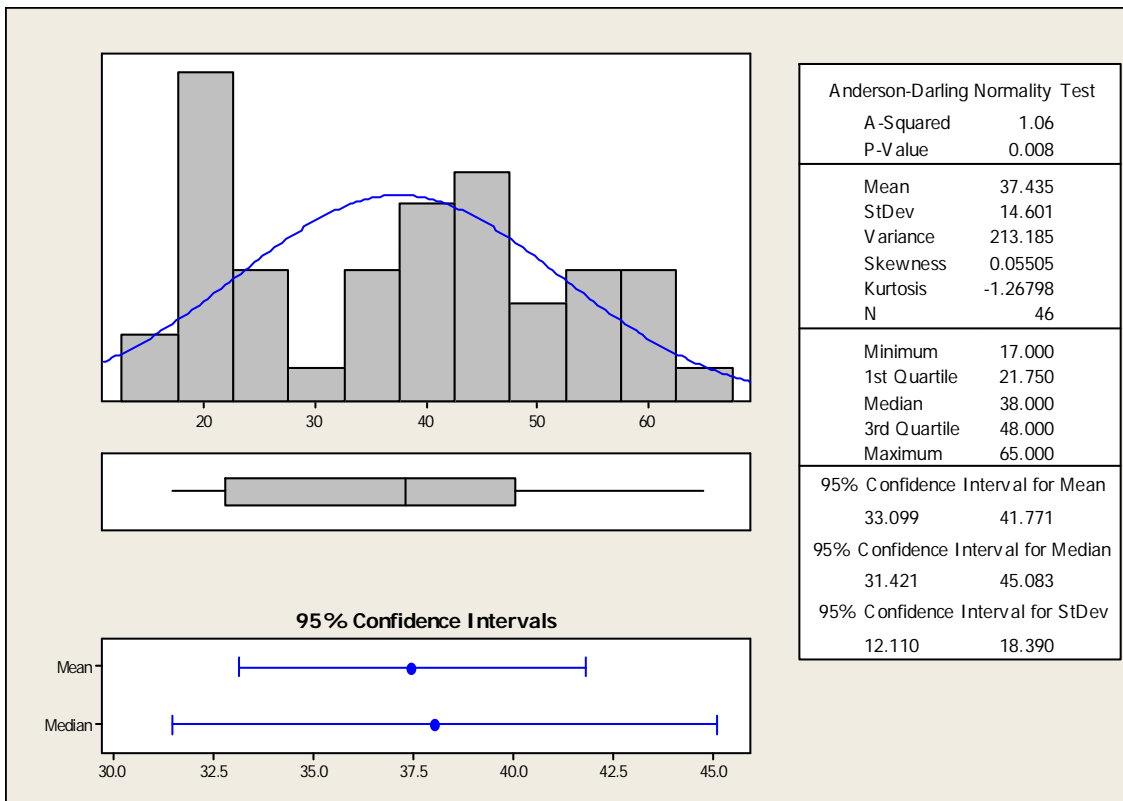


Tabla 8. Edades de occisos que sobrepasaron el nivel de alcohol permitido por el Reglamento de Tránsito Metropolitano.

<i>EDAD PROMEDIO</i>	37 años
<i>RANGO DE EDADES CON MAYOR NÚMERO DE MUESTRAS FUERA DEL LÍMITE</i>	21 - 48 años

De acuerdo al gráfico 9, considerando la totalidad de las causales de muerte (lesiones con arma punzocortante y por golpes, accidentes de tránsito, suicidios) se obtiene un promedio general de 185.85 mg/100mL.

Se obtienen concentraciones por arriba del límite permitido (80mg/100mL) en las muertes en accidentes de tránsito vehicular, 8.9% con una concentración promedio de 187.10mg/100mL y en los casos de muerte por suicidio, un 6.3% de los casos se encontraron por arriba del límite de 80mg/100mL con una concentración promedio de 191.57mg/100mL.

Se atribuye la influencia del alcohol en estos casos, ya que los efectos fisiológicos que se presentan con estos niveles de alcohol pudieron haber contribuido al hecho ó accidente que provocó la muerte del individuo; se tiene una gran pérdida de reflejos y disminución del tiempo de reacción, causando que el individuo sea propenso a ser víctima de lesiones al no poder defenderse así como a provocar accidentes que afecten a terceros. (Edwards, 2003). Uno de los efectos del alcohol es la desinhibición y en cierto grado la disminución de la percepción de dolor físico, esto pudo contribuir a la provocación de lesiones que conllevaron a la muerte en el caso de los suicidios.

Los resultados coinciden con estadísticas realizadas por el INEGI en el 2008, en la que las dos principales causas de muerte en jóvenes fueron los accidentes de tránsito vehicular y las agresiones, en cuarto lugar en este mismo estudio se encontraron las lesiones auto inflingidas intencionalmente.

Se obtuvo una concentración máxima de 475.75 mg/100mL, en la cual el individuo tendría dificultades para permanecer incluso consciente por la disminución de las funciones vitales como la respiración y el ritmo cardíaco (Estes, 2001). Con esta cantidad de alcohol en el organismo la muerte sobreviene en minutos y en este caso probablemente contribuyó a la muerte del individuo. Sin embargo la causal determinada fue por ahorcamiento auto infligido, para lo cual el individuo tuvo que estar todavía consciente para llevar a cabo el acto.

El rango de edades de occisos (21 a 48 años, tabla 8) con niveles de alcohol por arriba del límite permitido es similar al encontrado en personas vivas (25 a 38 años) por lo que son los adultos jóvenes los que en su mayoría fueron víctimas de accidentes fatales así como los más propensos a cometer suicidios, ambos casos bajo los influjos del alcohol. Esto coincide con la estadística de seguridad vial en 2008 donde el 51.5% de occisos por accidentes de tránsito se encontraban en el rango de entre 20 y 45 años de edad.

CAPÍTULO 9. CONCLUSIONES

- Del total de 429, se obtuvieron 57 muestras de orina provenientes de personas vivas y 46 muestras de sangre de occisos con concentraciones de etanol fuera del límite permisible de 80mg/100mL.
- Se lograron establecer los rangos de concentración de la mayoría de las muestras con 106.99 – 206.59mg/100mL en orina de personas vivas y 147.61 – 211.38 mg /100mL en sangre de occisos, estos niveles de alcohol en el organismo pudieron haber contribuido en los accidentes fatales y a la comisión de hechos delictivos.
- En occisos, la causa de muerte de mayor incidencia fueron los accidentes de tránsito vehicular con un 43% y el suicidio con 17%, siendo estos hechos en los que se encontraron concentraciones más elevadas de alcohol.
- En individuos vivos, el hecho delictivo de mayor incidencia y donde se obtuvieron concentraciones más elevadas de alcohol fueron los accidentes de tránsito vehicular con un 55% y los casos de abuso sexual y violaciones con un 17%.
- Fueron los hombres los más propensos a involucrarse en hechos delictivos y como víctimas de accidentes fatales.
- Se logró establecer que de acuerdo al rango de edades de los involucrados en hechos delictivos (25-38 años) y occisos (24-48 años) son los adultos jóvenes los más propensos a encontrarse involucrados en los dos tipos de hechos de mayor incidencia: accidentes de tránsito vehicular fatales y delitos sexuales.

- Los niveles de alcohol encontrados en muestras biológicas pertenecientes a una parte de la población mexicana (330mg/100mL en orina y 475mg/100mL en sangre craneana) son diferentes a los reportados en la bibliografía referente a la toxicología del etanol y sus efectos clínicos a determinadas concentraciones en el organismo, ya que establecen que a una concentración mayor de 300mg/100mL se esperan síntomas como hipotermia, bradicardia e hipotensión con evolución hacia el coma, pudiendo producirse la muerte por paro respiratorio.

CAPÍTULO 10. REFERENCIAS

1. Bataller, Ramón; Balaguer, José. (2004). **Toxicología Clínica**. Valencia: Sifre.
2. Baugh, P.J. (1993). **Gas Chromatography: A Practical Approach**. Gran Bretaña: IRL Press.
3. Bello, José; Cerain, Adela. (2001). **Fundamentos de la ciencia Toxicológica**. Madrid: Díaz de Santos.
4. Broström, Göran; Eriksson, Anders; Sjögren Harmeet. (2000). Quantification of alcohol – related mortality in Sweden. **Alcohol & Alcoholism**. Vol. 35. No. 6 601-611.
5. Calabuig, Gisbert. (1998). **Medicina Legal y Toxicología**. (4ª ed.) Barcelona: Masson.
6. Christian, Gary. (2009). **Química Analítica**. (6ª ed.). México: Mc Graw Hill.
7. Cerver, Gaspar; Fernandez , José; García, Esther; Mendieta, Silvia. (2003). **Manual de la Sociedad Española Toxicomanía de Alcoholismo**. Madrid: Panamericana.
8. Connor, Jennie; Jackson Rod; Norton, Robie. (2004). **The contribution of alcohol to serious car injuries**. Epydemiology. Vol. 15. No. 3. Mayo 337 – 344.

9. Córdoba, Darío. (2006) **Toxicología**. (5ª ed.) Bogotá: El Manual Moderno.
10. Day, R.A., Underwood, A.L. (1989) **Química Analítica Cuantitativa**. México: Prentice Hall.
11. **Código Penal para el Distrito Federal**.(2010). México, Distrito Federal. Autor: Dirección General de Anales de Jurisprudencia y Boletín Judicial.
12. Edwards, Griffith. (2003). **The Treatment of Drinking Problems**. (4ª ed.) UK: Cambridge.
13. Encuesta de Seguridad Vial en México (2008). Consejo Nacional para la prevención de accidentes. México: Autor.
14. Estadística de Seguridad Vial en México, 2008.
15. Estes, Nadia; Heineman, Edith. (2001) **Alcoholismo desarrollo, consecuencias y tratamientos**. Madrid: Interamericana.
16. Flanagan, Robert; Taylor, Andrew y Watson, Ian. (2007) **Fundamental of Analytical Toxicology**. London: Wiley.
17. Fowles, Ian (1995). **Gas Chromatography**. (2a ed.) UK: John Wiley & Sons.
18. Handley, Alan; Sheffield Adlard (2001) **Gas Chromatographic. Techniques and applications**. England.

19. Harris, Daniel C. (2005). **Análisis Químico Cuantitativo**. (6ª ed.)
Barcelona: Editorial Reverté.
20. Hernández Hernández Lucas; González Pérez Claudio (2002).
Introducción al Análisis Instrumental. Barcelona: Ariel.
21. Higson, Seamus. (2007). **Química Analítica**. India: Mc Graw Hill
22. Hoyos, Enrique. (2002). El alcohol etílico: sus fórmulas de cálculo y predicción. **Revista Jalisciense de Ciencias Forenses**. 5-9.
23. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2008). Principales causas de muerte en la población.
24. Jickells, Sue y Negrusz, Adam. (2008). **Clarke's Analytical Forensic Toxicology**. London: Pharmaceutical Press.
25. Katzung, Bertram. (2002). **Farmacología Básica y Clínica**. (8ª ed.)
México: El Manual Moderno.
26. Klassen, Curtis y Watkins John. (2005). **Casarrett y Doull Fundamentos de Toxicología**. Madrid: Mc Graw Hill.
27. La Jornada (2010). Documento electrónico disponible en línea en: <http://www.jornada.unam.mx/2010/04/08/index.php?section=capital&article=034n1cap>. Consulta realizada el 08 abril del 2010.

28. López, Javier. (1998) Patrón de consumo de alcohol en pacientes captados en salas de urgencias, **Salud Pública de México** vol. 40, no. 6 noviembre-diciembre .487-493.
29. Leza, Juan; Lizasoain Ignacio y Lorenzo, Pedro. (2009). **Drogodependencias: Farmacología, patología, psicología y legislación.** (3ª ed.) España: Panamericana.
30. Moffat, Anthony; Osselton, David; Widdop, Brian. (2002) **Clarke's Analysis of Drugs and Poisons in pharmaceuticals, body fluids and postmortem material.** (3ª ed). UK: Pharmaceutical Press.
31. **Reglamento de Transito Metropolitano** (2007). Gobierno del Estado de México. México: Porrúa.
32. Repetto, Manuel y Guillermo (2009). **Toxicología Fundamental.**(4ª ed.) Madrid: Díaz de Santos.
33. Skoog, Douglas; West, Donald y Holler, James (2005) **Fundamentos de química analítica.** (8ª ed. México: International Thomson.
34. Skoog, Douglas; Holler, James y Nieman, Timothy. (2001). **Principios de Análisis Instrumental.** (5ª ed.) Madrid: Mc Graw Hill.
35. Smith, Cedric; Reynard, Alan (1993) **Farmacología.**Buenos Aires: Panamericana.