

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA PARA EL ANÁLISIS DE ETANOL (ALCOHOL ETÍLICO) EN ORINA, HUMOR VÍTREO Y PLASMA EN CADÁVERES

○ Patricia Rivera-Flores*
Erika Jazmín Rebollar-López**
Rafael Uriel González-Lozano***

* Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Zacatepec, Calle Tecnológico 27, Plan de Ayala, 62780, Zacatepec de Hidalgo, Morelos.

** Hospital de Alta Especialidad Centenario de la Revolución Mexicana ISSSTE, Calle Palo Escrito, C.P. 62765, Emiliano Zapata, Morelos.

*** Fiscalía General del Estado de Morelos, Zona Sur Poniente, Del Pochote 141, Insurgentes, C.P. 62900, Jojutla de Juárez, Morelos.

PALABRAS CLAVE

KEYWORDS

○ Etanol

Ethanol

○ Análisis

Analysis

○ Orina

Urine

○ Plasma

Plasma

○ Humor vítreo

Vitreous humor

Resumen. La determinación de etanol es una práctica analítica frecuente por estar implicado en hechos delictivos. En el caso de los cadáveres, el dorsaje de etanol se vuelve complicado, ya que la muestra a analizar es insuficiente o existe ausencia de la misma, dado que no siempre se encuentran en las mismas condiciones, incluso puede que la muestra este contaminada ya sea por el estado del cadáver o por una inadecuada toma y almacenamiento de la muestra (Gutiérrez, 2017), por lo cual en este trabajo se buscó resumir la información relevante de las posibles matrices biológicas que podrían estar presentes en un cadáver para llevar a cabo un análisis toxicológico.

Abstract. The determination of ethanol is a frequent analytical practice, as it is involved in criminal acts. In the case of corpses, the ethanol dorsage becomes complicated, since the sample to be analyzed is insufficient or there is an absence of it, since they are not always in the same conditions, the sample may even be contaminated either by the state of the corpse or by an inadequate collection and storage of the sample (Gutiérrez, 2017), for which was sought in this work to summarize the relevant information of the possible biological matrices that could be present in a corpse to carry out a toxicological analysis.

Fecha de recepción: 13 de mayo 2021

Fecha de aceptación: 1 de junio 2021

SUMARIO:

I. Introducción. II. Metabolismo del alcohol. III. Evolución de la alcoholemia. IV. Importancia médico legal del etanol. V. Determinación de etanol en cadáveres. VI. Variación del alcohol *post mortem*. VII. Discusión. VIII. Conclusión. IX. Fuentes de consulta.

I. INTRODUCCIÓN

El etanol, también conocido como alcohol etílico, es la sustancia psicoactiva de mayor consumo en el mundo (Mosquera y Cote, 2006). Según los datos reportados por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en el 2018, alrededor de 2 300 millones de personas consumen alcohol. De todo el alcohol que se consume mundialmente, el 44.8% del total de alcohol registrado se consume en forma de licores y aguardientes; también llamados bebidas espirituosas o bebidas blancas; el 34.3% se consume en cerveza y el 11.7% en vino (Organización Panamericana de la Salud, 2019).

De acuerdo con análisis casuístico realizado, se ha reportado una alta incidencia de la presencia de alcohol en varias alteraciones sociales como incremento en los índices de violencia intrafamiliar, accidentes de tránsito, entre otros (Rojas, 2017).

Con base en datos reportados por la ONU, cada año fallecen más de 3 millones de personas a causa del consumo nocivo de alcohol (Organización Mundial de la Salud, 2018). En México, el consumo de alcohol fue responsable del 7.2% de muertes prematuras según lo reportado en el año 2020 (Camacho, 2020).

Existen diversos métodos para la determinación de etanol (Ministerio Público Fiscal Provincia del Chubut, 2015), sin embargo, cuando se trata de cadáveres, se debe elegir la matriz más apropiada para el análisis toxicológico, dado que no todos los cadáveres llegan en las mismas condiciones, por lo cual es importante determinar cuál fluido biológico (plasma, orina y humor vítreo) es el óptimo para llevar a cabo el análisis toxicológico (Rojas, 2017).

El consumo de alcohol se ha convertido en un problema médico legal, por lo cual es importante su determinación, con la finalidad de contribuir al esclarecimiento de hechos delictivos y una mejor impartición de justicia. Por lo tanto, el enfoque de este trabajo es recopilar información relevante

para la determinación de etanol en las tres matrices de interés que son: plasma, orina y humor vítreo.

II. METABOLISMO DEL ALCOHOL

El etanol, al ser hidrosoluble, puede desplazarse fácilmente al entrar al organismo e incorporarse a la sangre y tejidos. Es importante destacar que los efectos de una bebida dependerán de la cantidad de alcohol consumido por unidad de peso corporal. Para entender las consecuencias que puede provocar el consumo de etanol, se debe conocer el metabolismo del alcohol (Cedillo, 2010).

Cuando se trata de entender el metabolismo del alcohol, en la literatura se utiliza como sujeto de estudio a un individuo de 70 kg, clínicamente sano, con el estómago vacío y como referencia, solo ingirió una sola bebida (Pena, 1995).

A. ABSORCIÓN

Cuando ya se ha ingerido la bebida, el alcohol presente se absorberá primeramente por difusión pasiva en las mucosas bucal y esofágica, después pasará al estómago, de ahí a los intestinos grueso y delgado; en el último es donde se realiza la mayor parte de la absorción; para finalmente pasar al torrente sanguíneo y ser distribuido por el organismo. El hígado es el órgano encargado de llevar a cabo la biotransformación del alcohol etílico.

B. DISTRIBUCIÓN

Una vez absorbido el alcohol, su distribución por el organismo dependerá de la concentración de agua y la del alcohol con respecto a la sangre. Según la literatura, la concentración de alcohol será igual a la que teóricamente correspondería respecto a la cantidad de agua. Este hecho es importante cuando se analiza el alcohol en diferentes fluidos, incluso en la misma sangre (Cedillo, 2010).

Metabolismo

Para realizar el metabolismo del alcohol en el hígado, es necesaria la intervención de tres vías (Figura 1): la vía de la enzima alcohol deshidrogenasa (ADH), la vía del sistema microsómico etanol oxidante (MEOS), la vía de las catalasas (vía principal y vía de las liasas) (Repetto, 1995; Gaviria *et al.*, 2016).

Vía de la enzima alcohol deshidrogenasa (ADH)

Es la vía principal, se lleva a cabo en el citosol de los hepatocitos, donde la enzima ADH cataliza la reacción mediante la transferencia de hidrógeno del grupo OH al cofactor nicotinamida adenina dinucleótido (NAD). El cofactor al recibir el hidrógeno se convierte en NADH y se obtiene como producto de la reacción acetaldehído, que es oxidado por la enzima aldehído deshidrogenasa (ALDH), donde se obtiene acetato el cual se incorpora en el ciclo de Krebs como acetil coenzima A (acetil CoA) (Padilla, 2017; Gaviria *et al.*, 2016).

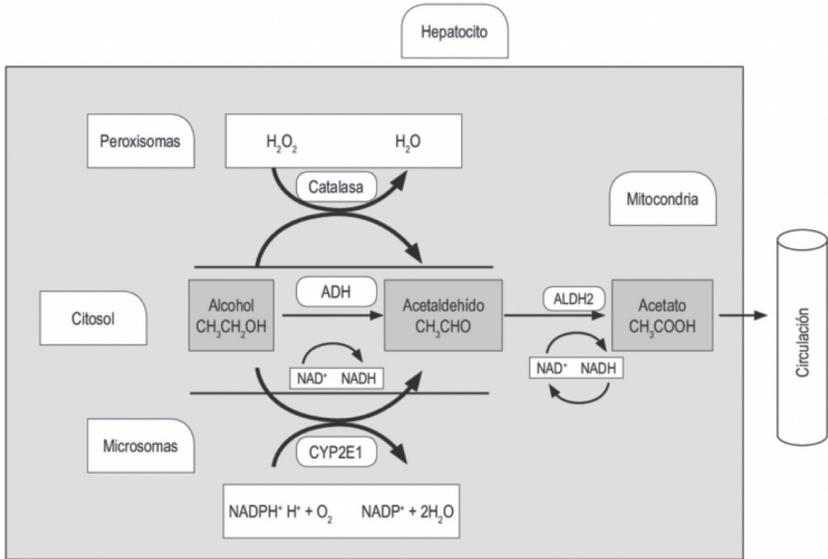
Vía del sistema microsómico etanol oxidante (MEOS)

En esta vía participa el citocromo P450 (CYP450), específicamente, el CYP2E1 cumple una función principal metabólica en los microsomas del hígado donde se metaboliza a acetaldehído utilizando el NAD fosforilado o el NAD reducido (NADPH) y oxígeno (O₂).

Vía de las catalasas (vía principal y vía de las liasas)

Esta vía se lleva a cabo en los peroxisomas de la célula hepática mediante la actividad de la enzima catalasa, la cual metaboliza el alcohol a acetaldehído a través de la peroxidación en presencia de peróxido de hidrógeno (H₂O₂), que posteriormente se transforma en agua. Este sistema metaboliza menos del 2% del alcohol ingerido (Zakhari, 2006).

Figura 1. Metabolismo oxidativo del alcohol. ADH: alcohol deshidrogenasa; CYP2E1: citocromo P450 subfamilia 2E1; ALDH: aldehído deshidrogenasa



Fuente: Gaviria *et al.* (2016)

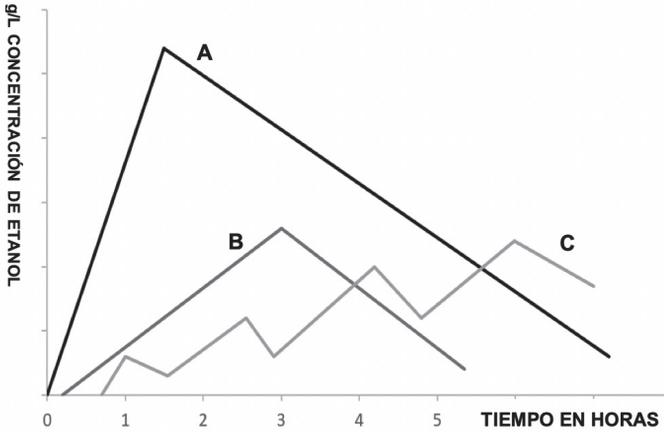
III. EVOLUCIÓN DE LA ALCOHOLEMIA

Es importante tener claros dos conceptos: alcoholemia y estado de ebriedad. La alcoholemia es la concentración de alcohol en sangre y el estado de ebriedad se refiere a los efectos psíquicos y somáticos provocados por el consumo de alcohol independientemente de la cantidad ingerida. Esto tiene gran importancia médico legal, ya que puede ser un agravante en la comisión de un delito (Cedillo, 2010).

Para entender mejor la evolución de la alcoholemia en una persona, esta se representa en la figura 2. Si en unos ejes coordenados se representa la evolución de la alcoholemia frente al tiempo, tomando como origen el momento en el que la persona ingiere alcohol, se tendría la curva "A", la cual está compuesta de dos líneas; la primera que es ascendente representa la fase de absorción (el punto máximo se alcanza entre los 30 y 90 minutos). El segundo tramo de la curva es descendente, y refleja la fase de

eliminación del etanol; es importante destacar que la longitud de este tramo dependerá de la cantidad de alcohol ingerido por la persona (Repetto, 1995).

Figura 2. Evolución de la alcoholemia



Fuente: Elaboración propia a partir de información del Libro Repetto (1995)

Cuando una persona ingiere alcohol posterior a consumir alimentos o lo hace de manera combinada, se tendría la curva “B”, donde la fase de absorción es más lenta. En este caso el valor máximo de alcoholemia disminuye de manera considerable, dado que ciertos alimentos presentan cierta afinidad por el etanol (un ejemplo de ellos son las grasas). La curva “C” representa cuando una persona ingiere alcohol, después come y posteriormente vuelve a ingerir alcohol y nuevamente ingiere alimentos, por lo tanto, la curva tiene varios máximos, pero en un periodo largo de tiempo (Repetto, 1995).

IV. IMPORTANCIA MÉDICO LEGAL DEL ETANOL

La determinación del estado de ebriedad es de suma importancia para cuantificar la cantidad de etanol presente en el organismo de una persona que está siendo investigada por un hecho delictivo, entre los cuales se encuentran: alteraciones de orden público, lesiones, homicidios, desobediencia,

delitos sexuales y los más comunes que son los accidentes de tránsito, por lo cual los análisis toxicológicos son los más solicitados en las fiscalías. En la tabla 1 se muestran los síntomas, de acuerdo al grado de alcoholemia que presentan las personas (Serrano y Vélez, 2011).

Tabla 1. Grado de alcoholemia y sus síntomas

Alcoholemia g/L	Estado	Síntomas
< 0.3	Sobrio	Comportamiento normal.
0.3 - 0.5	Intoxicación ligera	Disminución de la atención e inhibiciones y ligera incoordinación.
0.5 – 1	Euforia	Sociabilidad, hablador, autoconfianza, enlentecimiento de las reacciones, brusquedad en la conducción.
1 – 1.5	Excitación, embriaguez	Inestabilidad emocional, mayor disminución inhibiciones, cambios de comportamiento, sobrevaloración de capacidades, salirse de las curvas.
1.5 – 2	Confusión, borra- chera	Trastornos de memoria y comprensión, disturbio en percepción, desorientación, exageración emocional, incoordinación muscular, aumento tiempo reacción, deseo de acostarse, somnolencia, falta de autocrítica.
2 – 3	Estupor	Déficitmotora, apatía, inercia, agresividad, vómitos, mayor incoordinación muscular; disminución de conciencia, trastornos del habla.
3 – 4	Intoxicación severa, coma	Inconsciencia, anestesia, disminución de reflejos, dificultades cardiacas y motoras.
>4	Posible muerte	Hipotermia, hipoglucemia, convulsiones, parálisis respiratoria.
>5	Se considera muerte segura	

Fuente: Serrano y Vélez (2011)

V. DETERMINACIÓN DE ETANOL EN CADÁVERES

En los casos *post mortem* hay una gran diversidad de matrices analizadas para la determinación de alcohol, sin embargo, uno de los factores que se debe tomar en cuenta es el contenido de agua de dichos tejidos, ya que al tener un mayor contenido de agua, más afinidad tendrá el alcohol con el tejido (Ioan *et al.*, 2015).

Por ejemplo, el plasma, la orina y el humor vítreo al tener un mayor contenido de agua, reportarán al mismo tiempo concentraciones más altas de etanol, de acuerdo a la literatura, en comparación a otras matrices que se han investigado como la bilis, el jugo gástrico, entre otros.

A. PLASMA

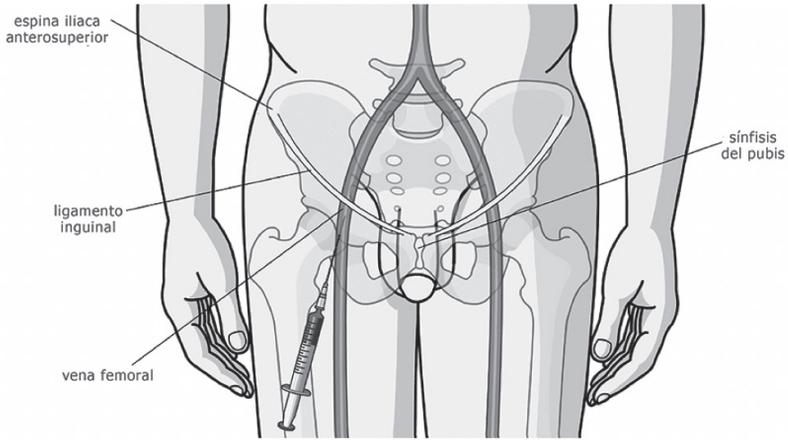
La sangre (S) es la muestra ideal para la determinación de etanol *post mortem*, tanto se puede analizar en su totalidad como puede ser centrifugada para obtener así nuestra muestra de interés que es el “plasma”. El plasma es la parte líquida de la sangre, representa aproximadamente el 55% de la misma; está compuesto en su mayoría por agua (90%), proteínas (7%) y el resto lo conforman una mezcla de nutrientes, vitaminas, hormonas, entre otros.

El sitio idóneo para la toma de muestra de sangre *post mortem* es la vena femoral, dado que en el caso de que se tomara la muestra del saco pericárdico o de la cavidad torácica, los resultados podrían estar alterados por la difusión del alcohol a partir del estómago, por lo cual la mayoría de los autores no recomiendan hacerlo (Pleuckhahn y Ballard, 1967; Pounder y Smith, 1995).

Toma de muestra

Para realizar una correcta toma de muestra de sangre para obtener el plasma de la vena femoral, se preparan los tubos, los cuales deben ser de vidrio y tener tapas herméticas. A dichos tubos de les tiene que adicionar fluoruro de sodio o potasio al 1-2%, los cuales actúan como conservante e inhibidor enzimático respectivamente y debe ser rotulado correctamente (Alvarado *et al.*, 2008; Kugelberg y Jones, 2007; Jones, 1998).

Figura 3. Obtención de sangre de la vena femoral



Fuente: Schächter (s.f.)

Para recolectar la muestra se utiliza jeringa y aguja estéril, la cual se inserta de manera perpendicular y se aspira el líquido, posteriormente se deposita en el tubo antes mencionado, como se muestra en la figura 3 (Schächter, s.f.).

B. ORINA

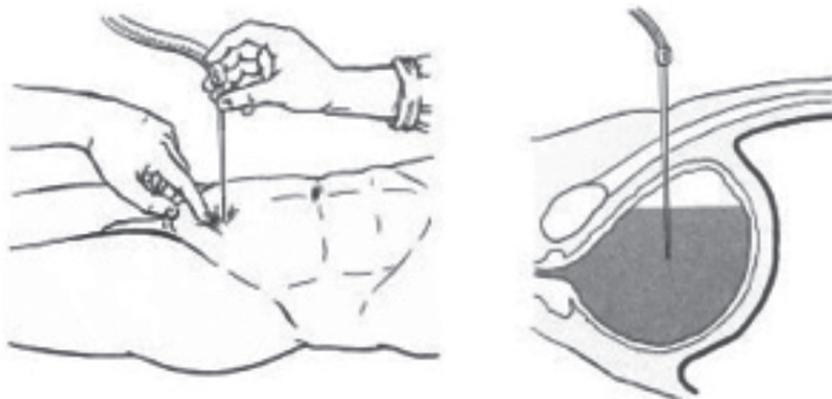
La orina (O) es una sustancia amarillenta, la cual se produce al filtrar y limpiar la sangre en los riñones, que envía la orina a la vejiga, donde se almacena hasta ser expulsada por las vías urinarias. Mediante la orina se eliminan sustancias tóxicas, tanto las que se producen por el metabolismo celular, como las que son ingeridas. Está compuesta en un 96% por agua y 4% por sólidos (Rojas, 2017).

La orina es el segundo producto biológico más importante en el estudio toxicológico *post mortem*, ya que es la principal vía de eliminación de etanol (Gutiérrez, 2017).

Toma de muestra

La toma de muestra de orina se hace mediante punción directa en la vejiga o en la parte inferior del abdomen, cerca de la pelvis, como se muestra en la figura 4. Se utilizan jeringas y agujas estériles para la toma, posteriormente se vacían a frascos de vidrio con tapa estériles, los cuales deberán contener fluoruro de sodio al 1%, el cual inhibe la producción de alcohol endógeno, lo cual podría provocar resultados erróneos (Alvarado *et al.*, 2008).

Figura 4. Obtención de orina



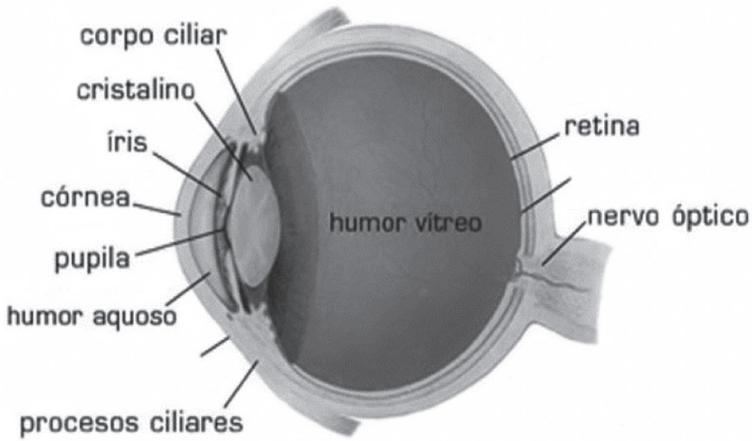
Fuente: Gil-Vernet (2017)

C. HUMOR VÍTREO

El humor vítreo (HV) es una sustancia incolora, viscosa, la cual está compuesta en un 99% de agua y el 1% restante está conformado por sales y mucoproteínas, cabe destacar que el humor vítreo no es irrigado por algún vaso sanguíneo.

El humor vítreo puede ser una muestra útil y, en algunos casos, es la mejor o la única muestra disponible para el análisis toxicológico forense. Gracias a su ubicación anatómica, el humor no presenta contaminación por microorganismos después de la muerte.

Figura 5. Corte transversal del ojo



Fuente: Nataly (2017)

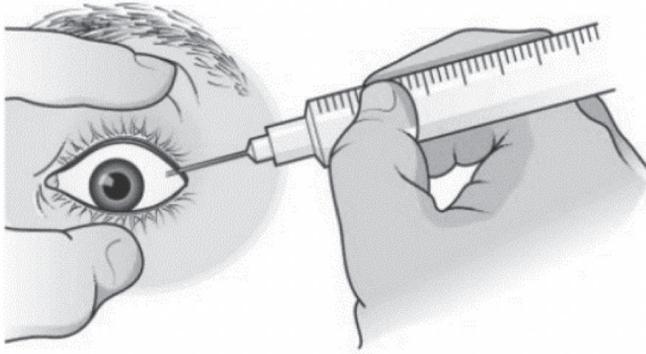
Es una excelente opción cuando los cuerpos se encuentran severamente dañados, putrefactos o carbonizados, por lo cual no es posible obtener muestras de sangre u orina, ya que en la mayoría de los casos los cadáveres sí presentan humor vítreo (Rojas, 2017).

Toma de muestra

La toma de muestra de humor vítreo se hace mediante punción perpendicular en el ojo, al extremo del lagrimal. Se utilizan jeringas y agujas estériles para la toma, posteriormente, se vacían a un tubo Eppendorf al cual se le adiciona fluoruro de sodio o potasio al 0.1% para inhibir la formación de alcohol *post mortem*. Usualmente, solo se toma de muestra 2 o 3.5 ml, debe ser translúcida para ser aceptada como muestra.

Para recolectar la muestra primero se abre el ojo retirando los párpados con ayuda de los dedos pulgar e índice, como se muestra en la figura 6, se inserta la jeringa en la esquina externa del globo ocular y se debe aspirar lentamente. Es importante recolectar muestras de ambos ojos, dado que su composición química puede diferir (Montefusco-Pereira y Pinto, 2016; Martín y Matamoros, 2019; Saukko y Knight, 2004). Ya recolectada, la muestra se vacía en el tubo y se rotula correctamente.

Figura 6. Obtención de humor vítreo



Fuente: Montefusco-Pereira (2016)

Para su almacenamiento, los tubos con las muestras deben ser refrigerados a $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$, sin olvidar su respectiva cadena de custodia para evitar la invalidación de la prueba en procesos judiciales.

Cuando se envasan las muestras, no debe quedar espacio vacío en el recipiente, es decir, se debe evitar la formación de una cámara de aire, ya que se producen pérdidas importantes no solo de etanol, por lo cual los recipientes usados tanto para su recolección como para su almacenamiento deben ser llenados al ras (Ministerio Público Fiscal Provincia del Chubut, 2015). En la tabla 2, se resumen los métodos recomendados para analizar las muestras de plasma, orina y humor vítreo y su volumen mínimo.

Tabla 2. Métodos de análisis

Muestra	Volumen Mínimo	Métodos Recomendados
Plasma	5 mL	Espectroscopia; Atenuación de la energía radiante; Cromatografía de gases con detector de llama, Head Space; Método inmunológico; Microdifusión de Conway, Método Cordebard
Orina	10 mL	Método inmunológico; <i>Cromatografía de gases con detector de llama</i> , Head Space; Método Cordebard
Humor Vítreo	1 mL	Método inmunológico; Cromatografía de gases con detector de llama, Head Space; Microdifusión de Conway, Método Cordebard

Fuente: Elaboración propia

VI. VARIACIÓN DEL ALCOHOL POST MORTEM

Cuando se le practica un análisis toxicológico a un occiso, puede ser que la alcoholemia presente alteraciones en el caso del etanol, lo que significa que los resultados pueden ser erróneos, ya que tanto puede haber pérdida como ganancia de alcohol. En la figura 7, se muestran las variaciones *post mortem* del etanol. Además de las alteraciones, también se debe tomar en cuenta que cuando la persona fallece, empieza el proceso de descomposición o autólisis celular.

Conforme el lapso *post mortem* aumenta, también lo hace la producción de alcohol endógeno. No se sabe en qué punto posterior a la muerte comienza la producción de etanol *post mortem*, dado que son un gran número de variables las que pueden afectar el proceso, entre ellas, las condiciones ambientales, la humedad, el estado del cuerpo, su complejidad, además influye el tipo de vida o estado de salud que tenía el occiso antes de fallecer (Robertson, s.f.).

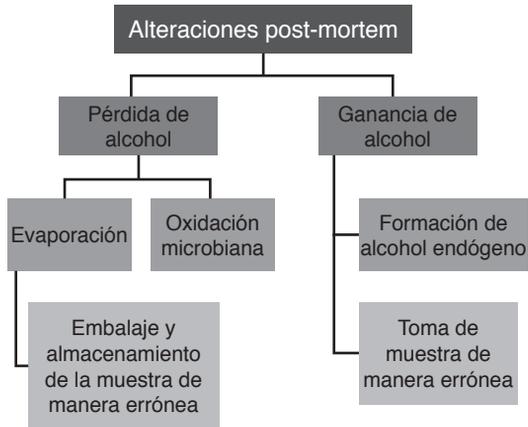
En general, a temperaturas inferiores a 5 °C, no se espera la producción *post mortem* de alcohol que se produzca durante al menos una semana y, posiblemente, nada en absoluto. Cuando la temperatura ambiente es entre 5-20°C, la producción de alcohol después de la muerte se puede producir a un nivel significativo después de 48 horas. A temperaturas superiores a 20°C, la producción *post mortem* de alcohol puede ocurrir después de 24 horas a niveles significativos (Rojas, 2017).

VII. DISCUSIÓN

En algunos casos, los análisis y sus respectivos resultados son confusos, por lo que es difícil interpretarlos debido a que las muestras no presentaban homogeneidad con respecto a la producción de alcohol endógeno, o el cuerpo no presenta una condición adecuada para tomarle muestra, ya que puede estar en estado de putrefacción o calcinado, por lo cual las muestras no son cien por ciento confiables.

También es común la desconfianza del valor que se reporta de alcohol obtenido en las muestras de sangre, dado que puede estar contaminada (Quintas *et al.*, 2017; Chen *et al.*, 2020), por lo que se han hecho investigaciones para adoptar otra muestra con la cual comparar el valor que se

Figura 7. Alteraciones *post mortem*



Fuente: Elaboración propia

obtiene de la sangre, tales como la orina o el humor vítreo, entre otros (Lin *et al.*, 2020).

En el año 2017, se reportó el caso de un varón de 55 años el cual presentó aparente *Enterococcus faecalis* erte natural por infarto de miocardio, pero arrojó una concentración de alcohol en sangre (BAC) de 0.18 g/L. Sin embargo, se le tomaron varias muestras, donde observaron que BAC aumentó rápidamente a 0.85 g/L tres días después, lo que llevó a la sospecha de producción *in vitro* de etanol, por lo cual decidieron realizar un examen microbiológico de la muestra de sangre, la cual reveló la presencia de las bacterias *Escherichia coli* y *Enterococcus faecalis* y levadura *Candida parapsilosis*, las cuales participan en la producción de etanol (Quintas *et al.*, 2017). Incluso en el año 2020, se reportó que cuando se obtiene que la concentración de acetaldehído supera los 0.014 g/dL se podría sospechar que hubo una producción de alcohol etílico *post mortem*, de acuerdo con el análisis estadístico prospectivo (Chen *et al.*, 2020).

En la literatura están reportados los valores de relación entre muestras. Por ejemplo, en el 2004 calcularon el coeficiente de correlación en muestras de orina, sangre y humor vítreo. Durante el estudio analizaron 500 muestras, las cuales se obtuvieron dentro de las 72 horas *post mortem* y fueron almacenadas a 4°C. El alcohol en las muestras se determinó mediante cromatografía de gases con el uso de un aparato Trace GC 2000 y en las muestras de sangre y orina se confirmó adicionalmente mediante el

método ADH. Obtuvieron que el coeficiente de correlación para HV/S fue de 0.92 y para HS/O fue de 0.90 (Papierez *et al.*, 2004).

De Martinis y colaboradores establecieron correlaciones entre las concentraciones de alcohol en muestras de orina, humor vítreo y sangre recolectada de corazón, sangre subclavia y femoral, que fueron tomadas de 21 cadáveres víctimas de diferentes causas de muerte. La determinación de alcohol etílico se hizo por duplicado utilizando GC/FID y HS-GC. Reportaron que no había diferencias significativas entre las muestras de orina y de sangre, en comparación con el humor vítreo. En cuanto a la concentración de etanol en el humor vítreo, el coeficiente de correlación de Pearson fue de 0.97 para la sangre femoral y la orina, de 0.96 para la sangre cardíaca y de 0.94 para la sangre subclavia (De Martinis *et al.*, 2006).

Los autores Ioan, Damian y Jitaru (2015) establecieron una relación entre la concentración de etanol en el humor vítreo, la orina y la sangre, para una evaluación más precisa del BAC (concentración de alcohol en sangre), sobre todo cuando el estado del cuerpo no esté en óptimas condiciones. Analizaron 202 casos mediante el método de Cordebard, el cual se basa en la oxidación del etanol. Reportaron que la correlación de Pearson entre la concentración de etanol O/S fue de 0.905, mientras que la relación HV/S fue 0.887. Además, que la relación de la concentración de etanol de HV/S fue de 1.21 (SD 0.98) con un promedio de 1.11 (Ioan *et al.*, 2015).

Con el propósito de identificar la validez y confiabilidad de la fórmula de predicción que permite calcular la concentración de alcohol en sangre (alcoholemia) a partir de su determinación en orina (alcoholuria), se realizó un estudio observacional, transversal, comparativo y analítico en 60 cadáveres. Se analizaron muestras mediante cromatografía de gases, donde se obtuvo que las medias de las concentraciones de alcohol en sangre, orina y humor vítreo calculadas difieren de manera significativa en las cuatro comparaciones posibles: CAs vs MedCAf, $p = .0001$, CAs vs MaxCAf, $p = .0001$, CAs vs MinCAf, $p = .004$ y CAs vs CAo, $p = .014$ (Cedillo, 2010).

Serrano y Vélez realizaron una comparación de valores de etanol en sangre y humor vítreo en 15 cadáveres de la Morgue del Hospital Vicente Corral Moscoso. Las muestras se analizaron mediante la técnica de microdifusión, en la cual se puede conseguir el aislamiento y la detección de alcohol etílico con la ayuda de la cámara de Conway. Obtuvieron concentraciones bajas de sangre y humor vítreo de 0.54g/L y 0.58g/L, respectivamente, también obtuvieron resultados más altos de 3.02g/L en sangre y de 3.88g/L en humor vítreo (Serrano y Vélez, 2011).

Se determinó en el 2014, el valor del cociente etanol en humor vítreo y sangre en cadáveres necropsiados en la Morgue del Cusco, mediante un estudio transversal *post mortem*. Se estudiaron 45 muestras que fueron almacenadas a 4°C y analizadas posteriormente por la técnica de cromatografía de gases. Se obtuvo que el coeficiente de correlación de etanol fue de 0.990; por otro lado, el cociente etanol en HV/S fue de 1.09, lo cual concluye que el humor vítreo es un buen método para ratificar el valor de etanol determinado en sangre (Costilla *et al.*, 2014).

Díaz Tufinio realizó un estudio estadístico de las concentraciones de etanol en orina, humor vítreo, líquido sinovial y bilis y de tejidos como los son el hígado, músculo esquelético y pulmón *post mortem*, con respecto a la concentración de etanol en sangre a partir de 67 muestras de cadáveres que se analizaron por HS-GC. Fue posible la obtención y el estudio de modelos matemáticos a partir del uso de técnicas estadísticas, tales como análisis de concordancia de métodos, la regresión, correlación y las ecuaciones estructurales, para la estimación de la alcoholemia a partir de la cuantificación de etanol de otros fluidos o tejidos (Díaz, 2016).

En el Laboratorio Forense del Instituto de Medicina Legal y Ciencias Forenses del Perú, se evaluó la concentración de etanol en matrices de sangre (S), orina (O) y humor vítreo (HV) en 80 cadáveres mediante cromatografía de gases (GC-FID / HS). Obtuvieron que el coeficiente de correlación, para el caso I: S/HV = 0.7832; HV/O=0.9737; caso II: S/HV= 0.9799; HV/O=0.9935; caso III: S/HV= 0.9604; HV/O: 0.8523; y caso IV: S/HV= 0.9583; HV/O= 0.9557; es positivo para los cuatro casos (Gutiérrez, 2017).

Canales, Rivas y Ruez utilizaron 42 muestras para determinar si existe alguna diferencia de la alcoholemia en función del tiempo transcurrido, y si existe correlación. Las muestras fueron analizadas por cromatografía de gases (GC-FID / HS). De los resultados obtenidos, concluyeron que no había una variación constante, pues las muestras presentaron disminución, aumento y variación irregular; por lo que no se puede considerar en este caso el tiempo como un factor determinante en la diferenciación de la alcoholemia en cadáveres (Canales *et al.*, 2018).

En el 2017, determinaron también la variación de la concentración de alcohol etílico en función al tiempo en 20 muestras sanguíneas procedente de cadáveres por el método de Sheftell, modificado durante los 15 días de almacenamiento establecido por reglamento. En los resultados se

obtuvieron diversas concentraciones de alcohol etílico, desde un 0.00 g/L hasta 2.60 g/L, determinando que en las 20 muestras procesadas del frasco N°01, desde el primer día hasta el décimo quinto día, sí hubo variación significativa ($p < 0.05$), con un promedio máximo de 0.8805 el primer día y un mínimo de 0.7825 el décimo quinto día, a comparación de los frascos con muestras recién procesadas que indican un promedio máximo de 0.880 el primer día y un 0.874 el décimo quinto día, indicando que no hay variación significativa (Padilla, 2017).

Se identificó la muestra biológica idónea para la cuantificación de etanol en ausencia de humor vítreo. Se analizaron 30 cadáveres de los cuales se obtuvieron un total de 120 muestras que fueron analizadas mediante análisis enzimático y obtuvieron que la media de concentración de etanol en humor vítreo es de 1.617 g/L, en sangre periférica es de 1.193 g/L, en sangre de cavidad izquierda de 1.387 g/L y en sangre de cavidad cardiaca derecha 1.427g/L. Se obtuvo que la mayor concentración de etanol se determinó en humor vítreo con una frecuencia de dos casos con valores de 2.63 g/dL. Y se determinó que la muestra idónea para la determinación de etanol en ausencia de humor vítreo es la sangre de cavidad cardiaca derecha, con un resultado de 11.80% menor que la concentración de etanol en humor vítreo (Rojas, 2017).

En el año 2020, se realizó una investigación para la determinación de la concentración de etanol, utilizando como matriz el humor vítreo. Las muestras se tomaron de 60 cadáveres y utilizaron como método de análisis la cromatografía de gases. Determinaron que el 53.33% son evidencias positivas a etanol y el 46.67% negativas de la población total analizada. Por lo que se estableció la existencia de una considerable incidencia de muertes relacionadas con este tóxico. Además, se confirmó que el humor vítreo presenta ventajas al analista forense frente a la muestra de sangre (Moncayo *et al.*, 2020)

Mihretu y colaboradores determinaron etanol en sangre mediante la técnica de cromatografía de gases de espacio de cabeza con detector de ionización de llama (HS-GC-FID), con el objetivo de validar este método de análisis. La experimentación arrojó un coeficiente de correlación ($r^2 = 0.993$). El valor porcentual de recuperación estuvo entre 91.0 y 109.1, que fue con un porcentaje de recuperación aceptable. La precisión (repetibilidad) se informó de 27% y la precisión intermedia del método resultó en 11% y 1% para dos analistas. El límite de detección (LOD) de etanol se calculó en 0.099 mg / mL y la selectividad del método por interferentes

(metanol y acetaldehído) fue totalmente selectiva. En general, los resultados obtenidos confirmaron que el método es relativamente rápido, preciso, simple, robusto y se puede utilizar en análisis forenses de rutina para la determinación de la concentración de alcohol en sangre (BAC) a un nivel de concentración superior a 0.13 mg /mL (Mihretu *et al.*, 2020).

Se analizaron muestras de sangre y humor vítreo para la determinación de etanol *post mortem*, aplicando la técnica de cromatografía de gases-detector de llama ionizada (GC-FID). Mediante un análisis de regresión lineal se obtuvo un coeficiente de determinación (R^2) de 0.9981, además que el estudio confirmó que no hay diferencias estadísticas entre la concentración de alcohol en la sangre y el humor vítreo, lo que hace que el humor vítreo sea una matriz excelente que podría utilizarse como alternativa a la sangre total en los análisis toxicológicos en los casos en que no se dispone de sangre (Savini *et al.*, 2020).

Esto demuestra que los cocientes han sido estudiados por diversos autores, y que no solo puede ocuparse la sangre como muestra problema, sino que también la orina y el humor vítreo constituyen buenos métodos para ratificar el valor de etanol, especialmente cuando se sospeche de contaminación de la sangre.

VIII. CONCLUSIÓN

El estudio toxicológico para la determinación de alcohol étílico es uno de los análisis más solicitados para comprobar si la persona estaba en estado de ebriedad, lo cual pudo influir a cometer o estar involucrado en una acción delictiva, y de esta manera aplicar justicia. Sin embargo, a veces las muestras a analizar no se encuentran en las condiciones adecuadas o incluso, hay una ausencia de las mismas.

En la literatura se toma como muestra principal la sangre, específicamente de la vena femoral, pero como ya se mencionó, puede que no esté en condiciones o no exista muestra que tomar dada la condición del cadáver. A través de este trabajo, fue posible recopilar información acerca de las posibles muestras que pueden sustituir o complementar los resultados obtenidos del dorsaje de etanol.

CONFLICTO DE INTERESES

Para el desarrollo de esta investigación, no hubo ningún conflicto de intereses ni tampoco se recibió ningún tipo de financiación.

IX. FUENTES DE CONSULTA

- Alvarado Guevara, A. T., Raudales García, I., Vega Ramírez, J. P. (2008). “Determinación de alcohol Post Mortem: Aspectos a considerar para una mejor interpretación”. *Medicina Legal de Costa Rica*, 25, 35-46.
- Camacho Z. (2020). “El alcohol, responsable del 7.2% de todas las muertes en México”. *Revista Contralínea*. Recuperado de <https://www.contralinea.com.mx/archivo-revista/2020/11/15/el-alcohol-responsable-del-7-2-de-todas-las-muertes-en-mexico/>
- Canales, C., Rivas, W. y Raez Gonzales, J. (2018). “Variación de la concentración de alcohol etílico en sangre de cadáveres en relación al tiempo”. *Ciencia e Investigación*, 20, 9 - 12. DOI: 10.15381/ci.v20i2.14804
- Cedillo Ochoa, E. (2010). *Estudio comparativo entre muestras de sangre y orina para determinación de la concentración de alcohol* (Título para obtener Diploma de Especialidad). Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México.
- Chen, X., Dong, X., Zhu, R., Xue, Q., Zhang, D., Liu, X., Zheng, L. y Jiang, Y. (2020). “Abnormally High Blood Acetaldehyde Concentrations Suggest a Potential of Post-Mortem Ethanol Generation”. *Journal of Analytical Toxicology*. DOI: 10.1093/jat/bkaa173
- Costilla Garcia, E. L. y Mejía Sutti, A. M. (2014). “Determinación por cromatografía de gases, el valor del cociente: etanol en humor vítreo/sangre en cadáveres necropsiados de la Morgue del Cusco”. *Horizonte Médico* (Lima), 14, 34-38. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=371637134007>
- De Martinis, B. S., de Paula, C. M., Braga, A., Moreira, H. T. y Martin, C. C. (2006). “Alcohol Distribution in Different Postmortem Body Fluids”. *Human & Experimental Toxicology*, 25, 93–97. DOI: 10.1191/0960327106ht596oa
- Díaz Tufinio, C. A. (2016). *Análisis estadístico y de correlación de concentración de etanol en fluidos biológicos post-mortem* (Título de Grado). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.

- Gaviria, M. M., Correa Arango, G. y Navas, M. C. (2016). “Alcohol, cirrosis y predisposición genética”. *Revista Colombiana de Gastroenterología*, 31, 27-35. DOI: 10.22516/25007440.70
- Gil-Vernet A. ¿Qué es una talla vesical, para qué se utiliza y qué riesgos tiene? [Internet]. Consulta Urología Gil-Vernet. 2017. [Citado el 10 de Marzo del 2021]. Disponible en: <https://consultagilvernet.com/preguntas-frecuentes/ufaq/que-esuna-talla-vesical-para-que-se-utiliza-y-que-riesgos-tiene/>
- Gutiérrez Fernández, J. R. (2017). *Evaluación de la concentración de etanol en sangre, orina y humor vítreo en cadáveres de género masculino necropsiados en el Instituto de Medicina Legal y Ciencias Forenses del Perú, setiembre - noviembre 2016* (Título de Segunda Especialidad). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
- Ioan, B., Damian, R., Jitaru, V. y Simona, D. (2015). “Study on the Relationship between the Concentration of Ethanol in the Blood, Urine and the Vitreous Humour”. *Romanian Journal of Legal Medicine*, 23, 211-216. DOI: 10.4323/rjlm.2015.211.
- Jones, A. W. (1998). “Measuring Blood-Alcohol Concentration for Clinical and Forensic Purposes - A Historical Review”. *Forensic Science Review*, 8, 13-44.
- Kugelberg, F. C. y Jones, A. W. (2007). “Interpreting Results of Ethanol Analysis in Postmortem Specimens: a Review of the Literature”. *Forensic Science International*, 165, 10–29. DOI: 10.1016 / j.forsciint.2006.05.004
- Lin, Z., Wang, H., Jones, A. W., Wang, F., Zhang, Y. y Rao, Y. (2020). “Evaluation and Review of Ways to Differentiate Sources of Ethanol in Postmortem Blood”. *International Journal of Legal Medicine*, 134, 2081–2093. DOI: 10.1007/s00414-020-02415-9
- Martín, F. y Matamoros, M. (2019). “Bioquímica postmortem. Revisión bibliográfica”. *Revista de Ciencias Forenses de Honduras*, 5, 21-29. DOI: 10.5377/rcfh.v5i1.8718
- Mihretu, L. D., Gebru, A. G., Mekonnen, K. N., Asgedom, A. G. y Desta Y. H. (2020). “Determination of Ethanol in Blood Using Headspace Gas Chromatography with Flameionization Detector (HS-GC-FID): Validation of a Method”, *Cogent Chemistry*, 6, 1-9. DOI: 10.1080/23312009.2020.1760187
- Ministerio Público Fiscal Provincia del Chubut (2015). *Reglamento General del Laboratorio Regional de Investigación Forense* – Ministerio Público Fiscal. Ministerio Público Fiscal. Recuperado de <https://www.mpf.gov.ar/capacitacion/files/2015/07/Reglamento-Laboratorio-Regional-Chubut.pdf>

- Moncayo Molina, W. E., Moncayo Redrobán, K. G., Villa Sánchez, F. E. y Arguello Arellano, E. E. (2020). “Concentración de etanol mediante cromatografía de gases en muestras de humor vítreo de cadáveres”. *FACSALUD-UNEMI*, 4, 56-62.
- Montefusco-Pereira, C. V. y Pinto, L. D. M. A. (2016). “El humor vítreo como fluido biológico de importancia clínica en ciencias forenses”. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*, 50, 27-35. DOI: 10.13140 / RG.2.1.4439.7046
- Mosquera, J. T. y Cote Menéndez, M. (2006). “Alcohol etílico: un tóxico de alto riesgo para la salud humana socialmente aceptado”. *Revista de la Facultad de Medicina*, 54, 32-47. Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/revfacmed/article/view/23096>
- Nataly. ¿Qué es Humor Vítreo? [Internet]. *Diccionario de Biología*. 2017. [citado 11 mayo 2021]. Disponible en: <http://diccionariobiologia.blogspot.com/2017/12/que-es-humor-vitreo.html>
- Organización Mundial de la Salud (2018). “El consumo nocivo de alcohol mata a más de 3 millones de personas al año, en su mayoría hombres”. Organización Mundial de la Salud. Recuperado de <https://www.who.int/es/news/item/21-09-2018-harmful-use-of-alcohol-kills-more-than-3-million-people-each-year--most-of-them-men>
- Organización Panamericana de la Salud (2019). “Informe sobre la situación mundial del alcohol y la salud 2018”. Organización de las Naciones Unidas. Recuperado de https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/51352/OPSNMH19012_spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=Como%20resultado%2C%20el%20consumo%20total,Asia%20Sudoriental%20y%20del%20Pac%20C3%ADfco
- Padilla Flores, S. C. (2017). *Variación de la concentración de alcohol etílico, en función al tiempo, en muestras sanguíneas procedentes de cadáveres ingresados al servicio de la morgue central de Ayacucho, 2015* (Título Profesional de Especialidad). Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho, Perú.
- Papierz, P., Berent, J., Markuszewski, L. y Szram, S. (2004). *A Comparative Study of the Ethyl Alcohol Concentration in Vitreous Humor in Relation to Ethyl Alcohol Concentration in Blood and Urine*. Chair and Department of Forensic Medicine, Medical University. 58, 34-44.
- Pena, M. (1995). “Accidentes de tránsito y alcohol: aspectos legales y éticos”. *Revista Médica Uruguay*, 11, 153-156. Recuperado de <https://www.rmu.org.uy/revista/1995v3/art2.pdf>

- Pleuckhahn, V. D. y Ballard, B. (1967). “Diffusion of Stomach Alcohol and Heart Blood Alcohol Concentration at Autopsy”. *Journal of Forensic Sciences*, 12, 463-470.
- Pounder, D. J. y Smith, D. R. (1995). “Postmortem Diffusion of Alcohol from the Stomach”. *The American Journal of Forensic Medicine and Pathology*, 16, 89–96. DOI: 10.1097 / 00000433-199506000-00001
- Quintas, M. J., Costa, P., Melo, P., Castro, A., Franco, J. M. y Teixeira, H. M. (2017). “Postmortem in Vitro Ethanol Production-It Could Be More Common than We Think!”. *Forensic Science International*, 274, 113–116. DOI: 10.1016/j.forsciint.2016.12.040
- Repetto Jiménez, M. (1995). *Toxicología Avanzada*. España: Díaz de Santos.
- Robertson, S. (s.f.). *Interpretation of Measured Alcohol Levels in Fatal Aviation Victims*. Australian Transport Safety Bureau. Recuperado de https://www.atsb.gov.au/media/36390/Measured_alcohol_lev.pdf
- Rojas Quiroga, E. (2017). *Identificación de la muestra biológica idónea para cuantificación de etanol en ausencia de humor vítreo en cadáveres de la Morgue Judicial del Hospital de Clínicas, abril, mayo y junio de 2015* (Título de Grado). Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.
- Saukko P, Knight B. (2004). *Knight's Forensic Pathology*. Londres: Press CRC.
- Savini, F., Tartaglia, A., Coccia, L., Palestini, D., D'Ovidio, C., de Grazia, U., Merone, G. M., Bassotti, E. y Locatelli, M. (2020). “Ethanol Determination in Post-Mortem Samples: Correlation between Blood and Vitreous Humor Concentration”. *Molecules* (Basel, Switzerland), 25, 1-9. DOI: 10.3390 / moléculas25122724.
- Schächter, S. (s.f.). “Apoyo circulatorio”. Destrezas médicas para salvar vidas. Recuperado de http://destrezasmedicasparasalvarvidas.com/capitulo2_celular.html
- Serrano, M. E. y Vélez, M. E. (2011). *Comparación de valores de alcohol etílico en muestras de sangre y humor vítreo en cadáveres de la Morgue del Hospital Vicente Corral Moscoso* (Tesis de Título). Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- Zakhari, S. (2006). “Overview: How is Alcohol Metabolized by the Body?”. *Alcohol Research y Health*, 29, 245-254. DOI: 10.3390/molecules251227

