

Diseño de una estrategia para la invención de un indicador químico de detección del metanol en bebidas alcohólicas mixtificadas



Autores

Santiago Bedoya Barrera

Daniela Alejandra Ostos Novoa

Karen Daniela Rocha Rodríguez

Universidad EAN

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Química

Proyecto de grado

Bogotá D.C.

23 de noviembre de 2021

Diseño de una estrategia para la invención de un indicador químico de detección del metanol en bebidas alcohólicas mixtificadas



Autores

Santiago Bedoya Barrera

Daniela Alejandra Ostos Novoa

Karen Daniela Rocha Rodríguez

Tutora:

Liliana Margarita Meza Buelvas

Universidad EAN

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Química

Proyecto de grado

Bogotá D.C.

23 de noviembre de 2021

Resumen ejecutivo

La mixtificación de bebidas alcohólicas ha sido un problema de salud pública en el mundo, que conlleva a intoxicaciones por consumo de las mismas, ocasionando secuelas en la salud humana e incluso llegando a ser mortal. De tal manera, este trabajo de investigación propone el desarrollo de una metodología para la determinación de metanol por medio de un indicador colorimétrico en bebidas alcohólicas populares y de consumo recreacional. La metodología diseñada tiene en cuenta como muestra alcohólica un Tequila en presentación de 750 mL con una graduación alcohólica correspondiente al 35% Vol., mediante una prueba de yodometría que, en diferentes ensayos realizados, demostró en presencia de metanol una colorimetría amarilla y en etanol un precipitado leve de color amarillo o ninguna tinción. En consecuencia, mediante esta primera experimentación para la determinación de etanol y metanol en una bebida alcohólica comercial se puede observar que es una metodología funcional y rápida en comparación con otras más sofisticadas y de mayor capacidad en la implementación de equipos y/o instrumentos de laboratorio.

Palabras clave: Bebidas alcohólicas mixtificadas, método de yodo e hidróxido de sodio, colorimetría, metanol, etanol, indicador colorimétrico de detección rápida.

ÍNDICE

<u>I.</u>	<u>INTRODUCCIÓN</u>	<u>11</u>
<u>II.</u>	<u>DEFINICIÓN DEL PROBLEMA</u>	<u>12</u>
<u>III.</u>	<u>OBJETIVOS</u>	<u>14</u>
	3.1. OBJETIVO GENERAL	14
	3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
<u>IV.</u>	<u>JUSTIFICACIÓN</u>	<u>15</u>
<u>V.</u>	<u>MARCO TEÓRICO</u>	<u>17</u>
	5.1. PRODUCCIÓN DE BEBIDAS ALCOHÓLICAS	17
	5.2. CONSUMO DE ALCOHOL DEL MUNDO Y COLOMBIA	19
	5.3. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL ETANOL	20
	5.4. ACCIÓN DEL ETANOL EN LOS SERES HUMANOS	22
	5.5. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL METANOL	25
	5.6. ACCIÓN DEL METANOL EN LOS SERES HUMANOS	26
	5.7. MARCO LEGAL	29
	5.8. FUNDAMENTACIÓN LEGAL	29
<u>VI.</u>	<u>ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS</u>	<u>34</u>
	6.1. ESTUDIOS PREVIOS	34
	6.2. INTENCIÓN DEL PRODUCTO	37
	6.3. VERIFICACIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO	37
	6.4. CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO	38

<u>VII.</u>	<u>ANÁLISIS DE RESTRICCIONES</u>	<u>40</u>
7.1.	LEGALES	40
7.2.	AMBIENTALES	40
7.3.	ECONÓMICAS	41
7.4.	SALUD Y SEGURIDAD	41
7.5.	SOCIOCULTURAL	41
7.6.	ÉTICA	43
<u>VIII.</u>	<u>METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN Y ESPECIFICACIONES DE DISEÑO</u>	<u>44</u>
8.1.	MUESTRA	44
8.2.	CRITERIOS DE SELECCIÓN Y TAMAÑO DE LA MUESTRA	44
8.3.	CONDICIONES DE RECOLECCIÓN	44
8.4.	CONDICIONES DEL RECOLECTOR	44
8.5.	CRITERIOS DE RECHAZO	45
8.6.	REACTIVOS, EQUIPOS Y MATERIALES	45
8.7.	PREPARACIÓN SOLUCIÓN DE HIDRÓXIDO DE SODIO (NaOH) AL 1 M	48
8.8.	PREPARACIÓN SOLUCIÓN DE YODO (I) AL 0.5 M	49
8.9.	METODOLOGÍA ALTERNATIVA DE COMPARACIÓN	50
<u>IX.</u>	<u>ANÁLISIS DE COSTOS DE DISEÑO</u>	<u>52</u>
<u>X.</u>	<u>PROTOTIPADO O DISEÑO CONCEPTUAL</u>	<u>53</u>
<u>XI.</u>	<u>CONCLUSIONES</u>	<u>56</u>
<u>XII.</u>	<u>RECOMENDACIONES</u>	<u>57</u>

XIII. AGRADECIMIENTOS **57**

XIV. REFERENCIAS **58**

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Efectos del consumo de bebidas alcohólicas en el cuerpo humano	19
Tabla 2. Concentración de alcohol en las bebidas de mayor consumo en Colombia	21
Tabla 3. Propiedades fisicoquímicas del alcohol etílico	22
Tabla 4. Intoxicación generada por el etanol en el cuerpo humano siendo aguda y/o crónica	24
Tabla 5. Propiedades fisicoquímicas del alcohol metílico	27
Tabla 6. Determinación de características de diseño	39
Tabla 7. Especificaciones de seguridad de reactivos	42
Tabla 8. Reactivos, equipos y materiales.	46
Tabla 9. Toma de muestras de presencia de metanol y etanol (muestra de tequila).	47
Tabla 10. Costos unitario por kit	52
Tabla 11. Registro fotográfico de la metodología	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Procedimiento para determinar la presencia de etanol y metanol	47
Figura 2. Procedimiento preparación solución NaOH en 1 M.	49
Figura 3. Procedimiento preparación solución I en 0,5 M.	50
Figura 4. Etapas para la formación de yodoformo	55

GLOSARIO

- **Acidosis metabólica:** Hace denominación a una afección en la que se acumula en cantidades considerables ácido en el cuerpo. Específicamente, el formaldehído y ácido fórmico, metabolitos derivados del metabolismo del metanol, son los que provocan la acción lesiva de intoxicación.
- **Alcohol:** Es el etanol o alcohol etílico procedente de la destilación de la fermentación alcohólica de mostos adecuados.
- **Añejamiento:** Es el tiempo de reposo que se establece para la preparación del alcohol, en el caso del tequila se tienen los siguientes tipos: Blanco- cuando pasa directamente a envasado. Reposado- mínimo 2 meses, máximo 1 año. Añejo- mínimo 1 año, máximo 3 años.
- **Ataxia:** Falta de control muscular o de coordinación de los movimientos voluntarios, es decir, se presenta un deterioro en el equilibrio y la coordinación debido a daños en el cerebro, nervios o músculos. Sin embargo, el deterioro puede tener causas que no se deben a una enfermedad subyacente, puede ser por intoxicación de drogas o alcohol.
- **Autoridades sanitarias competentes:** Las autoridades sanitarias competentes son el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA) y las Direcciones Territoriales de Salud, a las que, de acuerdo con la normatividad vigente, les corresponde ejercer funciones de inspección, vigilancia y control y desarrollar las acciones de prevención y seguimiento.
- **Bebida alcohólica:** Producto apto para consumo humano que contiene una concentración no inferior a 2.5 grados alcoholimétricos y no tiene indicaciones terapéuticas.

- **Bebida alcohólica falsificada:** Para reconocerla se tienen en cuenta tres aspectos importantes:
 1. Se designe o expendan con nombre o calificativo distinto al que le corresponde.
 2. En su envase, rótulo o etiqueta contenga diseño o declaración ambigua, falsa o que pueda inducir o producir engaño o confusión respecto de su composición intrínseca y uso.
 3. No proceda de sus verdaderos fabricantes o que tenga la apariencia y caracteres generales de un producto legítimo, protegido o no por marca registrada y que se denomine como esté, sin serlo.
- **Bebida alcohólica mixtificada:** Hace mención a toda bebida alcohólica que sufre modificación o degradación, parcial o total de los constituyentes que le son propios, por agentes físicos, químicos o biológicos.
- **Centrifugación:** Se refiere al método por el cual se pueden separar sólidos de líquidos de diferente densidad por medio de una fuerza giratoria.
- **Demencia alcohólica:** La demencia alcohólica también llamada síndrome de Wernicke-Korsakoff está causada por un consumo prolongado y abusivo del alcohol.
- **Decantación:** Se refiere al método físico utilizado para la separación de mezclas heterogéneas, el cual se usa para separar un sólido de uno o dos líquidos de diferente densidad.
- **Decoloración:** Quitar o amortiguar un color.
- **Desodorización:** Se emplea para describir la acción de eliminar ciertos olores.

- **Destilación continua:** Se entiende como el proceso físico de separación de los componentes de una mezcla llevado en una columna de destilación, donde la mezcla de alimentación y los productos se introducen y se obtienen de manera continua.
- **Destilación discontinua:** También conocida como destilación batch, es un proceso utilizado para la separación o recuperación de pequeñas cantidades de mezclas de solventes, materiales peligrosos en flujos de desechos o para obtener productos farmacéuticos y biotecnológicos.
- **Disartria:** Debilidad en los músculos que se usan para hablar, lo cual hace que el habla suena lenta y confusa.
- **Degeneración cerebelosa alcohólica:** Es una enfermedad en la cual las neuronas del cerebelo (la zona del cerebro que controla la coordinación muscular y el equilibrio) se deterioran y mueren.
- **Enfermedad de Marchiafava-Bignami:** Es caracterizada por desmielinización del cuerpo caloso, los síntomas más frecuentes inician en demencia, alteración de la atención, dificultad para la marcha y síndrome de desconexión interhemisférica.
- **Extracción:** La extracción es un procedimiento de separación de una sustancia que puede disolverse en dos disolventes no miscibles entre sí, con distinto grado de solubilidad y que están en contacto a través de una interfaz.
- **Fermentación controlada:** Acción de controlar a nuestra voluntad la fermentación de una masa destinada a la fabricación, mediante una combinación de temperaturas del frío al calor.
- **Filtración:** Proceso unitario de separación de sólidos en una suspensión a través de un medio mecánico poroso, también llamados tamiz, criba, cedazo o filtro.

- **Fomepizol:** Es un fármaco inhibidor de la enzima alcohol deshidrogenasa, es útil como antídoto en intoxicaciones por etilenglicol o metanol.
- **Grados alcoholímetros:** Es el porcentaje en volumen de alcohol etílico a 20 grados centígrados.
- **Hidratación:** Una reacción de hidratación es una reacción química en la que se produce la incorporación de agua a un compuesto.
- **Ingestión:** Hace referencia a la introducción de alimentos o bebidas en el aparato digestivo al servicio de la alimentación o de la hidratación.
- **Intoxicación aguda:** Trastorno del comportamiento o la función mental durante o después del consumo de alcohol.
- **Maceración:** Es un proceso de extracción sólido-líquido. El producto sólido posee una serie de compuestos solubles en el líquido extractante que son los que se pretende extraer.
- **Mosto:** Sustrato fermentable sin riqueza alcohólica, obtenido a partir de uvas, frutas, cereales o de otros productos naturales agrícolas; ricos en carbohidratos, susceptibles de transformarse en etanol mediante procesos bioquímicos.
- **Neurotransmisor GABA:** Es un neurotransmisor como la serotonina o dopamina, que envía mensajes químicos por el cerebro y sistema nervioso, el rol del GABA es inhibir o reducir la actividad neuronal, jugando un papel importante en el comportamiento, la cognición y la respuesta del cuerpo frente al estrés.
- **Nistagmo:** Movimiento involuntario del ojo que puede hacer que se mueva rápidamente de un lado a otro, hacia arriba, abajo o en círculos. Además, se puede nublarse la visión levemente.

- **Pasteurización:** Acción y efecto de pasteurizar, que trata sobre elevar la temperatura de un alimento líquido hasta un nivel inferior al de su punto de ebullición durante un corto tiempo y después enfriarlo rápidamente para destruir los microorganismos sin alterar la composición o cualidades de este.
- **Rectificación:** Acción y efecto de rectificar, en química, para purificar líquidos por destilación
- **Sedimentación:** Dicho de las materias suspendidas en un líquido y que por acción de la gravedad se acumulan en la parte inferior de un recipiente.
- **Trasiego:** Acción y efecto de trasegar, beber en cantidad vino y licores.
- **Tratamiento de frío:** O también *Crioterapia* donde se emplean bajas temperaturas.

I. INTRODUCCIÓN

Se reconoce que la intoxicación por metanol o alcohol metílico es potencialmente mortal, ya que una vez consumido, la mayor parte del metanol que ingresa al organismo es metabolizado en el hígado en un 90 a 95%, siendo oxidado por la enzima alcohol deshidrogenasa para ser transformado en formaldehído, el cual es rápidamente convertido en ácido fórmico por la enzima aldehído deshidrogenasa (Instituto Nacional de Salud, 2010). Lo anteriormente descrito, desencadena en una acidosis metabólica grave, causando daños en los órganos, principalmente en tejidos de gran retención de agua (Villanueva et al, 2002).

Cabe resaltar, que la mayoría de estos casos se producen como consecuencia del uso fraudulento en bebidas alcohólicas en sustitución del etanol o por deficiencias en el proceso de destilación, lo que ha dado lugar a intoxicaciones epidémicas en diferentes partes del mundo (Ministerio de Salud Pública de República Dominicana, 2021). Específicamente en Colombia, entre el año 2008 y 2015 se registraron 1.675 intoxicaciones por metanol, registrando el 0,8 % del total de intoxicaciones por sustancias químicas notificadas en el Sistema de Vigilancia en Salud Pública (SIVIGILA), siendo los principales grupos de edad entre los 15 a 19 años con 317 casos (el 18,9 %), seguido de 20 a 24 años con 284 casos (el 17,0 %) edades que se caracterizan por ser económicamente activas en el consumo de alcohol (Gamarra et al, 2017).

Por tales motivos, se desarrolla una metodología para una la invención de un indicador colorimétrico-químico de detección rápida de metanol en bebidas alcohólicas de comercio nacional e internacional.

II. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La mixtificación de bebidas alcohólicas ha sido un problema de salud pública a nivel mundial. La Organización Mundial de la Salud (OMS) en el 2014 se presentó un informe de brotes de intoxicación por el consumo de bebidas adulteradas a base de metanol, en todo el mundo, desde Asia hasta Europa y África. Específicamente, para el caso de Colombia se indicó que la producción de alcohol ilegal alcanzó los 366.361 hectolitros para el 2018, demostrando que el contrabando y el alcohol adulterado representen un 80% del mercado ilegal en Latinoamérica. Debido a la producción de estas bebidas ilegales en los últimos años, se ha generado un incremento exponencial en las intoxicaciones por su consumo, ocasionando alteraciones neurológicas muy severas, convulsiones, ceguera irreversible e incluso la muerte (Escobar, 2020). La elaboración de bebidas alcohólicas requiere de un compuesto básico, el cual corresponde al etanol, compuesto orgánico producido ya sea natural o industrialmente, cuya fórmula química es C_2H_5OH . En el mercado ilegal de este tipo de bebidas, se sustituye esta base por el metanol de fórmula química CH_3OH , el cual tiene aspecto y propiedades físicas similares al etanol, para reducir costos, pero a pesar de que ambas sustancias tienen similitudes en sus propiedades químicas, el metanol es una sustancia tóxica.

El metanol está presente en el organismo humano, comúnmente un adulto produce cada día entre 0.3 y 0.6 gramos. Adicionalmente, se puede generar por la digestión de frutas, jugos o dulces que contienen pectinas, debido al edulcorante *Aspartame* o el conservante *dimetil dicarbonato* (Durán et al, 2013). En pequeñas cantidades esta sustancia se elimina sin inconvenientes, pero la ingestión de cantidades mayores causa daños al organismo e incluso la muerte, si no es tratada a tiempo y adecuadamente, el antídoto adecuado se selecciona en función de la disponibilidad, el costo, la accesibilidad de la hemodiálisis y la experiencia del médico

(Najari et al., 2020). En particular, su intoxicación se produce por ingestión, por contacto con la piel o por respiración de vapores, pero se ha visto involucrado en gran medida por la ingestión del compuesto. La toxicidad se atribuye a sus metabolitos, por lo tanto, puede retrasarse hasta varias horas después de la ingestión. Las primeras manifestaciones clínicas dentro de las primeras horas de la ingestión incluyen ataxia, disartria, nistagmo y disminución del nivel de conciencia y a medida que avanza la formación de metabolitos, se desarrolla un empeoramiento de la acidosis metabólica y un aumento de la toxicidad clínica ocasionando secuelas (Zyoud et al., 2015).

Teniendo en cuenta lo anteriormente descrito, se plantea la siguiente pregunta, *¿Cómo determinar la existencia de altas concentraciones de metanol en bebidas alcohólicas mixtificadas en un menor tiempo, con mayor eficacia y accesibilidad en mercados regulares de bebidas alcohólicas para consumo humano?*

III. OBJETIVOS

3.1. Objetivo General

Proponer una estrategia para la determinación de metanol por medio de un indicador colorimétrico en bebidas alcohólicas populares y de consumo regular, buscando mitigar los riesgos de salud pública generados por el mercado ilegal de bebidas mixtificadas.

3.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar las propiedades físicas y químicas del etanol y metanol.
- Examinar el mercado ilegal de bebidas mixtificadas basándose en el Decreto 1686 de 2012 por el Ministerio de Salud y Protección Social de la República de Colombia, para así poder determinar condiciones y características de una bebida mixtificada.
- Analizar la dosis letal de metanol que se encuentra en bebidas alcohólicas mixtificadas.
- Diseñar una estrategia para la creación de un indicador colorimétrico de detección temprana de metanol en bebidas alcohólicas mixtificadas.

IV. JUSTIFICACIÓN

Las bebidas alcohólicas son elaboradas principalmente de cereales (cebada, maíz, centeno) y por medio de un proceso de fermentación se generan los alcoholes, específicamente la esencia de cada producto alcohólico: el etanol. Sin embargo, esta sustancia puede adulterarse de forma natural o artificial, siendo natural cuando el etanol se expone a elevadas temperaturas o a la luz solar que permitirán que su composición se altere y cambie (Cuéllar, 2014). De tal manera, esta investigación se enfoca en su producción de forma ilegal, donde se generan bebidas alcohólicas de baja calidad con materias primas tóxicas y mortales para el ser humano, entre ellas, el metanol. La intoxicación por metanol constituye una entidad clínica de pronóstico vital y como se mencionó anteriormente la mayor proporción de intoxicación se debe a la ingesta de bebidas adulteradas y/o mixtificadas.

Es importante reconocer que en Colombia desde el año 2003 las intoxicaciones agudas por sustancias químicas se definieron como evento de interés en salud pública y a partir de ese momento se inició su notificación al Sistema de Vigilancia en Salud Pública (SIVIGILA), incluyendo intoxicaciones originadas por metanol (Instituto Nacional de Salud, 2010). De tal manera, se puede reconocer que es un problema sin precedentes que viene en aumento desde décadas, promulgándose como un problema de salud pública que atenta contra la vida de las personas que puedan llegar a consumirlo.

Actualmente, en Colombia el mercado ilegal de bebidas alcohólicas se ha posicionado en un 22% del mercado total, con una participación del 53% de bebidas alcohólicas mixtificadas, siendo anteriormente de un 15%, es decir, que debido a la pandemia generada por coronavirus (COVID-19) se presentó un aumento de mercados ilegales sin precedentes, representando de igual manera un incremento de este mercado a nivel mundial, producido por mafias transnacionales en

países como: República Dominicana, México, Panamá, Puerto Rico, Argentina y Ecuador (GestarSalud, 2020).

Por medio del presente proyecto, se busca desarrollar una metodología para la determinación de metanol en bebidas alcohólicas mixtificadas, buscando mitigar los riesgos en salud pública para la población colombiana y para el mundo. Beneficiando a consumidores de bebidas alcohólicas evitando posibles problemas de salud irreversibles, involucrando también a gobiernos e industrias productoras de bebidas alcohólicas, pues se estima que en Colombia se deja de recibir US\$450 millones anuales a causa del alcohol ilegal, mientras la industria deja de recibir US\$1.400 millones por este mismo fenómeno (Semana, 2016).

Asimismo, por medio de esta investigación se pretende identificar las bebidas alcohólicas mixtificadas, distribuidas de manera impredecible en el mercado ilegal, pues con la ejecución y elaboración de una metodología rápida de un indicador que muestre colorimetría en presencia de metanol, se suple la necesidad de usar métodos de alta complejidad para su detección, tales como: cromatografía de gases, métodos espectrofotométricos, pruebas de esterificación, entre otros. De tal manera, teniendo la disposición de un indicador rápido se da la utilidad de que cualquier persona pueda usarlo de manera rápida y eficiente para una verificación en el alcohol que se encuentra por consumir, evitando posibles efectos que puedan afectar y/o alterar su salud e incluso conducirlo a una muerte por intoxicación de metanol.

Por lo tanto, se tendrá que el proyecto se desenvuelve en una línea de investigación de gestión de salud, gestión y diseño de procesos, siendo un piloto experimental para la promulgación de nuevas medidas de identificación de bebidas mixtificadas.

V. MARCO TEÓRICO

5.1. Producción de Bebidas Alcohólicas

Las bebidas alcohólicas se componen de agua (H_2O), el etanol (C_2H_5OH), azúcares y en algunos casos colorante, tienen su origen en el proceso de fermentación en donde todo líquido que contenga azúcar pasa por un proceso de fermentación espontánea debido a la acción de las levaduras (Carretero, 2006).

En el caso de una fermentación alcohólica, se necesita de un medio que no tenga ninguna presencia de aire, u oxígeno (O_2). De tal manera, es ahí donde la levadura se produce, ya que se caracterizan por vivir en ambientes bajos de oxígeno, destruyendo la glucosa y otros azúcares produciendo: dióxido de carbono (CO_2), etanol (C_2H_5OH) en forma de gas y alguna molécula de Adenosín Trifosfato o conocida como ATP ($C_{10}H_{16}N_5O_{13}P_3$). Las levaduras y bacterias causantes de este fenómeno son microorganismos muy habituales en las frutas y cereales, contribuyen en gran medida al sabor de los productos fermentados (Carretero, 2006).

Una vez teniendo el producto fermentado, se obtiene como resultado el etanol que a su vez es empleado para formar otro tipo de bebidas alcohólicas, tales como nos referencia el Ministerio de Salud y Protección Social (2012):

❖ **Whisky:** se produce a partir del aguardiente de malta y la destilación de cereales en condiciones de temperatura y humedad precisos, esta bebida contiene un mínimo de 25% de alcohol procedente del aguardiente de malta.

❖ **Tequila:** es originario de México, y al igual que el mezcal se produce en base al jugo extraído del agave y es por esto que para ser tequila debe contener al menos 51% de agave y en

tequilas puros debe contener el 100% de agave; el agave se debe mezclar con jarabe de maíz o caña de azúcar.

❖ **Ron:** bebida alcohólica obtenida exclusivamente a partir de aguardientes o destilados para ron o sus mezclas, es el proceso de destilación lenta del aguardiente que le permite adquirir las características organolépticas típicas del ron, mediante procesos fisicoquímicos que en forma natural tienen lugar durante su permanencia en recipientes de madera de roble, de esta manera que al final posea el gusto, el aroma, la madurez y el sabor que le son característicos del ron.

❖ **Vodka:** es originaria de Rusia y Polonia, en la antigüedad se producía con los productos agrícolas más baratos y abundantes como el trigo, maíz, papas, caña de azúcar o la combinación de cualquiera de estos, está compuesta de agua y etanol, además contiene un rango de alcohol entre 35 y 70% en volumen.

Para añadir, se puede observar que la fermentación alcohólica es un proceso complejo donde intervienen un gran número de enzimas producidas por diversas clases de microorganismos, también se puede incluir que tiene una serie de descomposiciones de proteínas y otros compuestos presentes en el mosto, siendo el zumo de ciertos frutos, usado para fabricar licores alcohólicos (Carretero, 2006). Con lo que además de los compuestos anteriormente mencionados, se producen:

- Alcoholes superiores: propílico, exílico, etílico, octílico, entre otros.
- Ácidos: fórmico, acético, propiónico, láctico, succínico, cítrico, entre otros.
- Aldehídos
- Esteres y aminoácidos
- Amidas

Ahora bien, algunos efectos del consumo de cualquier bebida alcohólica descrita anteriormente ya sean en pequeñas cantidades o en exceso se pueden observar en la Tabla 1.

Tabla 1
Efectos del consumo de bebidas alcohólicas en el cuerpo humano

	Pequeñas cantidades	Exceso
Sistema nervioso	Inhibición de dolor, entorpecimiento de los reflejos	Depresión Descoordinación Disminución creativa e intelectual Deterioro de la personalidad
Aparato cardiovascular	No modifica significativamente ni la presión arterial ni el gasto cardiaco Vasodilatación cutánea (piel caliente y enrojecida)	Aumento de la frecuencia de las pulsaciones, el gasto cardiaco y la presión arterial por 30' Efecto deletéreo sobre el corazón, condiciona la miocardiopatía alcohólica
Musculatura	Desciende el umbral de sensibilidad de la fatiga	Posible alteración muscular. Repetidas rupturas fibrilares, contracturas, etc.

Fuente. Elaboración propia con datos tomados de Ministerio de Salud y Protección Social, 2012.

5.2. Consumo de Alcohol del Mundo y Colombia

A nivel mundial el consumo desmedido y nocivo del alcohol es uno de los principales factores que contribuyen a una muerte temprana prevenible, representando un riesgo para la salud de la población en todo el mundo, teniendo también una repercusión en los objetivos de desarrollo sostenible (ODS). De acuerdo con el Informe sobre la situación mundial del alcohol y salud de la Organización Mundial de Salud & Organización Panamericana de Salud (2018) en el 2016 más de la mitad de la población mundial, es decir, el 57% de 3100 millones de personas, con una edad de 15 o más se había abstenido de consumir alcohol en los 12 meses anteriores.

Por otro lado, alrededor de 2300 millones de personas son consumidores actuales donde el consumo total de alcohol por habitante en la población mundial de más de 15 años aumentó de 5,5 litros de alcohol puro en el 2005 a 6,4 litros hasta el año 2010, manteniéndose en el nivel de

6,4 litros en el 2016, donde se observan los más altos niveles de consumo de alcohol por habitante en países de la Región de Europa de la OMS (Organización Mundial de Salud & Organización Panamericana de Salud, 2018).

Ahora bien, el alcohol etílico es la sustancia psicoactiva de uso más extendido y generalizado en el mundo, junto con la nicotina ha sido la única droga permitida en casi todas las culturas y regiones geográficas, con una excepción en los pueblos musulmanes para quienes la abstinencia es un deber religioso y un signo de distinción con las demás religiones (Téllez & Cole, 2006). En Colombia, también el alcohol es la sustancia psicoactiva de mayor consumo en todas las edades y en todas las zonas geográficas, con el agravante de ser una sustancia aceptada y permitida social y legalmente.

El alcohol diluido es utilizado en la elaboración de las bebidas o licores comerciales y la concentración para cada bebida suele expresarse en porcentaje de contenido alcohólico, estas bebidas en Colombia pueden variar entre niveles de 3% a 50% como se muestra en la Tabla 2.

5.3. Propiedades Físicas y Químicas del Etanol

El alcohol etílico también conocido como etanol, alcohol vínico o alcohol de melazas, con su fórmula química C_2H_5OH es en condiciones de temperatura y presión normales un líquido incoloro e inflamable en un punto de ebullición de 78° C y volátil de olor agradable. Se puede obtener por medio de dos métodos principales: la fermentación de las azúcares y un método sintético a partir del etileno. La fermentación de las azúcares es el proceso más común para su obtención a partir de macerados de granos, jugos de frutas, miel, leche, papas o melazas, entre otros. Con el uso de levaduras que contienen enzimas catalizadoras que transforman los azúcares complejos a sencillos, que después tendrán una continuación en alcohol y dióxido de carbono de enlaces 1 y 2 (Téllez & Cote, 2006).

Tabla 2*Concentración de alcohol en las bebidas de mayor consumo en Colombia*

Tipo de bebida	Concentración de alcohol en volumen (% V/V)
Tequila	50-60
Pisco	
Whisky	
Vodka	40-50
Ginebra importado	
Whisky nacional	30-45
Aguardiente nacional	25-35
Ron nacional	
Jerez Oporto	20-25
Vinos	8-12
Cervezas importadas	5-10
Cervezas nacionales	3-6

Fuente. Elaboración propia con datos tomado de Téllez & Cote, 2006.

Por consiguiente, cuando es parte de una solución en agua se lo suele usar como disolvente y en la elaboración de bebidas alcohólicas, pero también tiene usos industriales. Cabe resaltar, que, para el desarrollo de bebidas alcohólicas, el etanol debe ir acompañado de otras sustancias que le generan un olor, color y sabor, pero es un compuesto de suma importancia en la elaboración de estas (Cornejo, s.f). Es importante añadir, que las concentraciones del alcohol etílico en su mayoría se expresan en porcentaje de alcohol en volumen, siendo % V/V, aunque en algunas ocasiones también se puede expresar en relación con el peso (% W/W) e inusualmente en grados (°). Sin embargo, esta última debe abandonarse porque es causante de errores (Medecins Sans Frontieres, s.f).

Se reconoce que el alcohol etílico es una importante sustancia para la síntesis, pues presenta activación con algunos solventes y derivados de celulosa. En la Tabla 3, se muestran algunas propiedades fisicoquímicas del etanol.

Tabla 3
Propiedades fisicoquímicas del alcohol etílico

Propiedad	Valor de referencia y/o característica
Grado Alcoholímetro (%)	96
Aspecto	Líquido transparente e incoloro
Olor	Característico alcohólico
pH	Neutro
Gravedad específica (g/cm^3)	0,79
Punto de inflamación ($^{\circ}C$)	14
Punto de ebullición ($^{\circ}C$)	78,3
Punto de fusión ($^{\circ}C$)	-114
Punto de ignición ($^{\circ}C$)	425
Temperatura de auto ignición ($^{\circ}C$)	365
Límites de explosión inferior (V/V)	3,3%
Límites de explosión superior (V/V)	19%
Presión de vapor (20 $^{\circ}C$) en mbar	59,2
Densidad (20 $^{\circ}C$) en g/L	0,806
Densidad del vapor (aire=1)	1,6
Solubilidad	Miscible totalmente en agua, éter, cloroformo, acetona, alcohol metílico
Denominación técnica	Etanol

Fuente. Elaboración propia con datos tomados de Cornejo, s.f y ALR Sura, s.f.

5.4. Acción del Etanol en los Seres Humanos

El etanol utiliza varios mecanismos de acción lo que explica las diferentes manifestaciones en el organismo, esta sustancia genera una acción en el neurotransmisor GABA

la cual hace efecto en la depresión primaria que genera una intoxicación aguda, además el etanol reacciona con otros neurotransmisores cerebrales como dopamina, norepinefrina y serotonina (Téllez, 2006)

Es importante conocer que el grado de concentración en sangre o *Blood Alcohol Concentration* (BAC) permitido es de 0,04 (40 miligramos de alcohol por cada 100 mililitros de sangre) en Colombia. En la siguiente lista aparecen los niveles de alcohol en la sangre y los probables síntomas, de acuerdo por 100 mililitros de sangre descritos por MedlinePlus (s.f): 0,05 (5 miligramos de alcohol por cada 100 mililitros de sangre): Disminución de las inhibiciones

- 0,10 (10 miligramos de alcohol por cada 100 mililitros de sangre): Dificultades en la pronunciación
- 0,20 (20 miligramos de alcohol por cada 100 mililitros de sangre): Euforia y deterioro motriz
- 0,30 (30 miligramos de alcohol por cada 100 mililitros de sangre): Confusión
- 0,40 (40 miligramos de alcohol por cada 100 mililitros de sangre): Estupor
- 0,50 (50 miligramos de alcohol por cada 100 mililitros de sangre): Coma
- 0,60 (60 miligramos de alcohol por cada 100 mililitros de sangre) Paro respiratorio y muerte.

De acuerdo con la alteración del etanol se observará la Tabla 4, en donde se evidencian las complicaciones de la intoxicación aguda e intoxicación crónica.

Tabla 4*Intoxicación generada por el etanol en el cuerpo humano siendo aguda y/o crónica*

INTOXICACIÓN AGUDA	
Enfermedad	Complicación
Hemorragia de vías digestivas altas	Se produce en el consumidor crónico de alcohol, por estímulo irritativo continuo sobre la mucosa esofágica y gástrica.
Pancreatitis aguda	La aparición de esta complicación es frecuente en los pacientes con historia de abuso de alcohol
Ahogamiento	El alcohol puede producir vómitos. Dado que reduce tu reflejo de náuseas, aumenta el riesgo de ahogarte con el vómito si estás desmayado.
Latidos del corazón irregulares	La intoxicación alcohólica puede hacer que el corazón lata irregularmente o, incluso, que se detenga.
INTOXICACIÓN CRÓNICA	
Síndrome Wernicke-Korsakof	Relacionado con déficit de vitamina B1, ocasionado por las alteraciones gastrointestinales propias del alcohólico crónico.
Enfermedad de Marchiafava-Bignami	Su etiología es desconocida, se manifiesta casi exclusivamente en pacientes alcohólicos desnutridos y en especial en aquellos individuos de consumos crónicos de vino tinto.
Degeneración cerebelosa alcohólica	Se caracteriza por alteración de la porción anterosuperior del vértex con pérdida neuronal, gliosis y reducción de las ramificaciones dendríticas de las células de Purkinje.
Demencia alcohólica	Esta patología se ha relacionada con el consumo abusivo y crónico de etanol. Inicialmente presenta deterioro de las funciones cognitivas.

Fuente. Elaboración propia con datos tomados de Guerri, 2000.

En cuanto a las consecuencias a largo plazo del consumo de etanol, esta vez en alimentos no alcohólicos, se encuentra que no representa un problema agudo grave de salud o legal para el ser humano adulto en caso de consumir 0,5 kg (L)/día, pero incluso esta cantidad se ve que tiene

algunas consecuencias. En niños puede tener efectos adversos en el sistema nervioso central, si los niveles de etanol en sangre en el rango de 1-100 mg/dL., sobre todo para los niños que consumen consumir zumos y comidas rápidas con mayor frecuencia, así como para los adultos predispuestos que probablemente consumen regularmente alimentos no alcohólicos, especialmente frutas/zumos, legumbres enlatadas (por ejemplo, judías) o encurtidos (Gürler et al., 2020).

5.5. Propiedades Físicas y Químicas del Metanol

El metanol también llamado como: alcohol metílico, metil alcohol, carbinol, hidroximetano, Metilol, monohidroximetano, espíritu de la madera, alcohol de madera con su fórmula química CH_3OH es un líquido incoloro, volátil e inflamable con un ligero olor alcohólico en estado puro, es un alcohol altamente venenoso y nocivo para la salud, pues al ser ingerido o inhalado puede presentar complicaciones graves (IDEAM, s.f).

Por otro lado, es utilizado como anticongelante en radiadores automovilísticos, es decir, en gasolinas y diésel. También en la extracción de aceites de animales y vegetales y agua de combustibles de automóviles y aviones, pues se presta para la realización de la desnaturalización de etanol. Añadiendo, funciona como un agente suavizante de plásticos de piroxilina y otros polímeros, incluyen como disolvente en la síntesis de fármacos, pinturas y plásticos (UNAM, 2016).

Durante mucho tiempo se obtuvo por destilación destructiva de madera a altas temperaturas, por tal forma como se mencionó anteriormente se puede identificar como alcohol de madera. En la actualidad se produce por hidrogenación catalítica de monóxido de carbono a presiones y temperaturas altas, con catalizadores de cobre-óxido de zinc; por oxidación de hidrocarburos y como subproducto en la síntesis de Fischer-Tropsch (UNAM, 2016).

Es reconocido por ser un compuesto miscible en agua, alcoholes, esterés, cetonas y muchos otros solventes, incluyendo formar muchas mezclas azeotrópicas binarias, siendo poco soluble en grasas y aceites (IDEAM, s.f).

El metanol es un producto que reacciona violentamente con bromo, hipoclorito de sodio, dietil-zinc, disoluciones de compuestos de alquil-aluminio, trióxido de fósforo, cloruro cianúrico, ácido nítrico, peróxido de hidrógeno, sodio, ter-butóxido de potasio y perclorato de plomo (UNAM, 2016). Por tal manera, se puede describir que el metanol es un compuesto no compatible con ácidos, cloruros de ácido, anhídridos, agentes oxidantes, agentes reductores y metales alcalinos.

El metanol está disponible comercialmente en varios grados de pureza, descritos por IDEAM (s.f) tales como:

- Síntesis: corresponde al metanol comercial y/o normal
- De calidad analítica certificada
- En condiciones de extrema pureza es usando para la manufactura de semiconductores

A continuación, en la Tabla 5, se describen algunas características fisicoquímicas del Metanol relevantes para reconocer el compuesto.

5.6. Acción del Metanol en los Seres Humanos

Los efectos del metanol en la salud humana y el ambiente dependen de la cantidad de metanol que esté presente y de la frecuencia y el tiempo de exposición, la ingestión de metanol puede causar dolor abdominal, deficiencias respiratorias, vómito, convulsiones e incluso inconciencia (Instituto Nacional de Salud, 2010).

Tabla 5*Propiedades fisicoquímicas del alcohol metílico*

Propiedad	Valor de referencia y/o característica
Grado Alcohólímetro (%)	100
Aspecto	Líquido transparente e incoloro
Olor	Característico alcohólico en grandes concentraciones tiende a ser repulsivo
pH	No reportado
Gravedad específica (g/cm^3)	0,7915
Punto de inflamación (°C)	12
Punto de ebullición (°C)	67,4 (760 mmHg)
Punto de fusión (°C)	-97,8
Punto de ignición (°C)	425
Temperatura de auto ignición (°C)	380
Límites de explosión inferior (V/V)	6%
Límites de explosión superior (V/V)	36,5%
Presión crítica (atm)	78,5
Volumen crítico (mL/mol)	118
Temperatura crítica (°C)	240
Densidad del vapor (aire=1)	1,11
Densidad (20 °C) en g/L	0,81
Viscosidad (cP)	0,541 (líquido a 25 °C)
Denominación técnica	Metanol

Fuente. Elaboración propia con datos tomados de IDEAM, s.f y UNAM, 2016.

En alimentos no alcohólicos (varias frutas y verduras, como avellanas asadas, zanahorias, cebollas, coles de Bruselas, apio, guisantes) se ha detectado la presencia de metanol, sin que se haya informado efectos adversos agudos para adultos sanos, sin embargo, el metanol liberado por la pectina derivada de los alimentos consumida diariamente en una cantidad de 5 g, que corresponde a ~500 g de frutas y verduras consumidos al día, puede desempeñar un papel en el desarrollo de la cirrosis no alcohólica en el hígado (Gürler et al., 2020).

En consecuencia, si se produce intoxicación aguda con metanol en concentraciones altas se manifiesta inicialmente con signos de narcosis (estado de somnolencia), seguido por un período latente en el cual su conversión en ácido fórmico se acumula en el cuerpo causando acidosis metabólica, es decir, presenta una disminución del pH de la sangre, en este tiempo se presentan dolores abdominales severos, en piernas, espalda, y degeneración visual que puede llegar a la ceguera. Debido a los efectos adversos retardados en la exposición de metanol, una persona se puede recuperar de los efectos inmediatos y recaer luego de alrededor de 30 horas (Instituto Nacional de Salud, 2010).

Algunas bebidas alcohólicas poseen altos niveles de metanol, compuesto que por su elevada toxicidad es necesario disminuir en el destilado, este compuesto ingerido, en pequeñas cantidades puede producir: náusea, dolores abdominales, vómito y perturbaciones visuales (visión borrosa y sensibilidad a la luz). La dosis tóxica es de 10-30 mL (100 mg/Kg.), aunque su ingesta de menor cantidad puede provocar síntomas; presenta una dosis letal media de 340 mg/Kg. (60-240 mL), si se llega a elevar este porcentaje produce ceguera y hasta la muerte en el peor de los casos (Instituto Nacional de Salud, 2010).

El alcohol metílico se absorbe por la piel, pulmones, y otros órganos, cuando se absorbe se expande rápidamente por el cuerpo afectando principalmente el hígado, este alcohol puede ser expulsado vía urinaria y respiratoria. El tratamiento por intoxicación se centra en reducir la producción de ácido fórmico y eliminar el metanol y sus metabolitos, el etanol puede utilizarse como inhibidor competitivo del metabolismo del metanol, otra opción más popular hoy en día es el fomepizol, y en casos de toxicidad grave se recomienda la hemodiálisis intermitente (Gau et al., 2018). El porcentaje que no se elimina y que queda en el cuerpo es el responsable de las alteraciones clínicas, causa alteración en los nervios ópticos ya que degenera las células de la

retina, además de causar ceguera total y generalmente irreversible (Instituto Nacional de Salud, 2010).

5.7. Marco Legal

De acuerdo con la Estrategia Nacional de Respuesta Integral Frente al Consumo de Alcohol en Colombia, se hace un reconocimiento de que el alcohol es la sustancia psicoactiva más consumida en Colombia y en el resto del mundo. Concretamente, en Colombia cerca de siete millones de personas con edades entre 12 y 65 años son consumidores de alcohol, lo que equivale a 35% de la población en ese rango de edades. Por su parte, se estima que 2,4 millones de personas presentan un consumo de riesgo o perjudicial de alcohol, esta cifra representa el 35% del total de consumidores y 12,5% de la población total entre 12 y 65 años. La mayor prevalencia de consumo de alcohol se presenta entre los jóvenes de 18 a 24 años, teniendo una participación del 46%, seguidos por los adultos jóvenes con edades entre 25 y 34 años con un 43% (Ministerio de Salud y Protección Social, 2020).

De tal forma resulta importante reconocer la normativa y regulación legal acerca de las bebidas alcohólicas para consumo humano en Colombia.

5.8. Fundamentación Legal

Concretamente, en Colombia todas las bebidas alcohólicas que se suministren directamente al público y las a granel con o sin marca, necesitan contar con registro sanitario expedido por el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos o INVIMA, conforme a lo establecido en el Decreto 1686 de 2012 (INVIMA, s.f). De esta manera, el decreto presenta los requerimientos que deben cumplir las bebidas alcohólicas para consumo humano las cuales se fabriquen, elaboren, hidraten, envasen, almacenen, distribuyan, transporten, comercialicen, expandan, exporten o importen con el fin de proteger la vida, la salud y la

seguridad humana (Decreto 1686, 2012). Teniendo como objetivo principal establecer el reglamento técnico a través del cual se señalan los requisitos sanitarios que deben cumplir las bebidas alcohólicas para consumo humano de manera nacional e internacional, con el fin de proteger la vida, la salud y la seguridad humana y, prevenir las prácticas que puedan inducir a error o engaño al consumidor.

El decreto reconoce los requisitos sanitarios en donde el Ministerio de Salud y Protección Social, establece los requerimientos físicos, químicos y microbiológicos que deben cumplir las bebidas alcohólicas. En la elaboración de las bebidas se tiene como permitido las siguientes prácticas: Añejamiento, centrifugación, decantación y sedimentación, desodorización y decoloración, destilación continua o discontinua, fermentación controlada, filtración, hidratación, maceración, extracción, pasteurización, rectificación, trasiego y tratamiento de frío.

Observando que los procesos de fermentación deben realizarse a partir de materias primas de origen agrícola, bajo condiciones controladas que eviten la proliferación de microorganismos diferentes a las levaduras propias de la fermentación alcohólica, pues pueden conllevar a problemas de salubridad y salud para los consumidores finales del producto (Decreto 1686, 2012). Además de lo anterior, se dicta que las materias primas e insumos deben ser objeto de inspección de manera previa al uso, clasificadas y sometidas a análisis de laboratorio y verificadas contra un certificado de calidad expedido por el proveedor cuando así se requiera, para determinar si cumplen con las especificaciones de calidad establecidas para el efecto, siendo almacenadas en condiciones sanitarias adecuadas que eviten alteraciones o contaminaciones de estas (Salud Capital, s.f).

Por otro lado, el Decreto número 1506 de 2014 establece los requisitos sanitarios que deben cumplir las bebidas alcohólicas para consumo humano las cuales se fabriquen,

comercialicen, exporten o importen, que como el anterior decreto promulguen y protejan la vida, la salud y la seguridad humana (Decreto 1506, 2014).

En este decreto se realiza una modificación del artículo 42 del Decreto 1686 de 2012 definido como:

Artículo 42. Visita de certificación.

Radicada la solicitud ante el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA) con sus respectivos, soportes, el Instituto programará la visita al establecimiento con el fin de verificar el cumplimiento de los requisitos para la obtención del certificado de Buenas Prácticas de Manufactura – BPM. Si del resultado de la visita se concluye que el establecimiento no cumple con las BPM, el INVIMA hará constar dicha situación en la respectiva acta de visita, consignando los requerimientos necesarios y concediendo un plazo no mayor a treinta (30) días para su cumplimiento. Se entregará copia del acta al interesado al final de la diligencia. Si del resultado de la visita se establece que el establecimiento cumple con las BPM el INVIMA expedirá el respectivo certificado, dentro de los dos (2) meses siguientes, contados a partir de la fecha de la visita de verificación. (Decreto 1506, 2014, p. 1)

Por último, para hacer una revisión general de las normas en Colombia se hace referencia a la Ley 9 de 1979 por la cual se dictan medidas sanitarias, siendo objeto la protección del medio ambiente, teniendo en cuenta: control sanitario del agua, residuos líquidos, residuos sólidos, emisiones atmosféricas, suministros de agua, salud ocupacional, medicamentos, alimentos, bebidas, entre otras (Ley 9, 1979).

Teniendo en cuenta la situación actual del mercado de bebidas alcohólicas para consumo humano en el país, se observa que la fabricación y venta de licor adulterado y/o mixtificado podría generar una pena de 10 años en la cárcel, por tres delitos cometidos, siendo: el ejercicio arbitrario del monopolio rentístico, falsedad marcaría y falsedad de sellos, se puede añadir el delito de homicidio al presentarse pruebas que demuestren la muerte de una persona por el consumo de bebidas alcohólicas en malas condiciones (Arteaga, 2014).

Por el momento, en Colombia no existe ninguna ley específica para las bebidas alcohólicas adulteradas y se planteó un proyecto de Ley 196 de 2014 adicionando un inciso al artículo 1 del Código Penal modificado por el artículo 5 de la Ley 1220 de 2008, donde el congreso de Colombia desarrolla:

Artículo 372. Corrupción de alimentos, productos médicos o material profiláctico. El que envenene, contamine, altere producto o sustancia alimenticia, médica o material profiláctico, medicamentos o productos farmacéuticos, bebidas alcohólicas o productos de aseo de aplicación personal, los comercialice, distribuya o suministre, incurrirá en prisión de cinco (5) a doce (12) años, multa de doscientos (200) a mil quinientos (1.500) salarios mínimos legales mensuales vigentes e inhabilitación para el ejercicio de la profesión, arte, oficio, industria o comercio por el mismo término de la pena privativa de la libertad (Vlex, 2014).

Sin embargo, sigue siendo un planteamiento de Ley que no se ha concentrado para la debida regulación de mercados ilegales en donde se encuentran las bebidas alcohólicas mixtificadas (Vlex, 2014). Incluyendo que la recaudación de impuestos de licores

disminuyó más del 40%, según cifras oficiales, en donde se estima que la evasión de impuestos de producción por parte de productores legales creció 11% (Euromonitor Consulting, 2016).

VI. ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS

6.1. Estudios Previos

En relación con la pregunta de investigación, la determinación de metanol en bebidas alcohólicas no es novedosa, de tal manera, se aborda la determinación de metanol en bebidas alcohólicas, a partir de las técnicas de análisis más empleadas, como la cromatografía de gases, método del ácido cromotrópico colorimétrico, la resonancia magnética nuclear (RMN) y la espectroscopia FT-MIR, FT-NIR y de fluorescencia.

La cromatografía de gases (GC) es una técnica de separación capaz de separar mezclas complejas basándose principalmente en las diferencias de punto de ebullición / presión de vapor y de polaridad (Stauffer et al., 2008). Suele ser el método estándar para la identificación del contenido de metanol en bebidas mixtificadas, y según lo evaluado en el artículo *Evaluation of methanol content of illegal beverages using GC and an easier modified Chromotropic acid method; a cross sectional study*, que realiza un estudio del mercado ilegal en bebidas alcohólicas en Irán que demuestran los siguientes resultados, de 1221 muestras, 145 (11.9%) no tenían contenido de etanol, mientras que en tres muestras (0.25%), el metanol era lo suficientemente alto (700,000; 870,000; 920,000 mg / L) como para causar toxicidad severa, además, se detectó metanol en 128 (10,48%) muestras mediante el método de cromatografía de gases (Zamani et al., 2019).

El mismo estudio empleó el método del ácido cromotrópico colorimétrico de manera modificada, para la creación de un kit y los resultados del uso de este fueron los siguientes, se detectó metanol en 160 muestras (13,1%) con el kit diseñado con 100% de sensibilidad, 97,07% de especificidad y 100% de valor predictivo negativo (Zamani et al., 2019). El kit diseñado en el

estudio posee una eficacia aceptable, comparable al método GC, con la ventaja de ser un proceso más sencillo, rápido y de menos costo.

Por otro lado, la resonancia magnética nuclear (RMN) es una técnica espectroscópica que estudia la interacción entre la materia y la radiación electromagnética basándose en las propiedades magnéticas intrínsecas de los núcleos atómicos (García, 2019).

Se indica un método de análisis del contenido de metanol en bebidas alcohólicas, en el artículo *Application of ¹H nuclear magnetic resonance spectroscopy as spirit drinks screener for quality and authenticity control*, donde se analiza el método para la determinación de 15 tipos de sustancias. Entre estas sustancias, una de importancia es el metanol, como resultado, el método puede cuantificar con una precisión global mejor que el 8%. Este método de cuantificación dirigida basado en RMN permite la cuantificación simultánea y eficiente de los ingredientes relevantes de bebidas alcohólicas. En específico, las espirituosas (bebidas alcohólicas > 15% vol) en sus rangos de concentración típicos en un proceso con buena precisión, demostrando ser un método confiable para todo tipo de bebidas espirituosas en el control rutinario de alimentos (Teipel et al., 2020).

La espectroscopia FT-MIR y FT-NIR corresponden a técnicas analíticas que utilizan una fuente que produce luz con un patrón de longitud de onda conocido (generalmente 800- 2500 nm) y que permite obtener una imagen completa de la composición orgánica de la sustancia / material analizado (Van Kempen, 2001). Esas técnicas se han utilizado con éxito para identificar y cuantificar adulterantes en alimentos y bebidas alcohólicas, ya que no utilizan reactivos ni disolventes, y no requieren preparación de muestras, lo que conduce a una reducción de los costos y del tiempo de análisis (Quintero et al., 2020).

Se evidencia que a través de estas técnicas es efectiva la verificación de la autenticidad de la bebida, ya que son capaces de predecir las concentraciones (a intervalos de 5-50% v / v) de los adulterantes como el metanol de forma precisa, según el estudio *Quantification of adulterants in mezcal by means of FT-MIR and FT-NIR spectroscopy coupled to multivariate analysis*.

En el apartado de espectroscopia de fluorescencia se es posible tomar huellas dactilares de licores gracias a la transferencia de carga intramolecular de las variables como la alcoholicidad, acidez, polaridad, contenido de agua, etc. ya que estas variables son sensibles al cambio químico de una nueva sustancia, favoreciendo la toma de espectros de absorción y emisión. Las huellas dactilares de los licores se toman a partir de cuatro factores de la base de datos generada con los espectros de las mezclas etanol-agua a diferentes concentraciones (0 a 100% de contenido de etanol), Abs (absorbancia), λ_{ab} (longitud de onda de absorción máxima), Int (intensidad de emisión) y λ_{em} (longitud de onda máxima de emisión), los datos de las huellas se analizan por cálculos de DFT y se garantiza que la sustancia añadida sea exitosa en el reconocimiento de licores adulterados (Han et al., 2017).

Por otra parte, el método de la espectroscopia de fluorescencia presentado por De La Rosa Vázquez et al (2015) se basa en la fluorescencia inducida por luz ultravioleta para discriminar el licor falso de los auténticos, se usa un láser que tiene 4 diodos emisores de luz LED de 255 a 405 nm y un espectro miniatura. Encontraron que la luz emitida por los diodos, el licor falso produce una señal de fluorescencia débil, en cambio, los licores genuinos mezclados, reposados y envejecidos muestran una alta emisión en la fluorescencia, en un rango de 400 a 750nm. Visualmente se puede determinar mediante el haz de luz el licor falsificado con metanol o agua.

Los modelos desarrollados son una alternativa analítica a los métodos convencionales como el GC, pero tienen la ventaja de ser rápidos (aproximadamente 4 minutos) porque la muestra no requiere pretratamiento, es menos costosa ya que no requieren de personal especializado, por tanto, podrían utilizarse como una herramienta de análisis rápido, especialmente para los laboratorios de control de las agencias reguladoras (Quintero et al., 2020).

6.2. Intención del Producto

De la información anteriormente planteada, se busca implementar una técnica química-colorimétrica rápida para la detección de metanol en bebidas alcohólicas comerciales, reconociendo los métodos colorimétricos como una técnica efectiva, de menor costo y de mayor simplicidad en comparación con técnicas que requieren mayor tiempo, equipos, inversión, precisión y personal calificado para su ejecución.

6.3. Verificación de Parámetros de Diseño

Para el método colorimétrico a utilizar se deben establecer parámetros químicos, específicamente de colorimetría, que se verán reflejados en el color de las muestras, los cuales identificarán si se tiene una bebida alcohólica, ya que, por medio del químico implementado en el indicador, se ve reflejado una interacción en presencia del etanol que demuestra una reacción. Caso contrario, si se tiene presencia de una bebida alcohólica mixtificada, ya que, el indicador químico no tiene condiciones para interactuar con el metanol y no quedará registrada ninguna reacción colorimétrica en la muestra.

6.4. Características de Diseño

Para analizar los datos obtenidos de la investigación se usan datos cuantitativos para generar comparaciones numéricas y estadísticas, evidenciando esas comparaciones en los fenómenos colorimétricos para la presencia de metanol y etanol en las muestras a analizar mediante un indicador colorimétrico (Ver Tabla 6). De tal forma, el yodo es el compuesto químico seleccionado como el indicador, con el fin de observar la tinción y producir una clasificación entre presencia de etanol y metanol en la bebida alcohólica de muestreo, por medio de la prueba, se obtiene:

- No presenta tinción: Gran presencia de etanol en la muestra
- Pequeña tinción de color amarillo: Pequeña presencia de metanol en la muestra
- Tinción amarilla traslucido: Presencia media de metanol en la muestra
- Tinción amarilla fuerte: Gran presencia de metanol en la muestra.

Tabla 6*Determinación de características de diseño*

Característica	Definición	Operación
Presencia de alcohol etílico	Se reconocen algunas bebidas alcohólicas en el mundo con una medición alcohólica del 96%. Sin embargo, no es recomendable bebidas alcohólicas con una graduación mayor al 70% (Decreto 1686, 2012).	<p>La presencia del C_2H_5OH será reconocida mediante el indicador con la siguiente tinción:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Transparente: ALTA presencia de etanol • Tenue de amarillo: BAJA presencia de etanol • Amarillo notorio: NINGUNA presencia de etanol
Presencia de alcohol metílico	El contenido de metanol en las bebidas alcohólicas se expresa como “1000mg de metanol por cada 100mL de alcohol anhidro”. A su vez el máximo tolerado por la norma en vigencia es 300mg/100mL alcohol anhidro, tanto en bebidas destiladas como en fermentadas (González et al., 2020 & Sánchez 2005).	<p>Por medio del indicador colorimétrico se reconoce la presencia del CH_3OH en bebidas alcohólicas mayores a 300mg/100mL y será reconocida con la siguiente tinción:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Transparente: NINGUNA presencia de metanol • Tenue de amarillo: MEDIA presencia de metanol • Precipitado amarillo: MEDIA presencia de metanol • Amarillo notorio: ALTA presencia de metanol
Yodo	Es un elemento químico de numero atómico 53 ubicado en el grupo de los alógenos de la tabla periódica, se emplea principalmente en medicina, fotografía y como colorante (NIH, s.f.)	El yodo en presencia del metanol al ser no demostrará reacción alguna, si se encuentra en presencia del etanol se verá una reacción colorimétrica, pasando en un color amarillo a uno traslucido, por ser un alcohol primario.
Hidróxido de Sodio	Es una sustancia altamente versátil que se utiliza en una variedad de procesos de fabricación. El hidróxido de sodio es un coproducto de la producción de cloro (Chemical Safety Facts, s.f.)	Es un compuesto que servirá como estabilizante en el indicador colorimétrico.

Fuente. Descripción de las características de diseño (Elaboración propia).

VII. ANÁLISIS DE RESTRICCIONES

En cuanto a la solución planteada para el problema, se hace necesario detallar aspectos legales, ambientales, económicos, socioculturales, éticos, de salud y seguridad. Mediante lo anterior se identifican los posibles factores que generen cuellos de botella en la solución con el fin de determinar las mejoras que se lleguen a requerir.

7.1. Legales

Las especificaciones legales del proyecto de investigación se encuentran en el marco teórico del documento, específicamente en la sección 5.7 y 5.8 del documento. Sin embargo, es importante resaltar las normativas de los compuestos que serán usados para la elaboración del indicador colorimétrico para la detección de bebidas alcohólicas mixtificadas. Teniendo en cuenta la Resolución número 561 del 2019 por el Ministerio de Salud y Protección Social en donde se establecen los procedimientos de inscripción y verificación de los laboratorios que realicen pruebas para eventos de interés en salud pública y de inspección, vigilancia y control sanitario en la Red Nacional de Laboratorios o en sus siglas RELAB (Resolución 561, 2019).

7.2. Ambientales

La detección de metanol por medio del análisis colorimétrico utilizando como indicador se dará por medio del yodo, el cual se reconoce como un elemento natural que se encuentra en el agua de mar y en ciertas rocas y sedimentos. Hay formas de yodo no radiactivo y radiactivo. Se suele utilizar como desinfectante, se usa en jabones, y para purificar el agua (NCBI, 2021). En cuanto a restricciones ambientales presenta toxicidad acuática aguda y el valor límite ambiental para su uso se encuentra en el 0.1 ppm.

7.3. Económicas

En el aspecto económico, la solución está sujeta a los costos totales, beneficios y análisis de mercado, con esto se determinará el precio de venta. En cuanto a la producción del producto estará limitada al financiamiento del proyecto.

7.4. Salud y Seguridad



En relación con la salud y seguridad se plantean restricciones principalmente para los reactivos necesarios para el producto, a continuación, se resumen las tablas de seguridad del yodo y del hidróxido de sodio (Ver Tabla 7).

7.5. Sociocultural

Respecto a las restricciones socioculturales se tienen en cuenta las siguientes condiciones y/o limitaciones:

- El producto se encuentra diseñado para las personas mayores de edad que según la Ley 27 de 1977, el Congreso de Colombia decreta que “Para todos los efectos legales llámese mayor de edad, o simplemente mayor, a quien ha cumplido diez y ocho (18) años” (Función Pública, 2021). Además, de la Ley 30 de 1986 donde se adopta el Estatuto Nacional de Estupefácientes y se dictan otras disposiciones y la Ley 124 de 1994, por la cual se prohíbe el expendio de bebidas embriagantes a menores de edad y se dictan otras disposiciones.
- El producto se puede distribuir a bares y discotecas con autorizaciones legales de venta y comercialización de bebidas alcohólicas.

Tabla 7
Especificaciones de seguridad de reactivos

YODO	
Declaraciones de peligro	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Es nocivo en contacto con la piel o si se inhala ▪ Provoca irritación cutánea, ocular y respiratoria ▪ Perjudica algunos órganos por exposición prolongada o repetida en caso de ingestión
Consejos de precaución	<p>Utilizar elementos de protección personal (EPP) para su uso.</p> <p>En caso de contacto con la piel:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Lavar con abundante agua. <p>En caso de inhalación:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Transportar a la persona al aire libre y mantenerla en una posición que facilite la respiración. <p>En caso de contacto con los ojos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Enjuagar con agua cuidadosamente durante varios minutos, retirar los lentes si están presentes y son fáciles de quitar. <p>Llamar a un CENTRO DE TOXICOLOGÍA/medico si la persona se encuentra mal</p>
Pictogramas de peligro	
HIDRÓXIDO DE SODIO	
Declaraciones de peligro	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Puede ser corrosivo para los metales ▪ Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves
Consejos de precaución	<p>No respirar el polvo o la niebla.</p> <p>Utilizar elemento de protección personal (EPP) para su uso.</p> <p>En caso de contacto con la piel o el pelo:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Quitar toda la ropa contaminada y enjuagar la piel con agua. <p>En caso de inhalación:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Transportar a la persona al aire libre y mantenerla en una posición que facilite la respiración. <p>En caso de contacto con los ojos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Enjuagar con agua cuidadosamente durante varios minutos, retirar los lentes si están presentes y son fáciles de quitar. <p>Llamar a un CENTRO DE TOXICOLOGÍA/medico si la persona se encuentra mal</p>
Pictogramas de peligro	

Fuente. Hojas de seguridad tomadas de Merck, 2021.

- Se pueden establecer convenios con la Federación Nacional de Departamentos, junto a todos los actores involucrados en la lucha anticontrabando en Colombia, especialmente la DIAN y la POLFA, que contribuya de forma contundente en la lucha contra el mercado ilegal de bebidas alcohólicas.

7.6. Ética

Dentro de las restricciones éticas es importante reconocer que dentro del desarrollo del proyecto de investigación todos los procesos, procedimientos, registros, licitaciones y documentación ejecutada va conforme a los lineamientos éticos y morales de la Universidad EAN y del Consejo Profesional de Ingeniería Química.

VIII. METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN Y ESPECIFICACIONES DE DISEÑO

Teniendo en cuenta los estudios previos para el proyecto de investigación, la metodología de selección y el diseño de tipo experimental se muestran dentro de todo el desarrollo del capítulo.

8.1. Muestra

El objeto de muestra corresponde a una botella de Tequila, comercializada en la ciudad de Bogotá, recolectada en puntos de venta cercanos al sitio de desarrollo de la investigación.

8.2. Criterios de Selección y Tamaño de la Muestra

Teniendo en cuenta que las muestras se tomarán en dos puntos de venta, se realizará un muestreo intencional en presentaciones de 750 mL para efectos prácticos y la muestra se tomará por triplicado, con una alícuota de 0 a 10 mL aproximadamente del Tequila seleccionado.

8.3. Condiciones de Recolección

La recolección de la muestra no necesita esterilización. Sin embargo, se debe tener en cuenta una seguridad en la toma de la muestra, debe sellarse adecuadamente para que no entre ningún agente que interfiera con el dato final.

Añadiendo, se debe procurar que la muestra se tome en su recipiente original y en las cantidades descritas, en materiales y métodos.

8.4. Condiciones del Recolector

Las personas que recolectan las muestras deben roturarlas muy bien antes de analizarlas y no es necesario recurrir a condiciones especiales de protección para el recolector, es decir, no requiere medidas de protección altas para la recolección de la muestra. Sin embargo, durante el procedimiento en el laboratorio es necesario trabajar con las implementaciones de bioseguridad necesarias (guantes, cofia, bata, gafas de seguridad).

8.5. Criterios de Rechazo

Las muestras no serán realizadas cuando no cumplan con alguno de los requisitos:

- Cantidad de muestra inferior a la requerida
- Cantidad de muestra superior a la requerida
- Contaminantes en los recipientes
- Muestra contaminada en el proceso
- La muestra no tiene un sellamiento adecuado lo que permite involucrar agentes externos

8.6. Reactivos, Equipos y Materiales

Los materiales para utilizar en el desarrollo de la investigación para la determinación de presencia de metanol y etanol en bebidas alcohólicas (Tequila) se muestran de manera detallada en la Tabla 8. Teniendo en cuenta la cantidad, condiciones de uso, seguridad, clase de riesgo, medidas de seguridad y que hacer en caso de presentar un accidente durante el desarrollo del proceso de investigación.

Tabla 8*Reactivos, equipos y materiales.*

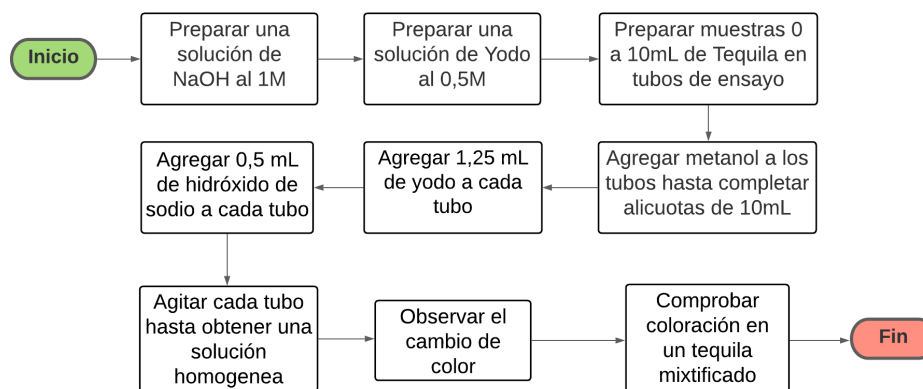
Reactivos				
Cantidad	Nombre	Clase de riesgo	Medidas de seguridad	En caso de accidente
165 ml	Muestra de alcohol (Tequila)	Líquido inflamable	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Alejar del calor ▪ Manipular con EPP 	Quitar prendas contaminadas, aclarar piel con agua
8g	Yodo	Tóxico	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Manipular con EPP 	Quitar prendas contaminadas, aclarar piel con agua
5g	Hidróxido de Sodio	Corrosivo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Manipular con EPP 	Quitar prendas contaminadas, aclarar piel con agua
165 ml	Metanol	Líquido inflamable Tóxico	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Alejar del calor ▪ Manipular con EPP 	Quitar prendas contaminadas, aclarar piel con agua
200 ml	Agua destilada	No aplica	<ul style="list-style-type: none"> ▪ No aplica 	No aplica
Equipos				
1	Balanza	No aplica	Manipular con cuidado	No aplica
Materiales				
36	Tubos de ensayo	No aplica	Manipular con cuidado	No aplica
4	Vasos de precipitado de 250 ml	No aplica	Manipular con cuidado	No aplica
2	Vasos de precipitado de 50 ml	No aplica	Manipular con cuidado	No aplica
2	Probeta de 10 ml	No aplica	Manipular con cuidado	No aplica
2	Balón aforado de 100 ml	No aplica	Manipular con cuidado	No aplica
2	Pipetas de 2 mL	No aplica	Manipular con cuidado	No aplica
2	Espátulas	No aplica	Manipular con cuidado	No aplica

Fuente. Elaboración propia datos tomados de Fisher Scientific, 2017.

De otra forma, el procedimiento que se lleva a cabo para determinar la presencia de metanol y etanol en las bebidas alcohólicas se muestra en la Figura 1.

Figura 1

Procedimiento para determinar la presencia de etanol y metanol.



Nota. La figura representa el procedimiento de laboratorio para la elaboración de un indicador químico para la detección rápida de metanol. *Fuente.* Elaboración propia con datos tomados de Nuffield Foundation *et al.*, s.f.

Posteriormente al desarrollo antes descrito, generando 10 muestras con su triplicado para mayor confiabilidad en el proceso, siendo una totalidad de 30 muestras, para la verificación de la metodología (Ver Tabla 9).

Tabla 9

Toma de muestras de presencia de metanol y etanol (muestra de Tequila).

Metanol (mL)	Tequila (mL)	Solución Yodo (mL)	Solución NaOH (mL)
0	10	1,25	0,5
1	9	1,25	0,5
2	8	1,25	0,5
3	7	1,25	0,5
4	6	1,25	0,5
5	5	1,25	0,5
6	4	1,25	0,5
7	3	1,25	0,5
8	2	1,25	0,5
9	1	1,25	0,5
10	0	1,25	0,5

Fuente. Elaboración propia.

De tal manera, en el proceso de desarrollo, se establecen tres tipos de muestras en blanco siendo la primera un 100% de metanol, la segunda un 100% de etanol y finalmente 100% del Tequila seleccionado como la muestra de bebida alcohólica, para determinar la tinción colorimétrica que presentan en contacto con la yodometría. Por otro lado, como se muestra en la Tabla 9 se espera verificar la colorimetría de las muestras en diferentes concentraciones de metanol y la bebida alcohólica selecciona; el Tequila.

8.7. Preparación solución de Hidróxido de Sodio (NaOH) al 1 M

La cantidad previamente calculada para la valoración de la solución de 1 M de NaOH en 25 mL se encuentran desarrolladas dentro de la Ec. (1).

$$M = \frac{\text{moles de Solute}}{\text{L de solución}} \quad (1)$$

$$1 \text{ M} = \frac{\text{moles de Solute}}{0,025 \text{ L de solución}}$$

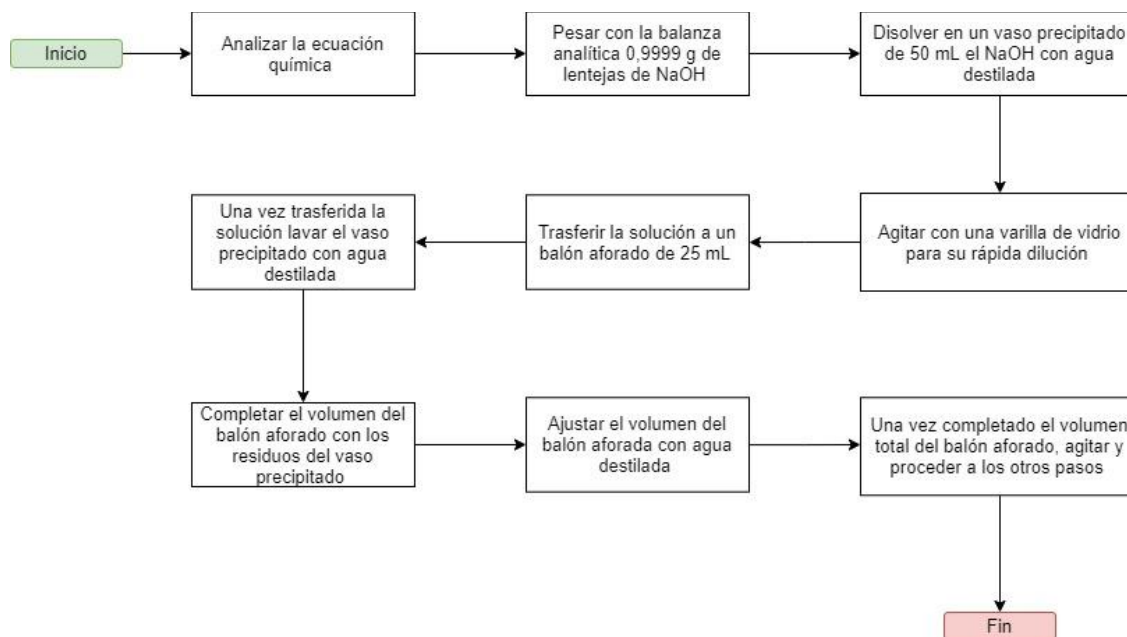
$$1 \frac{\text{mol}}{\text{L}} * 0,025 \text{ L} = 0,025 \text{ moles de NaOH}$$

$$0,025 \text{ moles de NaOH} * \frac{39,997 \text{ g NaOH}}{1 \text{ mol de NaOH}} = 0,9999 \text{ g de NaOH}$$

El procedimiento para la preparación de la solución de NaOH se muestra en la Figura 2.

Figura 2

Procedimiento preparación solución NaOH en 1 M.



Fuente. Elaboración propia.

8.8. Preparación solución de Yodo (I) al 0.5 M

Para la preparación de la solución de Yodo al 0,5 M se hace necesario preparar una solución de Yoduro de potasio al 0,2 M.

Las cantidades previamente calculadas para la valoración de la solución de 0,5 M de I en 50 mL se encuentran desarrolladas dentro de la Ec. (1). A continuación, se desarrollan los procesos para cada solución.

$$0,2M = \frac{\text{moles de Solute}}{0,250 L \text{ de solución}}$$

$$0,2 \frac{\text{mol}}{L} * 0,250 L = 0,05 \text{ moles de KI}$$

$$0,05 \text{ moles de KI} * \frac{166,01 g KI}{1 \text{ mol de KI}} = 8,3005 g \text{ de KI}$$

$$0,5M = \frac{\text{moles de Solute}}{0,050 L \text{ de solución}}$$

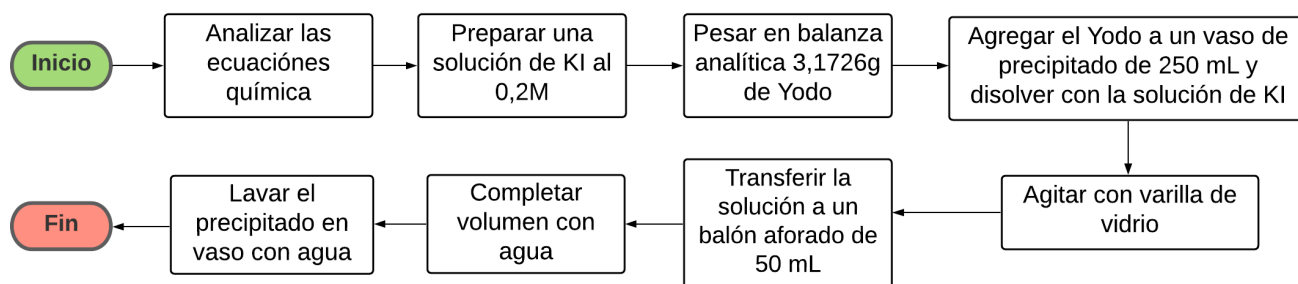
$$0,5 \frac{\text{mol}}{L} * 0,050 L = 0,025 \text{ moles de I}$$

$$0,025 \text{ moles de I} * \frac{126,904 \text{ g I}}{1 \text{ mol de I}} = 3,1726 \text{ g de I}$$

El procedimiento para la preparación de la solución de I se muestra en la Figura 3.

Figura 3

Procedimiento preparación solución I en 0,5 M.



Fuente. Elaboración propia

8.9. Metodología alternativa de comparación

Teniendo en cuenta las metodologías mencionadas en los estudios previos de la sección 6.1, se pretende demostrar que mediante la metodología de determinación de metanol y etanol por medio de técnicas colorimétricas con la ayuda de procesos de yodometría, es un proceso de fácil implementación, con pocos costos en el involucramiento de materias primas y procesos de producción. Además, de demostrar que es una técnica sencilla y no requiere de tener un gran conocimiento y capacitación de equipos y/o instrumentos de laboratorio para ser ejecutada con éxito obteniendo los resultados esperados, lo que permite que sea una técnica de fácil acceso a la población para su implementación en la verificación de bebidas alcohólicas y el reconocimiento

de las que no representan una seguridad pública y que puedan representar riesgos en la salud y vida de los consumidores de estos mercados.

IX. ANÁLISIS DE COSTOS DE DISEÑO

En cuanto al análisis de costos, es preciso detallar los pertinentes al desarrollo del kit de detección de metanol en bebidas mixtificadas. A continuación, se presentan en la Tabla 10 los componentes de este:

Tabla 10
Costos unitario por kit

Reactivos y materiales	Cantidad requerida	Precio (COP)
Hidróxido de Sodio (NaOH)	1g	\$189973,00/kg
Yodo (I)	3,1726 g	\$413637,13/100g
Tubos de ensayo	3	\$1104/unidad
Gotero	2	\$1399/unidad
Caja	1	\$8999/unidad





Fuente. Elaboración propia con datos tomados de Merck y de MercadoLibre, s.f.

Teniendo en cuenta los precios anteriores y las cantidades necesarias, se determina el costo total correspondiente a un kit, el cual es de \$28.422 COP.

X. PROTOTIPADO O DISEÑO CONCEPTUAL

Teniendo en cuenta la metodología para la identificación de metanol en tequila por colorimetría, se obtuvieron los resultados observados en la Tabla 11.

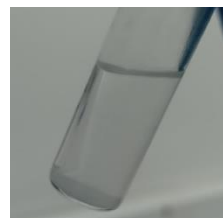
Tabla 11
Registro fotográfico de la metodología

Descripción	Registro Fotográfico
Ensayo I	
Duplicado	
Triplicado	
Muestra en blanco Tequila Ensayo I	

Muestra en blanco Tequila duplicado



Muestra blanco de Etanol



Muestra blanco de Metanol



Fuente. Elaboración propia.

Para entender la formación del precipitado en las muestras, la reacción sucede en dos etapas, la primera que consiste en la sustitución de los grupos hidrógenos del grupo metilo por átomos de yodo, y la segunda en donde sucede la hidrolisis del enlace CI_3 y el resto de la molécula formando yodoformo y una sal ácida como se muestra en la Figura 4 (Clark J., 2013).

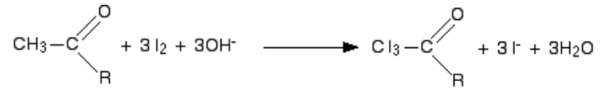
De tal forma, de acuerdo con las imágenes anteriormente expuestas, se observa que en los tres ensayos que se ejecutaron, el yodo reacciona con el etanol presente del tequila seleccionado, demostrando un aspecto menos traslucido y en algunas ocasiones un precipitado amarillo que será característico del yodoformo, determinando que el etanol es el único alcohol primario que da positivo para la prueba. Por otro lado, se puede observar que en una presencia total del metanol no

se presenta una reacción con los reactivos de la prueba y en una presencia total de etanol una representación totalmente traslucida.

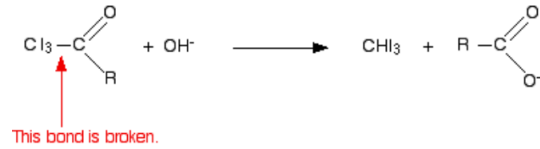
Figura 4

Etapas para la formación de yodoformo

Sustitución



Hidrólisis



Nueva molécula



Fuente. Imágenes tomadas de Clark, 2020.

Al entender el proceso anterior, se puede confirmar la fiabilidad del método propuesto para la detección de metanol en bebidas alcohólicas de uso recreacional y determinar si son bebidas adulteradas y/o mixtificadas.

XI. CONCLUSIONES

- Se reconoce que por medio de la reacción de yodoformo es posible la determinación y presencia de metanol y etanol en una prueba de Tequila, representando colorimétricamente una tinción amarilla en presencia del metanol y sin tinción cuando reacciona con etanol, por ser un alcohol primario.
- La prueba de yodometría es un procedimiento que puede contribuir en estrategias de detección rápida para estos compuestos, en comparación con estrategias de alta rigurosidad e implementación de instrumentos y/o equipos de alta gama.
- La detección de metanol y etanol mediante el método colorimétrico resulta ser ventajoso a nivel de costos de producción ya que no requiere de equipos especializados.
- Se examinó de manera correcta la implementación del Decreto 1686 de 2012 por el Ministerio de Salud y Protección Social de acuerdo con el reconocimiento de las definiciones y normativas respecto a las bebidas alcohólicas mixtificadas.
- El procedimiento se puede utilizar en el sector comercial en bares, discotecas, además se pueden establecer convenios con la Federación Nacional de Departamentos, junto a los actores involucrados en la lucha anticontrabando en Colombia.
- Ya que el producto involucra la venta y consumo de bebidas alcohólicas en el territorio nacional, se encuentra sujeto a las disposiciones de la Ley 27 de 1977, la Ley 30 de 1986 en donde se adopta el Estatuto Nacional de Estupefacientes y finalmente la Ley 124 de 1994, por la cual se prohíbe el expendio de bebidas embriagantes a menores de edad.

XII. RECOMENDACIONES

Para el desarrollo de trabajos futuros se recomienda la implementación de otros tipos de muestras de bebidas alcohólicas para determinar la eficiencia y eficacia del proceso en diversidad de bebidas de uso recreativo. Pues como bien se demuestra en el desarrollo de la investigación, solo se tuvo como muestra el Tequila, que, aunque demostró muy buenos resultados y se determinó que sirve con éxito la metodología planteada, es necesario su verificación ante más muestras y ensayos con diferentes tipos de bebidas alcohólicas.

XIII. AGRADECIMIENTOS

Los autores reconocen y agradecen a Valentina Devia Maldonado por permitir el seguimiento y/o continuación del proyecto de investigación. De igual forma, reconocemos el esfuerzo, dedicación y ayuda que presto la tutora del proyecto Liliana Margarita Meza Buelvas. Por último, agradecemos a la Universidad EAN por permitir el uso de las instalaciones para el desarrollo del proyecto de investigación.

XIV. REFERENCIAS

ARL Sura. (s.f). *Hoja de Seguridad: Etanol*. <https://www.arlsura.com/files/hojas/etanol.pdf>

Arteaga, N. (2014). *Fabricar y vender licor falso podría traducirse en penas de hasta 10 años*.

<https://www.asuntoslegales.com.co/actualidad/fabricar-y-vender-licor-falso-podria-traducirse-en-penas-de-hasta-10-anos-2204566>

BBC Mundo. (2014). *El consumo de alcohol se inició hace 10 millones de años*.

https://www.bbc.com/mundo/noticias/2014/12/141202_consumo_alcohol_ancestros_encima_lp#:~:text=La%20teor%C3%ADa%20prevaleciente%20en%20cuanto,fermentaci%C3%B3n%20transform%C3%A1ndolo%20en%20bebidas%20alcoh%C3%B3licas.

Carretero, F. (2006). *Procesos de fabricación de bebidas alcohólicas. Innovación tecnológica en la industria de bebidas*.

https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/4867/03_Memoria.pdf?sequence=4

Centro Nacional de Información Biotecnológica (2021). *Resumen de compuestos de PubChem para CID 807, yodo*.

<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Iodine>

Chemical Safety Facts. (s.f). *Hidróxido de Sodio*. Recuperado de

<https://www.chemicalsafetyfacts.org/es/hidroxido-de-sodio>

Clark, J. (2020). The Triiodomethane (Iodoform) Reaction. Chemistry LibreTexts.

[https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Organic_Chemistry/Supplemental_Modules_\(Organic_Chemistry\)/Aldehydes_and_Ketones/Reactivity_of_Aldehydes_and_Ketones/The_Triiodomethane_\(Iodoform\)_Reaction](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Organic_Chemistry/Supplemental_Modules_(Organic_Chemistry)/Aldehydes_and_Ketones/Reactivity_of_Aldehydes_and_Ketones/The_Triiodomethane_(Iodoform)_Reaction)

Congreso de Colombia. (16 de julio de 1979). *Ley 9 de 1979*. [Ley 9 de 1979]. https://www.invima.gov.co/documents/20143/430795/ley_9_1979.pdf/c5800052-ac5e-475e-3025-4f26cae45c57

Cornejo, M. (s.f). *Aplicaciones del alcohol etílico*.

<https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/prepa3/n5/m7.html#refe1>

Cuéllar, A., (2014). *Desarrollo de un sensor interdigitado diferencial para la identificación de contenido de metanol en bebidas alcohólicas adulteradas*.

<https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/16962/u703284.pdf?sequence=1>

De La Rosa Vázquez, J. M., Fabila-Bustos, D. A., Quintanar-Hernández, L. F. D. J., Valor, A., & Stolik, S. (2015). *Detection of Counterfeit Tequila by Fluorescence Spectroscopy*. *Journal of Spectroscopy*, 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/403160>

Durán, A., Cordon, K., & Rodríguez, M. (2013). *Edulcorantes no nutritivos, riesgos, apetito y ganancia de peso*. Universidad San Sebastián de Chile.

<https://scielo.conicyt.cl/pdf/rchnut/v40n3/art14.pdf>

EMPROVE. (2012). *Ficha de datos de seguridad del metanol*.

https://www.javeriana.edu.co/documents/4486808/5015300/METANOL+_MERCK.pdf/86a7addb-1698-46b5-a69d-f34b5f78a2ba?version=1.0

- Escobar, J., (2020). *Pandemia dispararía el consumo de licor ilegal y del adulterado*.
<https://www.google.com/amp/s/www.eltiempo.com/amp/economia/sectores/los-efectos-de-la-pandemia-sobre-el-comercio-legal-del-alcohol-528134>
- Euromonitor Consulting. (2016). *MERCADO DE BEBIDAS ALCOHOLICAS ILEGALES EN SEIS PAISES DE LATINOAMERICA 2015*. https://go.euromonitor.com/rs/805-KOK-719/images/Illegal%20Alcohol%20in%20Latin%20America_Full%20Report%2012.20%20SP.pdf
- Gamarra, J., Díaz, S., Muñoz, M., & Gómez, L. (2017). *Comportamiento epidemiológico de los casos de intoxicaciones por metanol en Colombia, 2008 – 2015*.
<https://www.ins.gov.co/buscador/IQEN/IQEN%20vol%2022%202017%20num%205.pdf>
- García, A. B. (2019). *Aplicación de técnicas de resonancia magnética nuclear al estudio de miosistemas*. Dialnet.unirioja.es. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=223306>
- Gau, N., & Scott, M. G. (2018). Fill in the Gaps: An Unresponsive 55-Year-Old Man. *Clinical chemistry*, 64(7), 1001–1004. <https://doi.org/10.1373/clinchem.2017.280842>
- Glosario Técnico Multimedia. (s.f.). *Destilación continua*.
http://ares.cnice.mec.es/gtm/web/index_es_resultado_final.php?num=1118866%7C&Buscar=Destilaci%C3%B3n%20continua%20o%20fraccionada%7C&volver=Destilaci%C3%B3n%20continua%20o%20fraccionada&cual=0>m=733ea069987e91dbc4d2eff6cc729bbd
- GestarSalud. (2020). *Serios problemas de salud pública han dejado el aumento en ventas de alcohol adulterado en Colombia*. <https://gestarsalud.com/2020/11/04/serios-problemas-de-salud-publica-ha-dejadoel-aumento-en-ventas-de-alcohol-adulterado-en-colombia/>

González Seguí, Héctor Óscar, Hernández López, José de Jesús, & Hendrik Giersiepen, Jan. (2020). *Metanol: tolerancias y exigencias en las normas para mezcal y bebidas de agave*. RIVAR (Santiago), 7(19), 1-21. <https://dx.doi.org/10.35588/rivar.v7i19.4246>

Guerri, C. *Como actúa el alcohol en nuestro cerebro*. <https://www.elsevier.es/es-revista-trastornos-adictivos-182-articulo-como-actua-elalcohol-nuestro-10016452>

Gürler, M., Martz, W., Taştekin, B., Najafova, T., & Dettmeyer, R. B. (2020). *Estimates of Non-Alcoholic Food-Derived Ethanol and Methanol Exposure in Human*. *Journal of analytical toxicology*, bkaa198. Advance online publication. <https://doi.org/10.1093/jat/bkaa198>

Harrison, Roger G., Todd, Paul, Rudge, Scott R., Petrides D.P. *Bioseparations Science and Engineering*. Oxford University Press, 2003.

Han, J., Li, Z., Shi, P., Li, F., Duan, Y., & Han, T. (2017). *A chemosensor for fingerprinting liquors: Implication for differentiation and identification*. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 248, 101–107. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2017.03.141>

Instituto Nacional de Salud. (2010). *Protocolo de vigilancia y control de intoxicaciones por Metanol*. https://www.minsalud.gov.co/comunicadosPrensa/Documents/INTOXICACION_POR_METANOL.pdf

INVIMA. (s.f). *Bebidas Alcohólicas*. <https://www.invima.gov.co/bebidas-alcoholicas>

Ley 30 de 1986. [Congreso de Colombia]. Por la cual se adopta el Estatuto Nacional de Estupefacientes y se dictan otras disposiciones. 31 de enero de 1986

Ley 124 de 1994. [Congreso de Colombia]. Por la cual se prohíbe el expendio de bebidas embriagantes a menores de edad y se dictan otras disposiciones. 15 de febrero de 1994

Ley 27 de 1977 - EVA - Función Pública. [Funcionpublica.gov.co](http://funcionpublica.gov.co). (2021).

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=4965>.

Tequila Tapatio. (s.f.). *Maduración*. <http://www.tequilatapatio.mx/es/la-altena/proceso/maduracion>

Medecins Sans Frontieres. (s.f.). *Alcohol Etílico*.

<https://medicalguidelines.msf.org/viewport/EssDr/latest/alcohol-etilico-etanol22286288.html>

MedlinePlus. (s.f.). *Consumo y nivel seguro de alcohol*.

<https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/001944.htm>

Mercado Libre Colombia - *Envíos Gratis en el día*. (n.d.). [Www.mercadolibre.com.co](http://www.mercadolibre.com.co).

<https://www.mercadolibre.com.co/>

Merck (2021). *Hojas de seguridad del Yodo y del Hidróxido de sodio*

https://www.merckmillipore.com/CO/es/product/Iodine,MDA_CHEM-104761

Merck. (2021). *Products*. [Sigmaaldrich.com](http://sigmaaldrich.com). <https://doi.org/Dogri>

Ministerio de Salud Pública de República Dominicana. (2021). *Actualización alerta*

epidemiológica - Intoxicación por metanol debido a consumo de alcohol adulterado. 5 de abril del 2021.

<http://digepisalud.gob.do/docs/Vigilancia%20Epidemiologica/Alertas%20epidemiologicas/Intoxicacion/Alerta%20Intoxicacion%20por%20metanol%20consumo%20de%20alcohol%20adulterado%205-4-2021.pdf>

Ministerio de Salud y Protección Social. (2010). *Protocolo de vigilancia y control de intoxicaciones por metanol.*

https://www.minsalud.gov.co/comunicadosPrensa/Documents/INTOXICACION_POR_METANOL.pdf

Ministerio de Salud y Protección Social. (9 de agosto de 2012). *Decreto número 1686 de 2012.* [Decreto 1686 de 2912].

https://www.invima.gov.co/documents/20143/430795/decreto_1686_2012.pdf/f02f9018-4654-a809-9a1a-648c241bc3c2

Ministerio de Salud y Protección Social. (12 de agosto de 2014) *Decreto número 1506 de 2014.* [Decreto 1506 de

2014]. <https://www.invima.gov.co/documents/20143/430695/DECRETO+1506+DEL+12+DE+AGOSTO+DE+2014.pdf/65c09819-4b61-0611-f800-781a613e32c3>

Ministerio de Salud y Protección Social. (2020). *ANÁLISIS DE IMPACTO NORMATIVO*

DECRETO 1686 DE 2012 “POR EL CUAL SE ESTABLECE EL REGLAMENTO TÉCNICO SOBRE LOS REQUISITOS SANITARIOS QUE SE DEBEN CUMPLIR PARA LA FABRICACIÓN, ELABORACIÓN, HIDRATACIÓN, ENVASE, ALMACENAMIENTO, DISTRIBUCIÓN, TRANSPORTE, COMERCIALIZACIÓN, EXPENDIO, EXPORTACIÓN E IMPORTACIÓN DE BEBIDAS ALCOHÓLICAS DESTINADAS PARA CONSUMO HUMANO”. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SA/analisis-impacto-normativo-bebidas-alcoholicas.pdf>

NIH. (s.f). *Yodo: Hoja de vida consumidores.* <https://ods.od.nih.gov/factsheets/Iodine-DatosEnEspañol/>

Najari, F., Baradaran, I., & Najari, D. (2020). *Methanol Poisoning and Its Treatment*. International Journal of Medical Toxicology and Forensic Medicine, 10(1), 26639.

Nuffield Foundation and the Royal Society of Chemistry (s.f.). *A test to distinguish between ethanol and methanol*. RSC Education. <https://edu.rsc.org/experiments/a-test-to-distinguish-between-ethanol-and-methanol/548.article>

Quintero Arenas, M. A., Meza-Márquez, O. G., Velázquez-Hernández, J. L., Gallardo-Velázquez, T., & Osorio-Revilla, G. (2020). *Quantification of adulterants in mezcal by means of FT-MIR and FT-NIR spectroscopy coupled to multivariate analysis*. CYTA - Journal of Food, 18(1), 229-239.

doi:10.1080/19476337.2020.1740327. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0->

85082565453&doi=10.1080%2f19476337.2020.1740327&partnerID=40&md5=f7c7c666c77ce70e20f339f1d8561d55

REAL ACADEMIA ESPAÑOLA: Diccionario de la lengua española, 23.^a ed., [versión 23.4 en línea]. <<https://dle.rae.es>> [21 de Octubre de 2021].

Resolución 561 de 2019. [Ministerio de Salud y Protección Social]. Por la cual se establecen los procedimientos de inscripción y verificación de los laboratorios que realicen pruebas para eventos de interés en salud pública y de inspección, vigilancia y control sanitario en la Red Nacional de Laboratorios-RELAB. 4 de marzo de 2019

Rico Galicia, Antonio et al. (2008). Química I, Agua y Oxígeno. UNAM

Sánchez, M. (2005). *Determinación de metanol en bebidas alcohólicas fermentadas tradicionales y populares de mayor consumo en dos regiones de la república de Guatemala por cromatografía de gases*. Universidad de San Carlos Guatemala en http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06_2379.pdf

Salud Capital. (s.f). *Bebidas alcohólicas*.

<http://www.saludcapital.gov.co/sitios/VigilanciaSaludPublica/Protocolos%20de%20Vigilancia%20en%20Salud%20Publica/Bebidas%20Alcoholicas.pdf>

Semana. (2016). *El gobierno colombiano deja de recibir US\$400 millones anuales a causa del alcohol ilegal*. <https://www.semana.com/pais/articulo/elgobierno-colombiano-deja-de-recibir-us400-millones-anuales-a-causa-del-alcoholilegal/219355/>

Stauffer, E., Dolan, J. A., & Newman, R. (2008). *CHAPTER 8-Gas chromatography and gas chromatography—mass spectrometry*. Fire debris analysis, 235-293.

Teipel, J. C., Hausler, T., Sommerfeld, K., Scharinger, A., Walch, S. G., Lachenmeier, D. W., & Kuballa, T. (2020). *Application of 1H Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy as Spirit Drinks Screener for Quality and Authenticity Control*. *Foods*, 9(10), 1355.

doi:10.3390/foods9101355. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85092232800&doi=10.3390%2ffoods9101355&partnerID=40&md5=e997e13fac726bac71070fe1414ad0fe>

Téllez, J., & Cote, M. (2006). *ALCOHOL ETÍLICO: Un tóxico de alto riesgo para la salud humana socialmente aceptado*. Universidad Nacional de Colombia en <http://www.scielo.org.co/pdf/rfmun/v54n1/v54n1a05.pdf>

- UNAM. (2016). *Hoja de seguridad IX Metanol*. <https://quimica.unam.mx/wp-content/uploads/2016/12/9metanol.pdf>
- Van Kempen, T. (2001). *Infrared technology in animal production*. *World's Poultry Science Journal*, 57(1), 29-48.
- Villanueva, B., Ferrer, A., Civeira, E., Gutiérrez, I., Laguna, M., & Cerrada, E. (2002). *Intoxicación por metanol*. <https://www.medintensiva.org/es-intoxicacion-por-metanol-articulo-13033600>
- Vlex. (2014). *Proyecto de Ley 196 de 2014 Senado*. <https://vlex.com.co/vid/proyecto-ley-196-2014-senado-509901626>
- World Health Organization. (2014). *Information Note: Methanol Poisoning Outbreaks*. https://www.who.int/environmental_health_emergencies/poisoning/methanol_information.pdf
- Zamani, N., Rafizadeh, A., Hassanian-Moghaddam, H. et al. (2019). *Evaluation of methanol content of illegal beverages using GC and an easier modified Chromotropic acid method; a cross sectional study*. *Subst Abuse Treat Prev Policy* 14, 56. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85076690127&doi=10.1186%2fs13011-019-0244-z&partnerID=40&md5=8941df54073225d0b0ecc90cb8293f34>
- Zyoud, S. H., Al-Jabi, S. W., Sweileh, W. M., Awang, R., & Waring, W. S. (2015). *Bibliometric profile of the global scientific research on methanol poisoning (1902–2012)*. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, 10(1)