**ARBOL DE PROBLEMA**
**ANÁLISIS DE IMPACTO NORMATIVO**

# PARÁMETROS DE CALIDAD DE ETANOL ANHIDRO COMBUSTIBLE Y ETANOL ANHIDRO COMBUSTIBLE DESNATURALIZADO

**MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA**
**MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE**

**Bogotá, junio de 2026**

**TABLA DE CONTENIDO**

**1.** ANTECEDENTES Y CONTEXTO ..... 2
**2.** DEFINICIÓN DEL PROBLEMA ..... 6
2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA. ..... 8
2.2 CAUSAS IDENTIFICADAS ..... 9

## 1. ANTECEDENTES Y CONTEXTO

| Campo | Descripción |
|---|---|
| Nombre de la entidad | El Ministerio de Minas y Energía y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. |
| ¿El proyecto normativo corresponde a la modificación de una norma existente? | No, el presente proyecto normativo corresponde a una norma nueva y definitiva que busca establecer disposiciones respecto a los requisitos de |

| | |
|---|---|
| | calidad de etanol anhidro combustible y etanol anhidro combustible desnaturalizado. |

**Contexto**

El uso de biocombustibles en el mercado colombiano se consolidó a partir de la expedición de un conjunto de instrumentos normativos desde comienzos de la década del 2000, mediante los cuales se establecieron las bases legales, técnicas e institucionales para su desarrollo y masificación. La incorporación del alcohol carburante (etanol) y del biodiésel respondió a objetivos asociados con la diversificación de la matriz energética, la reducción de la dependencia de combustibles fósiles, la promoción del desarrollo agroindustrial y la mitigación de emisiones provenientes del sector transporte, tal como se reconoce en los análisis sectoriales de planeación energética sobre combustibles líquidos y biocombustibles en Colombia[1].

En el país, el sector transporte constituye uno de los principales demandantes de energía, especialmente por el uso de combustibles líquidos como la gasolina y el diésel. De acuerdo con la Unidad de Planeación Minero-Energética, la política de oxigenación de gasolinas ha permitido incorporar biocombustibles como el etanol dentro de la matriz de consumo energético del transporte. En este contexto, el Plan Energético Nacional señala que la canasta energética del sector transporte está representada en un 91% de combustibles líquidos fósiles, 6% por biocombustibles y 3% por gas natural[2].

Desde el punto de vista institucional, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible es el organismo rector de la gestión del ambiente y los recursos naturales renovables, encargado de orientar y regular el ordenamiento ambiental del territorio y definir políticas y regulaciones relacionadas con la recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento sostenible de dichos recursos. Esta función se encuentra prevista en el artículo 2, numeral 3, del Decreto 3570 del 27 de septiembre de 2011[3], que define los objetivos y funciones del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. En el marco del presente Análisis de Impacto Normativo (AIN), su participación resulta relevante debido a que los parámetros de calidad del etanol anhidro combustible tienen incidencia directa sobre variables ambientales y operativas asociadas a la calidad del aire, la generación de emisiones atmosféricas, la eficiencia de la combustión y los impactos derivados del transporte, distribución y uso de combustibles en el país.

Por su parte, el Ministerio de Minas y Energía tiene como objetivo formular, adoptar, dirigir y coordinar las políticas, planes y programas del sector minero-energético. Dentro de sus funciones se encuentran la formulación de la política nacional en materia de exploración, explotación, transporte, refinación, procesamiento, transformación y distribución de hidrocarburos y biocombustibles, así como la expedición de

[1] Unidad de Planeación Minero Energética. (2025). *Plan Indicativo de Abastecimiento de Combustibles Líquidos – PIACL 2025-2040*. UPME. https://docs.upme.gov.co/SIMEC/Hidrocarburos/Publicaciones_SIPG/PIACL_2025-2040_final_v2.pdf

[2] Unidad de Planeación Minero-Energética. (2020). *Plan Energético Nacional 2020-2050: La transformación energética que habilita el desarrollo sostenible*. UPME. https://docs.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN_2020_2050/Plan_Energetico_Nacional_2020_2050.pdf

[3] Decreto 3570 del 27 de septiembre de 2011 "Por el cual se modifican los objetivos y la estructura del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y se integra el Sector Administrativo de Ambiente y Desarrollo Sostenible."

reglamentos del sector relacionados con recursos no renovables y biocombustibles, conforme al Decreto 381 del 16 de febrero de 2012[4], modificado por los Decretos 1617 de 2013[5] y 030 de 2022[6]. En consecuencia, la definición de requisitos y parámetros de calidad del etanol anhidro combustible y del etanol anhidro combustible desnaturalizado se ubica dentro del ámbito de competencia sectorial del Ministerio de Minas y Energía, en coordinación con las autoridades ambientales cuando existan implicaciones ambientales asociadas al uso del combustible.

En este mismo marco, el artículo 365 de la Constitución Política establece que los servicios públicos son inherentes a la finalidad social del Estado y que corresponde a este asegurar su prestación eficiente a todos los habitantes del territorio nacional, así como ejercer su regulación, control y vigilancia. Esta disposición adquiere relevancia para el presente análisis, en la medida en que la calidad, disponibilidad y continuidad de los combustibles líquidos y biocombustibles inciden directamente en la movilidad, la actividad productiva, la seguridad energética y el desarrollo económico del país.

El etanol colombiano cumple un papel importante dentro del programa de oxigenación de gasolinas. Según información sectorial de Asocaña, el etanol nacional surte una proporción significativa del biocombustible utilizado en dicho programa y ha contribuido al cumplimiento de metas de descarbonización asociadas con la mitigación de CO2[7].

Adicionalmente, el mercado de biocombustibles, y en particular el del etanol anhidro combustible, presenta características que justifican la intervención regulatoria del Estado. Entre ellas se encuentran la necesidad de contar con estándares técnicos que aseguren la interoperabilidad del producto con la infraestructura existente de refinación, transporte, almacenamiento y mezcla; la mitigación de riesgos asociados a la calidad del producto, tales como corrosión, afectaciones en el desempeño de motores o condiciones de seguridad en el manejo; y la reducción de asimetrías de información que pueden afectar a los agentes de la cadena y a los consumidores finales.

El comportamiento del mercado de alcohol carburante entre 2012 y 2025 evidencia una evolución marcada por el aumento gradual de las ventas nacionales de etanol, alternado con periodos de mayor dependencia de las importaciones. Durante la primera mitad del periodo, las ventas nacionales muestran una tendencia creciente; sin embargo, la caída en el consumo de combustibles asociada a la pandemia generó un descenso significativo en 2020, seguido de una recuperación posterior. A partir de 2023, la tendencia retoma una trayectoria ascendente. Las importaciones, por su parte,

[4] Decreto 381 del 16 de febrero de 2012 *"Por el cual se modifica la estructura del Ministerio de Minas y Energía."*

[5] Decreto 1617 del 30 de julio de 2013 "Por el cual se modifica y adiciona el Decreto 381 del 16 de febrero de 2012."

[6] Decreto 030 del 17 de enero de 2022 "Por el cual se modifica la estructura del Ministerio de Minas y Energía"

[7] Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia. (2026). *Informe anual 2025-2026: Aspectos generales del sector agroindustrial de la caña de Colombia y anexo estadístico*. https://www.asocana.org/documentos/362026-88DA296A-00FF00,000A000,878787,C3C3C3,0F0F0F,B4B4B4,FF00FF,FFFFFF,2D2D2D,A3C4B5.pdf

presentan un comportamiento más volátil, asociado a factores como el aumento de los niveles de mezcla obligatoria y las imitaciones temporales en el suministro nacional[8].

En este sentido, los parámetros de calidad del etanol anhidro carburante y del etanol anhidro carburante desnaturalizado constituyen un elemento crítico dentro de la regulación del sector, debido a que inciden en toda la cadena de valor: producción, importación, almacenamiento, transporte, mezcla con gasolinas, distribución y uso final. Dichos parámetros deben ser coherentes con las especificaciones técnicas de los combustibles con los cuales se mezclan, así como con las condiciones operativas del parque automotor y de la infraestructura logística existente en el país.

Asimismo, resulta necesario considerar la evolución de los estándares internacionales en materia de biocombustibles. Estos estándares han avanzado especificaciones más exigentes orientadas a mejorar la calidad del producto, reducir impactos ambientales y garantizar la compatibilidad tecnológica. No obstante, la literatura técnica señala que aún no existe uniformidad internacional sobre todas las propiedades fisicoquímicas y metodologías analíticas aplicables al etanol; sin embargo, las especificaciones existentes incluyen parámetros dirigidos a evaluar la pureza del etanol y controlar los contaminantes indeseables en la gasolina mezclada con etanol[9].

Dentro de los estándares técnicos de referencia, las normas desarrolladas por ASTM International son ampliamente reconocidas. Estas normas comprenden especificaciones técnicas para combustibles de motor, incluido el etanol, y han evolucionado conforme aumenta la producción y el uso de este biocombustible en diferentes niveles de mezcla. En particular, se reconoce que las normas internacionales han incorporado rangos de mezcla de etanol desde niveles bajos hasta niveles altos de inclusión volumétrica[10].

En relación con lo anterior, el Ministerio de Minas y Energía, en coordinación con el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, adelanta un Análisis de Impacto Normativo en los términos del Decreto 1074 de 2015. Este proceso busca evaluar de manera integral la posible de intervención regulatoria en desarrollo de dicho análisis, así como identificar, comparar y valorar las distintas alternativas disponibles.

En particular, el análisis tiene como finalidad fortalecer el marco de mejora regulatoria aplicable a este biocombustible, de manera que su producción, importación, almacenamiento, transporte, distribución y uso se realicen bajo condiciones adecuadas de calidad, seguridad, desempeño operativo y desempeño ambiental. Asimismo, busca asegurar la homogeneidad del producto en el mercado, reducir riesgos técnicos y operativos en la cadena de suministro, y generar condiciones que contribuyan a la

[8] Federación Nacional de Biocombustibles de Colombia. (2025). *Informe 2024-2025*. Fedebiocombustibles. https://fedebiocombustibles.com/wp-content/uploads/2026/06/Informe-Fedebiocombustibles-2025-Final.pdf

[9] Secretaría de Energía & Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit. (2010). *Recomendaciones de especificaciones técnicas para el etanol y sus mezclas (E-6), y la infraestructura para su manejo en México*. https://energypedia.info/images/4/4b/GIZ_Especificaciones_etanol_2010.pdf

[10] U.S. Grains Council. (2018). *Etanol 101: Manual de uso. Guía de mezcla de combustible con etanol.* https://grains.org/ltamex/wp-content/uploads/sites/6/2025/04/2018-USGBC-Etanol-101-Manual-de-Uso-Espanol.pdf

confiabilidad y continuidad en el abastecimiento de combustibles en el territorio nacional.

Finalmente, este ejercicio permite avanzar en la generación de certidumbre regulatoria para los agentes del sector, promover condiciones de competencia y transparencia en el mercado, y asegurar que las disposiciones que eventualmente se adopten sean proporcionales, técnicamente justificadas y coherentes con los objetivos de política pública en materia energética, ambiental, de calidad de combustibles y de protección del interés general.

## 2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

### ÁRBOL DEL PROBLEMA

**Consecuencias**

**CONSECUENCIA INDIRECTA A1**

Riesgos en Salud Pública por consumo humano del etanol anhidro combustible.

**CONSECUENCIA DIRECTA 1**

Comercialización y uso de etanol anhidro combustible y desnaturalizado que no cumple con parámetros fisicoquímicos de calidad.

**CONSECUENCIA INDIRECTA A3**
Riesgo para el ambiente por emisiones contaminantes.

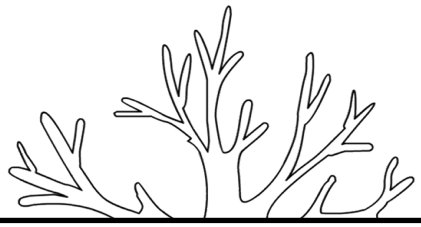
**CONSECUENCIA INDIRECTA A2**
Pérdida de eficiencia en la combustión, daños mecánicos en los componentes del motor de vehículos y disminución de vida útil de los equipos que utilizan este combustible.

**CONSECUENCIA INDIRECTA B**

Incremento en asimetrías entre agentes participantes en el mercado.

**CONSECUENCIA DIRECTA 2**

Alteraciones en las condiciones de competencia del mercado de etanol anhidro combustible y desnaturalizado debido a diferencias en el aseguramiento y verificación de la calidad.



**PROBLEMA PRINCIPAL**
Limitada efectividad y uniformidad en el aseguramiento de los parámetros fisicoquímicos de calidad del etanol anhidro combustible y desnaturalizado requeridos para su utilización como componente oxigenante de gasolinas en el mercado colombiano.



**Problema**

**CAUSA DIRECTA 1**

Insuficiente armonización en los métodos, criterios y procedimientos técnicos utilizados para verificar los parámetros fisicoquímicos del etanol anhidro combustible y desnaturalizado.

**CAUSA DIRECTA 2**

Diferencias en la interpretación y aplicación de los resultados de los ensayos técnicos para evaluar la calidad del etanol anhidro combustible y desnaturalizado.

**CAUSA INDIDIRECTA A**

Implementación imprecisa o no estandarizada de parámetros de calidad bajo estándares internacionales.

**Causas**

## 2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

**Limitada efectividad y uniformidad en el aseguramiento de los parámetros fisicoquímicos de calidad del etanol anhidro combustible y desnaturalizado requeridos para su utilización como componente oxigenante de gasolinas en el mercado colombiano.**

El problema central se manifiesta en la dificultad de garantizar que los procesos de verificación, control y aseguramiento de la calidad del etanol anhidro combustible y del etanol anhidro combustible desnaturalizado se desarrollen bajo condiciones homogéneas, comparables y técnicamente consistentes entre los diferentes agentes que participan en el mercado colombiano. Esta situación es relevante en la medida en que estos productos se utilizan como componentes oxigenantes de gasolinas, por lo cual sus características fisicoquímicas inciden en la calidad final del combustible, en su desempeño operativo y en las condiciones técnicas bajo las cuales se realiza su producción, importación, almacenamiento, transporte, mezcla, distribución y uso final.

La regulación colombiana establece que el etanol utilizado como componente oxigenante de las gasolinas debe cumplir parámetros específicos de calidad orientados a proteger el ambiente, la salud y el adecuado desempeño de los combustibles líquidos. Sin embargo, la efectividad del sistema depende no solamente de la existencia de parámetros regulatorios, sino también de la capacidad de asegurar que dichos parámetros sean verificados de manera uniforme y técnicamente armonizada.

En consecuencia, cuando existen diferencias metodológicas o interpretativas entre laboratorios y agentes:

- Disminuye la comparabilidad de resultados.
- Se reduce la trazabilidad técnica del cumplimiento de los parámetros fisicoquímicos
- Aumenta la incertidumbre frente a la conformidad del producto;
- Se dificulta la supervisión homogénea del mercado; y
- Se generan posibles asimetrías entre agentes participantes.

De esta manera, el problema evidencia una brecha entre la definición técnica de parámetros de calidad y su aseguramiento uniforme, verificable y comparable en la práctica. Esta brecha puede afectar la consistencia del sistema de control aplicado al etanol combustible utilizado en mezclas con gasolina motor, así como la confianza entre agentes, la calidad del producto y las condiciones de competencia en el mercado.

Como causas directas e indirectas de esta problemática, se identificaron las siguientes:

**Causa directa 1:** Insuficiente armonización en los métodos, criterios y procedimientos técnicos utilizados para verificar los parámetros fisicoquímicos del etanol anhidro combustible y desnaturalizado.

**Causa indirecta A:** Implementación imprecisa o no estandarizada de parámetros de calidad bajo estándares internacionales.

**Causa directa 2:** Diferencias en la interpretación y aplicación de los resultados de los ensayos técnicos para evaluar la calidad del etanol anhidro combustible y desnaturalizado.

En cuanto a las consecuencias directas e indirectas derivadas de la problemática principal, se identificaron las siguientes:

**Consecuencia directa 1:** Comercialización y uso de etanol anhidro combustible y desnaturalizado que no cumple con parámetros fisicoquímicos de calidad.

**Consecuencia indirecta A1:** Riesgos en Salud Pública por consumo humano del etanol anhidro combustible.

**Consecuencia indirecta A2**: Pérdida de eficiencia en la combustión, daños mecánicos en los componentes del motor de vehículos y disminución de vida útil de los equipos que utilizan este combustible.

**Consecuencia indirecta A3:** Riesgo para el ambiente por emisiones contaminantes.

**Consecuencia directa 2:** Alteraciones en las condiciones de competencia del mercado de etanol anhidro combustible y desnaturalizado debido a diferencias en el aseguramiento y verificación de la calidad.

**Consecuencia indirecta B:** Incremento en asimetrías entre agentes participantes en el mercado.

## 2.2 CAUSAS IDENTIFICADAS

### 2.2.1 Causa directa 1: Insuficiente armonización en los métodos, criterios y procedimientos técnicos utilizados para verificar los parámetros fisicoquímicos del etanol anhidro combustible y desnaturalizado.

La verificación de la calidad del etanol anhidro combustible y del etanol anhidro combustible desnaturalizado involucra la evaluación de múltiples parámetros fisicoquímicos asociados, entre otros aspectos, a la pureza del producto, el contenido de agua, la acidez, la conductividad, la presencia de contaminantes y la composición química. Estos parámetros son relevantes en la medida en que permiten determinar si el producto cumple con las condiciones técnicas requeridas para su uso como componente oxigenante de gasolinas.

Esta causa se refiere específicamente al proceso de ensayo o verificación, por lo que se concentra en la forma como los agentes y laboratorios aplican los métodos analíticos, preparan las muestras, seleccionan equipos, ejecutan procedimientos, verifican condiciones de medición y documentan la validez técnica del método utilizado. En consecuencia, no se centra en la decisión final de conformidad o no conformidad del

producto, sino en la consistencia del proceso técnico mediante el cual se generan los datos analíticos.

En la práctica, pueden presentarse diferencias entre productores, importadores, distribuidores mayoristas y laboratorios en aspectos como:

- aplicación de métodos analíticos;
- selección y desempeño de equipos;
- preparación, conservación y manejo de muestras;
- condiciones operativas del ensayo;
- frecuencia de verificación;
- calibración de instrumentos;
- validación o verificación interna de métodos;
- manejo de incertidumbre de medición; y
- trazabilidad metrológica.

Estas diferencias pueden reducir la homogeneidad de los procesos de aseguramiento de la calidad y dificultar la comparación técnica entre resultados emitidos por distintos agentes de la cadena de suministro de este biocombustible. En consecuencia, puede afectarse la trazabilidad del cumplimiento de los parámetros fisicoquímicos y generarse incertidumbre sobre la consistencia técnica de los datos empleados para evaluar la calidad del producto.

La importancia de esta causa se relaciona con el hecho de que los métodos analíticos deben ser adecuados para el propósito previsto y que la confiabilidad del resultado generado debe ser conocida y estar correctamente documentada. De acuerdo con Ahumada et al. (2023), un método de medición debe ser apropiado para cumplir el objetivo planteado y que los métodos analíticos empleados deben ser adecuados, con confiabilidad conocida y evidencia documentada correctamente[11].

Asimismo, Ahumada et al. (2023) señalan que los resultados de la mediciones se utilizan para la toma de decisiones en asuntos relacionados con comercio, salud de consumidores, políticas o regulaciones, entre otros, por ello los métodos analíticos deben generar resultados de calidad adecuada, lo cual se garantiza mediante la validación del método.

En este sentido, la validación de métodos cumple un papel central dentro del aseguramiento de la calidad del proceso de ensayo. La IUPAC ha señalado que la validación de métodos es una medida reconocida como parte necesaria de un sistema integral de aseguramiento de calidad en química analítica, y que sus guías proporcionan recomendaciones mínimas sobre los procedimientos que deben emplearse para asegurar una validación adecuada de métodos analíticos[12].

También, el Instituto Nacional de Salud indica que la validación o verificación de un método analítico busca demostrar que los métodos adoptados se comportan conforme al

[11] Ahumada, D. A., Paredes, C., Abella, J., & González, I. (2023). *Validación de métodos en análisis químico cuantitativo*. Instituto Nacional de Metrología. https://inm.gov.co/wp-content/uploads/2025/12/9-Validacion-de-metodos-en-analisis-quimico-cuantitativo.pdf

[12] Thompson, Michael, Stephen L. R. Ellison y Roger Wood (2002). Harmonized guidelines for single-laboratory validation of methods of analysis (IUPAC Technical Report). En: Pure and Applied Chemistry 74.5, páginas 835-855. https://www.degruyterbrill.com/document/doi/10.1351/pac200274050835/html

uso previsto o a las especificaciones definidas dentro de un sistema de medición particular. En ese proceso pueden incidir componentes como el método, el material de referencia, el personal, las condiciones ambientales y el sistema de medición[13].

Otro aspecto relevante es la selección de métodos normalizados. El IDEAM define los métodos normalizados como aquellos publicados por organismos o comunidades técnicas reconocidas, como EPA, ASTM o ISO, entre otros[14]. Esta referencia es pertinente porque, en el caso de ensayos fisicoquímicos aplicables a combustibles o biocombustibles, la adopción de métodos normalizados puede facilitar la comparabilidad técnica entre laboratorios y agentes.

En esa misma línea, el Instituto Nacional de Salud señala que, al seleccionar un método para su estandarización, debe considerarse si existen métodos normalizados para determinar el analito de interés o si es necesario desarrollar un método propio. También indica que los métodos normalizados suelen encontrarse documentados en normas ISO, ASTM, AOAC, USP o *Standard Methods*, entre otros, y que su ventaja radica en que cuentan con información amplia sobre el desempeño del método bajo condiciones normales[15].

Para el caso del etanol combustible, las especificaciones técnicas internacionales y normas de referencia aplicables a este tipo de producto suelen contemplar requisitos asociados al contenido de etanol, metanol, agua, desnaturalizante, cloruros inorgánicos, cobre, acidez, pHe, azufre, sulfatos, apariencia y gravedad específica. Asimismo, estas referencias incluyen aspectos relacionados con el muestreo, el manejo de muestras y los métodos de ensayo requeridos para generar datos analíticos comparables dentro del proceso de verificación de la calidad del producto.

En consecuencia, esta causa adquiere relevancia debido a que el etanol anhidro combustible participa directamente en mezclas con gasolina motor destinadas al consumo nacional. Por tanto, la confiabilidad técnica del proceso de verificación constituye un elemento esencial para asegurar la calidad del producto, la consistencia de los datos analíticos generados y la estabilidad del mercado de combustibles líquidos.

### 2.2.2 Causa indirecta A: Falta de criterios técnicos estandarizados para la aplicación y validación de métodos de ensayo bajo referencias y estándares internacionales

El aseguramiento de la calidad del etanol anhidro combustible y del etanol anhidro combustible desnaturalizado requiere que los laboratorios y agentes del mercado utilicen metodologías de análisis consistentes, trazables y comparables. Sin embargo, en la

[13] Instituto Nacional de Salud. (2023). *Lineamiento Técnico para la Evaluación de Métodos de Ensayo Lineamiento SGCLSP- 2023. Estrategias para la construcción de diseños experimentales de validación /verificación de métodos de ensayo Versión 02.* https://www.ins.gov.co/BibliotecaDigital/estrategias-para-construccion-de-diseños-experimetales-de-validación.pdf

[14] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2025). *Instructivo de confirmación o validación de métodos analíticos*. IDEAM. https://www.ideam.gov.co/sites/default/files/mapa-de-procesos/slc-i038_instructivo_de_confirmacion_o_validacion_de_metodos_analiticos_v4.pdf

[15] Instituto Nacional de Salud. (2014). *Lineamientos Técnicos para la estandarización y validación de métodos de ensayo*. https://www.ins.gov.co/Direcciones/RedesSaludPublica/GestiondeCalidadLaboratorios/InformaciondeInteresSGCLSP/Lineamiento%20montaje%20estandarizacion%20y%20validacion.pdf

práctica pueden existir diferencias en la adopción de referencias técnicas internacionales, en la validación o verificación de métodos analíticos y en los criterios utilizados para seleccionar, aplicar y documentar los métodos de ensayo empleados en la verificación de calidad.

La verificación de los parámetros fisicoquímicos del etanol anhidro combustible y desnaturalizado depende de procesos analíticos que involucran distintas condiciones operativas, equipos, procedimientos de muestreo, capacidades técnicas del personal, validación de métodos y manejo de incertidumbre de medición. Estos elementos pueden incidir en la reproducibilidad y comparabilidad de los resultados obtenidos por distintos laboratorios o agentes.

En particular, pueden presentarse diferencias asociadas a:

- selección de referencias técnicas internacionales aplicables;
- criterios para adoptar métodos normalizados o desarrollar métodos propios;
- condiciones operativas de ensayo;
- calibración y desempeño de equipos;
- validación o verificación interna de métodos;
- manejo de incertidumbre de medición;
- trazabilidad metrológica;
- procedimientos de muestreo y manejo de muestras; y
- competencias técnicas del personal analista.

Estos factores pueden afectar la reproducibilidad y comparabilidad de los análisis fisicoquímicos utilizados para evaluar la calidad del etanol combustible. Por tanto, esta causa indirecta contribuye a la causa directa 1, en la medida en que la falta de criterios estandarizados para aplicar y validar métodos de ensayo puede generar diferencias en la forma como los agentes ejecutan los procesos técnicos de verificación.

La literatura técnica sobre especificaciones del etanol reconoce que aún no existe una uniformidad internacional absoluta sobre todas las propiedades fisicoquímicas y metodologías analíticas aplicables al bioetanol. No obstante, las especificaciones existentes incorporan parámetros para evaluar la pureza del etanol y controlar contaminantes indeseables en la gasolina mezclada con etanol, lo cual evidencia la importancia de contar con referencias técnicas claras para orientar la verificación del producto[16].

De igual forma, Pasa Duarte en 2010 en el documento elaborado para la Secretaría de Energía y la Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, señala que distintas jurisdicciones han desarrollado especificaciones propias para el etanol. En particular,

[16] Pasa Duarte V. 2010). *Recomendaciones de especificaciones técnicas para el etanol y sus mezclas (E-6), y la infraestructura para su manejo en México*. Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo. Secretaría de Energía; Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit https://energypedia.info/images/4/4b/GIZ_Especificaciones_etanol_2010.pdf

identifica referencias técnicas asociadas a Brasil, la Unión Europea y Estados Unidos, incluyendo metodologías ABNT, ASTM y desarrollos del Comité Europeo de Normalización. Esta diversidad de referentes evidencia que la aplicación de estándares internacionales requiere criterios claros para seleccionar, adaptar, validar o verificar los métodos de ensayo aplicables en cada contexto.

Esta diversidad de referencias internacionales muestra que la aplicación de estándares técnicos requiere criterios claros para seleccionar, adaptar, validar o verificar los métodos de ensayo aplicables en cada contexto. Por ello, la falta de criterios estandarizados puede generar diferencias en la forma como los agentes adoptan referencias internacionales y documentan la aptitud técnica de los métodos utilizados, afectando la comparabilidad de los procesos de verificación.

Adicionalmente, las normas de combustible más ampliamente reconocidas han sido desarrolladas por ASTM International, entidad que publica normas técnicas consensuadas para una amplia variedad de materiales, incluidos combustibles de motor como el etanol. Esta referencia permite sustentar que los estándares internacionales cumplen un papel relevante en la definición de criterios técnicos para combustibles, pero su aplicación requiere lineamientos claros que orienten su uso por parte de los agentes y laboratorios[17].

En consecuencia, esta causa indirecta explica que la insuficiente armonización en los métodos, criterios y procedimientos técnicos no se deriva únicamente de la existencia de múltiples referencias internacionales, sino de la falta de criterios comunes para aplicarlas y validarlas de manera consistente. Esta situación puede afectar la trazabilidad técnica, la reproducibilidad de los ensayos y la comparabilidad de los resultados generados por distintos agentes de la cadena.

### 2.2.3 Causa directa 2: Diferencias en la interpretación y aplicación de los resultados de los ensayos técnicos para evaluar la calidad del etanol anhidro combustible y desnaturalizado.

Además de las diferencias que pueden presentarse en el proceso de ensayo o verificación, también pueden existir variaciones en la forma como los resultados analíticos son analizados, interpretados y utilizados dentro de los procesos de aseguramiento y control de calidad del etanol anhidro combustible y del etanol anhidro combustible desnaturalizado. Esta causa se refiere, por tanto, a la etapa posterior a la generación del dato analítico, en la cual los resultados obtenidos son evaluados frente a parámetros, especificaciones o criterios técnicos aplicables.

En este sentido, mientras la causa directa 1 se relaciona con la forma como se realiza el ensayo, esta causa directa se concentra en la forma como se interpretan y aplican los resultados una vez estos han sido generados. Por ello, adquieren relevancia aspectos como la evaluación de la incertidumbre de medición, la repetibilidad, la reproducibilidad, la

[17] U.S. Grains Council. (2018). *Etanol como combustible: el futuro del octanaje limpio, hoy*. https://grains.org/ltamex/wp-content/uploads/sites/6/2025/04/2018-USGBC-Etanol-101-Manual-de-Uso-Espanol.pdf

validación de los resultados y los criterios utilizados para determinar si un resultado permite concluir el cumplimiento o incumplimiento de una especificación técnica.

En algunos casos, los análisis de laboratorio pueden arrojar resultados cercanos a los límites establecidos para determinados parámetros fisicoquímicos. Bajo estas circunstancias, la ausencia de criterios uniformes para valorar la incertidumbre, evaluar la consistencia de los resultados o definir la forma de aplicar los datos obtenidos puede generar diferencias entre agentes respecto de la evaluación técnica del producto.

Estas diferencias pueden presentarse, entre otros, en aspectos como:

- evaluación de la incertidumbre de medición;
- criterios de repetibilidad y reproducibilidad;
- tratamiento de resultados cercanos a los límites aplicables;
- validación técnica de los datos obtenidos;
- criterios para aceptar, repetir o complementar un ensayo;
- forma de documentar y sustentar la evaluación técnica del resultado; y
- uso de los resultados analíticos para soportar decisiones de calidad.

En el proceso total de análisis de laboratorio, la fase posterior al ensayo adquiere especial importancia, en la medida en que comprende la validación de los datos obtenidos, la elaboración del informe y la comunicación de los resultados para efectos de su interpretación y acción. Esta referencia es pertinente para esta causa, porque permite evidenciar que el problema no se limita a obtener un dato analítico, sino también a la forma como este se valida, se comunica y se utiliza posteriormente para adoptar decisiones técnicas. Asimismo, la implementación adecuada de protocolos de verificación contribuye a identificar y corregir posibles errores o sesgos, así como a minimizar resultados incorrectos o interpretaciones erróneas. Esta idea resulta aplicable a la presente causa porque las diferencias en la revisión y valoración de los datos pueden afectar la confiabilidad de las decisiones adoptadas a partir de los ensayos técnicos[18].

De manera complementaria, los lineamientos del Instituto Nacional de Salud sobre diseños experimentales de validación indican que el análisis de datos debe realizarse de acuerdo con el tipo de ensayo y el parámetro a estudiar, y que los criterios de aceptación y rechazo deben definir especificaciones de desempeño del método, de manera que exista un criterio para comparar los datos obtenidos frente a los parámetros evaluados. Esta orientación sustenta la necesidad de contar con criterios técnicos claros y documentados para interpretar los resultados y evitar valoraciones distintas frente a datos similares[19].

En esa misma línea, la guía del Instituto Nacional de Metrología y la ONUDI señala que los resultados de las mediciones se utilizan para tomar decisiones relacionadas con comercio nacional e internacional, salud de consumidores, establecimiento de políticas o

[18] Álvarez Ramírez, C. (2024). *Evolución y desafíos en la validación y verificación de métodos analíticos: mejoras para la calidad en laboratorios clínicos y de ensayo*. Universidad de Antioquia. https://bibliotecadigital.udea.edu.co/server/api/core/bitstreams/2012cdc1-e18a-4f8d-aaef-dc5ddd8efa03/content

[19] Instituto Nacional de Salud. (2016). *Estrategias para la construcción de diseños experimentales de validación*. Versión 1. https://www.ins.gov.co/Direcciones/RedesSaludPublica/GestiondeCalidadLaboratorios/Lineamientos%20Calidad/Lineamiento%20Diseños%20experimetales%20de%20Validación.pdf

regulaciones, entre otros asuntos. Por ello, la forma como se interpretan y aplican dichos resultados debe contar con criterios adecuados, considerando que decisiones técnicas o regulatorias pueden depender de la calidad de los datos analíticos[20].

Adicionalmente, tal como lo indica el Instituto Nacional de Salud, (2016), cuando los criterios de aceptación no se encuentran previamente definidos o documentados, puede ser necesario determinarlos dentro del propio ejercicio de evaluación. Esto resulta relevante para la presente causa, dado que la ausencia de criterios homogéneos puede generar diferencias en la forma como los agentes interpretan resultados cercanos a los límites aplicables, deciden si un ensayo debe repetirse o determinan si el dato obtenido es suficiente para respaldar una conclusión técnica.

Cuando no existen criterios uniformes para interpretar y aplicar los resultados de los ensayos, puede ocurrir que un mismo producto sea valorado de manera distinta dependiendo del laboratorio, del agente o del criterio técnico utilizado para analizar los datos. Esta situación puede afectar la consistencia técnica del aseguramiento de calidad dentro del mercado nacional, especialmente cuando se requiere decidir si un resultado es suficiente para respaldar una conclusión técnica, si debe repetirse el ensayo o si se requiere una evaluación complementaria.

En consecuencia, esta causa directa incide en el problema central porque las diferencias en la interpretación y aplicación de los resultados pueden limitar la efectividad y uniformidad del aseguramiento de los parámetros fisicoquímicos de calidad. Aunque el ensayo haya sido realizado, la ausencia de criterios comunes para valorar sus resultados puede generar incertidumbre sobre la evaluación técnica del producto y afectar la comparabilidad de las decisiones adoptadas por los distintos agentes de la cadena.

### 2.2.4 Consecuencia directa 1: Comercialización y uso de etanol anhidro combustible y desnaturalizado que no cumple con parámetros fisicoquímicos de calidad.

La comercialización y utilización de etanol anhidro combustible y de etanol anhidro combustible desnaturalizado que no cumpla con los parámetros fisicoquímicos requeridos puede afectar la confiabilidad del producto dentro de la cadena de suministro de biocombustibles. Esta consecuencia se relaciona directamente con la posibilidad de que circulen volúmenes de etanol con características de calidad no homogéneas o no verificadas de manera suficiente, lo cual dificulta la trazabilidad técnica, la comparación de resultados analíticos y la identificación oportuna de producto fuera de especificación.

La calidad del etanol combustible constituye un elemento relevante en sí mismo, dado que este producto debe cumplir condiciones técnicas asociadas a su composición, pureza y presencia de contaminantes. Las especificaciones internacionales para etanol combustible desnaturalizado contemplan requisitos relacionados, entre otros, con

[20] Ahumada, D. A., Paredes, C., Abella, J., & González, I. (2023). *Validación de métodos en análisis químico cuantitativo*. Instituto Nacional de Metrología; Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial. https://inm.gov.co/wp-content/uploads/2025/12/9-Validacion-de-metodos-en-analisis-quimico-cuantitativo.pdf

contenido de etanol, metanol, agua, desnaturalizante, cloruros inorgánicos, cobre, acidez, pHe, azufre, sulfatos, apariencia y gravedad específica, así como disposiciones sobre muestreo, manejo de muestras y métodos de ensayo para determinar la conformidad del producto.

En este sentido, la consecuencia no se limita a un posible efecto sobre la mezcla final con gasolina, sino que se origina en la circulación de un insumo energético que no cumple o no demuestra adecuadamente el cumplimiento de sus especificaciones fisicoquímicas. Cuando los parámetros de calidad del etanol anhidro combustible no son verificados de manera uniforme, pueden generarse incertidumbres sobre la consistencia del producto comercializado, especialmente en relación con su contenido de agua, acidez, contaminantes, composición química y condiciones de desnaturalización.

Las especificaciones existentes para etanol incorporan parámetros orientados a evaluar la pureza del producto y controlar contaminantes indeseables. Asimismo, consideran propiedades y metodologías analíticas dirigidas a asegurar la calidad del etanol, incluyendo referencias utilizadas en Brasil, Estados Unidos y la Unión Europea, lo cual evidencia la importancia de contar con criterios técnicos verificables para determinar la conformidad del producto[21].https://colombia.com.co/tlc-colombia-estados-unidos-aranceles-oportunidades-2026/

De esta manera, las diferencias en los procesos de verificación y aseguramiento de calidad pueden incrementar el riesgo de comercialización de etanol anhidro combustible y desnaturalizado con características fisicoquímicas no homogéneas entre agentes del mercado. Esto puede dificultar la trazabilidad técnica del producto, reducir la comparabilidad de los resultados analíticos y generar incertidumbre frente al cumplimiento efectivo de los parámetros requeridos.

La relevancia de esta consecuencia también se explica por la participación del etanol en el mercado nacional de combustibles. Los instrumentos de planeación energética de la UPME incluyen el etanol dentro del análisis de bioenergía y de combustibles líquidos, lo que permite justificar la importancia sectorial del producto dentro de la cadena energética. Según el PIBE Pacífico, entre 2015 y 2024, el consumo total de etanol en Colombia aumentó de 129,3 a 220,6 millones de galones por año, lo que equivale a un crecimiento del 71 % en el periodo. Este comportamiento está estrechamente vinculado a la expansión del parque automotor, a la aplicación progresiva de las mezclas oxigenadas y a la mayor conciencia ambiental en los centros urbanos. El consumo nacional presenta una alta concentración geográfica, como se lista a continuación[22]:

- Bogotá D.C., Antioquia y Valle del Cauca concentran entre 38 % y 42 % del total nacional.
- Cundinamarca (~7 %).
- Santander (~5 %).

[21] Pasa Duarte V. 2010). *Recomendaciones de especificaciones técnicas para el etanol y sus mezclas (E-6), y la infraestructura para su manejo en México*. Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo. Secretaría de Energía; Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit https://energypedia.info/images/4/4b/GIZ_Especificaciones_etanol_2010.pdf

[22] Unidad de Planeación Minero-Energética. (2025). *Plan Indicativo de Bioenergía del Pacífico – PIBE Pacífico 2025*. UPME. https://docs.upme.gov.co/SIMEC/Hidrocarburos/Publicaciones_SIPG/PIBE_Pacifico_2025_ver_def.pdf

- Atlántico (~4 %).
- Nariño (~3,5 %).
- Cesar (~4 %).

En conjunto representan alrededor de una cuarta parte del consumo nacional.

En consecuencia, esta consecuencia directa evidencia que la falta de uniformidad en el aseguramiento de calidad puede traducirse en la circulación y uso de etanol anhidro combustible o desnaturalizado que no cumple, o cuya conformidad no puede verificarse de manera suficientemente comparable, con los parámetros fisicoquímicos exigibles. Esto afecta la consistencia técnica del producto dentro del mercado y puede generar incertidumbre para los agentes encargados de su producción, importación, almacenamiento, distribución, mezcla o uso posterior.

### 2.2.5 Consecuencia Indirecta A1: Riesgos en Salud Pública por consumo humano del etanol anhidro combustible.

La comercialización o circulación de etanol anhidro combustible y etanol anhidro combustible desnaturalizado que no cumpla con parámetros fisicoquímicos de calidad puede incrementar riesgos asociados a su uso indebido, manipulación inadecuada o eventual consumo no autorizado. Esta consecuencia debe entenderse como un riesgo derivado de la posible exposición humana a un producto que no está destinado al consumo humano, sino a su uso como combustible o componente energético dentro de la cadena de combustibles líquidos.

En particular, el etanol combustible desnaturalizado incorpora sustancias o componentes que buscan hacerlo no apto para consumo humano. Las hojas de seguridad de productos como Etanol desnaturalizado para combustible identifican el producto como “Denatured Ethanol - Unfit For Human Consumption” lo clasifican como líquido inflamable, con advertencias de peligro para la salud y recomendaciones de atención inmediata en caso de ingestión[23]. De manera similar, la hoja de seguridad de Denatured Fuel Ethanol de Vitol[24] identifica su uso como combustible de motor y desaconseja usos distintos a ese propósito; además, advierte que puede ser fatal si se ingiere y entra en las vías respiratorias.

En este contexto, las desviaciones en los parámetros fisicoquímicos del etanol combustible pueden dificultar la trazabilidad y la identificación oportuna de producto fuera de especificación, lo que incrementa la incertidumbre frente a su composición, condiciones de desnaturalización y presencia de contaminantes. Si el producto no cumple o no demuestra adecuadamente el cumplimiento de sus especificaciones, se debilita la capacidad de los agentes y autoridades para verificar que conserva las condiciones técnicas que lo diferencian de productos destinados a otros usos.

[23] SUNOCO (2015). *Safety Data Sheet. Denatured Ethanol-Unfit For Human Consumption.* https://petroleumservicecompany.com/content/pdfs/SUNOCO_Denatured_Ethanol_SDS.pdf

[24] Vitol Denatured Fuel Ethanol. (2021). *Safety Data Sheet.* https://www.vitol.com/wp-content/uploads/2023/01/10.-Denatured-Fuel-Ethanol_SDS_US_V3.0.pdf

El riesgo para la salud pública no se deriva del uso regular del etanol combustible dentro de la cadena autorizada, sino de escenarios de uso indebido, consumo accidental, manipulación no controlada o desvío del producto hacia finalidades distintas a las permitidas. En ese sentido, la existencia de parámetros fisicoquímicos verificables y de mecanismos de aseguramiento de calidad contribuye a reducir incertidumbres sobre la composición del producto y a prevenir que un insumo energético sea confundido, manipulado o utilizado de manera incompatible con su finalidad.

En consecuencia, la comercialización y uso de etanol anhidro combustible y desnaturalizado que no cumpla con parámetros fisicoquímicos de calidad puede generar riesgos indirectos para la salud pública, no porque el producto esté destinado al consumo humano, sino porque una menor certeza sobre su composición, desnaturalización y control puede aumentar la probabilidad de exposición o consumo no autorizado de un producto químico combustible que debe permanecer dentro de usos industriales o energéticos específicos.

### 2.2.6 Consecuencia indirecta A2: Pérdida de eficiencia en la combustión, daños mecánicos en los componentes del motor de vehículos y disminución de vida útil de los equipos que utilizan este combustible.

Las variaciones en las características fisicoquímicas del etanol combustible pueden afectar las condiciones de combustión y compatibilidad técnica requeridas para el funcionamiento adecuado de motores, sistemas de almacenamiento y equipos vinculados al uso de mezclas oxigenadas.

El etanol anhidro combustible, al mezclarse con gasolina en proporciones reguladas, debe cumplir rigurosamente con especificaciones técnicas para asegurar un óptimo desempeño del combustible resultante en los motores de combustión interna. En Colombia, la calidad del etanol afecta directamente la eficiencia energética, la generación de residuos sólidos y gaseosos, y la durabilidad de los componentes del sistema de inyección y combustión. Cuando se emplea etanol que no cumple con parámetros como el contenido de agua, pH, acidez o nivel de impurezas, se generan problemas de corrosión, detonación irregular y depósitos en válvulas y cámaras de combustión. Esto no solo deteriora el rendimiento del vehículo, sino que incrementa los costos de mantenimiento y reduce la vida útil del motor.

Este bicombustible es utilizado principalmente como aditivo en la gasolina para mejorar el rendimiento energético y reducir las emisiones de $CO_2$. Sin embargo, la calidad del etanol influye directamente en la cantidad de energía que puede proporcionar al motor:

**Concentración de agua:** Si el etanol tiene un nivel elevado de agua, reduce su poder calorífico, lo que disminuye la eficiencia energética del combustible. Un etanol de baja calidad con mayor contenido de agua no genera suficiente energía cuando se quema en el motor, lo que lleva a una disminución del rendimiento del vehículo[25].

[25] Mielenz, J. R. (2001). *Ethanol production from lignocellulosic biomass: Technology, economics, and future prospects*. Applied Biochemistry and Biotechnology, 91, 387-400.

**Impurezas y componentes indeseados:** La presencia de impurezas como aldehídos, ácidos y compuestos volátiles puede disminuir la eficiencia energética al alterar las propiedades de combustión del etanol. Esto resulta en una menor cantidad de energía liberada durante la combustión, afectando negativamente el rendimiento de los motores[26].

Una de las principales ventajas del etanol como biocombustible es su capacidad para reducir las emisiones de gases contaminantes, especialmente el $CO_2$. Sin embargo, la calidad del etanol también afecta el tipo y la cantidad de emisiones generadas en los motores.

**Combustión incompleta:** El etanol de baja calidad puede provocar una combustión incompleta en los motores, lo que genera un aumento de emisiones nocivas como monóxido de carbono (CO), hidrocarburos no quemados (HC) y óxidos de nitrógeno (NOx). Estos contaminantes no solo afectan la calidad del aire, sino que también pueden ocasionar fallos en los sistemas de control de emisiones de los vehículos[27].

**Impacto en los sistemas de inyección y escape:** La presencia de impurezas o agua en el etanol puede afectar negativamente los sistemas de inyección de combustible, alterando la cantidad y la precisión con la que se introduce el etanol en los cilindros del motor. Esto puede resultar en una mayor emisión de contaminantes[28].

La calidad del etanol también tiene un impacto importante en la durabilidad y la vida útil de los motores de los vehículos, ya que el etanol interactúa con las partes del motor de manera distinta a la gasolina.

**Corrosión y desgaste prematuro:** El etanol de baja calidad, especialmente aquel con un alto contenido de agua o impurezas, puede aumentar el riesgo de corrosión en las partes metálicas del motor, como los inyectores, los cilindros y el sistema de escape. La corrosión puede generar fallos prematuros en estas partes, reduciendo la vida útil del motor y aumentando los costos de mantenimiento[29].

**Degradación de componentes de goma y plástico:** El etanol, debido a su naturaleza solvente, puede dañar los componentes de goma y plástico de los motores, como las juntas, mangueras y sellos. Si el etanol no es lo suficientemente puro o está contaminado, puede acelerar la degradación de estos componentes, lo que resultará en fugas de combustible o incluso en el fallo total del sistema de combustible[3031].

---

[26] Demirbas, A. (2009). *Biofuels: Securing the planet's future energy needs*. Springer.

[27] Fulton, L., & Jochem, E. (2004). *Biofuels in the context of energy systems and climate change: An assessment of the potential impacts of biofuels on global emissions*. Energy Policy, 32(1), 149-159.

[28] Borges, M. A., & Ferreira, A. C. (2017). *Effect of ethanol quality on engine emissions and performance: A review*. Journal of the Energy Institute, 90(6), 1043-1052.

[29] Szybist, J. P., & Colket, M. B. (2007). *Impact of ethanol blends on gasoline engine emissions: A review*. Environmental Science & Technology, 41(5), 1533-1539

[30] Salvatore, J., & Allen, D. (2010). *The impact of ethanol on the materials used in automotive fuel systems*. International Journal of Engine Research, 11(4), 341-350.

[31] Pimentel, D., & Patzek, T. W. (2005). *Ethanol production: Energy and economic issues related to the production of ethanol from corn*. Natural Resources Research, 14(1), 65-78.

Los consumidores finales también experimentan las consecuencias de la baja calidad del etanol en su experiencia con los vehículos.

**Mayor consumo de combustible:** Debido a la menor eficiencia energética del etanol de baja calidad, los vehículos consumen más combustible para recorrer la misma distancia, lo que incrementa los costos operativos para los conductores[32].

**Aumento de las visitas al taller**: Los problemas derivados de la corrosión, el desgaste prematuro y el mal funcionamiento del sistema de inyección pueden resultar en un mayor número de reparaciones y mantenimiento de los vehículos, lo que incrementa los costos para los consumidores[33].

**Reducción del rendimiento y fiabilidad**: Los problemas derivados de la baja calidad del etanol pueden afectar el rendimiento general del vehículo, como la aceleración y la potencia del motor, lo que puede causar frustración entre los consumidores y disminuir la confianza en los biocombustibles[34].

Desde un punto de vista normativo, esto representa una infracción técnica que compromete la confianza del consumidor en el producto y en la política pública que impulsa el uso de biocombustibles. Además, puede afectar la relación entre productores de etanol y fabricantes de vehículos, quienes demandan estrictos controles de calidad para garantizar la compatibilidad con sus sistemas. En Colombia, donde el parque automotor es variado en antigüedad y tecnología, el riesgo es aún mayor, ya que muchos vehículos no están plenamente adaptados a biocombustibles de baja calidad. Esto podría traducirse en una percepción negativa sobre el uso del etanol, reduciendo su aceptación social y política. Por lo tanto, el control de calidad es indispensable no solo para la funcionalidad mecánica, sino para la viabilidad general del programa nacional de uso de etanol como alternativa limpia y eficiente.

### 2.2.7 Consecuencia indirecta A3: Riesgo para el ambiente por emisiones contaminantes.

La comercialización y uso de etanol anhidro combustible y etanol anhidro combustible desnaturalizado que no cumpla con parámetros fisicoquímicos de calidad puede incrementar la incertidumbre sobre su comportamiento ambiental dentro de la cadena de combustibles líquidos. Esta consecuencia se relaciona con la posibilidad de que circulen volúmenes de etanol con características no homogéneas, presencia de contaminantes o condiciones de calidad no verificadas de manera suficiente, lo cual puede afectar la trazabilidad técnica del producto y el control de riesgos ambientales asociados a su almacenamiento, transporte, distribución y uso posterior.

[32] Pimentel, D., & Patzek, T. W. (2005). *Ethanol production: Energy and economic issues related to the production of ethanol from corn*. Natural Resources Research, 14(1), 65-78.
[33] Borges, M. A., & Ferreira, A. C. (2017). *Effect of ethanol quality on engine emissions and performance: A review*. Journal of the Energy Institute, 90(6), 1043-1052.
[34] Zhao, H., & Liao, X. (2011). *A review on the utilization of ethanol in internal combustion engines*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15(6), 2674-2681.

El etanol combustible se reconoce como una alternativa energética relevante frente a combustibles fósiles, en la medida en que su uso ha sido asociado con beneficios ambientales y con la reducción de emisiones contaminantes bajo condiciones adecuadas de calidad y aplicación. En este contexto, la calidad del etanol anhidro combustible resulta relevante porque los beneficios ambientales asociados a su uso dependen de que el producto conserve condiciones fisicoquímicas adecuadas y verificables. Si el etanol circula con características no homogéneas, presencia de contaminantes o desviaciones frente a sus especificaciones, se incrementa la incertidumbre sobre su comportamiento ambiental y sobre la posibilidad de mantener los beneficios esperados en materia de emisiones y desempeño del combustible. Esta relación es pertinente si se considera que el bioetanol ha sido identificado como una alternativa energética con potencial para reducir emisiones de gases de efecto invernadero frente a combustibles fósiles, cuando se analiza su producción y uso como combustible renovable[35].

En esa misma línea, el etanol ha sido utilizado como combustible de motores y se le atribuyen ventajas asociadas al octanaje, la calidad del aire y la reducción de gases de efecto invernadero frente a combustibles fósiles, dependiendo de las materias primas y del método de producción utilizado[36].

No obstante, estos beneficios ambientales dependen de que el producto cumpla condiciones técnicas adecuadas de calidad, composición y trazabilidad. Cuando el etanol anhidro combustible o desnaturalizado presenta desviaciones respecto de los parámetros fisicoquímicos requeridos, pueden generarse incertidumbres sobre su composición, contenido de contaminantes, estabilidad y comportamiento durante las etapas de almacenamiento, transporte, distribución y uso. En ese contexto, la consecuencia ambiental no se deriva del uso regular del etanol conforme a especificaciones, sino de la circulación de producto fuera de especificación o cuya conformidad no puede demostrarse de manera suficiente.

Desde el punto de vista ambiental, las especificaciones de calidad del etanol adquieren relevancia porque permiten controlar características del producto que pueden incidir en su desempeño posterior. Parámetros como pureza, contenido de agua, acidez, presencia de contaminantes, compuestos inorgánicos y condiciones de desnaturalización son relevantes para asegurar que el etanol combustible conserve las propiedades esperadas y no introduzca incertidumbres adicionales en la cadena de suministro.

La literatura técnica identifica distintos contaminantes atmosféricos relacionados con la combustión de combustibles, tales como monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles, benceno, aldehídos y material particulado. De acuerdo con el U.S. Grains Council, la adición de etanol puede contribuir a reducir compuestos aromáticos presentes en la gasolina y mejorar algunas variables asociadas a emisiones, aunque los efectos pueden variar según condiciones técnicas y del vehículo.

---

[35] Pasa Duarte V. 2010). *Recomendaciones de especificaciones técnicas para el etanol y sus mezclas (E-6), y la infraestructura para su manejo en México*. Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo. Secretaría de Energía; Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit https://energypedia.info/images/4/4b/GIZ_Especificaciones_etanol_2010.pdf

[36] U.S. Grains Council. (2018). *Etanol como combustible: el futuro del octanaje limpio, hoy*. https://grains.org/ltamex/wp-content/uploads/sites/6/2025/04/2018-USGBC-Etanol-101-Manual-de-Uso-Espanol.pdf

En el contexto colombiano, la relevancia ambiental de los biocombustibles también ha sido resaltada por fuentes sectoriales. El informe 2024-2025 de Fedebiocombustibles señala que la entrada en vigencia de la mezcla del 10 % impulsó las ventas de alcohol carburante en un 50 % respecto a 2023 y que la producción nacional de bioetanol de caña de azúcar creció un 29 %. Esta información permite contextualizar la importancia del etanol dentro del mercado nacional de biocombustibles y su relación con la seguridad energética y la reducción de emisiones en el transporte[37].

De esta manera, la circulación de etanol combustible con características no homogéneas o fuera de especificación puede incrementar la incertidumbre sobre el comportamiento ambiental del producto y sobre la capacidad del sistema de aseguramiento de calidad para mantener los beneficios asociados al uso de biocombustibles. La consecuencia ambiental se expresa, entonces, en la pérdida de certeza sobre la calidad del insumo energético y sobre su contribución esperada a la reducción de impactos ambientales.

En consecuencia, esta consecuencia indirecta se relaciona con el problema central porque la limitada efectividad y uniformidad en el aseguramiento de parámetros fisicoquímicos puede permitir la circulación de etanol que no cumpla, o cuya conformidad no pueda verificarse adecuadamente. Esto puede afectar la trazabilidad ambiental del producto, dificultar el control de contaminantes y generar incertidumbre sobre los beneficios ambientales esperados en materia de emisiones y calidad del aire.

### 2.2.8 Consecuencia directa 2: Alteraciones en las condiciones de competencia del mercado de etanol anhidro combustible y desnaturalizado debido a diferencias en el aseguramiento y verificación de la calidad.

La existencia de diferencias en los procesos de aseguramiento y verificación de calidad del etanol anhidro combustible y del etanol anhidro combustible desnaturalizado puede generar condiciones no homogéneas entre los distintos agentes que participan en el mercado. Esta consecuencia se presenta cuando los criterios técnicos, los procedimientos de evaluación, la interpretación de resultados analíticos o los mecanismos de soporte documental no son aplicados de manera suficientemente uniforme, lo que puede incidir en la forma como productores, importadores, distribuidores y demás participantes de la cadena acreditan el cumplimiento de los parámetros fisicoquímicos exigibles.

En un mercado regulado como el de los combustibles líquidos y biocombustibles, la calidad del producto no solo tiene una dimensión técnica, sino también económica y competitiva. Los agentes deben asumir procesos de verificación, control documental, análisis de laboratorio y trazabilidad que pueden representar cargas operativas, administrativas y costos de cumplimiento. Por ello, cuando dichos procesos no se encuentran suficientemente armonizados, pueden generarse diferencias en las condiciones bajo las cuales los agentes participan, comercializan o soportan técnicamente la calidad del etanol combustible.

[37] Federación Nacional de Biocombustibles de Colombia. (2025). *Informe 2024-2025*. https://fedebiocombustibles.com/wp-content/uploads/2025/04/InformeFB-2024.pdf

Estas diferencias pueden impactar aspectos relacionados con:

- costos de cumplimiento técnico;
- tiempos de verificación, validación o aceptación de resultados;
- requerimientos de control de calidad;
- aceptación o rechazo de resultados de laboratorio;
- exigencias de trazabilidad y soporte documental;
- capacidad para demostrar conformidad del producto; y
- certidumbre frente a las condiciones exigidas por autoridades, compradores u otros agentes de la cadena.

En escenarios donde no existe uniformidad suficiente en los procesos de verificación, algunos agentes pueden enfrentar mayores exigencias técnicas, documentales u operativas frente a otros participantes del mercado. Esto puede afectar la percepción de equidad, comparabilidad y homogeneidad en las condiciones de competencia, especialmente cuando la aceptación de un producto depende de criterios técnicos que no son interpretados o aplicados de forma uniforme.

En este contexto, la competencia no se vería afectada necesariamente por una práctica anticompetitiva directa, sino por la existencia de condiciones técnicas no suficientemente homogéneas para demostrar la conformidad del producto. Cuando los agentes no cuentan con criterios comparables para acreditar la calidad del etanol anhidro combustible y desnaturalizado, pueden generarse diferencias en los costos, tiempos y cargas documentales requeridas para participar en el mercado en condiciones similares.

Adicionalmente, la falta de uniformidad en los procesos de aseguramiento y verificación puede generar incertidumbre en las relaciones comerciales entre agentes. Por ejemplo, un resultado analítico puede ser aceptado por un participante de la cadena, pero cuestionado por otro si no existen criterios comunes sobre la metodología aplicable, la trazabilidad del ensayo, la validación del resultado o la documentación técnica que lo respalda. Esta situación puede afectar la confianza entre productores, importadores, distribuidores y compradores, así como la estabilidad de las transacciones asociadas al suministro del producto.

Las diferencias en los mecanismos utilizados para evaluar el cumplimiento de parámetros fisicoquímicos pueden generar incertidumbre sobre la comparabilidad de resultados y sobre las condiciones bajo las cuales los distintos agentes desarrollan sus actividades comerciales y operativas. Esta situación puede incidir en la confianza entre participantes del mercado, en la aceptación del producto entre agentes y en la percepción de igualdad de condiciones para competir.

En consecuencia, esta consecuencia directa se relaciona con el problema central porque la limitada efectividad y uniformidad en el aseguramiento de la calidad puede traducirse en condiciones de competencia no homogéneas. Si los agentes no cuentan con criterios técnicos comparables para verificar, demostrar o aceptar la calidad del etanol anhidro combustible y desnaturalizado, pueden generarse diferencias en costos, tiempos, cargas documentales y certeza regulatoria, afectando la transparencia y estabilidad del mercado.

### 2.2.9 Consecuencia indirecta B: Incremento en asimetrías entre agentes participantes en el mercado.

Las diferencias en la aplicación de procesos de aseguramiento y verificación de calidad pueden ampliar las brechas técnicas y operativas entre los agentes que participan en el mercado de etanol anhidro combustible y etanol anhidro combustible desnaturalizado. Esta consecuencia se presenta cuando los agentes no cuentan con condiciones equivalentes para interpretar, aplicar, verificar o demostrar el cumplimiento de los parámetros fisicoquímicos exigibles.

Los agentes con mayores capacidades analíticas, infraestructura técnica, disponibilidad de equipos especializados, personal calificado o acceso a mecanismos de validación más robustos pueden enfrentar el cumplimiento de los requisitos de calidad en condiciones distintas frente a aquellos con menores capacidades operativas, menor acceso a laboratorios o interpretaciones técnicas diferentes. En este sentido, la falta de uniformidad en los criterios de aseguramiento de calidad puede profundizar diferencias preexistentes entre participantes del mercado.

Estas asimetrías pueden manifestarse en aspectos como:

- Diferencias en costos asociados al cumplimiento de requisitos técnicos,
- Capacidad de respuesta frente a procesos de verificación,
- Acceso a laboratorios y métodos de análisis,
- Disponibilidad de soporte técnico y metrológico,
- Tiempos de aprobación y validación de calidad,
- Capacidad para atender requerimientos de trazabilidad y control.
- Suficiencia del soporte documental para demostrar la conformidad del producto.

La existencia de una especificación común y de criterios técnicos uniformes resulta relevante porque permite reducir diferencias en la forma como los agentes verifican, documentan y acreditan la calidad del producto. Desde el punto de vista técnico y comercial, trabajar con una especificación unificada facilita la conformación de un mercado más integrado, en el que el producto pueda movilizarse bajo reglas comparables y con menores incertidumbres para los participantes. La literatura técnica ha señalado que una especificación común puede favorecer un mercado unificado y permitir el movimiento de combustibles de acuerdo con la oferta y la demanda, aspecto estratégico para el precio y el abastecimiento; además, destaca que especificaciones con rangos adecuados para distintos parámetros pueden ser aplicables a combustibles producidos con tecnologías diferentes, sin comprometer su desempeño[38].

[38] Naciones Unidas, Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2006). *Especificaciones de la calidad del etanol carburante y del gasohol (mezcla de gasolina y etanol) y normas técnicas para la infraestructura*(LC/MEX/L.741/Rev.1). https://estadisticas.dgehm.gob.sv/wp-content/uploads/2017/08/2006-etanol_-especificaciones-de-la-calidad-del-etanol-carburante-y-del-gasohol-y-normas-tecnicas-para-la-infraestructura-p1.pdf

En ausencia de criterios comunes de verificación, los agentes pueden enfrentar cargas diferenciadas para demostrar el cumplimiento de los parámetros fisicoquímicos. Esto significa que, aun cuando todos estén sujetos a la misma obligación general de calidad, la forma de acreditar el cumplimiento puede variar según la capacidad técnica disponible, el acceso a laboratorios, la interpretación de los métodos de ensayo o la suficiencia del soporte documental. En la práctica, estas diferencias pueden traducirse en mayores tiempos, costos o dificultades para algunos participantes frente a otros.

Adicionalmente, la falta de uniformidad en la interpretación y aplicación de criterios técnicos puede generar percepciones diferenciadas sobre las condiciones regulatorias y operativas aplicables a cada agente del mercado. Esto puede ocurrir, por ejemplo, cuando existen diferencias sobre el método de ensayo aceptado, la validez de un resultado de laboratorio, la trazabilidad de una muestra, el alcance del soporte documental o la suficiencia de los mecanismos internos de control de calidad.

La estandarización técnica, por tanto, no cumple únicamente una función de control sobre la calidad del etanol combustible, sino que también contribuye a equilibrar las condiciones operativas entre los participantes del mercado. Cuando los agentes conocen con claridad cuáles son los parámetros exigibles, cómo deben verificarse y bajo qué condiciones se acepta la conformidad del producto, se reducen espacios de interpretación diferenciada y se facilita una aplicación más homogénea de los requisitos técnicos.

En consecuencia, las diferencias en los procesos de aseguramiento y verificación de calidad pueden contribuir a un entorno con mayores desequilibrios técnicos y operacionales entre participantes. Esta situación puede afectar la homogeneidad de las condiciones de participación dentro del mercado de etanol combustible, especialmente cuando la capacidad de demostrar cumplimiento depende de recursos técnicos, infraestructura analítica o criterios interpretativos que no están suficientemente armonizados.