



Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), mayo-junio 2026,
Volumen 10, Número 3.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v10i3

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE VEHÍCULOS ALIMENTADOS CON MEZCLAS DE GASOLINAS BASE Y ETANOL ANHIDRO EN LA ALTURA

**EVALUATION OF THE PERFORMANCE OF VEHICLES
POWERED BY MIXTURES OF BASE GASOLINE AND
ANHYDROUS ETHANOL AT ALTITUDE**

Marcelo Parisaca Nina

Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia

Carlos Zabala Berrios

Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia

Jaime Eduardo Sánchez Guzmán

Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia

José Antonio Siñani Vilte

Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia

Evaluación del Comportamiento de Vehículos Alimentados con Mezclas de Gasolinas Base y Etanol Anhidro en la Altura

Marcelo Parisaca Nina¹

marceloparisaca39@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0001-3816-8082>

Universidad Mayor de San Andrés
La Paz – Bolivia

Carlos Zabala Berrios

carlozabala0369@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0006-6170-5305>

Universidad Mayor de San Andrés
La Paz – Bolivia

Jaime Eduardo Sánchez Guzmán

jedsanguz@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0000-6204-3610>

Universidad Mayor de San Andrés
La Paz – Bolivia

José Antonio Siñani Vilte

jasinani@umsa.bo

<https://orcid.org/0000-0003-0745-1982>

Universidad Mayor de San Andrés
La Paz – Bolivia

RESUMEN

La investigación aborda el problema de la limitada información técnica sobre el desempeño de mezclas de etanol anhidro en motores ciclo Otto en condiciones de altura, así como su efecto en potencia, torque y emisiones. El objetivo es evaluar el comportamiento de distintas mezclas de combustibles: gasolinas base C, B y D, etanol anhidro y Gasolina Especial RON85 como referencia, en vehículos representativos del parque automotor. La metodología consistió en la selección de doce vehículos de diferentes categorías, sometidos a pruebas dinamométricas, análisis de gases de escape y ensayos en pendiente, comparando el rendimiento de cada mezcla. Los resultados que se obtuvieron son: incremento de potencia entre 0,73 % y 12,21 %; reducción de potencia entre 0,17 % y 6,47 %; fuerza en pendiente entre 2438,33 N y 3606,08 N; reducción de emisiones de CO y HC; así como variaciones más marcadas en el torque asociadas al mayor octanaje. Se concluye que las mezclas con etanol anhidro son técnicamente viables, mejoran la eficiencia de combustión y reducen emisiones. Asimismo, el alto octanaje de las mezclas y del etanol permite evitar el fenómeno de knocking, evidenciándose sus beneficios especialmente en condiciones de pendiente y operación bajo carga.

Palabras clave: altitud; combustión; emisiones; rendimiento; potencia.

¹ Autor principal

Correspondencia: marceloparisaca39@gmail.com

Evaluation of the Performance of Vehicles Powered by Mixtures of Base Gasoline and Anhydrous Ethanol at Altitude

ABSTRACT

This research addresses the problem of limited technical information on the performance of anhydrous ethanol blends in Otto cycle engines at high altitudes, as well as their effect on power, torque, and emissions. The objective is to evaluate the behavior of different fuel blends: base gasolines C, B, and D, anhydrous ethanol, and RON85 Premium Gasoline as a reference, in vehicles representative of the automotive fleet. The methodology consisted of selecting twelve vehicles from different categories, subjecting them to dynamometer tests, exhaust gas analysis, and hill climb tests, comparing the performance of each blend. The results obtained are: power increases between 0.73% and 12.21%; power reductions between 0.17% and 6.47%; hill climb torque between 2438.33 N and 3606.08 N; reductions in CO and HC emissions; and more pronounced variations in torque associated with higher octane ratings. It is concluded that blends with anhydrous ethanol are technically viable, improve combustion efficiency, and reduce emissions. Furthermore, the high octane rating of both the blends and the ethanol helps prevent engine knocking, with its benefits being particularly evident under inclines and during operation under load.

Keywords: altitude; combustion; emissions; performance; power

*Artículo recibido 20 mayo 2026
Aceptado para publicación: 20 junio 2026*



INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica generada por el sector transporte constituye una de las principales problemáticas ambientales a nivel mundial, debido a su contribución significativa a las emisiones de gases contaminantes y de efecto invernadero («GHG Emissions», s. f.).

En Bolivia, esta situación se ha intensificado en la última década como consecuencia del acelerado crecimiento del parque automotor, el cual se incrementó exponencialmente entre los años 2014 y 2024 (Instituto Nacional de Estadística, 2024). Este incremento ha generado una mayor demanda de combustibles fósiles, elevando los niveles de emisiones de monóxido de carbono (CO), hidrocarburos no quemados (HC) y otros contaminantes, afectando la calidad del aire, especialmente en ciudades con alta densidad poblacional (Luján Pérez & Gonzáles Zurita, 2016).

En este contexto, surge la necesidad de implementar alternativas energéticas que permitan reducir el impacto ambiental del transporte sin comprometer el desempeño de los motores. Una de las principales estrategias adoptadas en Bolivia es la incorporación de biocombustibles, particularmente el etanol anhidro, como aditivo en mezclas con gasolina.

En este sentido, la promulgación de la Ley N.º 1098 en 2018 estableció el marco normativo para la producción, almacenamiento, transporte, comercialización y mezcla de aditivos de origen vegetal, con el objetivo de sustituir gradualmente la importación de insumos fósiles y fortalecer la seguridad energética del país (Ley N.º 1098: Marco normativo para la producción, almacenaje, transporte, comercialización y mezcla de aditivos de origen vegetal, 2018).

Diversas investigaciones científicas han evaluado el uso de etanol anhidro en motores de ciclo Otto. Inicialmente, se presentaron resultados preliminares sobre el impacto de mezclas etanol-gasolina, evidenciando mejoras en el desempeño del motor y reducciones en emisiones contaminantes (Universidad Mayor de San Andrés - Información, 2022).

Posteriormente, estos estudios se consolidaron mediante la evaluación de mezclas con concentraciones de etanol entre 0 % y 25 % plasmada en la tesis de investigación titulada “Evaluación del impacto de diferentes mezclas de etanol anhidro y gasolina en vehículos equipados con motores ciclo Otto convencionales a 3600 msnm”, realizada por el Ing. Marco Antoni Torrez Caviña (Torrez Caviña, 2023).



Asimismo, se desarrollaron investigaciones conjuntas enfocadas en evaluar mezclas con contenidos de etanol entre 8 % y 15 %, cuyos resultados evidenciaron tres beneficios principales: incremento en la potencia y el torque del motor, reducción de emisiones contaminantes y disminución en el consumo de combustible (Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos, 2023). Además, se determinó que el uso de etanol anhidro no genera efectos adversos en el motor, ya que su incorporación contribuye a una combustión más eficiente debido a su contenido de oxígeno y a la reducción de la temperatura de combustión.

No obstante, pese a los avances alcanzados, estas investigaciones presentan limitaciones importantes, ya que han sido desarrolladas principalmente con un solo tipo de gasolina base y en condiciones controladas o con muestras reducidas de vehículos.

Esta situación evidencia una brecha en el conocimiento técnico respecto al comportamiento de diferentes mezclas de gasolinas base con etanol anhidro en condiciones reales de operación, particularmente en regiones de gran altitud, donde la menor densidad del aire influye significativamente en el proceso de combustión y en el rendimiento del motor (Heywood, 2019; *Internal Combustion Engine Fundamentals* | McGraw-Hill Education - Access Engineering, s. f.).

En respuesta a esta problemática, se estableció un proyecto de investigación conjunto ejecutado entre la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA), a través del IIME, y YPFB Corporación. Este proyecto amplía el alcance de las investigaciones previas al incorporar diferentes tipos de gasolinas base, mayores concentraciones de biocombustibles y una variedad más amplia de ensayos, incluyendo pruebas dinamométricas, análisis de gases de escape, ensayos de opacidad y pruebas en condiciones reales de operación (Universidad Mayor de San Andrés - Información, 2024)

La presente investigación se justifica desde múltiples enfoques. Desde el punto de vista científico, contribuye a la generación de conocimiento técnico sobre el comportamiento de mezclas de combustibles en condiciones de altura. Desde el ámbito ambiental, permite evaluar alternativas que reduzcan las emisiones contaminantes del sector transporte. En el ámbito económico, representa una oportunidad para disminuir la dependencia de combustibles fósiles importados y promover la producción nacional (Bolivia) de biocombustibles.



Finalmente, desde una perspectiva social y energética, fortalece la seguridad energética del país mediante el aprovechamiento de recursos renovables.

METODOLOGÍA

Tipo de investigación

La investigación se enmarca en un nivel explicativo, al sustentarse en antecedentes científicos consolidados y orientarse al análisis e interpretación de las relaciones causales entre las variables de estudio, con el propósito de profundizar y ampliar el conocimiento previamente reportado en la literatura especializada.

Diseño de investigación

El diseño de la investigación se sustenta en el empleo de métodos estadísticos para el procesamiento, análisis e interpretación de los datos experimentales, con el fin de identificar patrones, establecer relaciones significativas entre variables y asegurar la robustez y validez de los resultados obtenidos.

Población o sistema de estudio

La población estará basada en 12 vehículos, los cuales fueron seleccionados por YPFB Corporación – Gerencia de Comercialización, lo que se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1. Clasificación de la población vehicular por etapas de estudio.²

Etapas	Camioneta	Vagoneta	Automóvil	Minibús
Etapas 1	Toyota Hilux	Suzuki Grand Vitara	Toyota Corolla	King Long XMQ6520E
Etapas 2	Nissan Frontier	Toyota IPSUM	Volkswagen Gol	Toyota Hiace
Etapas 3	Nissan Xtrail	Chevrolet Onix	Suzuki Alto	Nissan Caravan

La población de vehículos se divide en tres etapas, cada una con cuatro categorías: camionetas, vagonetas, automóviles y minibuses, considerando distintas marcas y cilindradas. Cada vehículo cuenta con fichas de recepción y salida, donde se registran datos como conductor, estado, tipo y marca.

Instrumentos o equipos utilizados

Los ensayos experimentales fueron realizados mediante el empleo de equipos especializados de alta precisión. Para la evaluación del desempeño del motor se utilizó un dinamómetro de chasis LPS 3000

² Datos proporcionados por YPFB Corporación.

LKW, el cual permite la determinación de potencia (kW) y torque (Nm) bajo condiciones controladas, a través de la simulación de carga sobre el vehículo, así como el registro de variables operativas tales como la velocidad del motor (rpm) y la velocidad del vehículo (km/h).

Figura 1. Instalación del dinamómetro de chasis LPS 3000 LKW en los laboratorios del IIME – UMSA.³



Las mediciones se efectuaron siguiendo lineamientos establecidos en normas internacionales, como ISO 1585 (Organización Internacional de Normalización, 2020) y SAE J1349(SAE International, 2023), garantizando la trazabilidad, repetibilidad y confiabilidad de los resultados obtenidos.

Por su parte, el análisis de emisiones se llevó a cabo utilizando un medidor de gases MET 6.1 de MAHA, equipo diseñado para la cuantificación de contaminantes en los gases de escape, incluyendo monóxido de carbono (CO, % vol.) e hidrocarburos no quemados (HC, ppm) (MAHA Maschinenbau Haldenwang GmbH & Co. KG, 2016).

³ Fotografía tomada de Servicios y laboratorios del Instituto de Investigaciones Mecánicas y Electromecánica - Carrera de Ingeniería Mecánica y Electromecánica

Figura 2. Analizador de gases de escape MAHA MET 6.1 utilizado en los ensayos experimentales⁴



Este sistema permite la adquisición de datos en tiempo real bajo distintas condiciones de operación, operando conforme a estándares internacionales de medición de emisiones, lo que asegura la precisión y validez de los resultados experimentales.

Procedimiento experimental

Los combustibles empleados en la investigación (gasolinas base C, B y D, gasolina GE RON85 y etanol anhidro) fueron suministrados por YPFB Corporación y almacenados en las instalaciones del IIME bajo estrictas condiciones controladas de seguridad.

Figura 3. Forma de entrega de combustibles por parte de YPFB⁵



⁴ Fotografía tomada en las instalaciones del Instituto de Investigaciones Mecánicas y Electromecánica (IIME - UMSA) durante la fase de adquisición de datos de emisiones.

⁵ Registro fotográfico de la entrega de gasolinas base provistos por Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos (YPFB) en los laboratorios del IIME.

Las mezclas experimentales se prepararon el mismo día de cada ensayo mediante un procedimiento volumétrico estandarizado para obtener volúmenes consolidados de 5 L en proporciones específicas (ASTM International, 2022), minimizando así cualquier alteración en la composición debido a la alta volatilidad del alcohol.

Figura 4. Dosificación volumétrica y acondicionamiento de las mezclas de combustible para los ensayos⁶



El programa experimental comprendió la evaluación de los cinco combustibles en la población vehicular seleccionada de 12 unidades, completando un diseño de 60 ensayos dinamométricos.

Con el propósito de garantizar la repetibilidad y reproducibilidad de los resultados, se efectuaron cinco réplicas por cada prueba, consolidando una base de datos de aproximadamente 300 registros operativos que incluyeron curvas de potencia y torque (*ISO 5725-2*, s. f.).

De manera complementaria, se realizaron análisis en tiempo real de los gases de escape para cuantificar las emisiones de CO (% vol) e HC (ppm), así como pruebas de desempeño bajo carga en pendientes con tres ángulos de inclinación diferenciados.

Previo a la ejecución de cada corrida, se implementó un protocolo de verificación técnica que incluyó la calibración de los equipos de medición, la inspección del estado mecánico y de neumáticos de los vehículos, y la desactivación de sistemas electrónicos de asistencia que pudieran interferir con los rodillos (Organización Internacional de Normalización, 2020).

Asimismo, la alimentación de combustible se realizó mediante sistemas periféricos externos e independientes para suprimir el riesgo de contaminación cruzada entre las distintas mezclas ensayadas.

⁶ Se lo realiza en recipientes separados con el objetivo de no mezclar las gasolinas bases.

Al finalizar los ciclos de carga y validar la ausencia de desviaciones significativas en los reportes de datos, se procedió al cierre del ensayo y despacho de la unidad.

Método de análisis

Los datos experimentales fueron procesados mediante herramientas estadísticas, utilizando Microsoft Excel para su organización, análisis y representación gráfica. Se aplicó estadística descriptiva con el objetivo de evaluar la variabilidad, identificar patrones y establecer comparaciones entre las condiciones ensayadas, permitiendo la adecuada interpretación de los resultados y la verificación de la hipótesis de investigación (Teddy Canelas V., 1995).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La ejecución del programa experimental, compuesto por un diseño de 60 ensayos dinamométricos con cinco réplicas por unidad, generó un volumen exhaustivo de información técnica que comprende aproximadamente 1042 páginas de registros operativos y reportes de emisiones (*Databook_Investigación_Combustibles*, s. f.).

Dado el elevado nivel de detalle derivado de la evaluación individualizada por vehículo, el presente apartado se centra en un análisis global consolidado de las pruebas de potencia, torque y comportamiento ante condiciones de carga en pendientes.

Para la evaluación de los resultados, se adoptó como línea base el combustible de referencia GE RON85, facilitando la interpretación clara de las tendencias termodinámicas y ambientales observadas al no contener aditivos de etanol anhidro⁷.

⁷ Los reportes técnicos brutos y las lecturas completas del dinamómetro de chasis y análisis de gases (1042 páginas de respaldo) se encuentran alojados en la plataforma de almacenamiento digital del investigador para su consulta pública:



Análisis global de ensayos dinamométricos

Tabla 2. Comparativa global de las variaciones porcentuales de potencia en los vehículos ensayados respecto a la línea base (GE RON85)⁸

Vehículo	GE RON85	GBC E12	GBC E15	GBB E12	GBD E12
Toyota Hilux	Base	+1,61 %	+3,46 %	+3,91 %	+1,76 %
Suzuki Grand Vitara	Base	-3,35 %	-3,88 %	-1,78 %	+0,00 %
Toyota Corolla	Base	+7,75 %	+2,76 %	+12,21 %	+11,59 %
King Long XMQ6520E	Base	+2,01 %	+5,37 %	+3,71 %	+3,00 %
Nissan Frontier	Base	+2,07 %	+2,42 %	+2,61 %	+2,08 %
Toyota Ipsum	Base	-3,16 %	-7,17 %	-4,57 %	+4,87 %
Volkswagen Gol	Base	+1,29 %	-2,45 %	-1,52 %	-6,47 %
Toyota Hiace	Base	-1,64 %	-1,09 %	+0,91 %	-1,95 %
Nissan X-Trail	Base	+1,71 %	+1,89 %	-0,17 %	-1,94 %
Suzuki Alto	Base	-4,77 %	-2,59 %	+2,44 %	+0,73 %
Chevrolet Onix	Base	-1,02 %	+2,91 %	+2,86 %	+4,91 %
Nissan Caravan	Base	+1,61 %	+3,46 %	+3,91 %	+1,76 %
Promedios globales					
Promedio %		0,34%	0,42%	2,04%	1,70%

Tras el procesamiento de los datos, se observa que las variaciones en la potencia neta presentan un rango de incremento entre 0,73 % y 12,21 %, mientras que las reducciones oscilan entre 0,17 % y 6,47 % respecto a la línea base. Esta fluctuación se atribuye principalmente al balance termodinámico entre el menor poder calorífico del etanol y su mayor número de octano.

Es pertinente señalar que los ensayos se llevaron a cabo bajo condiciones de carga parcial, lo cual limita la manifestación completa del efecto del mayor octanaje de las mezclas GBB E12 y GBD E12. Bajo este protocolo, la capacidad antidetonante del etanol no se ve exigida en su totalidad.

Análisis global de Gases de Escape

Para la evaluación comparativa de las emisiones vehiculares bajo la normativa NB 62002 (Instituto Boliviano de Normalización y Calidad (IBNORCA), 2007), se seleccionaron los parámetros de monóxido de carbono (CO [%vol.]) e hidrocarburos (HC [ppm]) como indicadores críticos.

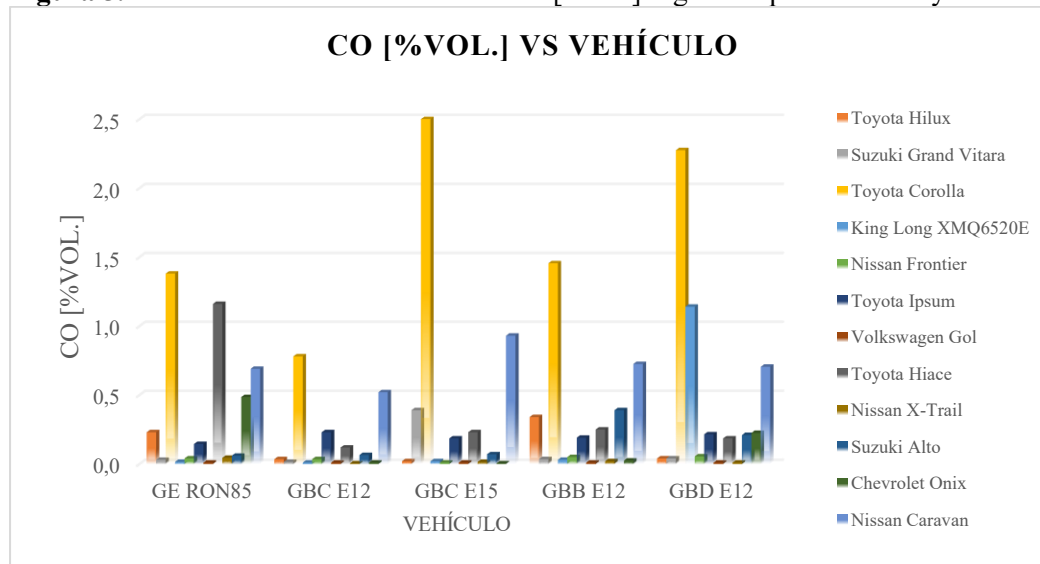
⁸ Los valores positivos indican un incremento en la potencia neta, mientras que los valores negativos representan una reducción respecto al combustible de referencia.

Esta delimitación se debe a que dichos gases mostraron las variaciones más significativas durante el programa experimental, mientras que los valores restantes registraron fluctuaciones mínimas que no representan una alteración sustancial en el perfil de emisiones de las unidades evaluadas

Tabla 3. Comparación global de análisis de gases de 12 vehículos "CO".⁹

Vehículo	GE RON85	GBC E12	GBC E15	GBB E12	GBD E12
CO [%Vol.]					
Toyota Hilux	+0,230	+0,035	+0,020	+0,340	+0,040
Suzuki Grand Vitara	+0,030	+0,015	+0,390	+0,035	+0,040
Toyota Corolla	+1,380	+0,780	-4,085	+1,455	+2,275
King Long XMQ6520E	+0,015	+0,010	+0,020	+0,030	+1,140
Nissan Frontier	+0,040	+0,035	+0,010	+0,050	+0,055
Toyota Ipsilon	+0,145	+0,230	+0,185	+0,190	+0,215
Volkswagen Gol	+0,010	+0,010	+0,010	+0,010	+0,010
Toyota Hiace	+1,160	+0,119	+0,230	+0,250	+0,185
Nissan X-Trail	+0,045	+0,005	+0,015	+0,020	+0,010
Suzuki Alto	+0,060	+0,065	+0,070	+0,390	+0,210
Chevrolet Onix	+0,485	+0,010	+0,005	+0,025	+0,225
Nissan Caravan	+0,690	+0,520	+0,930	+0,725	+0,705
Promedios globales de CO					
Promedio	+0,358	+0,153	+0,498	+0,293	+0,426

Figura 5. Concentración de emisiones de CO [%vol.] según el tipo de mezcla y vehículo evaluado.¹⁰



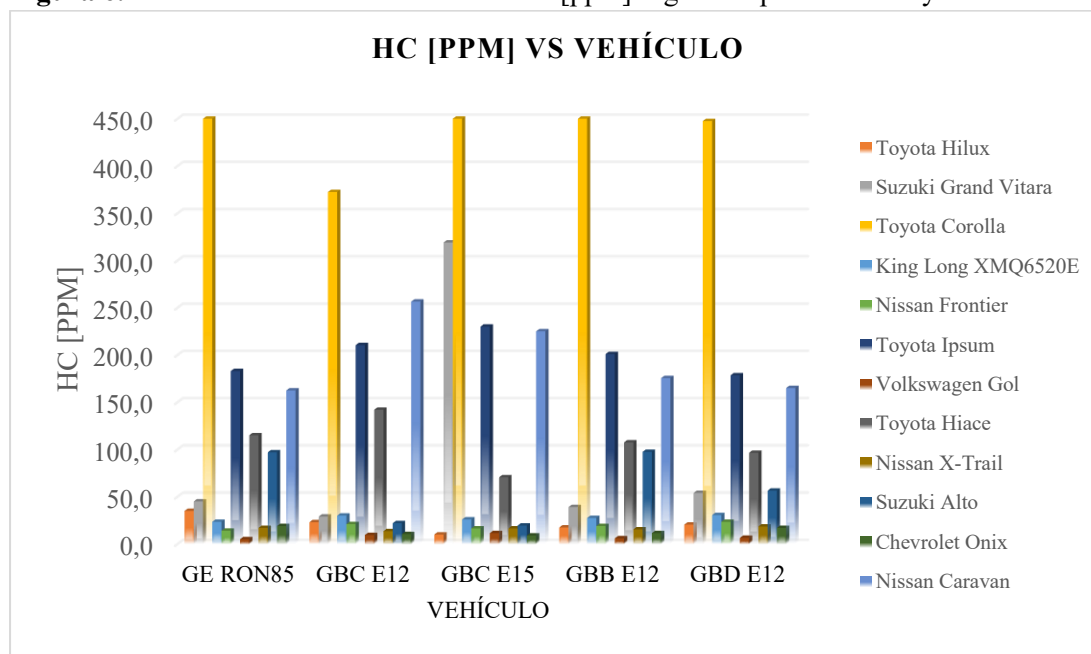
⁹ El signo + indica que cumple con la normativa, el signo - indica que no cumple con la normativa.

¹⁰ Para visualizar mejor la gráfica, se usará como valor máximo de CO = 2,5 [%Vol.], ya que los resultados del vehículo Toyota Corolla supera el valor indicado por la normativa.

Tabla 4. Comparación global de análisis de gases de 12 vehículos "HC".¹¹

	GE RON85	GBC E12	GBC E15	GBB E12	GBD E12
Vehículo	HC [ppm]				
Toyota Hilux	+35,000	+23,000	+10,000	+17,500	+20,500
Suzuki Grand Vitara	+45,000	+29,000	+319,000	+39,000	+54,000
Toyota Corolla	-674,500	+372,500	-1268,500	-572,500	+447,500
King Long XMQ6520E	+23,500	+30,000	+26,000	+27,500	+30,500
Nissan Frontier	+14,000	+21,000	+16,500	+19,000	+23,500
Toyota Ipsum	+183,000	+210,500	+230,000	+201,000	+178,500
Volkswagen Gol	+5,000	+9,500	+11,500	+6,000	+6,500
Toyota Hiace	+115,000	+142,000	+70,500	+107,500	+96,500
Nissan X-Trail	+17,000	+13,500	+16,500	+15,500	+18,500
Suzuki Alto	+97,000	+22,000	+19,500	+97,500	+56,500
Chevrolet Onix	+19,000	+10,500	+9,000	+11,500	+17,000
Nissan Caravan	+162,500	+256,500	+225,000	+175,500	+165,000
Promedios globales de HC [ppm]					
Promedio	+115,875	+95,000	+185,167	+107,500	+92,875

Figura 6. Concentración de emisiones de HC [ppm] según el tipo de mezcla y vehículo evaluado.¹²



¹¹ El signo + indica que cumple con la normativa, el signo - indica que no cumple con la normativa

¹² Para visualizar mejor la gráfica, se usará como valor máximo de HC 450 [ppm.], ya que los resultados del vehículo Toyota Corolla supera el valor indicado por la normativa.

Análisis global de pendientes

Se analiza de manera global los 3 tipos de pendientes establecidos.

Tabla 5. Comparativa global de las fuerzas con ángulo de prueba 10,76°.

Vehículo	FUERZA [N]				
	GE RON85	GBC E12	GBC E15	GBB E12	GBD E12
Toyota Hilux	5116,80	5049,00	4819,70	2888,60	5249,90
Suzuki Grand Vitara	2265,80	2426,10	2930,00	2482,70	2411,30
Toyota Corolla	2375,40	2442,50	2431,00	2484,90	2369,90
King Long XMQ6520E	1733,80	3848,80	4370,80	4314,90	4083,00
Nissan Frontier	2423,70	4349,40	3782,50	4349,40	4053,70
Toyota Ipsum	2851,00	2915,90	2935,00	3021,60	4099,30
Volkswagen Gol	1748,90	1938,70	3148,30	3366,00	2648,80
Toyota Hiace	1823,90	2505,90	4474,30	7029,50	5791,30
Nissan X-Trail	3203,60	2688,80	2509,30	3482,90	3138,50
Suzuki Alto	1392,30	1414,50	1408,30	1398,60	1401,40
Chevrolet Onix	2255,00	2334,90	2319,80	2915,50	2907,20
Nissan Caravan	2069,80	2074,60	1858,70	2489,50	2382,90
Promedio	2438,33	2832,43	3082,31	3352,01	3378,10

Figura 7. Comparativa de fuerzas vs vehículo para el ángulo 10,76°.

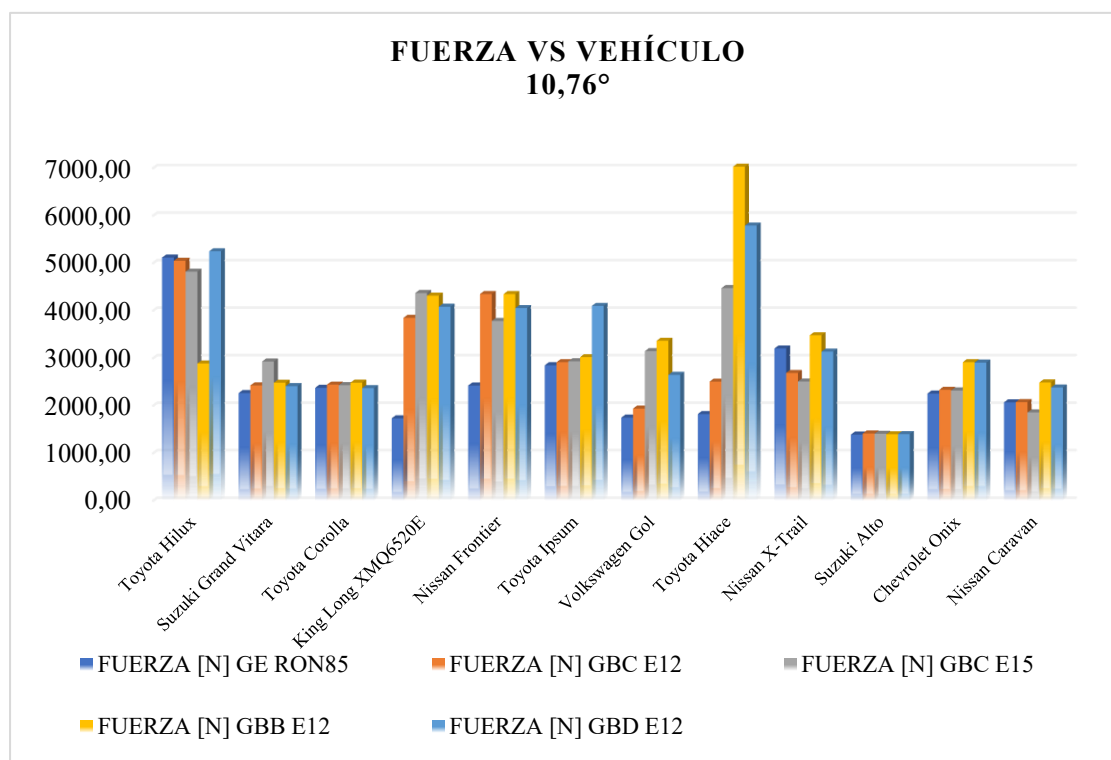


Tabla 6. Comparativa global de las fuerzas con ángulo de prueba 11,86°.

Vehículo	Fuerza [N]				
	GE RON85	GBC E12	GBC E15	GBB E12	GBD E12
Toyota Hilux	5148,00	5016,00	5084,50	3487,40	4951,30
Suzuki Grand Vitara	2696,90	2415,50	3156,70	2731,40	2659,00
Toyota Corolla	2486,70	2448,30	2514,60	2444,10	2384,30
King Long XMQ6520E	2903,90	3961,00	4448,60	4223,40	4151,10
Nissan Frontier	2760,00	4745,30	4240,10	4745,30	4248,00
Toyota Ipsum	2488,00	2888,80	2939,50	2985,00	4214,60
Volkswagen Gol	1718,20	2358,10	3360,00	3562,70	3437,30
Toyota Hiace	1788,20	3212,10	5090,90	6621,20	6025,00
Nissan X-Trail	3373,50	3189,60	2632,40	3177,80	2249,40
Suzuki Alto	1543,90	1542,50	1997,70	1585,00	1558,10
Chevrolet Onix	2459,70	2629,10	2992,70	2964,50	3096,40
Nissan Caravan	2018,20	2115,00	2319,30	2618,50	2346,10
Promedio	2615,43	3043,44	3398,08	3428,86	3443,38

Figura 8. Comparativa de fuerzas vs vehículo para el ángulo 11,86°.

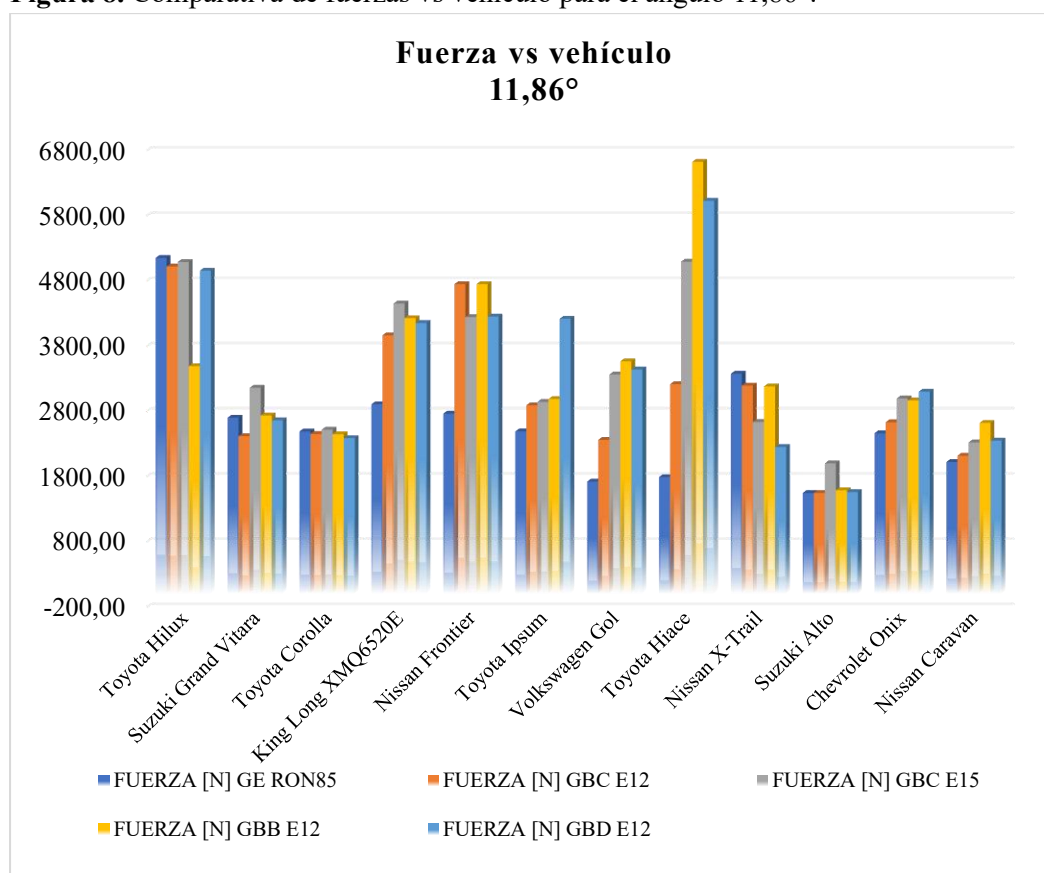
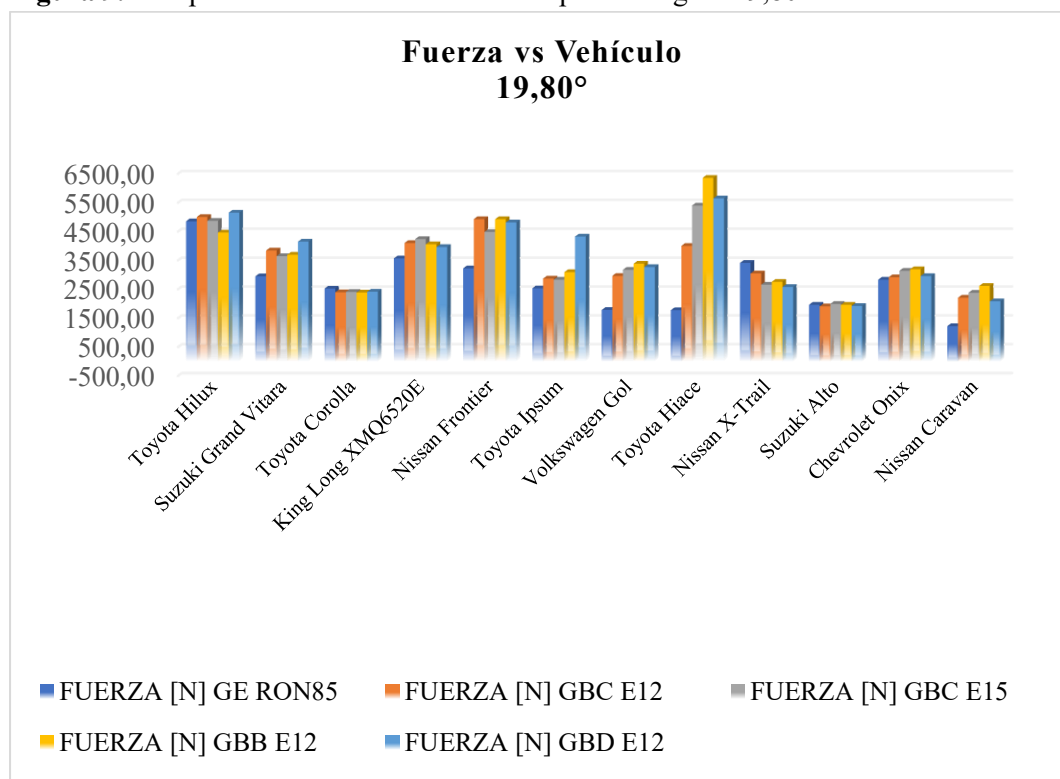


Tabla 7. Comparativa global de las fuerzas con ángulo de prueba 19,80°.

Vehículo	FUERZA [N] ¹³				
	GE RON85	GBC E12	GBC E15	GBB E12	GBD E12
Toyota Hilux	4851,70	5001,30	4867,70	4464,10	5151,40
Suzuki Grand Vitara	2947,20	3840,50	3647,90	3694,80	4148,80
Toyota Corolla	2526,00	2397,20	2409,10	2387,10	2414,70
King Long XMQ6520E	3568,70	4100,30	4237,30	4057,20	3963,50
Nissan Frontier	3223,90	4928,60	4485,50	4928,60	4813,30
Toyota Ipsum	2533,50	2867,80	2832,70	3095,00	4324,40
Volkswagen Gol	1782,70	2962,80	3173,40	3385,70	3267,40
Toyota Hiace	1776,20	4001,10	5398,40	6356,90	5646,00
Nissan X-Trail	3412,00	3049,60	2656,30	2758,90	2578,70
Suzuki Alto	1961,90	1908,60	1994,50	1964,00	1923,20
Chevrolet Onix	2831,00	2917,00	3141,00	3193,10	2958,50
Nissan Caravan	1222,10	2206,70	2378,90	2614,10	2083,00
Promedio	2719,74	3348,46	3435,23	3574,96	3606,08

Figura 9. Comparativa de fuerzas vs vehículo para el ángulo 19,80°.

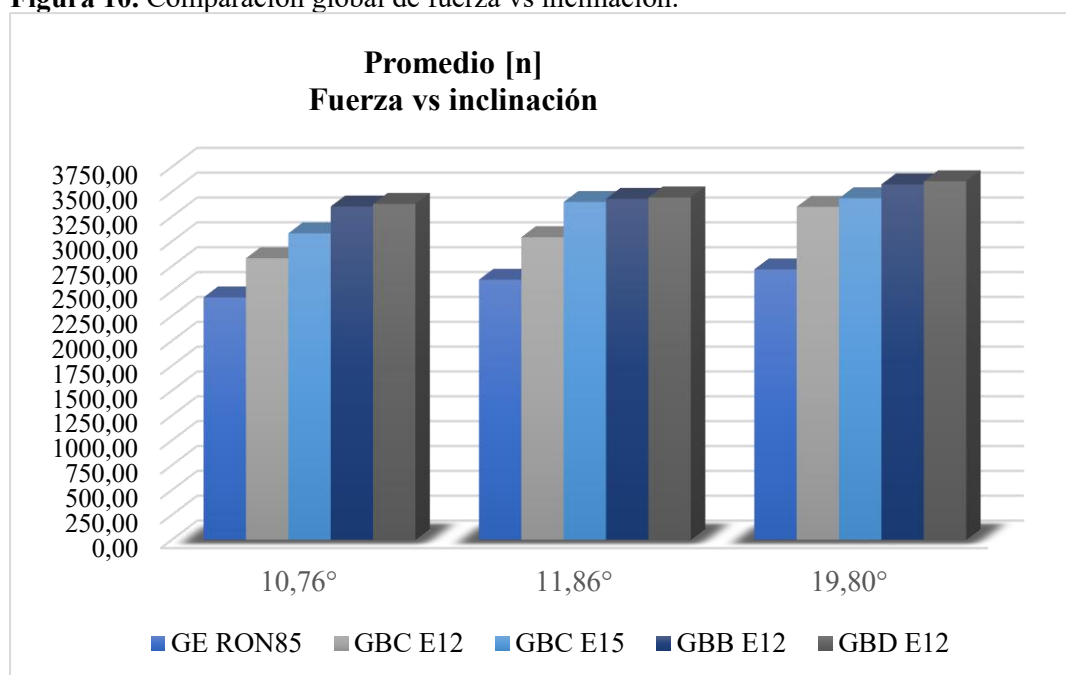


¹³ Un newton (N) es la fuerza que, aplicada a un cuerpo que tiene una masa de 1 kilogramo, le comunica una aceleración de 1 metro por segundo cuadrado:

Tabla 8. Comparación de promedios de 3 pendientes con 5 mezclas

Inclinación	GE RON85 [N]	GBC E12 [N]	GBC E15 [N]	GBB E12 [N]	GBD E12 [N]
10,76°	2438,33	2832,43	3082,31	3352,01	3378,10
11,86°	2615,43	3043,44	3398,08	3428,86	3443,38
19,80°	2719,74	3348,46	3435,23	3574,96	3606,08

Figura 10. Comparación global de fuerza vs inclinación.



CONCLUSIONES

La investigación demuestra que la incorporación de etanol anhidro en mezclas GBB/GBD E12 y GBC E12/E15 es técnicamente viable en condiciones de alta altitud (3600 msnm). A diferencia de estudios previos, este trabajo amplió significativamente la base experimental al evaluar un espectro diversificado de gasolinas base (C, B y D), lo que permitió obtener un conjunto de datos más robusto y representativo del parque automotor actual en Bolivia. Los resultados evidencian una respuesta heterogénea en la potencia neta, la cual está supeditada a factores críticos como la gestión electrónica del vehículo, su estado mecánico y las condiciones de operación (altitud y topografía). Estas variables definen la eficiencia del combustible, por lo que la maximización de sus beneficios depende de una correcta adecuación a las condiciones particulares de cada unidad.

Respecto al desempeño bajo exigencia, se concluye que el mayor octanaje del etanol es el factor determinante para mitigar el efecto knocking, permitiendo una recuperación de fuerza notable en pendientes frente a la gasolina base (RON85). En términos ambientales, el aporte de oxígeno del etanol asegura que el 99 % de los vehículos evaluados mantengan sus emisiones de CO y HC dentro de los límites de la normativa NB 62002 (0,5 % vol. para CO), validando este biocombustible como una solución técnica eficaz para la transición energética nacional en Bolivia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTM International. (2022). Standard Specification for Automotive Spark-Ignition Engine Fuel [ASTM D4814-22]. <https://store.astm.org/d4814-22.html>

Databook_Investigación_Combustibles. (s. f.). Google Drive. Recuperado 31 de mayo de 2026, de https://drive.google.com/drive/folders/1rKfwNzFWJyk1rWrWCFIkfAskoFlkEbE_

GHG emissions. (s. f.). International Council on Clean Transportation. Recuperado 30 de mayo de 2026, de <https://theicct.org/policies/ghg-emissions/>

Heywood, J. (2019). *Internal Combustion Engine Fundamentals 2E* (2nd edition). McGraw-Hill Education.

Instituto Boliviano de Normalización y Calidad (IBNORCA). (2007). Calidad del aire—Emisiones de fuentes móviles—Generalidades, clasificación y límites máximos (*NB 62002*). <https://www.aduana.gob.bo/sites/default/files/NormativaVigente/otros/Norma%20Boliviana%2062002%20Calidad%20del%20aire-emisiones%20de%20fuentes%20m%C3%B3viles%20generalidades%2C%20clasificaci%C3%B3n%20y%20l%C3%ADmites%20m%C3%A1ximos.pdf>

Instituto Nacional de Estadística. (2024). *Estadísticas del Parque Automotor en Bolivia*. (<https://www.ine.gob.bo/index.php/estadisticas-economicas/transportes/>)

Internal Combustion Engine Fundamentals | McGraw-Hill Education—Access Engineering. (s. f.). Recuperado 30 de mayo de 2026, de <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9781260116106>

ISO 5725-2:2025. (s. f.). ISO. Recuperado 30 de mayo de 2026, de <https://www.iso.org/standard/90054.html>



- Ley N.º 1098: Marco normativo para la producción, almacenaje, transporte, comercialización y mezcla de aditivos de origen vegetal, Gaceta Oficial del Estado Plurinacional de Bolivia (2018). (https://www.anh.gob.bo/InsideFiles/Documentos/Documentos_Id-1225-250421-0731-0.pdf)
- Luján Pérez, M., & Gonzáles Zurita, D. (2016). Determinación del impacto de varios contaminantes criterio sobre la salud de la población en ciudades capitales de Bolivia. *Acta Nova*, 7(3), 302-333.
- MAHA Maschinenbau Haldenwang GmbH & Co. KG. (2016). Analizador de emisiones MET 6.1: Manual de instrucciones de funcionamiento. <https://www.maha.de/es/productos/tecnologia-de-medicion-de-gases-de-escape/medidor-de-gases-de-emision/met-61~p2120>
- Organización Internacional de Normalización. (2020). Road vehicles—Engine test code—Net power. <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/70078/584ea45965bb4b14b2565dfe1bd047d9/ISO-1585-2020.pdf>
- SAE International. (2023). Engine Power Test Code—Spark Ignition and Compression Ignition—As Installed Net Power and Torque Rating. <https://www.sae.org/standards/j1349-engine-power-test-code-spark-ignition-compression-ignition-installed-net-power-torque-rating>
- Teddy Canelas V. (1995). Estadística Descriptiva y Probabilidades (Primera). Librerías Latinas Editoriales. <https://repositorio.umsa.bo/xmlui/bitstream/handle/123456789/4469/Canelas%20Iro.pdf?sequence=6&isAllowed=y>
- Torrez Caviña, M. A. (2023). Evaluación del impacto de diferentes mezclas de etanol anhidro y gasolina en vehículos equipados con Motores Ciclo Otto convencionales a 3600 msnm [Thesis]. <https://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/33653>
- Universidad Mayor de San Andrés - Información. (2022, octubre 11). Presentación de resultados del estudio: Evaluación preliminar del impacto de mezclas etanol-gasolina en motores de ciclo Otto [Publicación de Facebook]. *Facebook*. <https://www.facebook.com/UMSAinformacion/posts/se-invita-a-la-comunidad-universitaria-y-poblaci%C3%B3n-en-general-a-la-presentaci%C3%B3n-/1920793161457761/>



Universidad Mayor de San Andrés - Información. (2024, septiembre 2). Se firmó el contrato de servicios de pruebas de rendimiento de combustibles [Publicación de Facebook]. Facebook. <https://www.facebook.com/UMSAinformacion/posts/se-firm%C3%B3-el-contrato-de-servicios-de-pruebas-de-rendimiento-de-combustibles-gest/909757654521006/>

Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos. (2023, abril 21). Estudio de la UMSA evidencia 3 ventajas en el uso del etanol anhidro con gasolina. *Encuentros*. <https://encuentros.com.bo/estudio-de-la-umsa-evidencia-3-ventajas-en-el-uso-del-etanol-anhidro-con-gasolina/>

