



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE CUENCA**

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA CALIDAD DE COMBUSTIBLES EN GASOLINERAS  
DE LA CIUDAD DE MACHALA MEDIANTE ESPECTROSCOPIA FTIR**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
título de Ingeniero Automotriz

**AUTORES: FRANCO JHOEL CUENCA TAMAY**

**JOAO ALEXNADER TORO CEDILLO**

**TUTOR: ING. JUAN FERNANDO CHICA SEGOVIA, MSC.**

Cuenca - Ecuador

2026

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN**

Nosotros, Franco Jhoel Cuenca Tamay con documento de identificación N° 1150572855 y Joao Alexander Toro Cedillo con documento de identificación N° 0707073151; manifestamos que:

Somos los autores responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 15 de enero del 2026


Atentamente,



---

Franco Jhoel Cuenca Tamay

1150572855



---

Joao Alexander Toro Cedillo

0707073151

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Franco Jhoel Cuenca Tamay con documento de identificación N° 1150572855 y Joao Alexander Toro Cedillo con documento de identificación N° 0707073151, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto técnico: “Análisis comparativo de la calidad de combustibles en gasolineras de la ciudad de Machala mediante espectroscopia FTIR”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Automotriz, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 15 de enero del 2026

Atentamente,



---

Franco Jhoel Cuenca Tamay

1150572855



---

Joao Alexander Toro Cedillo

0707073151

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Juan Fernando Chica Segovia con documento de identificación N° 0102220654, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA CALIDAD DE COMBUSTIBLES EN GASOLINERAS DE LA CIUDAD DE MACHALA MEDIANTE ESPECTROSCOPIA FTIR, realizado por Franco Jhoel Cuenca Tamay con documento de identificación N° 1150572855 y por Joao Alexander Toro Cedillo con documento de identificación N° 0707073151, obtenido como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 15 de enero del 2026

Atentamente



---

Ing. Juan Fernando Chica Segovia, MSC.

0102220654

## **DEDICATORIA**

*El presente proyecto de titulación lo dedico en especial para:*

*Mis abuelos, Adolfina Cuenca, Isaias Cuenca y José Tamay, que partieron hacia la gloria de Dios, les dedico este logro lleno de amor, por su legado y dejar una huella inolvidable que siguen presentes en mi vida y sé que desde donde están siempre me cuidan y me acompañan en cada paso que doy.*

*A mis padres, María Tamay y Efrain Cuenca quienes, con profundo amor incondicional, forman también parte de este proceso con su apoyo incondicional. Cada sacrificio, cada palabra de aliento, cada muestra de confianza y perseverancia han sido fundamentales para seguir adelante y alcanzar este logro. Este logro, también es fruto de su esfuerzo y de valores que me inculcaron.*

*A mi hermana Micaela, quien con su apoyo, fraternidad, compañía y ocurrencias ha sido parte de este camino. Tu presencia ha sido un pilar importante en mi vida y gracias por ser parte de ella.*

*Gracias a cada uno de ustedes por formar parte de mi vida, bríndame, amor en todo momento, fortaleza, apoyo y compromiso. Este logro también es suyo.*

**Franco Jhoel Cuenca Tamay**

## **DEDICATORIA**

*Con infinito amor dedico este trabajo a mis padres, Toro Apolo Wilmer Orlando y Cedillo Jumbo Verónica Alexandra, quienes han sido mi fuente de apoyo e inspiración durante este lapso académico, siempre voy a estar agradecido por los excelentes padres que tengo, este logro no habría sido posible sin ustedes y también les pertenece.*

*A mis hermanos, Sophia Toro, Yordan Iñiguez y Jordana Iñiguez que estuvieron siempre en las buenas y en las malas,*

*Y a mi Enamorada Franshesca Molina, por su apoyo incondicional y comprensión durante todo este proceso. Por siempre, Puchitos.*

*Los amo incondicionalmente; mi amada familia.*

**Joao Alexander Toro Cedillo**

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco en primer lugar a Dios, por siempre guiarme, llenarme de fortaleza y sabiduría en este proceso de formación.*

*De igual forma, quiero agradecer a toda mi familia por formar parte de este proceso, con su apoyo y palabras de aliento. Su presencia ha sido fundamental para mantener firme y comprometido con esta meta académica y personal.*

*A mi tutor, Ing. Juan Fernando Chica Segovia un agradecimiento profundo, por los conocimientos impartidos, brindarme la ayuda necesaria y orientación para culminar con el presente proyecto.*

*Finalmente, agradezco a docentes de la Universidad Politécnica Salesiana que formaron parte de mi formación académica, por impartir su conocimiento y enseñanzas. De igual manera agradecer a compañeros de carrera por su precias y apoyo en momentos complicados.*

**Franco Jhoel Cuenca Tamay**

## **AGRADECIMIENTO**

*Mi agradecimiento sincero a la Universidad Politécnica Salesiana por haberme brindado una formación integral y la oportunidad de desarrollarme en un entorno académico que promueve valores, responsabilidad y excelencia profesional. La experiencia adquirida en esta institución ha sido fundamental para mi crecimiento personal y académico.*

*Reconozco y valoro el apoyo de todos los docentes que formaron parte de mi proceso educativo, quienes con su conocimiento, compromiso y vocación supieron orientarme a lo largo de esta etapa, aportando herramientas esenciales para la construcción de mi formación profesional.*

*Expreso un agradecimiento especial a mi tutor de tesis, Ing. Juan Chica, por su acompañamiento permanente, orientación técnica y disposición durante el desarrollo de este trabajo. Sus observaciones y sugerencias fueron clave para alcanzar los objetivos planteados.*

*De igual manera, agradezco a mis amigos Diego Yanez, Darwin Guartasaca, Justin Guaman, Sergio Gallardo y Diego Loayza, por su apoyo constante, compañerismo y motivación a lo largo de este proceso académico, contribuyendo de manera significativa a la culminación de esta etapa.*

*Finalmente, extendiendo mi gratitud a todas aquellas personas que, de una u otra forma, aportaron al logro de este objetivo académico, dejando un impacto positivo en mi formación profesional.*

**Joao Alexander Toro Cedillo**

## RESUMEN

El presente trabajo de titulación “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA CALIDAD DE COMBUSTIBLES EN GASOLINERAS DE LA CIUDAD DE MACHALA MEDIANTE ESPECTROSCOPIA FTIR” tiene como objetivo examinar la calidad de dos tipos de combustibles Ecopaís y Diesel expendidos en las gasolineras de la ciudad de Machala, mediante el método de análisis FTIR, esta metodología permitirá verificar los parámetros técnicos establecidos según la norma ecuatoriana. La investigación se dio acabo ante las constantes opiniones de los conductores manifestando fallas mecánicas y el actual crecimiento del parque automotor en la ciudad. Para ello se recolectaron muestras en distintas gasolineras y se analizaron en el laboratorio mediante el equipo de análisis Eraspec, obteniendo espectros FTIR que permitieron determinar propiedades como número de octano, índice de cetano, contenido de etanol, densidad y presencia de impurezas. Finalmente, los resultados fueron procesados y comparados utilizando un software estadístico, lo que permitió interpretar los datos obtenidos y establecer diferencias significativas en los parámetros de calidad de los combustibles, aportando información útil para fortalecer el control técnico y promover una movilidad más eficiente en la ciudad de Machala.

## **ABSTRAC**

The present degree project “Comparative Analysis of Fuel Quality in Gas Stations of the City of Machala Using FTIR Spectroscopy” aims to examine the quality of two types of fuels, Ecopaís and Diesel, sold at gas stations in the city of Machala, through the FTIR analysis method. This technique allows verifying the technical parameters established according to Ecuadorian standards. The research was carried out due to the increasing reports of mechanical failures and the current growth of the vehicle fleet in the city. For this purpose, samples were collected from different gas stations and analyzed in the laboratory using the Eraspec analytical equipment, obtaining FTIR spectra that made it possible to determine properties such as octane number, cetane index, ethanol content, density, and presence of impurities. Finally, the results were processed and compared using statistical software, which allowed the interpretation of the obtained data and the identification of significant differences in the fuel quality parameters, providing useful information to strengthen technical control and promote more efficient mobility in the city of Machala.

## INDICE GENERAL

<b>CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b> .....	2
<b>CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA</b> .....	3
<b>CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b> .....	4
<b>DEDICATORIA</b> .....	5
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	7
<b>RESUMEN</b> .....	10
<b>ABSTRAC</b> .....	11
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	19
<b>2. PROBLEMA DE ESTUDIO</b> .....	21
<b>2.1. ANTECEDENTES</b> .....	22
<b>2.2. IMPORTANCIA Y ALCANCE</b> .....	23
<b>2.3. DELIMITACIÓN</b> .....	24
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	25
<b>3.1. Objetivo General</b> .....	25
<b>3.2. Objetivos Específicos</b> .....	25
<b>4. MARCO TEÓRICO</b> .....	26
<b>4.1. Origen, formación y propiedades de los combustibles</b> .....	26
<b>4.1.1. Definición</b> .....	26
<b>4.1.2. Refinado de petróleo</b> .....	27
<b>4.1.3. Composición química</b> .....	30
<b>4.1.4. Propiedades fisicoquímicas</b> .....	31
<b>4.2. Implicación de los combustibles en relaciona a la combustión</b> .....	33
<b>4.3. Tipos de combustible</b> .....	34
<b>4.4. Factores que determinan la calidad del combustible</b> .....	35
<b>4.5. Aspectos generales de la Gasolina</b> .....	35
<b>4.5.1. Definición y características principales</b> .....	35
<b>4.5.2. Impacto de la gasolina en el Ecuador: Sector Automotriz</b> .....	38
<b>4.6. Gasolinas expendidas en el Ecuador: Automotriz</b> .....	39
<b>4.7. Gasolina Ecopaís en el Ecuador</b> .....	41

4.7.1.	Definición.....	41
4.7.2.	Adaptación y distribución de la Ecopaís en el ecuador.....	41
4.8.	Regulaciones de la Ecopaís en el control de calidad.....	44
4.9.	Fundamentos técnicos del Diesel.....	45
4.9.1.	Definición.....	45
4.10.	Adulteración y degradación de Diesel.....	46
4.11.	Marco regulatorio ecuatoriano: Ecopaís y Diesel.....	47
4.11.1.	Norma NTE INEN 935: Gasolina-Requisitos (Ecopaís).....	48
4.11.2.	Norma NTE INEN 1489: Diesel.....	50
4.12.	Espectroscopía FTIR aplicada al análisis de combustibles.....	52
4.12.1.	Principios físicos de la radiación infrarroja y la transformada de Fourier.....	52
4.12.2.	Funcionamiento y aplicaciones del analizador ERASPEC Fuel Analyzer.....	53
<b>5.</b>	<b>METODOLOGÍA Y RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE COMBUSTIBLES EN EL EQUIPO ERASPEC.....</b>	<b>54</b>
5.1.	Metodología.....	54
5.2.	Diseño de estudio y análisis estadístico (ANOVA).....	55
5.3.	Área de estudio y selección de estaciones de servicio.....	56
5.4.	Diseño y estructura del muestreo.....	57
5.5.	Procedimiento, almacenamiento y transporte de las muestras.....	58
5.5.1.	Preparación previa al muestreo.....	58
5.5.2.	Procedimiento de toma de muestras.....	60
5.6.	Procedimiento en equipo ERASPEC.....	61
5.6.1.	Características técnicas y condiciones de operación del ERASPEC.....	62
5.6.2.	Preparación del equipo y ajuste de la configuración del mecanismo de medición.....	63
5.6.3.	Acondicionamiento del sistema de medición.....	64
5.6.4.	Configuración del equipo según el tipo de combustible.....	64
5.6.5.	Ejecución del análisis según el tipo de combustible (Ecopaís y Diesel) en el equipo ERASPEC.....	67
5.7.	Resultados obtenidos.....	69
5.7.1.	Resultados del análisis de la gasolina Ecopaís mediante espectroscopia FTIR.....	69
5.7.2.	Resultados del análisis del Diesel mediante espectroscopia FTIR.....	75
<b>6.</b>	<b>ANÁLISIS, COMPARACIÓN E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS, MEDIANTE TÉCNICAS ESTADÍSTICAS PARA LA DETERMINACIÓN DEL GRADO DE CUMPLIMIENTO NORMATIVO LOCAL DE LOS COMBUSTIBLES (ECOPAÍS Y DIESEL).....</b>	<b>81</b>

<b>6.1.</b>	<b>Análisis estadístico (ANOVA) por parámetros para gasolina Ecopaís .....</b>	<b>81</b>
<b>6.1.1.</b>	<b>RON .....</b>	<b>81</b>
<b>6.2.</b>	<b>Análisis estadístico (ANOVA) por parámetros para Diesel .....</b>	<b>86</b>
<b>6.2.1.</b>	<b>Índice de cetano .....</b>	<b>86</b>
<b>6.3.</b>	<b>Resultados obtenidos a través de análisis de varianza ANOVA para Ecopaís y Diesel.....</b>	<b>91</b>
<b>6.3.1.</b>	<b>Interpretación de resultados para gasolina Ecopaís.....</b>	<b>91</b>
<b>6.3.2.</b>	<b>Interpretación de resultados para Diesel.....</b>	<b>103</b>
<b>6.4.</b>	<b>Comparación de espectros FTIR para Ecopaís y Diesel.....</b>	<b>112</b>
<b>6.4.1.</b>	<b>Espectros de Gasolina Ecopais .....</b>	<b>113</b>
<b>6.4.2.</b>	<b>Comparación por rangos espectrales FTIR de Diesel .....</b>	<b>116</b>
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>119</b>
<b>8.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>121</b>
<b>9.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>122</b>
<b>10.</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>127</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Ubicación Geográfica de la ciudad de Machala.....	24
<b>Figura 2</b> Combustibles vendidos en gasolineras en Ecuador.....	26
<b>Figura 3</b> Productos obtenidos de la refinación del petróleo.....	27
<b>Figura 4</b> Niveles de la torre de fraccionamiento.....	29
<b>Figura 5</b> Procesos de refinado de petróleo.....	30
<b>Figura 6</b> División de los hidrocarburos.....	31
<b>Figura 7</b> Elementos de la formación de combustión.....	33
<b>Figura 8</b> Grupos principales de combustibles.....	35
<b>Figura 9</b> Comportamiento de la relación de compresión vs octanaje.....	36
<b>Figura 10</b> Demanda de combustibles en los diferentes sectores del país.....	38
<b>Figura 11</b> Demanda y comercialización de las gasolinas en Ecuador.....	40
<b>Figura 12</b> Proceso de adaptación de la gasolina Ecopaís.....	43
<b>Figura 13</b> Provincias con suministro total de Ecopaís.....	44
<b>Figura 14</b> Esquema de un espectrómetro FT-IR.....	52
<b>Figura 15</b> ERASPEC Fuel Analyzer.....	53
<b>Figura 16</b> Diagrama de flujo.....	54
<b>Figura 17</b> Área de muestreo.....	56
<b>Figura 18</b> Espectro FTIR patrón de los combustibles.....	62
<b>Figura 19</b> Características técnicas del ERASPEC.....	63
<b>Figura 20</b> Botón de encendido del equipó.....	64
<b>Figura 21</b> Selección del tipo de combustible.....	65
<b>Figura 22</b> Ingreso de codificación.....	66
<b>Figura 23</b> Ingreso de codificación.....	67
<b>Figura 24</b> Esquema general del proceso de análisis en equipo ERASPEC.....	68
<b>Figura 25</b> Grafica de residuos para RON.....	82
<b>Figura 26</b> Intervalos de media para RON vs Estación.....	84
<b>Figura 27</b> Diferencias de media método Tukey.....	85

<b>Figura 28</b> Residuos obtenidos por ANOVA para índice de cetano.....	87
<b>Figura 29</b> Media entre índice de cetano vs estaciones.....	89
<b>Figura 30</b> Comparación por método Tukey para índice de cetano .....	90
<b>Figura 31</b> Comparativa de espectros FTIR para estación A-B.....	113
<b>Figura 32</b> Comparación de espectros por rangos entre estación B-A.....	114
<b>Figura 33</b> Comparativa de espectros FTIR para estación F-H.....	116
<b>Figura 34</b> Comparación de espectros por rangos entre estación F-H.....	117
<b>Figura 35</b> Residuos, media y método Tukey (ANOVA) para densidad en Ecopaís.....	127
<b>Figura 36</b> Residuos, media y método Tukey (ANOVA) para MON en Ecopaís.....	128
<b>Figura 37</b> Residuos, media y método Tukey (ANOVA) para Saturantes en Ecopaís.....	128
<b>Figura 38</b> Residuos, media y método Tukey (ANOVA) para Aromáticos en Ecopaís.....	129
<b>Figura 39</b> Residuos, media y método Tukey (ANOVA) para Aromáticos en Ecopaís.....	130
<b>Figura 40</b> Residuos, media y método Tukey (ANOVA) para oxigenantes en Ecopaís.....	130
<b>Figura 41</b> Residuos, media y método Tukey (ANOVA) para Benceno en Ecopaís.....	131
<b>Figura 42</b> Residuos, media y método Tukey (ANOVA) para Etanol en Ecopaís.....	132
<b>Figura 43</b> Residuos, media y método Tukey (ANOVA) para densidad en Diesel.....	132
<b>Figura 44</b> Residuos, media y método Tukey (ANOVA) para Número de cetano en Diesel.....	133
<b>Figura 45</b> Residuos, media y método Tukey (ANOVA) para FAME en Diesel.....	134
<b>Figura 46</b> Residuos, media y método Tukey (ANOVA) para Aromáticos en Diesel.....	134

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 Grupos y subgrupos de los compuestos de la gasolina</i> .....	337
<i>Tabla 2 Índice de octanos de Extra, Ecopaís y Super Premium</i> .....	39
<i>Tabla 3 Requisitos para gasolina con RON de 85 octanos (Ecopaís)</i> .....	48
<i>Tabla 4 Requerimientos de la gasolina compuesta con etanol anhidrido carburante</i> .....	50
<i>Tabla 5 Parámetros requeridos para Diesel Premium</i> .....	51
<i>Tabla 6 Codificación para muestras de gasolina Ecopaís</i> .....	58
<i>Tabla 7 Codificación para muestras de Diesel</i> .....	59
<i>Tabla 8 Resultados obtenidos de análisis por espectroscopia FTIR de gasolina Ecopaís</i> .....	70
<i>Tabla 9 Resultados obtenidos de análisis por espectroscopia FTIR de Diesel</i> .....	75
<i>Tabla 10 Análisis de varianza para RON</i> .....	83
<i>Tabla 11 Medias para RON vs estaciones</i> .....	83
<i>Tabla 12 Comparación Tukey para RON</i> .....	85
<i>Tabla 13 Análisis de varianza para Índice de cetano</i> .....	87
<i>Tabla 14 Media entre estaciones para índice de cetano</i> .....	88
<i>Tabla 15 Método Tukey para índice de cetano</i> .....	90
<i>Tabla 16 Análisis de varianza para densidad</i> .....	91
<i>Tabla 17 Análisis de varianza para MON</i> .....	92
<i>Tabla 18 Análisis de varianza para Saturantes</i> .....	92
<i>Tabla 19 Análisis de varianza para Aromáticos</i> .....	92
<i>Tabla 20 Análisis de varianza para Olefinas</i> .....	93
<i>Tabla 21 Análisis de varianza para Oxigenantes</i> .....	93
<i>Tabla 22 Análisis de varianza para Benceno</i> .....	93

<b>Tabla 23</b> <i>Análisis de varianza para Etanol</i> .....	94
<b>Tabla 24</b> <i>Medias de Densidad de todas las estaciones</i> .....	95
<b>Tabla 25</b> <i>Medias de MON de todas las estaciones</i> .....	96
<b>Tabla 26</b> <i>Medias de Saturantes de todas las estaciones</i> .....	96
<b>Tabla 27</b> <i>Medias de Aromáticos de todas las estaciones</i> .....	97
<b>Tabla 28</b> <i>Medias de Olefinas de todas las estaciones</i> .....	98
<b>Tabla 29</b> <i>Medias de Oxigenantes de todas las estaciones</i> .....	98
<b>Tabla 30</b> <i>Medias de Benceno de todas las estaciones</i> .....	99
<b>Tabla 31</b> <i>Medias de Estano de todas las estaciones</i> .....	99
<b>Tabla 32</b> <i>Método Tukey aplicado a todas las estaciones vs parámetro fisicoquímico</i> .....	101
<b>Tabla 33</b> <i>Análisis de varianza para densidad</i> .....	103
<b>Tabla 34</b> <i>Análisis de varianza para número de cetano</i> .....	103
<b>Tabla 35</b> <i>Análisis de varianza para índice de cetano</i> .....	104
<b>Tabla 36</b> <i>Análisis de varianza para FAME</i> .....	104
<b>Tabla 37</b> <i>Análisis de varianza para aromáticos</i> .....	105
<b>Tabla 38</b> <i>Medias de Densidad de todas las estaciones</i> .....	106
<b>Tabla 39</b> <i>Medias de Número de cetano de todas las estaciones</i> .....	106
<b>Tabla 40</b> <i>Medias de Índice de cetano de todas las estaciones</i> .....	107
<b>Tabla 41</b> <i>Medias de FAME de todas las estaciones</i> .....	108
<b>Tabla 42</b> <i>Medias de Aromáticos de todas las estaciones</i> .....	108
<b>Tabla 43</b> <i>Método Tukey aplicado a todas las estaciones vs parámetro fisicoquímico para Diesel</i> .....	110

## 1. INTRODUCCIÓN

En Ecuador, la calidad de combustibles es uno de los aspectos fundamentales para el correcto funcionamiento del parque automotor, en esencia ciudades muy productivas como es Machala, donde el transporte es uno de los pilares principales en la actividad social y económica. Machala, al ser una de las ciudades con mucha actividad comercial del país, por sus nexos portuarios y su vasta actividad agrícola y logística, es gran dependiente del suministro correcto y confiable de combustibles, para así mantener en marcha su economía, transporte público, la distribución de mercancías y la movilidad diaria de sus habitantes.

Por lo cual, la gasolina Ecopaís como diésel representan en gran medida un recurso esencial para miles de vehículos que circula a diario en la ciudad. A través de ello, en los últimos años han surgido varios cometarios e inquietudes por parte de ciudadanos, trasportistas y talleres automotrices sobre cuál es la calidad real de los combustibles que son expendidos en esta ciudad. Así mimo se suma los nuevos cambios en la política energética nacional, teniendo un impacto en la ciudadanía sobre la eliminación de subsidio al diésel en el presente año, lo cual ha incrementado la sensibilidad publica respecto al costo y calidad de los combustibles en los habitantes dedicados al transporte de mercancías, agricultura y transporte público.

Al ser Machala una ciudad muy activa no solo se movilizan personas, si también se mueve la economía local a través de buses urbanos, taxis o incluso camiones que abastecen al puerto, donde todos depende del estado real del combustible. Para ello, tener una garantía sobre la calidad de estos productos no es una cuestión solamente técnica si no también una cuestión de eficiencia, bienestar ciudadano y seguridad para sus vehículos de trabajo. Al tener una gasolina o un diésel fuera de las normas locales establecidas generan un desgates en motores, aumento de emisiones

contaminantes e incluso pagar un elevado costo de mantenimiento para familias, empresas y cooperativas de transporte.

Ante esta perspectiva, se vuelve necesario evaluar de manera objetiva la calidad de combustibles expendidos en la ciudad. Este estudio propone realizarlo mediante espectroscopia infrarroja FTIR, mediante el uso del analizador ERASPEC, equipo que permite identificar parámetros clave en los combustibles como MON, RON, índice de cetano, etanol, densidad y presencia de compuesto aromáticos o posibles adulteraciones. Con la ayuda de esta tecnología, es posible determinar si los combustibles en específico de la gasolina Ecopaís como Diesel cumplen con las regulaciones locales y si realmente ofrecen la seguridad y rendimiento óptimo que la ciudadanía necesita.

Frente a ello, este estudio no solo busca medir la calidad de combustibles si no también ofrecer una radiografía técnica donde permita comprender como este factor incide en la movilidad y en la confianza de los ciudadanos. A través de ello, permite poder determinar si estos combustibles cumplen con los estándares normativos ecuatorianos y si la calidad de estos influye en el rendimiento vehicular, economía de la ciudad y el medio ambiente.

## 2. PROBLEMA DE ESTUDIO

La adulteración y variabilidad de la calidad en los combustibles destinados para los vehículos comerciales, de transporte pesado en específico para la industria automovilística representan un serio problema técnico, ya que una mala calidad de combustible tiende a modificar el proceso de combustión, aumento de consumo específico y llegar al deterioro del sistema de inyección, generando así un aumento considerable sobre las emisiones contaminantes. Según el estudio de (Babu y otros, 2024) menciona que la espectroscopia infrarroja (FTIR), es un método eficaz para poder identificar adulteraciones en gasolina y diésel, aun con porciones variables, gracias a su rapidez debido a que requiere una preparación mínima de las muestras. Por lo cual, investigaciones de FTIR realizadas con métodos multivariantes corroboran que la gasolina se la puede analizar con el fin de determinar su calidad, identificar oxigenantes y adulteraciones de manera eficaz, lo cual es importante donde los controles de calidad rutinarios no son los suficiente (Lalramnghaka y otros, 2023).

En Ecuador, a pesar de que existen regulaciones sobre los requisitos que deben cumplir los combustibles, todavía existe una significativa diferencia técnica, debido a que no se cuenta con laboratorios instrumentales locales públicos o privados que permitan analizar estos combustibles en específicos para la ciudad de Machala. Por lo cual, esto impide determinar si la gasolina Ecopais como el diésel comercializado en esta ciudad son completamente satisfactorios en sus parámetros químicos esenciales. Esta situación resulta particularmente crucial por la logística de distribución, almacenamiento y manejo en estaciones que pueden provocar cambios en la composición, presencia de contaminantes o combinaciones no planificadas, teniendo un impacto en el rendimiento real del combustible que se proporcional al usuario final.

En consecuencia, la problemática fundamental radica en la falta de evidencia técnica local que permita evaluar el estado real de la calidad de los combustibles comercializados en la ciudad de Machala, detectando posibles anomalías entre estaciones y tiempos de despacho, para así establecer el nivel de cumplimiento con los requisitos nacionales. Esta falta de información y por las diferentes denuncias sobre el estado real de los combustibles tiende a repercutir con las decisiones fundamentales para el sector automotor. Para ello, es necesario realizar un análisis comparativo con FTIR que permita estimar parámetros importantes y detectar posibles irregularidades en la composición de la gasolina Ecopaís como el Diesel.

## **2.1. ANTECEDENTES**

La importancia de la calidad de combustibles para vehículos ha sido analizada en diferentes contextos investigativos y técnicos, en especial sobre estudios de parámetros fisicoquímicos que afectan en el rendimiento del motor y emisiones contaminantes. Varios estudios han validado el empleo de métodos instrumentales como es el caso de la espectroscopia infrarroja por FTIR, permitiendo evaluar gasolinas y diésel a nivel global, demostrando su eficacia para detectar alteraciones en la composición, presencia de adulteraciones de manera ágil y no destructiva.

A nivel nacional, estudios o investigaciones sobre combustibles, se han enfocado fundamentalmente en análisis normativo, repercusiones ambientales de los gases contaminantes proveniente del vehículo y el funcionamiento del motor en contextos de operaciones reales. A pesar de ello, estos estudios comúnmente abordan la calidad de combustible de forma indirecta, sin examinar precisamente el producto final en la zona de expedición o poder comparar su comportamiento entre diferentes estaciones de servicio. En particular, en la ciudad de Machala no se ha detectado estudios que utilicen o empleen técnicas analíticas actuales como la FTIR para

estudiar de manera comparativa y por instrumentos la calidad del diésel y gasolina eco país que se distribuyen en esta ciudad.

La falta de antecedentes en la localidad constituye una brecha de información relevante, estimando a la alta dependencia del transporte terrestre en la ciudad de Machala con el fin de establecer que los combustibles cumplan con los parámetros establecidos por la normativa ecuatoriana vigente. Por ende, el presente estudio plantea un aporte académico y técnico, permitiendo ampliar de manera objetiva la calidad de los combustibles en estaciones de servicio, generando información precisa que contribuya al fortaleciendo del conocimiento local para el sector automotriz.

## **2.2. IMPORTANCIA Y ALCANCE**

El presente proyecto busca generar una información válida y objetiva dirigida hacia la Carrera de Ingeniería Automotriz de la Universidad Politécnica salesiana, ya que se efectúa con una metodología técnica para la evaluación efectiva de la calidad de gasolina Ecopaís como Diesel mediante espectroscopia infrarroja FTIR. Este estudio permite fortalecer conocimientos aplicados al análisis y control de la calidad de estos combustibles en la distribución final del producto, para así aportar información relevante a conductores, empresa o talleres automotrices, sobre parámetros físicoquímicos determinante para el rendimiento, funcionamiento del motor y sistemas de inyección. Así mismo, fortalecer con información a estudios futuros para el análisis objetivo de la calidad de combustibles en la ciudad de Machala o en distintos puntos del país.

### 2.3. DELIMITACIÓN

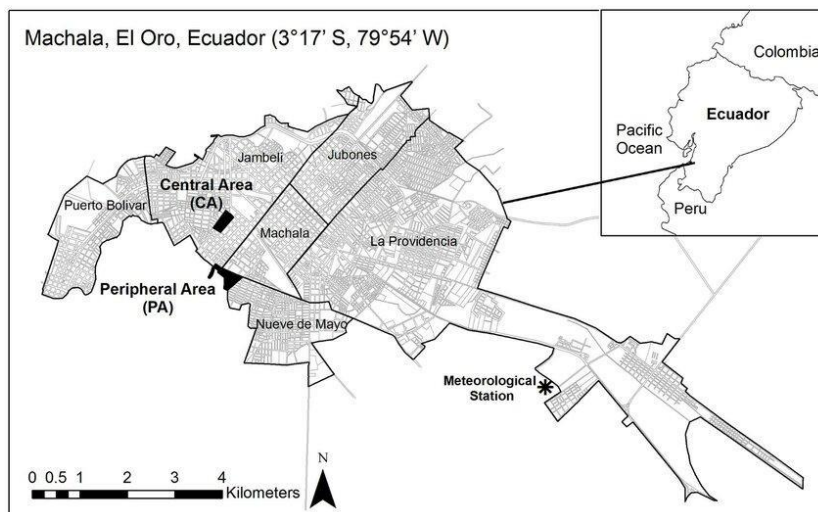
El presente proyecto se llevará a cabo en la ciudad de Machala, capital de la provincia de El Oro, misma que se encuentra en la región litoral del Ecuador. Tiene una altitud aproximada de 6 m s. n. m. y posee una extensión territorial cercana a 330 km<sup>2</sup>, según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2022).

Según información publicada por el Diario Correo (Alba Lozano, 2023), el parque automotor de Machala asciende a cerca de 60 000 vehículos, con un incremento anual aproximado de 1 000 unidades, lo que refleja un crecimiento sostenido en la movilidad urbana y una alta demanda de combustibles Ecopaís y Diésel.

El estudio se enfocará en las estaciones de servicio situadas en los sectores norte, centro y sur de la ciudad, donde se realizará la recolección y análisis de muestras de combustible mediante espectroscopía FTIR.

#### Figura 1

*Ubicación Geográfica de la ciudad de Machala*



Fuente: (Aguirre, E., Carrión, R., Bravo, M., & Flores, L., 2013, ResearchGate)

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. Objetivo General**

Analizar la calidad de los combustibles Ecopaís y Diesel expendidos en las estaciones de servicio de la ciudad de Machala, mediante el uso de la espectroscopia FTIR, para la identificación de adulteraciones y su cumplimiento con las normativas nacionales.

#### **3.2. Objetivos Específicos**

1. Analizar los fundamentos teóricos y normativos NTE INEN 935 (Gasolinas) y NTE INEN 1489 (Diésel) mediante una revisión bibliográfica, con el fin de evaluar los parámetros fisicoquímicos y criterios de calidad de los combustibles Ecopaís y Diésel.
2. Evaluar la calidad de la gasolina Ecopaís y del Diésel en estaciones de servicio de la ciudad de Machala, mediante análisis instrumental con espectroscopia FTIR usando el analizador ERASPEC.
3. Comparar e interpretar los resultados obtenidos, mediante técnicas estadísticas y graficas, para la determinación del grado de cumplimiento normativo y su impacto en el rendimiento y la eficiencia del parque automotor.

## 4. MARCO TEÓRICO

### 4.1. Origen, formación y propiedades de los combustibles

#### 4.1.1. Definición

Los combustibles se caracterizan por ser sustancias donde se los puede encontrar en estado sólido, líquido y gaseoso, tendiendo estos la facultad de liberar energía en forma de calor e irradiación de luz cuando son sometidos a la oxidación. Los combustibles más conocidos o comunes son los hidrocarburos utilizados en grandes cantidades en el campo automotriz, ya que al provocar cambios, alteraciones o modificaciones en su estructura química (oxidación) se puede liberar una gran parte de energía calorífica que a su vez puede utilizarse transformándola en energía térmica y cinética durante el proceso de combustión (Urgilés Sánchez & Erreyes Erreyes, 2018).

En el Ecuador los combustibles más utilizados en el campo automotriz son Ecopaís, Super y diésel, cuyas composiciones fisicoquímicas varían entre cada combustible.

#### Figura 2

*Combustibles vendidos en gasolineras en Ecuador*



Nota: *Combustibles expendidos a nivel nacional como Ecopaís, Super y Diesel. Tomado de (EL UNIVERSO , 2023)*

## 4.1.2. Refinado de petróleo

### 4.1.2.1. Definición de refinado de petróleo

Obtener diferentes combustibles como gasolina, diésel, aceites lubricantes, entre otros, muy fundamentales en la industria automotriz comúnmente usados en motores de combustión interna. El proceso de refinado es la base fundamental para obtenerlos.

Por lo que, el refinado de petróleo no es más que la transformación del crudo en productos derivados de él, mediante diversas operaciones térmicas, químicas y físicas, de modo que estos son muy útiles y tienen una variedad de usos.

Como se muestra en la Figura 3, los diferentes derivados que se producen mediante el refinado del petróleo mediante la destilación del mismo, en la que se obtienen productos terminados como gasolina, diésel, entre otros, que van directamente al consumidor, así mismo están los productos semiterminados y, finalmente, los productos intermedios (Hernández Palencia, 2007).

### Figura 3

*Productos obtenidos de la refinación del petróleo*



Nota: *Diferentes productos derivados del refinado de petróleo, Fuente: (Petroecuador, 2024)*

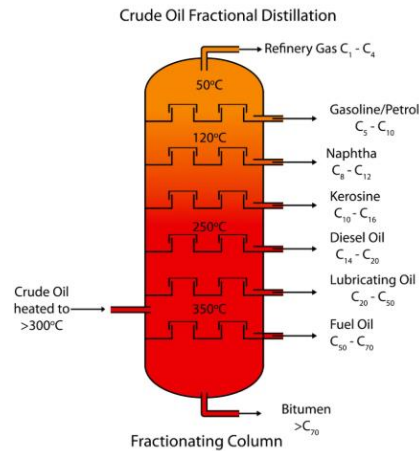
#### **4.1.2.2. Proceso de refinado de petróleo**

Para fabricar los diferentes derivados del petróleo, se llevan a cabo varios procesos que permiten obtener productos muy útiles y satisfacer las demandas en entornos medioambientales, industriales y de rendimiento energético.

Primero, las impurezas se separan del crudo pasando por fases como el desarenado, el decantado y la deshidratación, para separar componentes que contienen diferentes densidades, ya que el petróleo es su base de origen, extraído recientemente de los depósitos contiene altas cantidades de óxidos, agua, sedimentos, entre otros. Al completar las diferentes fases mencionadas, se obtiene un crudo más limpio y adecuado para cumplir con el siguiente proceso de destilación. Como estas impurezas ya están separadas, el crudo se calienta y se envía a través de una torre de fraccionamiento ampliamente utilizada en refinerías. En estas torres están sometidas a diferentes temperaturas que varían a medida que sube el crudo. Esta etapa se denomina fase de destilación fraccionada, permitiendo separar el crudo en diferentes componentes según sus puntos de ebullición. En cada torre, dentro de su estructura, hay bandejas colocadas a lo largo de la altura de la torre. En la base de la torre o parte inferior la temperatura es alta, mientras que en la parte superior la temperatura disminuye, logrando así un gradiente térmico que permite separar los compuestos del petróleo crudo. Estos compuestos, en su mayoría, entran en la columna en forma de vapor, cuando cada fracción alcanza el nivel en que su temperatura coincide con su punto de ebullición, se transforman en líquido y estos son extraídos por las líneas de extracción específicas según la refinería. Del mismo modo, las fracciones que alcanzan la parte más alta de la torre son compuestos más volátiles, porque sus puntos de ebullición son bajos, siendo compuestos como el GLP, la nafta y parte de la gasolina (Carreras Planells y otros, 2015, págs. 299-301).

## Figura 4

### Niveles de la torre de fraccionamiento



Nota: *Puntos de ebullición para la extracción de compuestos en una torre de fraccionamiento.*

Tomado de (Toyo, 2025)

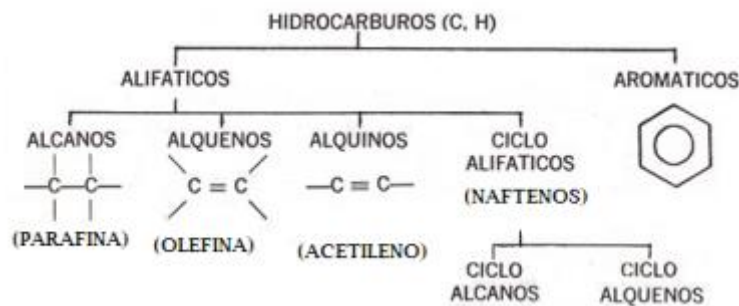
Cabe señalar que la destilación es un paso esencial para la separación de hidrocarburos, dependiendo de su volatilidad, pero tampoco es suficiente para cubrir las necesidades y demandas de combustibles en el mercado, de forma muy enfática en la gasolina, por lo que las refinerías incorporan nuevas fases para transformar fracciones pesadas en compuestos más ligeros mediante procesos de conversión. Métodos como el agrietamiento son sobresalientes para la transformación de combustibles, ya que permiten la fragmentación de grandes moléculas. El craqueo permite reducir la viscosidad de derivados pesados para obtener combustibles con fluidos elevados y fácil procesamiento, esto se denomina "cracking térmico". Otro método de cracking utilizado es el "catalítico" donde emplea catalizadores para permitir la descomposición molecular del derivado pesado. Cabe señalar que algunas fracciones con menor peso molecular necesitan modificar sus estructuras, permitiendo el cumplimiento de los estándares de calidad actuales en combustibles (Hernández Palencia, 2007).



formarse en cuatro enlaces de estructuras moleculares de carbono y un solo enlace de hidrógeno. Estos combustibles contienen un gran porcentaje de hidrocarburos como saturados, aromáticos, compuestos oxigenados, olefinas, entre otros. Cabe recalcar que los hidrocarburos están compuestos por dos grupos principales, que son tanto alifáticos como aromáticos, representados en la Figura 5 (Téllez y otros, 2013).

**Figura 6**

*División de los hidrocarburos*



*Nota: El diagrama indica los grupos en los que se dividen los hidrocarburos y sus principales derivados de cada grupo. Tomado de (Dorantes Lopez, 2010, pág. 12)*

Cabe recalcar que existen componentes residuales como nitrógeno, azufre, níquel y níquel, componentes que provienen directamente del petróleo crudo.

#### **4.1.4. Propiedades fisicoquímicas**

Como plantea (Encalada Cajisaca & Ñauta Uzhca, 2010) sobre las propiedades fisicoquímicas que determinan su manejo, transporte, almacenamiento y combustión. Estas propiedades influyen directamente en la combustión del motor. Las propiedades más relevantes son las siguientes:

- **Densidad:** Representa la relación masa-volumen del combustible. A través de la densidad, se pueden detectar cambios en la composición del combustible, adulteraciones o la presencia de impurezas. Por ejemplo, en combustibles como el diésel, que es más denso, sus moléculas de cadena son más largas.

- **Viscosidad:** Es una propiedad importante en los combustibles, ya que permiten definir la oposición del combustible para moverse o fluir entre los conductos y sistemas eléctricos del vehículo.

- **Punto de inflamación:** Indica la temperatura mínima a la que el combustible forma suficientes vapores para producir una mezcla inflamable y puede encenderse fácilmente en contacto con una fuente externa.

- **Volatilidad:** Indica lo fácil que es que el combustible cambie de estado líquido a gaseoso. Tener buena volatilidad garantiza un buen encendido; mientras que, con una volatilidad excesiva en el combustible, es capaz de generar evaporación prematura con pérdida de energía en el motor y dificultades en el arranque en frío.

- **Número de octanaje:** Es una característica principal de la gasolina. El número de octanaje permite determinar la resistencia del combustible a la detonación o autoencendido del motor. Tener un mayor número de octanaje en los combustibles permite tener una alta relación de compresión sin riesgo de golpeteo el motor.

- **Índice de cetano:** Característica principal del diésel. El número de cetano indica la rapidez con la que el combustible puede iniciar el proceso de combustión tras la inyección. Tener un índice de cetano alto reduce el retraso en la ignición, provocando una disminución del humo y los contaminantes.

- **Valor calórico:** Determinan la cantidad de energía que se libera cuando el combustible se quema completamente, generando una eficiencia energética positiva en el motor.

#### 4.2. Implicación de los combustibles en relaciona a la combustión

La calidad química y física del combustible influyen directamente en la combustión, ya que actúa directamente en la eficiencia y potencia del motor. Factores como el octanaje (gasolina) e índice de cetano (diésel), termina siendo determinantes con el inicio de la ignición en la cámara de combustión, haciendo que esta puede ser veloz como a su vez lenta, según la calidad de cada combustible. Al tener una eficiencia en la ignición, con una llama estable y una liberación positiva de energía calorífica al momento del contacto del aire con el combustible y chispa, permite que esta puede ser uniforme y controlada (Subero Pérez, 2022) .

#### Figura 7

*Elementos de la formación de combustión*



Nota: *Compuestos que reacciona para provocar la combustión. Tomado de (presaman , 2023)*

En motores los cuales utilizan gasolina, el número de octanos es relevante, debido a que si este número de octanos es muy bajo puede provocar detonaciones prematuras o golpeteo, generando vibraciones, disminución de potencia y aumento de temperatura en la cámara de

combustión. Pero si se encuentra altos niveles de octanaje, el proceso de combustión es mucho más eficiente, haciendo que el motor pueda trabajar con relaciones de compresión ligeramente altas a las normales, aprovechando en su totalidad la eficiencia del motor. Motores que utilizan diésel, la clave de una efectiva combustión es el índice de cetano, si se tiene un bajo índice de cetano se puede provocar una combustión más agresiva, generando estruendo y retrasos en el encendido.

Las propiedades físicas como la volatibilidad, viscosidad y a capacidad de atomización de los combustibles pueden afectar directamente en la combustión. Como, por ejemplo, al tener una atomización adecuada facilita la correcta distribución del combustible en la cámara del motor. Si estos factores no complacen con una combustión efectiva, gran parte del combustible no reacciona adecuadamente, elevando el consumo y tener deficiencias de potencia en el motor.

#### **4.3. Tipos de combustible**

Los hidrocarburos se clasifican en tres grupos principales en la industria automotriz ya que se agrupan según su uso, generalmente en tres grupos principales: combustibles con origen petrolero (gasolina, diésel, GLP, etc.), provenientes de fuentes renovables (biocombustibles) y sintéticos. Esta clasificación posibilita definir su característica, comportamiento durante la combustión y con afinidad a nuevas tecnologías. Adema, estos influyen en el diseño de motores, disposiciones regulatorias según cada gobierno y los niveles de permisibilidad en emisiones (bp España, 2025).

## Figura 8

### *Grupos principales de combustibles*



*Fuente: (Alberto, 2017)*

#### **4.4. Factores que determinan la calidad del combustible.**

Existen factores que son determinantes en los combustibles para definir su calidad, esto se debe a que dependen mucho de sus propiedades fisicoquímicas, pero así mismo también depende de los tratos técnicos que se aplica al momento de su almacenamiento, producción y transporte de cada uno de ellos. Por otro lado, al contener impurezas como agua, sedimentos o azufre, siendo estos capaces de provocar fallas en catalizadores o filtros de partículas, debido a la presencia de partículas y corrosión, disminuyendo la calidad del combustible y afectan directamente al rendimiento del motor (Stone, 2012).

Un aspecto fundamental que se toma en cuenta es su almacenamiento, ya que una mala aplicación de su almacenamiento puede causar que el combustible se degrade o a su vez perder la capacidad de ignición (Ferguson & Kirkpatrick, 2015).

#### **4.5. Aspectos generales de la Gasolina**

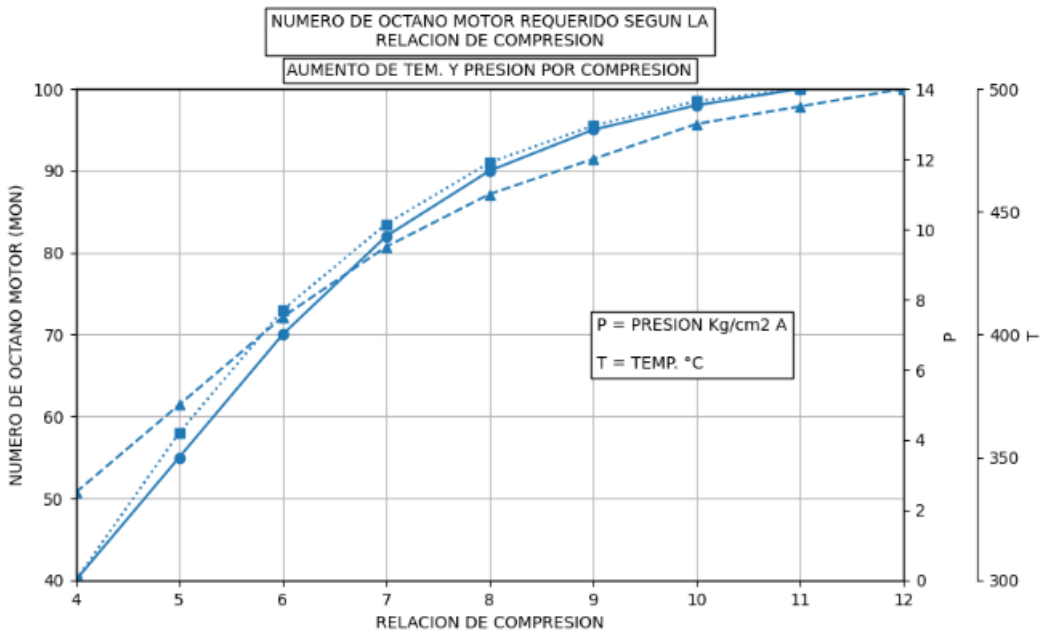
##### **4.5.1. Definición y características principales**

Sustancia proveniente como derivado del petróleo donde su método de obtención es a través de la destilación del petróleo en su estado natural. Está constituida por la combinación de hidrocarburos ligeros y volátiles, que comprenden naftenos, parafinas ramificadas, aromáticos y

olefinas, obtenidas a través del fraccionamiento del petróleo. Su naturaleza química es compleja que comprende de moléculas que abarcan desde  $C_4$  a  $C_{11}$  tales como butanos y butenos. Posee un punto de ebullición que oscila entre  $30^{\circ}C$  a  $200^{\circ}C$ . Se emplea fundamentalmente como combustible para MCI, gracias a su capacidad energética y a sus propiedades volátiles. Así mismo, uno de los aspectos para verificar la calidad de este combustible, es el número de octanos que pueda tener, ya que un alto índice del mismo permite a los motores trabajar con relaciones de compresión altas debido a su resistencia a la detonación. Se emplea fundamentalmente como combustible para MCI, gracias a su capacidad energética y a sus propiedades volátiles (Dirección de Movilidad y Transporte, 2022).

**Figura 9**

*Comportamiento de la relación de compresión vs octanaje*



Nota: Al tener un incremento de la relación de compresión del motor, se produce un aumento significativo tanto en la presión como la temperatura al momento de la combustión, dando como consecuencia el aumento a la detonación o autoencendido, lo cual requiere que la gasolina tenga

*un índice de octanos alto para poder tener una combustión controlada, como por ejemplo al tener relaciones de compresión 8:1 es necesario tener un índice de octanos superiores a 85 MON y si bien esta relación aumenta mucho más el número de octanos de igual forma tienes que ser más elevados. Fuente (Gieco, 2023)*

Como afirman (Chen & Yang, 2016) la gasolina es uno de los principales productos derivados de la refinación del petróleo, teniendo un aporte de 60-70% de la totalidad de usos en el campo automotriz ya que es un combustible esencial del desempeño de un MCI.

En la Tabla 1 muestra las diferentes composiciones de la gasolina a nivel molecular, el cual está organizada por grupos de hidrocarburos y subclases químicas, indicando los rangos porcentuales aproximados de cada grupo representado dentro de la mezcla total. Asimilando que la gasolina no es un compuesto puro, sino una mezcla de hidrocarburos complejos como ya antes mencionado.

**Tabla 1**

*Grupos y subgrupos de los compuestos de la gasolina*

<b>Grupo</b>	<b>Subgrupo</b>	<b>% de compuestos</b>
Saturados		50 a 60
	Alcanos	45 a 55
	Isoalcanos	25 a 40
	Cicloalcanos	6 a 16
Olefinas		6 a 16

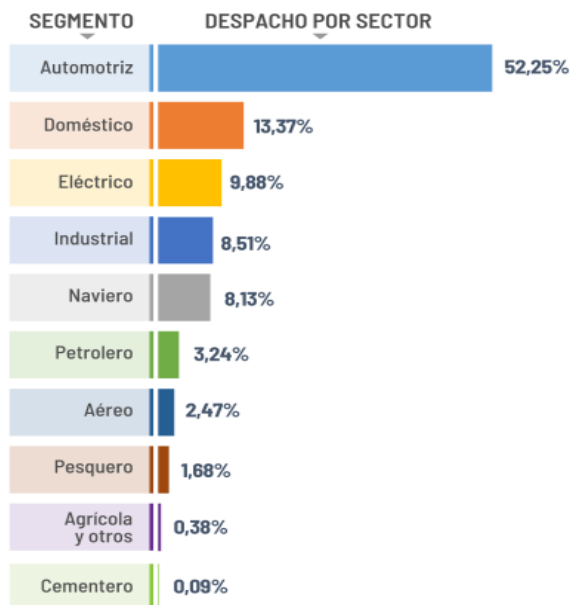
*Nota: Porcentaje de las composiciones de la gasolina según su grupo y subgrupo. Adaptado de (Pazmiño-Viteri y otros, 2024).*

#### 4.5.2. Impacto de la gasolina en el Ecuador: Sector Automotriz

La gasolina cumple un rol muy importante en el Ecuador, tanto en la parte económica como en la parte política, debido a su gran incidencia en la generación de ingresos a nuestro país y las grandes controversias que se pueden genera por decisiones políticas sobre estos combustibles. Así mismo, caber recalcar que el transporte terrestre (vehículos particulares, motocicletas, transporte urbano) tiene gran dependencia en el uso de este combustible, siendo uno de los sectores más importantes a analizar y teniendo a sus mejoras día tras día, tras el incremento constante del parque automotor que año tras año aumenta significativamente.

**Figura 10**

*Demanda de combustibles en los diferentes sectores del país*



Nota: La gráfica representa la importancia fundamental de los combustibles en el ámbito automotriz, mostrando una ventaja muy amplia de consumo del 52% frente a los demás sectores, demostrando el índice de dependencia de los combustibles en la movilidad terrestre y

constituyendo a uno de los más importantes soportes económicos del sector. Fuente: (EP Petroecuador, 2024).

#### 4.6. Gasolinas expendidas en el Ecuador: Automotriz

En el Ecuador, la empresa pública Petroecuador EP es la encargada de la exploración hasta la distribución de los diferentes hidrocarburos para el sector automotriz a nivel nacional y estas siendo supervisadas por el Ministerio de Energía y Minas de dicha distribución. Así mismo, ambas entidades deben cumplir con lineamientos ambientales y normas técnicas nacionales establecidas (NTE INEN) relacionadas a los combustibles, los cuales varían en función a su composición química, total de octanos, aditivos oxigenantes y método de refinado. Estas gasolinas se distribuyen y comercializan en tres tipos:

- Extra
- Ecopaís
- Super Premium

**Tabla 2**

*Índice de octanos de Extra, Ecopaís y Super Premium*

<b>Gasolinas</b>	<b>Nº octanos</b>
<i>Extra</i>	<i>85-87</i>
<i>Ecopaís</i>	<i>85-87</i>
<i>Super Premium</i>	<i>95</i>

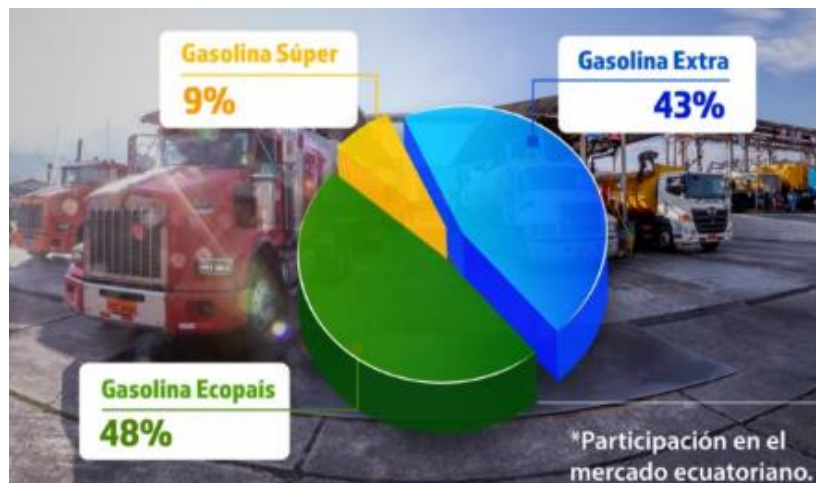
*Nota: La tabla muestra el índice de octanos (RON) de cada gasolina que se encuentra en el mercado ecuatoriano. Adaptado de (Morillo Chandi y otros, 2025)*

Como señala (EP Petroecuador , 2020), la gasolina extra es repartida en la zona norte del país, la Ecopaís se comercializa en provincias como Loja, Azuay, Morona Santiago, Zamora Chinchipe, Cañar y en toda la región litoral, y por último la gasolina super premium se encuentra en el mercado a nivel nacional.

La Figura 11 muestra las diferentes gasolinas que se encuentran en el mercado ecuatoriano. Así mismo refleja la demanda de cada una de ellas, teniendo a la gasolina Ecopaís con una demanda del 48% siendo la más consumida a nivel nacional, seguidamente la gasolina extra teniendo una participación del 43 % no muy inferior a la Ecopaís, mientras que la gasolina super premium muestra que su demanda es muy baja en comparación a las otras gasolinas debido a su costo siendo elevado en comparación a la extra y Ecopaís (EP Petroecuador , 2020) .

### **Figura 11**

*Demanda y comercialización de las gasolinas en Ecuador*



Nota: Gasolinas que se comercializan en la región para la utilización en la industria automotriz.

Fuente: <https://www.ambienteyenergia.gob.ec/el-gobierno-nacional-garantiza-el-normal-abastecimiento-de-combustibles-en-todo-el-territorio-ecuatoriano/>

## **4.7. Gasolina Ecopaís en el Ecuador**

El desarrollo e implementación de la Ecopaís en el Ecuador nace como parte de estrategias para la reducción de la contaminación ambiental, transición energética y por la sustitución de combustibles fósiles derivados del petróleo por su déficit en la producción en el país, forzando a la importación del 57 % del mismo. El uso de biocombustibles es una medida para reemplazar a esto derivados del petróleo brindando beneficios en sectores sociales, económicos y ambientales, siendo regulados por normas nacionales y respondiendo a nuevas tecnologías en el sector automotriz (Terneus Páez & Viteri Salazar, 2021).

### **4.7.1. Definición**

Es un biocombustible producido por la combinación o mezcla de gasolina convencional (extra) con un componente de fuente renovable, en este caso el etanol anhidrido, obtenido principalmente por la deshidratación de la caña de azúcar. Su composición consta de entre 5 y 10 % de etanol y 90 a 95 % de gasolina extra. Esto permite obtener el número de octanaje requerido para una buena combustión en los motores de MCI y reducciones emisiones de CO<sub>2</sub> (EP Petroecuador, 2017).

Este biocombustible incorpora tanto energía renovable como no renovable, convirtiendo un combustible alternativo dentro de los sistemas energéticos actuales y promover movilizaciones más sostenibles (Instituto de Investigación Geológico y Energético, 2025).

### **4.7.2. Adaptación y distribución de la Ecopaís en el Ecuador**

#### **4.7.2.1. Proceso de adaptación de la Ecopaís**

La adaptación de este combustible en el país surge a partir de medidas tanto ecológicas como económicas. Como afirma (Terneus Páez & Viteri Salazar, 2021) el proyecto nace a partir

del programa nacional de bicombustibles entre los años 2009 al 2013 donde se denomina a este programa “Plan Nacional Para el Buen Vivir” dando prioridad a uso de bicombustibles para sustituir a los combustibles fósiles. Con el paso de los años, la adaptación de los bicombustibles ha tomado más fuerza en el país teniendo varios procesos de desarrollo e implantación el cual conlleva varias fases como se menciona a continuación:

- **Fase piloto**

Como menciona (Urgilés Sánchez & Erreyes Erreyes, 2018) el 24 de julio de año 2009 el MCPEC “Ministerio Coordinador de Producción y Competitividad” y según el Decreto Ejecutivo N.º 1831 publicando en el registro oficial N.º 641 es la entidad responsable de gestionar y controlar todas las actividades relacionadas con la producción, distribución y comercialización de bicombustibles en el Ecuador.

La primera implantación se la realizó en la ciudad de Guayaquil en el 2010 como fase piloto, permitiendo evaluar aspectos como sostenibilidad, economía, y la estabilidad de la combinación de gasolina extra con el etanol, obteniendo reportes favorables en el desempeño del vehículo, reducciones de emisiones contaminantes producidas por el mismo y la disminución de divisas por importación de nafta de alto octanaje en menor cantidad. La distribución inicial se la realizó en 41 estaciones de servicio.

- **Expansión controlada**

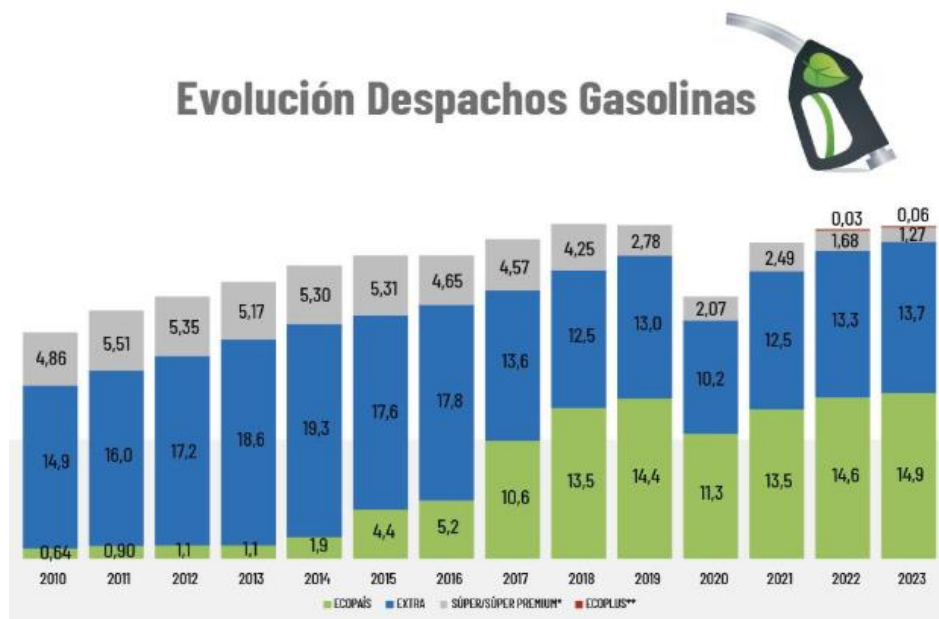
Al tener buenos resultados de distribución, ahorro, reducción de emisiones y un balance económico equilibrado en el año 2014 se establece la comercialización de la gasolina Ecopaís en ciudades como Duran, Samborondón y Guayaquil reemplazando a la gasolina Extra (Ordoñez Arguello & Ramírez Dias, 2016, pág. 10).

## - Adaptación a nivel nacional

En el año 2015 a través de una planificación de implementación a nivel nacional y que da origen a partir del decreto ejecutivo N.º 675 el 13 de mayo del mismo año, en el gobierno de Presidente Rafael Correa, aprueba la comercialización y distribución de la gasolina Ecopaís en todo el territorio ecuatoriano y con el precio de venta igual a la gasolina extra, donde esta tiene vigencia hasta la actualidad con un índice alto de acogida en el país. En este decreto se establece que la gasolina Ecopaís debe tener hasta un máximo de 10 % de etanol anhidrido, las naftas necesarias para logara el índice de octanos y el grado carburante establecido en la norma NTE INEN aplicable. (Correa Delgado, 2015).

### Figura 12

*Proceso de adaptación de la gasolina Ecopaís*



*Nota: Desde el año 2010 como inicio de fase piloto hasta la actualidad con la distribución a nivel nacional muestra como la gasolina Ecopaís ha tenido un gran impacto en el país, dando como uno*

de los combustibles más distribuidos, comercializado y consumidos en el Ecuador en comparación con la gasolina super y extra: Fuente: <https://www.eppetroecuador.ec/?p=22152>

#### 4.7.2.2. Distribución en el Ecuador

La Figura 11 indica la distribución de la gasolina Ecopaís en diferentes provincias del país las cuales son 11 provincias con presencia significativa. Esta distribución está determinada por criterios logísticos, proximidad a zonas productivas de bioetanol e infraestructura de refinación. así mismo las provincias que se encuentra de color azul muestra la distribución de la Ecopaís con presencia mínima o que aún no tienen la cobertura total en esas provincias (EP Petroecuador , 2024).

### Figura 13

*Provincias con suministro total de Ecopaís*



Nota: *Principales provincias con presencia de Ecopaís que han sustituido a la gasolina extra.*

Fuente: <https://www.eppetroecuador.ec/?p=22152>

#### 4.8. Regulaciones de la Ecopaís en el control de calidad

En el Ecuador, la gasolina Ecopaís está sometida a un sistema regulación técnica que permite que este combustible mantenga las especificaciones necesarias para el uso en MCI. Al ser

un bicomcombustible requiere de un control específico sobre parámetro como el número de octano, porcentaje de etanol, densidad y estabilidad de almacenamiento y transporte. Este proceso regulatorio permite que sea compatible con la infraestructura automotriz dentro del país y permite efectos no deseados desde su producción hasta distribución final (Ministerio de Energía y Minas , 2002).

## **4.9. Fundamentos técnicos del Diesel**

### **4.9.1. Definición**

El diésel automotriz es un combustible que se extrae principalmente del petróleo crudo por medio de la destilación fraccionada y otros procesos adicionales de refinamiento. Su composición contiene principalmente hidrocarburos de larga cadena, lo cual le confiere una gran capacidad calorífica y una combustión característica que se basa en la autoignición por compresión (Turns, 2020). La razón por la que este tipo de combustible se usa con frecuencia en maquinaria industrial, sistemas de transporte urbano, vehículos de carga y motores pesados es porque tiene alta densidad energética y eficiencia térmica.

Uno de los atributos fundamentales del diésel es el índice de cetano, que evalúa la habilidad del combustible para encenderse por sí mismo bajo la presión que se produce en el interior del cilindro. Un valor alto de este posibilita un encendido más rápido y una combustión más integral, lo cual optimiza la eficiencia y disminuye las emisiones (Van Basshuysen & Schäfer, 2016). Además, el diésel tiene una composición química que contiene ciclos de alcanos, parafinas, compuestos aromáticos y pequeñas cantidades de compuestos oxigenados; la cantidad de estos componentes afecta directamente a parámetros como la densidad, el punto de inflamación y la generación de hollín.

El diésel comercial tiene la posibilidad de experimentar procesos de descomposición, oxidación o contaminación en el transcurso de su almacenamiento. La degradación del combustible se acelera debido a factores como las temperaturas ambientales elevadas, la humedad y el contacto con metales. Como consecuencia, se producen sedimentos, microorganismos y gomas que afectan la calidad final que alcanzan los motores (Campoverde & Guamán, 2022). Por estas razones, es esencial llevar a cabo un control técnico del diésel para prevenir que se pierda eficiencia y que se deterioren los sistemas de inyección modernos, sobre todo las tecnologías Common Rail.

#### **4.10. Adulteración y degradación de Diesel**

La adulteración del combustible es uno de los problemas más comunes en varios mercados, y ocurre cuando se mezcla el diésel con productos de menor precio, como aceites usados, solventes o queroseno. El objetivo es conseguir un beneficio económico adicional. Esta práctica modifica parámetros fundamentales, como la viscosidad, la densidad, el punto de inflamación y el índice de cetano. Esto provoca combustiones inestables, incremento en las emisiones y un desgaste anticipado tanto de los componentes internos del motor como del sistema de inyección.

Los estudios experimentales han evidenciado que el diésel deja de cumplir las normas de calidad y los problemas como dificultad para arrancar, aumento del consumo específico de combustible y disminución de potencia aumentan cuando el porcentaje de adulterante excede ciertos límites (Boadu, 2019). Se ha notado que, particularmente en motores diésel modernos, estas fluctuaciones en la calidad del combustible propician la creación de depósitos en los inyectores y elevan el peligro de averías en sistemas de alta presión, como el Common Rail (Dadson et al., 2024)

La contaminación microbiana, conocida como "diésel bug", es un factor relevante en la degradación del diésel. Esta se manifiesta mayormente en la interfase entre el combustible y el

agua que se encuentra acumulada en el fondo del tanque. En esta área, es posible que se desarrollen hongos y bacterias que emplean los hidrocarburos como fuente de carbono. Al hacerlo, producen lodos y biopelículas que se pegan a las superficies internas del sistema de almacenamiento. Estos microorganismos generan ácidos y otras sustancias que propician la corrosión, crean desechos que obstruyen filtros y conductos, disminuyen el tiempo de vida del combustible y elevan los precios para mantener motores y tanques (Komariah et al., 2022)

#### **4.11. Marco regulatorio ecuatoriano: Ecopaís y Diesel**

Para asegurar estándares de calidad de los combustibles en específico de la gasolina Ecopaís y el diésel que están sometidos a controles de calidad recurrentes mediante la aplicación de un conjunto de normas obligatorias que permiten evaluar sus propiedades fisicoquímicas y rangos establecidos por las normas vigentes, garantizando uniformidad, seguridad y funcionamiento confiable para el consumidor final, contribuyendo a un sistema de transición energética sin comprometer en la eficiencia y desempeño de los MCI y motores de encendido por compresión.

Dentro del marco normativo nacional, uno de los documentos más importantes es el Reglamento técnico ecuatoriano RTE INEN 028 denominado “Combustibles” el cual establece las disposiciones generales de los combustibles líquidos derivados del petróleo como su clasificación, muestreo, ensayos y requisitos. Este reglamento determina las especificaciones técnicas que debe cumplir estos combustibles como la Norma NTE INEN 935 (gasolina) y NTE INEN 1489 (Diesel).

El cumplimiento del RTE INEN 028 es obligatorio para centros de almacenamientos, refinerías, empresas distribuidoras y estaciones de servicio articulando el cumplimiento de las NTE INEN 935 y 1489. Así mismo, la correcta aplicación de este reglamento es verificada por la

Agencia de regulación y control Energía y Recursos Naturales no renovables (ARCERNNR), entidad encargada de supervisar el cumplimiento en su totalidad del reglamento mencionado. Mediante estos procesos de control, las entidades de regulación buscan garantizar que los combustibles cumplan con los estándares técnicos establecidos y contribuyan en beneficio del parque automotor ecuatoriano (ARCERNNR, 2022).

#### 4.11.1. Norma NTE INEN 935: Gasolina-Requisitos (Ecopaís)

La presente norma en su décima primera revisión publicada en el mes de septiembre del año 2021 que establece los principales requerimientos a cumplir en las gasolinas comercializadas en el Ecuador destinadas para el uso en MCI, siendo esta obligatoria a cumplir dispuesta por el reglamento RTE INEN 028. Los parámetros mencionados en la norma técnica van direccionados para las gasolinas Extra, Ecopaís y Super Premium. Por lo tanto, la presente norma delimita en número de octanos que debe tener cada gasolina, presión de ebullición, contenido de azufre, aromáticos presentes, olefinas, curva de destilación entre otros parámetros presentados en la tabla 3 dirigido en específico a la gasolina Ecopaís (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN, 2021).

**Tabla 3**

*Requisitos para gasolina con RON de 85 octanos (Ecopaís)*

<b>Parámetro técnico</b>	<b>Unidad</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
Octanos (RON)	-	85	-
Presión de vapor	kPa	-	60
Contenido de azufre	% <sup>d</sup>	-	0,0650
Contenido de aromáticos	% <sup>c</sup>	-	30
Contenido de gomas	mg/100 mL	-	3

Contenido de benceno	% <sup>c</sup>	-	1
Contenido de olefinas	% <sup>c</sup>	-	18
Estabilidad de oxidación	min	240	-
Contenido de plomo	mg/L	-	1
Contenido de magnesio	mg/L	-	1
Contenido de hierro	mg/L	-	1
Corrosión a la minina de cobre	-	-	No.1
Temperatura de destilación:			
	10%	°C	-
	50%	°C	77
	90%	°C	-
Punto final de ebullición		°C	220
Residuo de destilación		% <sup>c</sup>	2
Temperatura vapor/líquido= a 20		°C	56

Nota: *Compatible para los combustibles extra y eco país con RON de 85. Adaptado de NTE INEN 935:2021*

Al ser la Ecopaís un bicomcombustible compuesto por etanol anhidrido, la tabla 4 presenta los requerimientos necesarios con los parámetros técnicos para la producción de este combustible según la norma la cual se diferencia la presión de vapor, la temperatura en relación con vapor líquido y los compuestos oxigenados presentados en la Tabla 4.

**Tabla 4***Requerimientos de la gasolina compuesta con etanol anhidrido carburante*

<b>Parámetro técnico</b>	<b>Unidad</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
Presión de vapor	kPa	-	67
Contenidos de oxigenantes con hasta un 10% de etanol anhidrido	% <sup>c</sup>	-	3,70
Temperatura vapor/liquido = a 20	°C	53	-

Nota: *Parámetros necesario para la mezcla entre gasolina convencional con etanol anhidrido y tener como producto final la gasolina Ecopaís con sus respectivas propiedades fisicoquímicas.*

*Adaptado de NTE INEN 935:2021*

#### **4.11.2. Norma NTE INEN 1489: Diesel**

La norma técnica ecuatoriano NTE INEN 1489 en su octava revisión publicada en el mes de julio de año 2021 denominada “Diesel-requisitos” y siendo obligatoria a su aplicación estipulada en el reglamento RTE INEN 028 estableciendo los parámetros fisicoquímicos mínimos y máximos que deben cumplir los combustibles de tipo diésel. La norma incluye especificaciones principales como la densidad, punto de inflamación, contenido de agua, índice de cetano entre otros parámetros de suma importancia en este tipo de combustible.

Cabe recalcar que en el Ecuador la comercialización del diésel este compuesto por tres grupos principales descrita por la norma que son Diesel N.º1 destinados para aparatos domestico o industriales, Diesel N.º2 utilizado en sector industrial, eléctrico, pesquero entre otros y Diesel Premium destinado para los motores de autoignición (Instituto Ecuatoriano de Normalizacion INEN, 2021). A continuación, se destina la información exclusivamente al estudio del Diesel

Premium debido a su gran incidencia en el ámbito automotriz presentado sus requerimientos en la Tabla 5.

**Tabla 5**

*Parámetros requeridos para Diesel Premium*

<b>Parámetro técnico</b>	<b>Unidad</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
Punto de inflamación	°C	51	-
Contenido de sedimentos y agua	% <sup>b</sup>	-	0,05
Contenido de ceniza	% <sup>c</sup>	-	0,01
Densidad a 15 °C	kg/m <sup>3</sup>	815	860
Contenido de azufre	% <sup>c</sup>	-	0,0450
Viscosidad cinética a 40°C	mm <sup>2</sup> /s	2	5
Contenido de residuos carbonos sobre el 10% del residuo destilado	% <sup>c</sup>	-	0,15
Temperatura de destilación:			
	10%	°C	-
	50%	°C	-
	90%	°C	-
Corrosión a la lámina de cobre (3 h a 50°C)	-	-	N.º3
Índice de cetanos calculado	-	45	-
Contenido de biodiesel	% <sup>b</sup>	-	10

Nota: *Requisitos obligatorios a cumplir en combustibles tipo Diesel Premium para el uso en motores de autoignición. Adaptado de NTE INEN 1489:2021*

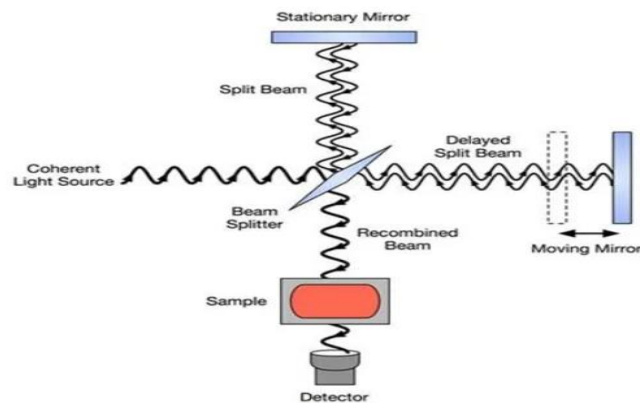
## 4.12. Espectroscopía FTIR aplicada al análisis de combustibles

### 4.12.1. Principios físicos de la radiación infrarroja y la transformada de Fourier

Los enlaces químicos absorben energía en áreas concretas del espectro, las cuales están vinculadas a sus modos de vibración, lo que produce un patrón de bandas propio para cada clase de grupo funcional (Noria, 2025). La espectrometría infrarroja por transformada de Fourier se fundamenta en la interacción entre la radiación infrarroja y las moléculas presentes en la muestra. En un equipo FTIR, la radiación no se divide de manera directa por longitud de onda; en cambio, se hace pasar a través de un interferómetro que genera un interferograma dependiendo del recorrido óptico. Este es convertido matemáticamente con la transformada de Fourier para producir un espectro de intensidad en función del número de onda, el cual puede ser empleado como huella digital de la muestra analizada (Noria, 2025).

**Figura 14**

*Esquema de un espectrómetro FT-IR*



**Fuente:** (Powerway Wafer, 2025).

#### 4.12.2. Funcionamiento y aplicaciones del analizador ERASPEC Fuel Analyzer

El analizador ERASPEC es un sistema FTIR totalmente automatizado que combina la medición espectral con algoritmos de evaluación. Esto permite que el usuario solo tenga que agregar una pequeña alícuota de combustible, mientras que el equipo se ocupa del llenado de la celda, la adquisición del espectro y el cálculo de los parámetros de calidad. Su diseño resistente y compacto, que incluye una pantalla táctil y una bomba interna, posibilita que se use en unidades móviles, terminales de carga, puntos de distribución de combustibles o laboratorios. En estos lugares es necesario contar con un instrumento ágil para comprobar si el diésel, las gasolinas y los combustibles de aviación cumplen con las normas actuales. (Eralytics, 2024)

#### Figura 15

*ERASPEC Fuel Analyzer*



**Fuente:** *Eralytics (s. f.).*

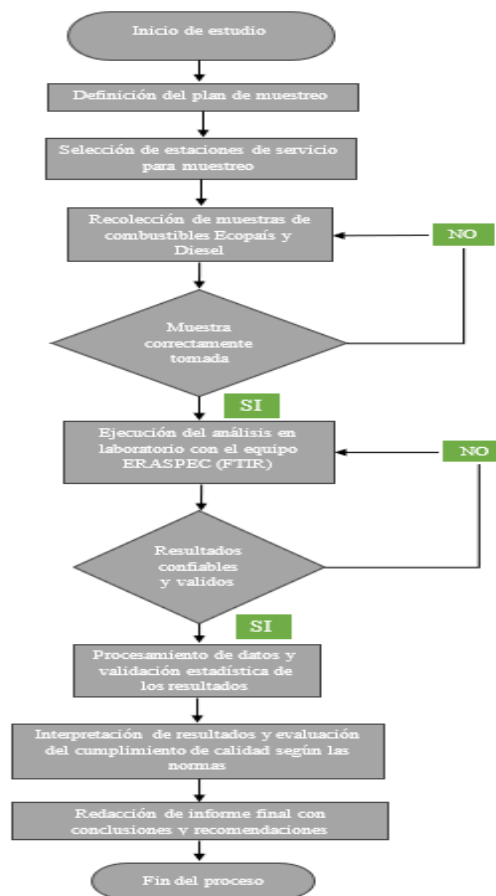
## 5. METODOLOGÍA Y RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE COMBUSTIBLES EN EL EQUIPO ERASPEC

### 5.1. Metodología

La metodología o procedimiento metodológico aplicado para este estudio va orientado a la evaluación de la calidad de la gasolina Ecopaís y del Diesel expendidos en las estaciones de servicio de la ciudad de Machala mediante análisis instrumental con espectroscopia infrarroja FTIR, mediante el uso del analizador ERASPEC.

**Figura 16**

*Diagrama de flujo*



**Fuente:** Autores

La presente metodología permite garantizar que los resultados obtenidos evidencien las condiciones reales de la comercialización de los combustibles, permitiendo un peritaje objetivo, reproducible y técnicamente sustentada en las propiedades de los combustibles.

## **5.2. Diseño de estudio y análisis estadístico (ANOVA)**

El estudio tiene un enfoque cuantitativo y experimental, donde se basa en la medición directa de diferentes variables químicas y físicas del combustible por medio de instrumentación analítica especializada. Como menciona (Fodor y otros, 1996) , este enfoque permite obtener resultado objetivos, reproducibles y comparables a través de técnicas analíticas, con el objetivo de evaluar la calidad de los combustibles en los puntos de venta.

En cuanto al diseño, el estudio adopta un diseño de tipo descriptiva-comparativa, ya que no se modifican las variables analizadas, si no que se describen y examinan los resultados obtenidos entre distintas estaciones de servicio y horas de despacho, permitiendo la posibilidad de la detección de cambios por identificación de variaciones y tendencias dentro del sector urbano de la ciudad de Machala (Babu y otros, 2024).

El análisis estadístico de la información recopilada se lleva a cabo mediante el uso del programa MINITAB, en el cual se implementa un Análisis de Varianza (ANOVA) unidireccional. Esta herramienta permite evaluar y contrastar los promedios correspondientes a distintos grupos de datos, además de generar resultados estadísticos como el valor F y el nivel de significancia (valor p), los cuales permiten establecer si las diferencias observadas entre las muestras presentan relevancia estadística. La utilización de MINITAB es frecuente en estudios de ingeniería y evaluación de procesos, debido a su fiabilidad, robustez y eficiencia en el tratamiento de datos experimentales (Minitab, 2026)

### **5.3. Área de estudio y selección de estaciones de servicio**

La zona de estudio corresponde a las diferentes estaciones de servicio ubicadas en diferentes puntos o sectores urbanos, con el propósito de seleccionar las diferentes condiciones reales de comercialización de combustibles. Estas estaciones de servicio se ubican en áreas de alta circulación, zonas comerciales y sectores residenciales, lo que posibilita la evaluación de los combustibles a través de diferentes dinámicas operativas, como son las variaciones de venta, el índice de rotación del producto y las condiciones de almacenamiento en tanques subterráneos. Al tener una distribución en diferentes puntos de la ciudad, facilita el análisis comparativo de la calidad de los combustibles proporcionando una visión integral del producto que compra el usuario, sin intervenir o alterar estos combustibles.

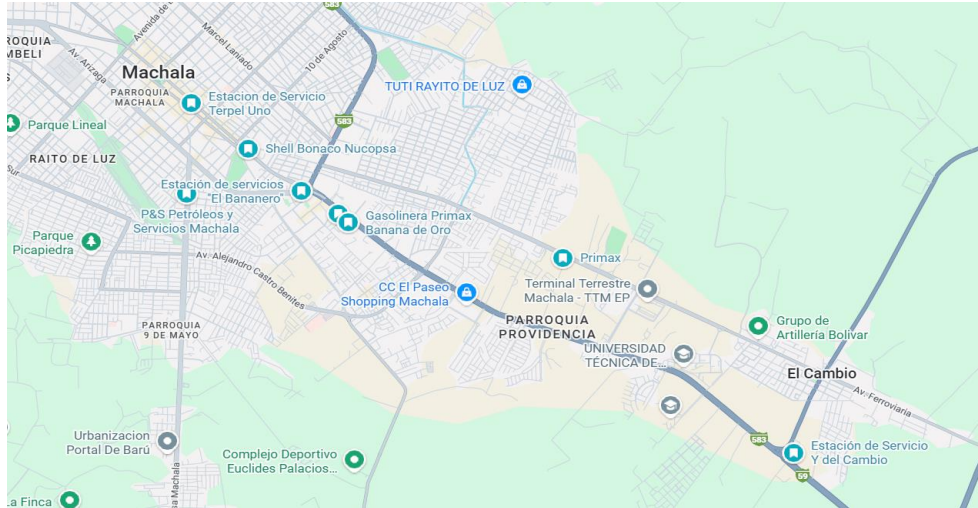
Para evaluar la calidad de combustibles se seleccionaron ocho estaciones de servicio, ubicadas en diferentes sectores de la ciudad entre norte, sur y centro, con el fin de cubrir dos muestras representativas de gasolina Ecopaís y del Diesel. Para la selección de las estaciones se consideró criterios técnicos como:

- Ubicación geográfica y accesibilidad
- Representatividad del parque automotor atendido

En la Figura 17, muestra la distribución de las diferentes estaciones de servicio seleccionadas en la ciudad de Machala.

#### **Figura 17**

*Área de muestreo*



**Fuente:** *Autores*

#### **5.4. Diseño y estructura del muestreo**

Con el fin de asegurar que los resultados a obtener sean confiables y representativos, se estableció el diseño de muestreo. Para ello, se aplica un muestreo no probabilístico de tipo intencional, enfocado en estaciones de servicio seleccionadas por su representatividad en el contexto urbano y por variedad de sus condiciones de operación.

La organización de la estructura experimental tuvo en cuenta tres factores esenciales como lo son el tipo de combustible (Ecopaís y Diesel), horario de muestreo y selección de las estaciones de servicio. Con la finalidad de analizar eventuales alteraciones, fluctuaciones de temperatura, tiempo de almacenaje y rotación de combustible. Para ello, se seleccionaron 8 estaciones de servicio mostradas en la figura 18, donde se tomaron un total de 160 muestras de combustible, 80 muestras de gasolina Ecopaís y 80 muestras de Diesel. Así mismo la toma de muestras se recogieron en dos horarios del día, por la mañana y por la noche, en estos horarios se tomaron

cinco muestras para cada combustible, generando replicas que permitan comprobar la repetibilidad de las mediciones y minimizar el impacto de variaciones aleatorias.

## **5.5. Procedimiento, almacenamiento y transporte de las muestras**

La metodología de toma, conservación y transporte de las muestras se estableció con el propósito de garantizar la representatividad, integridad y la trazabilidad de las 160 muestras de combustible.

### **5.5.1. Preparación previa al muestreo**

Para la preparación previa al muestreo se efectuó las siguientes condiciones mencionadas a continuación:

- Adquisición de botellas plásticas de 80 ml para la toma de muestras, asegurando que se encuentren limpias, secas y con tapa hermética, aptas para almacenamiento temporal del combustible Ecopaís y Diesel, con una adquisición total de 64 botellas plásticas para efectuar una correcta toma de muestras.
- Preparación de etiquetas de identificación con un sistema de codificación definido, el cual incluye la estación de servicio, tipo de combustible, horario de muestra y número de réplica establecidas en las siguientes tablas:

### **Tabla 6**

*Codificación para muestras de gasolina Ecopaís*

<b>Estación</b>	<b>Replica 1</b>	<b>Replica 2</b>	<b>Replica 3</b>	<b>Replica 4</b>	<b>Replica 5</b>
1	A-G-M1	A-G-M2	A-G-M3	A-G-M4	A-G-M5
2	B-G-M1	B-G-M2	B-G-M3	B-G-M4	B-G-M5
3	C-G-M1	C-G-M2	C-G-M3	C-G-M4	C-G-M5
4	D-G-M1	D-G-M2	D-G-M3	D-G-M4	D-G-M5
5	E-G-M1	E-G-M2	E-G-M3	E-G-M4	E-G-M5
6	F-G-M1	F-G-M2	F-G-M3	F-G-M4	F-G-M5
7	G-G-M1	G-G-M2	G-G-M3	G-G-M4	G-G-M5
8	H-G-M1	H-G-M2	H-G-M3	H-G-M4	H-G-M5

**Fuente:** *Autores*

**Tabla 7**

*Codificación para muestras de Diesel*

<b>Estación</b>	<b>Replica 1</b>	<b>Replica 2</b>	<b>Replica 3</b>	<b>Replica 4</b>	<b>Replica 5</b>
1	A-D-M1	A-D-M2	A-D-M3	A-D-M4	A-D-M5
2	B-D-M1	B-D-M2	B-D-M3	B-D-M4	B-D-M5
3	C-D-M1	C-D-M2	C-D-M3	C-D-M4	C-D-M5
4	D-D-M1	D-D-M2	D-D-M3	D-D-M4	D-D-M5
5	E-D-M1	E-D-M2	E-D-M3	E-D-M4	E-D-M5
6	F-D-M1	F-D-M2	F-D-M3	F-D-M4	F-D-M5
7	G-D-M1	G-D-M2	G-D-M3	G-D-M4	G-D-M5
8	H-D-M1	H-D-M2	H-D-M3	H-D-M4	H-D-M5

**Fuente:** *Autores*

Donde:

- A hasta H es la numero de estación seleccionada
  - G (Ecopaís) y D (Diesel) es el tipo de combustible
  - M (mañana) y T (noche) es el horario de muestra
  - 1-5 es el número de réplica de la muestra
- Y, por último, la organización del material ya establecido con la colocación de la codificación en los 160 envases correspondientes para el muestreo y la parte de transporte, así mismo incluyendo contenedores rígidos de protección para la conservación de todas las muestras y hojas de control para el registro de las muestras en cada estación de servicio.

### **5.5.2. Procedimiento de toma de muestras**

Para la toma de muestras en cada estación de servicio, se aplica las siguientes condiciones:

- La toma de muestras, ya con todos los materiales necesarios a utilizar, se tomó cada muestra directamente del surtidor o dispensador de despacho en cada estación de servicio.
- Antes de la recolección, se efectuó una purga inicial del surtidor durante unos tres segundos, con el fin de eliminar restos de combustible presentes en la manguera.
- Se tomo el combustible correspondiente (Ecopaís y Diesel) directamente del surtidor a la botella plástica de 80 ml, con la codificación y horarios establecidos, evitando

confusión en las muestras y el contacto del envase con algún tipo de superficie externa que pueda contaminar la muestra.

- El envase es llenado desde el 90% hasta su totalidad, con el fin de disminuir la cantidad de aire y minimizar pérdidas de combustible por evaporación, debido a que estos son muy volátiles y su incidencia a evaporación es muy alta.
- Al tener el envase llenado en su totalidad, la botella es cerrada y sellada inmediatamente para prevenir algún tipo de contaminación por factores externo o derrames del mismo combustible. Posteriormente se coloca en los contenedores de protección para su almacenamiento, evitando el contacto directo con la luz solar y a fuentes de calor, garantizando preservar las propiedades fisicoquímicas de combustible.
- El transporte de las muestras se la efectuó el mismo día de recolección al laboratorio para su respectiva evaluación, con el propósito de minimizar derrames o contaminación en las muestras.
- Al transportar e ingresar las muestras al laboratorio, se examinó el estado físico de cada envase e inmediatamente a la organización de cada muestra según el tipo de combustible y horario de muestreo, alistando para el análisis correspondiente en el equipo ERASPEC.

## **5.6. Procedimiento en equipo ERASPEC**

En este apartado se expresa de manera detallada el proceso a seguir para la evaluación instrumental de las 160 muestras tanto de Ecopaís como del Diesel mediante espectroscopia infrarroja FTIR, usando el analizador ERASPEC. El proceso abarca desde la preparación del

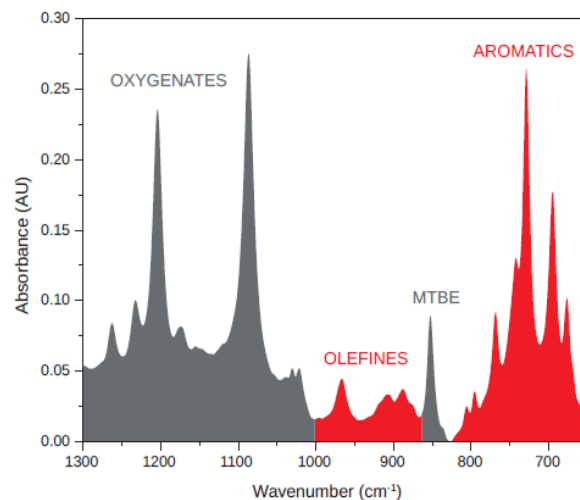
equipo hasta la obtención y registro de los resultados finales, permitiendo obtener mediciones confiables y representativas de la calidad de combustibles analizados.

### 5.6.1. Características técnicas y condiciones de operación del ERASPEC

Se emplea al analizador ERASPEC para ejecutar la evaluación de los combustibles. Este instrumento está diseñado para analizar de manera rápida y precisa los combustibles por método de espectroscopia FTIR. El equipo opera en área del infrarrojo medio, donde surgen las bandas de absorción más relevantes asociadas con los enlaces moleculares típicos de hidrocarburos y compuestos oxigenados. El diseño del equipo vincula calibraciones internas y trayectorias ópticas automáticas que posibilitan el ajuste del análisis para el tipo de combustible evaluado y permite determinar de forma automática los parámetros fisicoquímicos del combustible, sin que haya de por medio una preparación previa de la muestra (eralytics, 2024).

#### Figura 18

*Espectro FTIR patrón de los combustibles*



Nota: *Comportamiento característico del espectro FTIR de oxigenantes, olefina, MTBE y aromáticos en combustibles.* Fuente: (eralytics, 2024)

El ERAPEC permite la medición de diferentes parámetros fisicoquímicos de la gasolina como del Diesel a analizar en este estudio, así mismo las diferentes normas en referencia a los métodos de ensayo que emplea el equipo para el análisis del mismo, presentadas en la **figura 19**.

**Figura 19**

*Características técnicas del ERASPEC*

Métodos de Ensayo Disponibles	ASTM D5845, D6277, D7777, D7806; EN 238, EN 14078; ISO 15212; IP 559
Correlación a	ASTM D86, D323, D613, D976, D2699, D2700, D4814, D5191, D6378; EN 13016; ISO 3405, ISO 5163, ISO 5164, ISO 5165
Tipo de Espectrometro	Interferómetro patentado mid-FTIR láser y diseño de temperatura controlada
Celda de Medición	20 µm y/o 100 µm células longitud de trayectoria, de células de referencia Diseño de la célula posición de doble o triple optimizado para mediciones de combustible de gasolina, diesel y jet
Calibración	Calibrado de fábrica con una matriz de varios cientos de combustibles internacionales
Bibliotecas Espectrales	Fácil adición, ampliación y cambio de bibliotecas individuales combustible En el cálculo de las bibliotecas marcha sin tener que demorar cualquier medición
Medidor de Densidad	0–3 gcm <sup>-3</sup> (r = 0.0005 gcm <sup>-3</sup> ) Célula de tubo en U oscilante
Medición del Tiempo	60 segundos, incluye la introducción de muestras, medición y cálculos Tiempo de calentamiento de 30 segundos
Introducción de la Muestra	Directamente desde el contenedor de la muestra con una bomba integrada
Volumen de la Muestra	10 mL
Limpieza	Enjuague automático con la siguiente muestra o protección de las células de flujo de disolvente mediante un filtro integrado
Visualización de espectros de combustible	La comparación directa de los espectros de color en la pantalla táctil Superposición de los espectros de combustible con espectros de sustancias puras
Pantalla	Pantalla táctil de color de 7" probada en la industria
Interfaces	PC integrado con Ethernet, USB, e interfaces RS232 Conectividad directa con LIMS vía LAN y salida a impresora o PC Entrada opcional para lector externo de código de barras, teclado y ratón
Control Remoto	Capacidad de servicio remoto vía Ethernet interface
Software de PC	ERASOFT RCS – control remoto Windows® software para control remoto de múltiples instrumentos, transferencia de datos conveniente, visualización de espectros y resultados de análisis
Base de Datos Resultado	50 000+ reportes detallados y espectros almacenables en la memoria interna
Alarma de Seguimiento	informes de pruebas detalladas y espectros almacenables en la memoria interna
Requerimientos de Energía	Cambio automatico 85–264 V AC, 47–63 Hz, max. 150 W (fuente de alimentación de voltaje múltiple). Aplicación en Campo: 12 V DC (batería del vehículo) adaptador disponible
Dimensiones / Peso	29 x 35 x 34 cm (11.4 x 13.8 x 13.4 in) / 9.7 kg (21.4 lb)

**Fuente:** (eralytics, 2024)

### 5.6.2. Preparación del equipo y ajuste de la configuración del mecanismo de medición

De acuerdo con las instrucciones del fabricante, el proceso inicio con el encendido del analizador ERASPEC a través del botón de encendido señalado en la **figura 20**, permitiendo el arranque total y estabilidad térmica. Después de activar el sistema, se verifica que la interfaz del equipo no exista alertas operativas para su correcto funcionamiento en el momento de la medición.

## Figura 20

*Botón de encendido del equipo*



**Fuente:** *Autores*

### **5.6.3. Acondicionamiento del sistema de medición**

Previo a la evaluación de las muestras, el circuito de medición es purgado para su limpieza con el propósito de evitar contaminación en el análisis a través de restos sobrantes de anteriores análisis, permitiendo que la medición se lleve en condiciones independientes y controladas.

### **5.6.4. Configuración del equipo según el tipo de combustible**

La configuración del equipo se determinó a través de la interfaz táctil del analizados ERASPEC, facilitando la definición precisa y ordenada de los diferentes parámetros requeridos para la evaluación de cada tipo de combustible. Esta etapa es crucial ya que la selección adecuada

del método determina el uso de los modelos de calibración correctos y, por consiguiente, la fiabilidad de los resultados finales a obtener.

#### 5.6.4.1. Selección del tipo de combustible

Para la selección del tipo de combustibles, se selecciona el tipo de combustible correspondiente a la muestra a analizar, visualizado y denominado en el equipo como “Method” determinado la interfaz del equipo. Para ello, se selecciona la opción Gasolina para las muestras de Ecopaís y Diesel para el mismo a analizar. Esta sección del equipo permite la configuración de manera automática las calibraciones internas particulares de cada combustible, ajustando el análisis FTIR a los componentes químicos específicos de cada combustible.

**Figura 21**

*Selección del tipo de combustible*



**Fuente:** Autores

### 5.6.4.2. Identificación de la muestra

La codificación de identificación de la muestra es introducida en la sección “Sample”, según el sistema de codificación ya establecido para cada combustible mencionado en el apartado 5.5 tanto para Ecopaís como para el Diesel. Al tener esta codificación, permite una rápida identificación de la muestra a analizar.

#### Figura 22

*Ingreso de codificación*



Fuente: Autores

### 5.6.4.3. Verificación de condiciones previas al análisis

Se comprueba la configuración elegida según el combustible y codificación sea consistente con la muestra a analizar antes de inicial con el proceso de evolución. La verificación abarca tanto la comprobación del código, la muestra a introducir, el método de análisis y algún tipo de alerta o

mensajes de error del sistema del equipo. Así mismo, se inspecciona que el sistema de aspiración este conectada adecuadamente a la muestra.

### Figura 23

*Condiciones iniciales para inicio del análisis*



Fuente: Autores

#### 5.6.5. Ejecución del análisis según el tipo de combustible (Ecopaís y Diesel) en el equipo ERASPEC

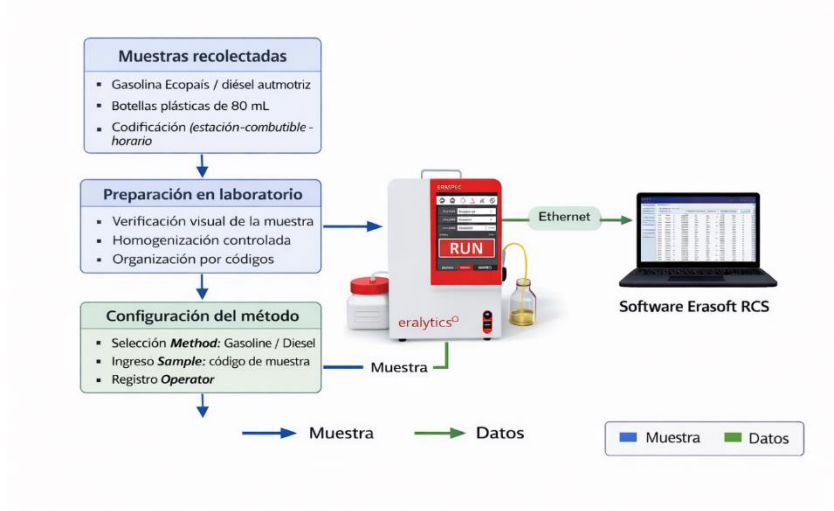
La presente sección expresa de manera ordenada el proceso seguido para la ejecución del análisis instrumental de las muestras de Ecopaís y Diesel, con el fin de garantizar mediciones confiables y coherentes.

- a) Selección de la muestra a analizar según el tipo de combustible
- b) Preparación del sistema de aspiración, colocando el tubo o conducto de muestreo dentro de la botella que contiene la muestra.
- c) Carga de la muestra presionando RUN en el equipo para su aspiración automática y el llenado de la celda de medición.

- d) Adquisición del espectro FTIR, tras le barrido de manera automática, obteniendo la absorción del combustible en función de la huella espectral de la muestra y el número de onda.
- e) Procesamiento y cálculo automático interno del equipo correspondiente al método seleccionado tanto para gasolina como Diesel.
- f) Visualización de resultados en la pantalla del equipo.
- g) Registro y extracción de resultados finales al software Erasoft RCS mediante conexión Ethernet para un su correcto análisis según las regulaciones locales.

**Figura 24**

*Esquema general del proceso de análisis en equipo ERASPEC*



**Fuente:** Autores

## **5.7. Resultados obtenidos**

En esta sección se describe los resultados obtenidos del análisis instrumental tanto de la gasolina Ecopaís como del Diesel mediante espectroscopia infrarroja FTIR mediante el analizador ERASPEC, los datos obtenidos fueron extraídos y organizado mediante el software Erasoft RCS, permitiendo la visualización y evaluación clara de los diferentes compuestos fisicoquímicos del combustible en las estaciones de servicio analizadas.

### **5.7.1. Resultados del análisis de la gasolina Ecopaís mediante espectroscopia FTIR**

En análisis de la gasolina Ecopaís permite evaluar parámetros fisicoquímicos donde están asociados al desempeño en motores MCI, como lo son el número de octanos, densidad, contenido de etanol y las diferentes fracciones hidrocarbonadas. Los resultados obtenidos se ven reflejados en la siguiente tabla:

**Tabla 8***Resultados obtenidos de análisis por espectroscopia FTIR de gasolina Ecopaís*

<b>Estación</b>	<b>Densidad</b>	<b>Temperatura</b>	<b>RON</b>	<b>MON</b>	<b>Saturantes</b>	<b>Aromáticos</b>	<b>Olefinas</b>	<b>Oxigenantes</b>	<b>Benceno</b>	<b>Etanol</b>
	<i>(gcm<sup>-1</sup>)</i>	<i>(°C)</i>			<i>(%<sup>c</sup>)</i>	<i>(%<sup>c</sup>)</i>	<i>(%<sup>c</sup>)</i>	<i>(%<sup>c</sup>)</i>	<i>(%<sup>c</sup>)</i>	<i>(%<sup>c</sup>)</i>
A-G-M1	0,7278	15	86,9	80,4	73,8	14,4	10,1	1,7	0,56	1,5
A-G-M2	0,7275	15	87,1	80,5	74,5	13,6	10,2	1,73	0,55	1,53
A-G-M3	0,7281	15	86,6	80,3	76,2	12,7	9,7	1,42	0,48	1,42
A-G-M4	0,7281	15	86,4	80,1	76,5	12,5	9,5	1,42	0,46	1,42
A-G-M5	0,7282	15	86,6	80,3	75,6	13,3	9,7	1,43	0,47	1,43
A-G-T1	0,7263	15	86,7	80,1	74,4	13,7	10,2	1,67	0,54	1,53
A-G-T2	0,7263	15	86,7	80,2	74,3	13,7	10,3	1,7	0,54	1,54
A-G-T3	0,7296	15	86,5	80,2	76,6	12,7	9,3	1,31	0,45	1,31
A-G-T4	0,7279	15	86,6	80,3	76,5	12,4	9,7	1,42	0,47	1,42
A-G-T5	0,728	15	86,5	80,2	76,5	12,6	9,6	1,42	0,46	1,42
B-G-M1	0,7298	15	87,5	80,8	74,2	12,8	9,3	3,68	0,52	3,48
B-G-M2	0,7301	15	87,8	80,9	73,7	13,2	9,5	3,65	0,52	3,47
B-G-M3	0,7419	15	88,2	81,5	75,3	14,5	7,4	2,73	0,42	2,55

---

B-G-M4	0,7419	15	88	81,3	74,8	14,8	7,7	2,74	0,41	2,56
B-G-M5	0,742	15	87	80,8	74,6	15	7,7	2,73	0,41	2,55
B-G-T1	0,7295	15	87,5	80,7	73,6	13,3	9,5	3,59	0,54	3,41
B-G-T2	0,7296	15	87,7	80,9	73,9	12,9	9,6	3,59	0,52	3,41
B-G-T3	0,7324	15	87,4	81	75,8	12,1	8,7	3,48	0,45	3,36
B-G-T4	0,7324	15	87,4	80,9	75,5	12,3	8,7	3,5	0,44	3,38
B-G-T5	0,7325	15	87,2	80,7	75,7	12,2	8,6	3,49	0,47	3,38
C-G-M1	0,7307	15	87,2	81	73,7	16,2	9	1,12	0,54	0,95
C-G-M2	0,7306	15	87,1	80,9	73,7	16,1	9,1	1,11	0,54	0,94
C-G-M3	0,7156	15	87,8	81,5	73,5	17,1	8,2	1,21	0,45	0,96
C-G-M4	0,7353	15	87,5	81,4	73,8	17,1	8	1,07	0,45	0,92
C-G-M5	0,7321	15	87,5	81,3	74	16,3	8,2	1,42	0,46	1,16
C-G-T1	0,7284	15	86,9	80,4	74,2	13,6	10,1	2,08	0,53	1,9
C-G-T2	0,7284	15	87	80,5	74,4	13,6	9,9	2,07	0,55	1,9
C-G-T3	0,7314	15	87	80,5	76,3	12,7	9,1	1,86	0,46	1,76
C-G-T4	0,7309	15	87,5	80,9	76,2	12,8	9,3	1,75	0,46	1,75

---

C-G-T5	0,731	15	86,7	80,4	76,5	12,5	9,3	1,76	0,45	1,76
D-G-M1	0,7302	15	87,2	80,8	74,6	13,1	9,5	2,81	0,5	2,62
D-G-M2	0,7302	15	87,3	80,8	74,4	13,3	9,5	2,83	0,5	2,64
D-G-M3	0,7389	15	87,7	81,2	76,1	12,1	8,9	2,89	0,46	2,7
D-G-M4	0,7342	15	87,4	81	75,5	12,5	9,1	2,93	0,46	2,74
D-G-M5	0,7335	15	87,6	81,2	75,6	12,7	8,9	2,88	0,44	2,68
D-G-T1	0,7295	15	87,7	80,9	74,2	13	9,8	3,03	0,5	2,86
D-G-T2	0,7295	15	87,5	80,8	75	12,5	9,5	3,02	0,49	2,85
D-G-T3	0,739	15	87,4	81,2	75,9	13	8,6	2,45	0,46	2,25
D-G-T4	0,7389	15	88,3	81,5	75,4	13	8,9	2,68	0,46	2,48
D-G-T5	0,739	15	87,5	81,2	75,7	12,6	8,9	2,8	0,46	2,61
E-G-M1	0,7323	15	88,4	81,4	74	15,2	9,9	0,87	0,48	0,69
E-G-M2	0,7324	15	88,4	81,4	73,9	15,3	9,9	0,87	0,48	0,69
E-G-M3	0,7313	15	88,6	81,6	74,3	14,8	10,1	0,86	0,49	0,72
E-G-M4	0,7314	15	88,4	81,4	74	15	10,1	0,88	0,49	0,73
E-G-M5	0,7314	15	88,4	81,5	74	15,2	9,9	0,88	0,5	0,73

---

E-G-T1	0,7298	15	87,7	80,8	73	15,8	10,3	0,86	0,49	0,72
E-G-T2	0,7296	15	87,8	80,9	73,4	15,7	10	0,89	0,48	0,75
E-G-T3	0,7319	15	88,4	81,5	74,2	14,9	10	0,87	0,48	0,72
E-G-T4	0,7319	15	88,3	81,4	73,7	15,2	10,2	0,88	0,49	0,72
E-G-T5	0,7321	15	88,4	81,4	73,7	15,3	10,1	0,87	0,49	0,72
F-G-M1	0,7291	15	87,6	80,8	73,8	15,1	10,1	0,96	0,5	0,8
F-G-M2	0,7298	15	87,7	80,9	73,3	15,3	10,4	0,93	0,5	0,78
F-G-M3	0,7315	15	87,9	81,2	74,5	14,6	10	0,92	0,49	0,74
F-G-M4	0,737	15	87,8	81,3	75,2	15,4	8,6	0,77	0,41	0,61
F-G-M5	0,7372	15	88,3	81,7	75,3	15,3	8,6	0,76	0,41	0,6
F-G-T1	0,7327	15	87,9	81,1	74,6	15	9,5	0,88	0,48	0,71
F-G-T2	0,7266	15	86,6	80,2	74,8	13,4	10,3	1,48	0,52	1,33
F-G-T3	0,732	15	87,9	81,1	74,4	14,9	9,8	0,94	0,48	0,75
F-G-T4	0,7321	15	87,8	81	74,2	15	9,9	0,9	0,48	0,72
F-G-T5	0,7322	15	88,2	81,3	74,3	14,9	9,9	0,91	0,49	0,73
G-G-M1	0,7285	15	86,3	79,9	75	13,4	10,1	1,5	0,55	1,33

---

G-G-M2	0,7284	15	86,7	80,2	74,6	13,6	10,2	1,52	0,54	1,33
G-G-M3	0,7399	15	86,4	80,5	76	15	8,1	0,94	0,44	0,81
G-G-M4	0,729	15	86,9	80,5	76,1	13,1	9,5	1,26	0,49	1,26
G-G-M5	0,7416	15	86,5	80,5	76	15,2	8	0,85	0,42	0,73
G-G-T1	0,7288	15	86,3	80,2	76,5	12,7	9,5	1,23	0,48	1,23
G-G-T2	0,7288	15	86,7	80,3	76,5	12,7	9,6	1,23	0,5	1,23
G-G-T3	0,7288	15	86,5	80,2	76,1	13	9,7	1,25	0,51	1,25
G-G-T4	0,7287	15	86,8	80,4	76,1	12,9	9,8	1,26	0,51	1,26
G-G-T5	0,7288	15	86,6	80,4	76	13,1	9,6	1,37	0,5	1,27
H-G-M1	0,7306	15	87,3	80,7	74,1	13,1	9,3	3,52	0,5	3,31
H-G-M2	0,7308	15	87,6	80,9	73,7	13,6	9,2	3,53	0,51	3,32
H-G-M3	0,7403	15	87	80,9	75,9	13,5	7,4	3,23	0,38	3,06
H-G-M4	0,7405	15	87,7	81,4	75,4	14	7,4	3,21	0,39	3,05
H-G-M5	0,7425	15	87,3	81,1	75	14,7	7,3	3,03	0,39	2,86
H-G-T1	0,7312	15	87,5	80,8	74	13,3	9,2	3,46	0,51	3,28
H-G-T2	0,7318	15	87,4	80,7	73,4	13,9	9,4	3,4	0,5	3,23

H-G-T3	0,7344	15	87,9	81,1	75,8	12,8	8,7	2,67	0,46	2,54
H-G-T4	0,7338	15	87,4	81	76,3	12,3	8,7	2,72	0,45	2,59
H-G-T5	0,7339	15	87,3	80,9	75,5	12,8	9	2,71	0,46	2,59

**Fuente:** Autores

### 5.7.2. Resultados del análisis del Diesel mediante espectroscopia FTIR

En el caso del Diesel, los resultados permiten evaluar parámetro como densidad e índice de cetano importantes para un motor con encendido por compresión. Los valores de cada parámetro fisicoquímico se reflejan en la tabla 9.

**Tabla 9**

*Resultados obtenidos de análisis por espectroscopia FTIR de Diesel*

Estación	Densidad ( $gcm^{-1}$ )	Temperatura (°C)	Numero de cetano	Índice de cetano	FAME (% <sup>c</sup> )	Aromáticos (% <sup>c</sup> )	PNA (% <sup>c</sup> )
A-D-M1	0,8415	15	47,7	50,1	0,09	29,2	3,9
A-D-M2	0,8416	15	47,4	50,4	0,1	29,4	3,9
A-D-M3	0,841	15	49,2	49,4	0,09	29,3	3,7
A-D-M4	0,841	15	49,2	49,4	0,09	29,3	3,7
A-D-M5	0,8419	15	51	55	0,09	28,7	3,7

A-D-T1	0,8417	15	47,9	50	0	29,3	3,8
A-D-T2	0,841	15	48,7	49,5	0,08	30	3,9
A-D-T3	0,841	15	49	49,3	0,09	29,5	3,8
A-D-T4	0,8417	15	49,9	55	0,09	28,7	3,6
A-D-T5	0,8417	15	51,1	54,9	0,09	28,8	3,7
B-D-M1	0,8415	15	51	55	0	28,3	3,7
B-D-M2	0,8415	15	47,6	50,4	0,08	28,6	3,6
B-D-M3	0,8415	15	51	55	0,08	28,5	3,7
B-D-M4	0,8416	15	48,9	49,8	0,09	28,5	3,6
B-D-M5	0,8415	15	48,4	50,6	0	28,3	3,6
B-D-T1	0,8421	15	51	55	0,09	28,7	3,7
B-D-T2	0,8416	15	51	55	0,08	28,6	3,7
B-D-T3	0,8417	15	49,4	51,9	0,09	28,7	3,7
B-D-T4	0,8416	15	51	55	0,09	28,5	3,7
B-D-T5	0,8416	15	51	55	0	28,4	3,7
C-D-M1	0,8422	15	47,6	50,4	0,09	29	4

C-D-M2	0,8422	15	47,8	50,4	0,09	29,2	4
C-D-M3	0,8428	15	51,1	55	0,08	28,5	3,8
C-D-M4	0,8425	15	48	50,9	0,09	28,6	3,7
C-D-M5	0,8424	15	51	55	0,08	28,3	3,7
C-D-T1	0,842	15	48,4	49,9	0,08	29,9	4
C-D-T2	0,8427	15	47,9	50,4	0	29,5	4
C-D-T3	0,842	15	48,2	50,7	0,09	28,8	3,6
C-D-T4	0,8422	15	49,4	51,9	0,09	28,8	3,7
C-D-T5	0,8421	15	51	55	0,09	28,8	3,7
D-D-M1	0,8422	15	47,2	50,2	0,09	29,3	4
D-D-M2	0,8423	15	48	50	0,09	29,5	4
D-D-M3	0,8424	15	51	55	0,09	28,7	3,8
D-D-M4	0,8423	15	48,1	50,1	0,08	29,6	4
D-D-M5	0,8423	15	51	55	0,09	28,5	3,7
D-D-T1	0,842	15	51	55	0,09	28,7	3,8
D-D-T2	0,8412	15	48,3	50,3	0	29,6	4

D-D-T3	0,8422	15	51	55	0,08	28,7	3,6
D-D-T4	0,8421	15	49,7	51,9	0,09	28,8	3,7
D-D-T5	0,8414	15	51	55	0,08	28,1	3,5
E-D-M1	0,8433	15	51	55	0,09	28,3	3,9
E-D-M2	0,8433	15	47,6	51,2	0,09	28,4	4,1
E-D-M3	0,8425	15	47,5	49,9	0,1	29,1	4
E-D-M4	0,8427	15	51	55	0,09	28,6	3,7
E-D-M5	0,8437	15	51	55	0,08	27,8	3,8
E-D-T1	0,8428	15	47,9	50,1	0	29,8	4,3
E-D-T2	0,8432	15	51	55	0,09	28,7	3,8
E-D-T3	0,8433	15	51	55	0,09	28,6	3,8
E-D-T4	0,8433	15	47,9	50,2	0	29,9	4,2
E-D-T5	0,843	15	51	55	0,09	28,7	3,8
F-D-M1	0,8409	15	48	49,4	0,1	30,6	4,1
F-D-M2	0,841	15	48,1	49,2	0,1	30,1	4
F-D-M3	0,8411	15	49	49,4	0,1	29,4	3,7

F-D-M4	0,8412	15	49	49,4	0,1	29,6	3,6
F-D-M5	0,8411	15	49,1	49,6	0,1	29,4	3,7
F-D-T1	0,8433	15	47,8	49,7	0	29,9	4,4
F-D-T2	0,8404	15	48,2	49,5	0	30,8	4
F-D-T3	0,8403	15	48,2	49,3	0,08	29,3	3,5
F-D-T4	0,8402	15	48,6	49,4	0,09	29,4	3,7
F-D-T5	0,8406	15	48,6	49,5	0,1	29,5	3,6
G-D-M1	0,8424	15	51	55	0,09	29,1	4
G-D-M2	0,8433	15	47,4	51,4	0,1	28,3	3,9
G-D-M3	0,8427	15	51	55	0,09	28,6	3,8
G-D-M4	0,8442	15	48,2	50,9	0,09	28	3,9
G-D-M5	0,8427	15	51	55	0,08	28,4	3,7
G-D-T1	0,8441	15	47,7	50,9	0	28,9	4,2
G-D-T2	0,844	15	48,3	50,8	0	29	4,1
G-D-T3	0,8429	15	51	55	0,09	28,6	3,7
G-D-T4	0,8443	15	48,4	50,8	0,09	28	3,8

G-D-T5	0,8443	15	48,4	51,1	0,09	28,2	3,7
H-D-M1	0,841	15	51	55	0,09	28,7	3,8
H-D-M2	0,841	15	51	55	0,1	28,7	3,9
H-D-M3	0,8412	15	51	55	0,08	28,2	3,7
H-D-M4	0,8411	15	51	55	0,08	28,1	3,7
H-D-M5	0,8412	15	51	55	0,09	28,2	3,6
H-D-T1	0,842	15	48,5	50,3	0,08	29,4	4,1
H-D-T2	0,8419	15	48,5	50,4	0	29,6	4
H-D-T3	0,8421	15	51	55	0,08	28,2	3,6
H-D-T4	0,8424	15	51	55	0,09	28,3	3,8
H-D-T5	0,8423	15	51	55	0,09	28,4	3,6

**Fuente:** *Autores*

## **6. ANALISIS, COMPARACIÓN E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS, MEDIANTE TÉCNICAS ESTADÍSTICAS PARA LA DETERMINACIÓN DEL GRADO DE CUMPLIMIENTO NORMATIVO LOCAL DE LOS COMBUSTIBLES (ECOPAIS Y DIESEL)**

Al obtener los resultados de cada uno de los combustibles a través del análisis instrumental mediante espectroscopia FRIR, presentados en la sección anterior. Al tener una base para el desarrollo de la presente sección, lo cual permite evaluar, comparar e interpretar dichos resultados con el propósito de determinar mediante técnicas estadísticas y herramientas gráficas el grado de cumplimiento de las regulaciones vigentes locales para estos combustibles; estableciendo diferencias de calidad entre cada estación de servicio evaluadas. La interpretación de los resultados se enfoca en métodos estadísticos y técnicos, integrando el análisis de varianza (ANOVA) y comparación de los diferentes espectros FTIR procesados mediante MATLAB. Este método posibilita la valoración de la uniformidad del combustible, identificación de diferencias significativas entre estaciones y la creación de criterios objetivos para decidir cuál de las estaciones tiene un mejor rendimiento global desde el punto de vista normativo local.

### **6.1. Análisis estadístico (ANOVA) por parámetros para gasolina Ecopaís**

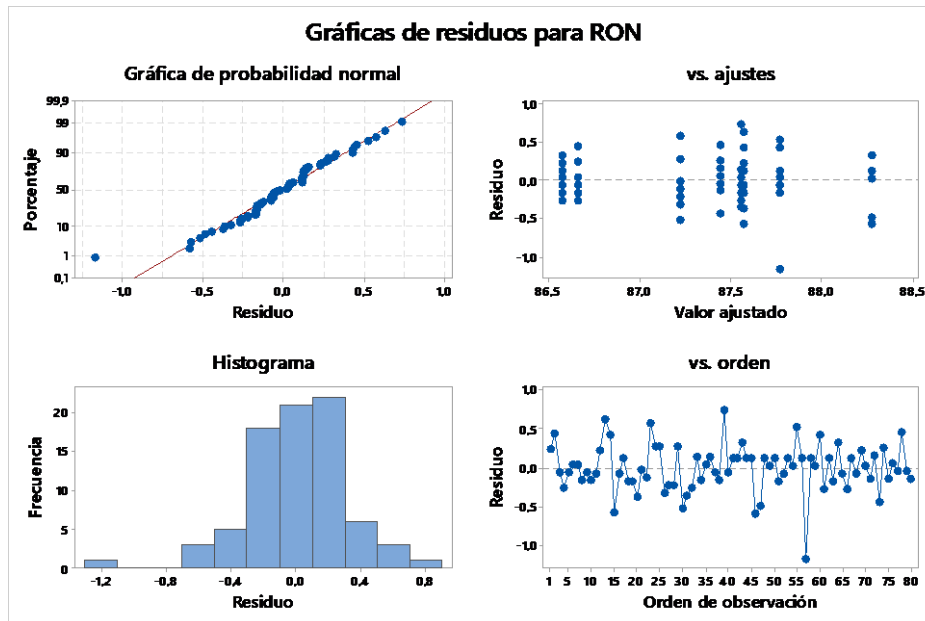
El análisis estadístico (ANOVA) se realiza mediante parámetro fisicoquímico individual de la gasolina Ecopaís, con el fin de identificar diferencias entre estaciones por parámetro para así evaluar de manera precisa el cumplimiento normativo.

#### **6.1.1. RON**

##### **6.1.1.1. Grafica de residuos**

**Figura 25**

*Grafica de residuos para RON*



**Fuente:** *Autores*

En la figura 25 se observa que:

- La probabilidad normal sigue una tendencia casi recta en referencia a la línea tomate, indicando que los residuos tienen una normalidad aceptable.
- La dispersión en la gráfica residuos vs ajuste es aleatoria de 0, sin abanicos ni varianzas constantes teniendo una homocedasticidad.
- En el histograma se observa una distribución centrada cerca del cero y esta con aproximación simétrica teniendo errores reducidos sin sesgos importantes.
- En los residuos en relación con el orden, se evidencia que no existe patrón, ni ciclos, demostrando independencia de los residuos.

Al tener estas observaciones, los supuestos del ANOVA para el parámetro RON son confiables y validos ya que cumple con el modelo.

### 6.1.1.2. Análisis de varianza (ANOVA): RON vs Estaciones

El análisis de varianza para el RON presentado en la tabla 10, evidencia claramente que existen diferencias estadísticamente significativas entre cada estación analizada con un  $F = 32,43 ; p < 0,001$ , demostrando que el comportamiento del RON entre estaciones no es homogéneo.

**Tabla 10**

*Análisis de varianza para RON*

RON					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust	Valor F	Valor p
Estacion	7	22,342	3,19170	32,43	0,000
Error	72	7,087	0,09843		
Total	79	29,429			

Fuente: Autores

### 6.1.1.3. Media entre estaciones: RON

**Tabla 11**

*Medias para RON vs estaciones*

RON				
Estacion	N	Media (%)	Desv.Est	IC de 95%
A	10	86,6600	0,2066	(86,4622; 86,8578)
B	10	87,570	0,362	(87,372; 87,768)
C	10	87,220	0,343	(87,022; 87,418)
D	10	87,5600	0,3062	(87,3622; 87,7578)
E	10	88,2800	0,2898	(88,0822; 88,4778)

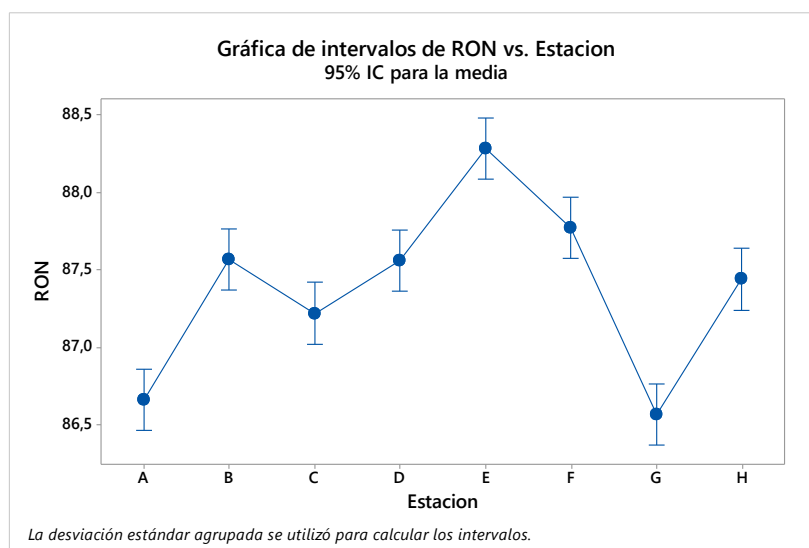
F	10	87,770	0,462	(87,572; 87,968)
G	10	86,5700	0,2058	(86,3722; 86,7678)
H	10	87,4400	0,2503	(87,2422; 87,6378)

Desv.Est. agrupada=0,313736

Fuente: Autores

Figura 26

Intervalos de media para RON vs Estación



Fuente: Autores

La observar la tabla 11 y figura 26, las medias del RON por estación varían significativamente entre 86,66 y 88,28, indicando que existen diferencias cuantitativas entre cada estación. Al tener una desviación estándar agrupada de 0,3137 evidencia una adecuada repetibilidad de las muestras analizadas, pero cabe recalcar que al tener un solapamiento parcial por intervalos de confianza del 95% no todas las estaciones son significativamente diferentes.

#### 6.1.1.4. Comparaciones de Tukey entre estaciones

Al realizar la comparación por el método de Tukey, se identifica variaciones muy relevantes entre cada estación evaluada, como es el caso de la estación E, indicando que ofrece un

mejor RON en comparación a las otras estaciones y por lo contrario en el caso de estaciones como A y G muestran valores más bajos de RON mostrados en la tabla 12 y figura 31, lo cual esto deja en claro las diferencias estadísticas entre estaciones, pero a su vez cumplen con el nivel de calidad del combustible según la norma NTE INEN 395 para este combustible con un mínimo de RON de 85.

**Tabla 12**

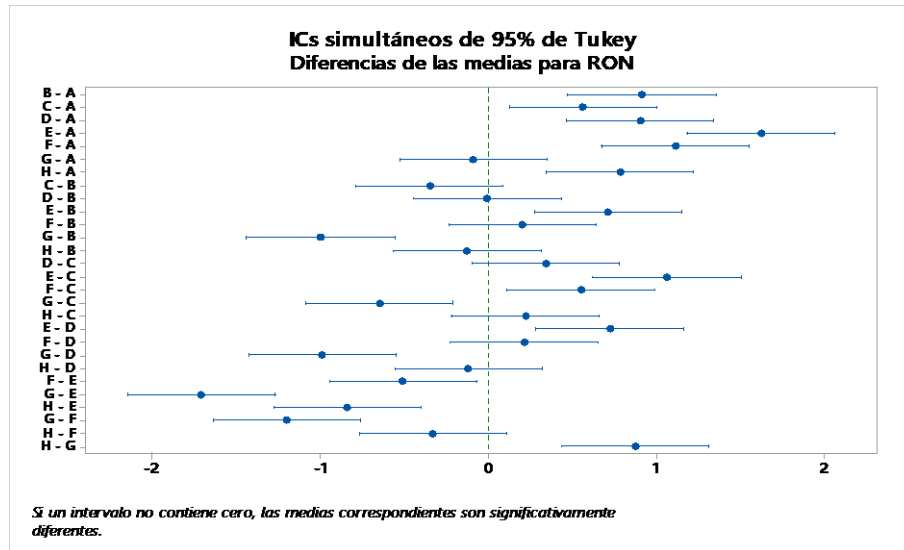
*Comparación Tukey para RON*

<b>RON</b>			
<b>Estacion</b>	<b>N</b>	<b>Media (%)</b>	<b>Agrupación</b>
E	10	88,2800	A
F	10	87,770	B
B	10	87,570	B C
D	10	87,5600	B C
H	10	87,4400	B C
C	10	87,220	C
A	10	86,6600	D
G	10	86,5700	D

**Fuente:** *Autores*

**Figura 27**

*Diferencias de media método Tukey*



Fuente: Autores

## 6.2. Análisis estadístico (ANOVA) por parámetros para Diesel

### 6.2.1. Índice de cetano

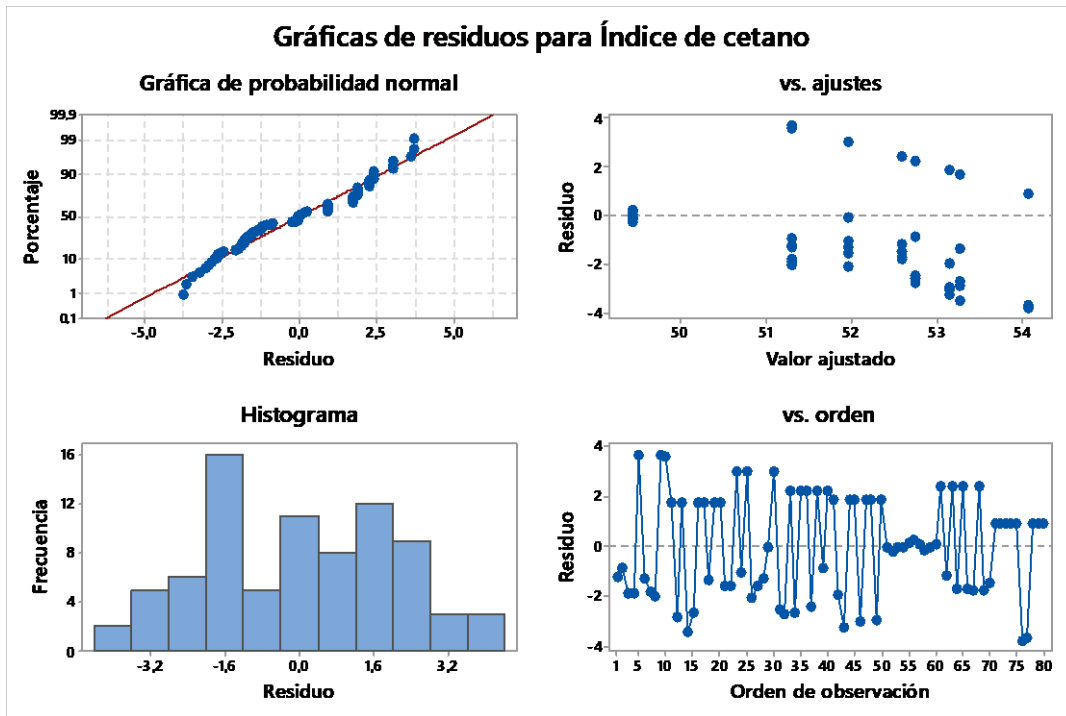
#### 6.2.1.1. Gráfica de residuos

La figura en general permite observar que los residuos de probabilidad normal continúan en la línea de referencia de manera apropiada, con algunas variaciones en los extremos, pero no repercuten en el análisis. La dispersión de los residuos frente a los valores ajustados, se encuentran cerca del cero, indicando que las varianzas son homogéneas y que no existe heterocedasticidad significativa. El histograma refuerza el supuesto de normalidad. Y los residuos frente al orden de observación se reparten aleatoriamente a lo largo del orden de medición, confirmado que las observaciones son independientes.

Figura

**Figura 28**

*Residuos obtenidos por ANOVA para índice de cetano*



Fuente: Autor

### 6.2.1.2. Análisis de varianza (ANOVA): Índice de cetano

Al realizar el análisis de varianza con un  $F=4,51$  y con un valor  $p= 0,000$ , indica que el factor estación es estadísticamente diferente, lo que rechaza la hipótesis nula de igualdad entre estaciones. Al tener un  $SC=143,6$  que es relevante en comparación con el error experimental de  $SC=327,8$ , evidenciando que las diferencias entre estaciones no se deben únicamente a la variabilidad aleatoria.

**Tabla 13**

*Análisis de varianza para Índice de cetano*

Índice de cetano					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust	Valor F	Valor p

Estacion	7	143,6	20,513	4,51	0,000
Error	72	327,8	4,552		
Total	79	471,4			

**Fuente:** Autores

### 6.2.1.3. Medias entre estaciones: Índice de cetano vs Estaciones

**Tabla 14**

*Media entre estaciones para índice de cetano*

Índice de cetano				
Estacion	N	Media (%)	Desv.Est	IC de 95%
A	10	51,300	2,555	(49,955; 52,645)
B	10	53,270	2,291	(51,925; 54,615)
C	10	51,960	2,160	(50,615; 53,305)
D	10	52,750	2,430	(51,405; 54,095)
E	10	53,140	2,425	(51,795; 54,485)
F	10	49,4400	0,1430	(48,0950; 50,7850)
G	10	52,590	2,081	(51,245; 53,935)
H	10	54,070	1,961	(52,725; 55,415)

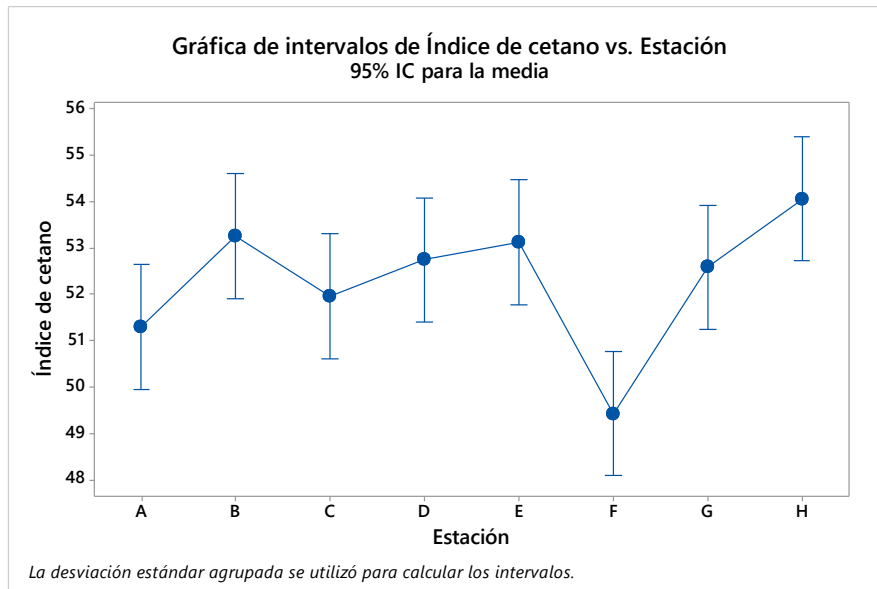
Desv.Est.agrupada= 2,13362

**Fuente:** Autores

Figura

## Figura 29

Media entre índice de cetano vs estaciones



Fuente: Autores

La tabla 14 y figura 29 de análisis de media con un IC del 95%, demuestran que el índice de cetano presenta valores medios de 49,44 - 54,07, donde la estación H es la que tiene un mejor índice de cetano, mientras que la F muestra el peor índice de cetano. Estas diferencias detectadas pueden inferir en la calidad de ignición de los motores a Diesel.

### 6.2.1.4. Comparación Tukey entre estaciones

Para el índice de cetano mediante comparación de Tukey con IC del 95% muestra las diferencias significativas entre estaciones, como ya antes mencionado. Estaciones como B, E, D y G no son tan diferentes entre sí perteneciendo al grupo A, mientras la estación C y A muestran valores intermedios pertenecientes al grupo AB. La estación H en comparación con la estación F difieren estadísticamente ya que presentan el índice de cetano mayor y menor, esto indicado en la tabla 15 y figura 30.

**Tabla 15**

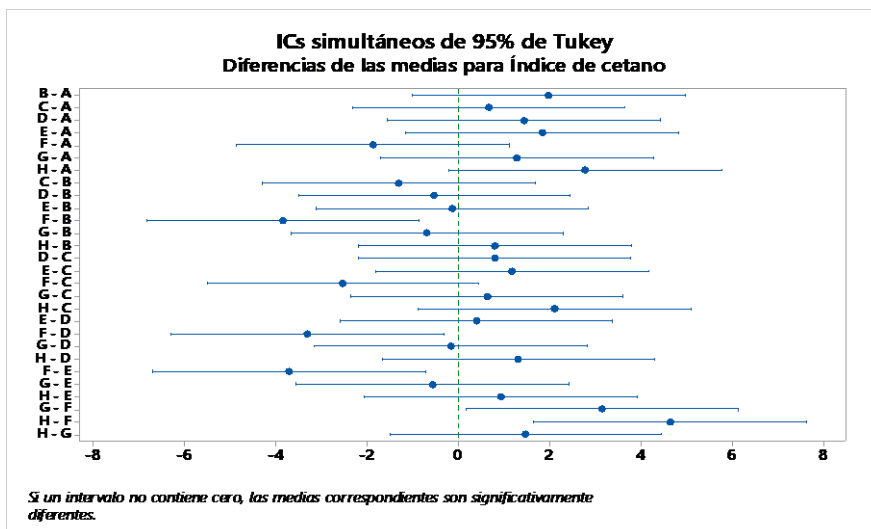
*Método Tukey para índice de cetano*

Comparación Tukey			
Estacion	N	Media	Agrupación
H	10	54,070	A
B	10	53,270	A
E	10	53,140	A
D	10	52,750	A
G	10	52,590	A
C	10	51,960	A B
A	10	51,300	A B
F	10	49,4400	B

**Fuente:** Autores

**Figura 30**

*Comparación por método Tukey para índice de cetano*



**Fuente:** Autores

### 6.3. Resultados obtenidos a través de análisis de varianza ANOVA para Ecopaís y Diesel

Para todos los parámetros fisicoquímicos analizados para gasolina Ecopaís como densidad, MON, saturantes, aromáticos, oxigenantes, etanol, olefinas y Benceno se aplicó el mismo procedimiento de análisis estadístico (ANOVA) para cada parámetro mencionado en la sección 6.1. considerando como variable independiente la estación y como respuesta cada parámetro mencionado. Posteriormente se llevó el mismo procedimiento en el caso para el Diesel, de igual forma mencionado en el apartado 6.2. para cada parámetro, como lo es el FAME, Aromáticos, Densidad y Numero de cetano.

Cabe recalcar que para todos los parámetros se verifico previamente el cumplimiento de los supuestos del modelo estadístico mediante la gráfica de residuos, confirmándose normalidad, homogeneidad e independencia de errores. Por esta razón la presente sección se presenta los resultados obtenidos de ANOVA, evitando repeticiones innecesarias en la interpretación de los supuestos.

#### 6.3.1. Interpretación de resultados para gasolina Ecopaís

##### 6.3.1.1. Análisis de varianza de cada parámetro por estación

**Tabla 16**

*Análisis de varianza para densidad*

<b>Densidad</b>					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust	Valor F	Valor p
Estacion	7	0.000444	0,000063	3,79	0,001
Error	72	0,001206	0,000017		
Total	79	0,001650			

**Fuente:** Autores

**Tabla 17***Análisis de varianza para MON*

<b>MON</b>					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust	Valor F	Valor p
Estacion	7	9,792	1,39886	18,02	0,000
Error	72	5,588	0,07761		
Total	79	15,380			

**Fuente:** Autores**Tabla 18***Análisis de varianza para Saturantes*

<b>Saturantes</b>					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust	Valor F	Valor p
Estacion	7	29,30	4,1861	5,79	0,000
Error	72	52,04	0,7228		
Total	79	81,34			

**Fuente:** Autores**Tabla 19***Análisis de varianza para Aromáticos*

<b>Aromáticos</b>					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust	Valor F	Valor p
Estacion	7	61,8	8,8113	9,82	0,000
Error	72	64,58	0,8970		
Total	79	126,26			

**Fuente:** Autores

**Tabla 20***Análisis de varianza para Olefinas*

<b>Olefinas</b>					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Estación	7	20,66	2,9516	7,44	0,000
Error	72	28,57	0,3968		
Total	79	49,23			

**Fuente: Autores****Tabla 21***Análisis de varianza para Oxigenantes*

<b>Oxigenantes</b>					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Estación	7	71,005	10,1436	137,80	0,000
Error	72	5,300	0,0736	—	—
Total	79	76,305	—	—	—

**Fuente: Autores****Tabla 22***Análisis de varianza para Benceno*

<b>Benceno</b>					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Estación	7	0,01440	0,002056	1,30	0,263
Error	72	0,11400	0,001583	—	—
Total	79	0,12840	—	—	—

**Fuente: Autores**

**Tabla 23***Análisis de varianza para Etanol*

<b>Etanol</b>					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Estación	7	68,380	9,76855	130,97	0,000
Error	72	5,370	0,07459	—	—
Total	79	73,750	—	—	—

**Fuente:** *Autores*

A partir de los diversos parámetros analizados, presentados las tablas de la presente sección, los resultados ponen en manifiesto diferencias evidentes entre estaciones. En particular, la densidad mostró diferencias estadísticamente significativas ( $F = 3,79$ ;  $p = 0,001$ ), lo cual hace suponer un comportamiento no homogéneo atribuible como consecuencia al factor estación. De igual forma, los parámetros RON ( $F = 32,43$ ;  $p < 0,05$ ) y MON ( $F = 18,02$ ;  $p < 0,05$ ) mostraron diferencias altamente significativas, reflejando variabilidad en la resistencia a la detonación del combustible entre estaciones.

En los parámetros de saturantes, aromáticos y olefinas, a su vez presentaron variaciones estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ), lo que demuestra cambios en la composición hidrocarbonada del combustible comercializado. El parámetro oxigenante mostró el valor más alto del estadístico F ( $F = 137,80$ ;  $p < 0,05$ ), indicando una marcada variabilidad en el contenido de

compuestos oxigenados entre estaciones. De igual manera, el contenido de etanol presentó diferencias altamente significativas ( $F = 130,97$ ;  $p < 0,05$ ).

Por el contrario, el parámetro benceno no presentó diferencias estadísticamente significativas entre estaciones ( $p = 0,263$ ), evidenciando un comportamiento homogéneo y el cumplimiento general de los límites establecidos para este compuesto.

Integrando todos los resultados reafirman que el factor estación influye de manera significativa en la mayoría de los parámetros fisicoquímicos analizados, justificando la aplicación de la prueba de comparaciones múltiples de Tukey para determinar grupos con comportamientos homogéneos y diferentes.

### 6.3.1.2. Media de cada parámetro vs estaciones

**Tabla 24**

*Medias de Densidad de todas las estaciones*

<b>Densidad</b>				
<b>Estacion</b>	<b>N</b>	<b>Media (%)</b>	<b>Desv.Est</b>	<b>IC de 95%</b>
A	10	0,727780	0,000955	(0,725200; 0,730360)
B	10	0,73421	0,00546	(0,73163; 0,73679)
C	10	0,72944	0,00523	(0,72686; 0,73202)
D	10	0,73429	0,00431	(0,73171; 0,73687)
E	10	0,731410	0,000978	(0,728830; 0,733990)
F	10	0,73202	0,00325	(0,72944; 0,73460)
G	10	0,73113	0,00509	(0,72855; 0,73371)
H	10	0,73498	0,00446	(0,73240; 0,73756)

---

Desv.Est. agrupada=0,00409254

---

**Fuente:** Autores

**Tabla 25**

*Medias de MON de todas las estaciones*

---

<b>MON</b>				
<b>Estacion</b>	<b>N</b>	<b>Media (%)</b>	<b>Desv.Est</b>	<b>IC de 95%</b>
A	10	80,2600	0,1265	(80,0844; 80,4356)
B	10	80,9500	0,2593	(80,7744; 81,1256)
C	10	80,880	0,421	(80,704; 81,056)
D	10	81,0600	0,2366	(80,8844; 81,2356)
E	10	81,3300	0,2627	(81,1544; 81,5056)
F	10	81,060	0,392	(80,884; 81,236)
G	10	80,3100	0,1912	(80,1344; 80,4856)
H	10	80,9500	0,2121	(80,7744; 81,1256)

Desv.Est.agrupada=0,278588

---

**Fuente:** Autores

**Tabla 26**

*Medias de Saturantes de todas las estaciones*

---

<b>Saturante</b>				
<b>Estacion</b>	<b>N</b>	<b>Media (%)</b>	<b>Desv.Est</b>	<b>IC de 95%</b>
A	10	75,490	1,118	(74,954; 76,026)
B	10	74,710	0,839	(74,174; 75,246)
C	10	74,630	1,206	(74,094; 75,166)

---

D	10	75,240	0,655	(74,704; 75,776)
E	10	73,820	0,388	(73,284; 74,356)
F	10	74,440	0,602	(73,904; 74,976)
G	10	75,890	0,612	(75,354; 76,426)
H	10	74,910	1,029	(74,374; 75,446)

Desv.Est. agrupada=0,850172

**Fuente:** Autores

**Tabla 27**

*Medias de Aromáticos de todas las estaciones*

<b>Aromáticos</b>				
<b>Estación</b>	<b>N</b>	<b>Media (%)</b>	<b>Desv.Est.</b>	<b>IC 95 %</b>
A	10	13,160	0,674	(12,563; 13,757)
B	10	13,310	1,088	(12,713; 13,907)
C	10	14,800	1,917	(14,203; 15,397)
D	10	12,780	0,361	(12,183; 13,377)
E	10	15,240	0,317	(14,643; 15,837)
F	10	14,890	0,574	(14,293; 15,487)
G	10	13,470	0,904	(12,873; 14,067)
H	10	13,400	0,698	(12,803; 13,997)

Desv.Est. agrupada = 0,947094

**Fuente:** Autores

**Tabla 28***Medias de Olefinas de todas las estaciones*

<b>Olefinas</b>				
<b>Estación</b>	<b>N</b>	<b>Media (%)</b>	<b>Desv. Est.</b>	<b>IC 95 %</b>
A	10	9,8300	0,3430	(9,4330; 10,2270)
B	10	8,6700	0,8260	(8,2730; 9,0670)
C	10	9,0200	0,7070	(8,6230; 9,4170)
D	10	9,1600	0,3860	(8,7630; 9,5570)
E	10	10,0500	0,1354	(9,6529; 10,4471)
F	10	9,7100	0,6370	(9,3130; 10,1070)
G	10	9,4100	0,7550	(9,0130; 9,8070)
H	10	8,5600	0,8550	(8,1630; 8,9570)

Desv.Est. agrupada = 0,629914

**Fuente:** *Autores***Tabla 29***Medias de Oxigenantes de todas las estaciones*

<b>Oxigenantes</b>				
<b>Estación</b>	<b>N</b>	<b>Media (%)</b>	<b>Desv. Est.</b>	<b>IC 95 %</b>
A	10	1,5220	0,1576	(1,3510; 1,6930)
B	10	3,3180	0,4090	(3,1470; 3,4890)
C	10	1,5450	0,4050	(1,3740; 1,7160)
D	10	2,8320	0,1701	(2,6610; 3,0030)
E	10	0,8730	0,00949	(0,70197; 1,04403)

F	10	0,9450	0,1999	(0,7740; 1,1160)
G	10	1,2410	0,2124	(1,0700; 1,4120)
H	10	3,1480	0,3450	(2,9770; 3,3190)

Desv.Est. agrupada = 0,271315

**Fuente:** *Autores*

**Tabla 30**

*Medias de Benceno de todas las estaciones*

<b>Benceno</b>				
<b>Estación</b>	<b>N</b>	<b>Media (%)</b>	<b>Desv. Est.</b>	<b>IC 95 %</b>
A	10	0,4980	0,0437	(0,4729; 0,5231)
B	10	0,4700	0,0510	(0,4449; 0,4951)
C	10	0,4890	0,0443	(0,4639; 0,5141)
D	10	0,4730	0,02214	(0,44792; 0,49808)
E	10	0,4870	0,00675	(0,46192; 0,51208)
F	10	0,4760	0,0369	(0,4509; 0,5011)
G	10	0,4940	0,0401	(0,4689; 0,5191)
H	10	0,4550	0,0519	(0,4299; 0,4801)

Desv.Est. agrupada = 0,0397911

**Fuente:** *Autores*

**Tabla 31**

*Medias de Etano de todas las estaciones*

<b>Etanol</b>				
<b>Estación</b>	<b>N</b>	<b>Media (%)</b>	<b>Desv. Est.</b>	<b>IC 95 %</b>

A	10	1,4520	0,0722	(1,2798; 1,6242)
B	10	3,1550	0,4170	(2,9830; 3,3270)
C	10	1,4000	0,4440	(1,2280; 1,5720)
D	10	2,6430	0,1785	(2,4708; 2,8152)
E	10	0,7190	0,01792	(0,54684; 0,89116)
F	10	0,7770	0,2048	(0,6048; 0,9492)
G	10	1,1700	0,2145	(0,9978; 1,3422)

Desv.Est. agrupada = 0,0397911

---

**Fuente:** *Autores*

Al realizar el análisis de las medias de densidad, se identifica que las estaciones H, D y B presentan los valores más altos, mientras que la estación A registra la menor media comprada entre las demás estaciones. No obstante, los IC de 95% muestran una superposición parcial entre estaciones, lo que indica variaciones moderadas en este parámetro.

Para el número de octano de investigación (RON), la estación E presenta la media más elevada, seguida por F, B y D, mientras que las estaciones A y G muestran los valores más bajos. Este comportamiento evidencia diferencias en la resistencia a la detonación del combustible comercializado entre estaciones. En cuanto al número de octano (MON), nuevamente la estación E registra la media más alta, seguida por D y F, mientras que A y G presentan los valores más bajos. Esto indica variabilidad en el desempeño del combustible bajo condiciones de mayor carga del motor.

Respecto al contenido de saturantes, la estación G presenta la media más elevada, seguida por A y D, mientras que la estación E muestra el valor promedio más bajo. Estas diferencias reflejan variaciones en la fracción de hidrocarburos saturados entre estaciones.

En el parámetro aromáticos, las estaciones E, F y C presentan las medias más altas, mientras que la estación D registra el valor más bajo. Evidenciando diferencias en la composición química del combustible, asociadas a la formulación utilizada y aplicada en cada estación.

En el caso de olefinas, la estación E muestra la media más elevada, seguida por A y F, mientras que H y B presentan los valores más bajos. Esto demuestra una distribución no homogénea de estos compuestos entre las estaciones evaluadas.

Para los oxigenantes, las estaciones B y H presentan las mayores medias, seguidas por D, mientras que E y F muestran los valores más bajos. Este comportamiento refleja distintas estrategias de oxigenación del combustible.

Al evaluar el benceno, las medias para este parámetro son relativamente similares entre estaciones, observándose valores ligeramente altos en A y G y el valor más bajo en H, lo que permite deducir un comportamiento homogéneo del parámetro.

Por último, en el contenido de etanol para las estaciones B y H demuestras que las contienen las medias más altas, seguidas por D, mientras que E y F registran los valores más bajos. Esto muestra una variabilidad considerable en el nivel de etanol presente en el combustible comercializado.

### **6.3.1.3. Comparación Tukey por parámetro**

#### **Tabla 32**

*Método Tukey aplicado a todas las estaciones vs parámetro fisicoquímico*

Estación	Densidad	RON	MON	Saturantes	Aromáticos	Olefinas	Oxigenantes	Benceno	Etanol
A	B	D	C	AB	B	AB	C	A	C
B	A	BC	AB	ABC	B	C	A	A	A
C	AB	C	B	BC	A	BC	C	A	C
D	A	BC	AB	AB	B	BC	B	A	B
E	AB	A	A	C	A	A	D	A	D
F	AB	B	AB	BC	A	AB	D	A	D
G	AB	D	C	A	B	ABC	CD	A	C
H	A	BC	AB	ABC	B	C	AB	A	AB

**Fuente:** *Autores*

Las letras representan los grupos estadísticos obtenidos mediante la prueba de comparaciones múltiples de Tukey. Las estaciones que comparten al menos una letra dentro de un mismo parámetro no presentan diferencias estadísticamente significativas entre sí, mientras que aquellas que no comparten letras difieren de manera significativa ( $p < 0,05$ ).

La estación B presentó el mejor desempeño global, al mostrar un comportamiento equilibrado y consistente en la mayoría de los parámetros evaluados, ubicándose principalmente en los grupos estadísticamente superiores y sin registrar valores desfavorables en variables críticas, lo que evidencia una adecuada calidad integral del combustible.

Por el contrario, la estación A evidenció el menor desempeño global, al ubicarse de forma recurrente en los grupos inferiores en parámetros clave como RON y MON, reflejando una calidad

relativa inferior en comparación con el resto de las estaciones, aunque dentro de los límites normativos.

Finalmente, la estación E destacó como la más interesante desde el punto de vista técnico, ya que presentó los valores más altos de RON y MON, indicando un excelente comportamiento antidetonante; sin embargo, mostró bajos contenidos de oxigenantes y etanol, lo que evidencia un desequilibrio en su formulación y justifica un análisis más profundo de su composición. Pese a estas observaciones, cabe recalcar que cada una de las estaciones cumplen con la normativa NTE INE 935, a pesar de tener diferencias significativas entre parámetros, cada de una de las estaciones, cumple con los límites permisibles y requerimientos que se establecen en la norma.

### 6.3.2. Interpretación de resultados para Diesel

#### 6.3.2.1. Análisis de varianza de cada parámetro por estación

**Tabla 33**

*Análisis de varianza para densidad*

<b>Densidad</b>					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust	Valor F	Valor p
Estacion	7	0,000051	0,000007	26,25	0,000
Error	72	0,000020	0,000000		
Total	79	0,000071			

**Fuente:** *Autores*

**Tabla 34**

*Análisis de varianza para número de cetano*

<b>Número de cetano</b>					
-------------------------	--	--	--	--	--

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust	Valor F	Valor p
Estacion	7	28,36	4,051	2,22	0,042
Error	72	131,17	1,822		
Total	79	159,53			

**Fuente:** Autores

**Tabla 35**

*Análisis de varianza para índice de cetano*

<b>Índice de cetano</b>					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust	Valor F	Valor p
Estacion	7	143,6	20,513	4,51	0,000
Error	72	327,8	4,552		
Total	79	471,4			

**Fuente:** Autores

**Tabla 36**

*Análisis de varianza para FAME*

<b>Análisis de varianza de FAME</b>					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust	Valor F	Valor p
Estacion	7	0,003080	0,000440	0,37	0,917
Error	72	0,085700	0,001190		
Total	79	0,088780			

**Fuente:** Autores

**Tabla 37***Análisis de varianza para aromáticos*

Análisis de varianza de Aromático					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust	Valor F	Valor p
Estacion	7	13,34	1,9056	8,32	0,000
Error	72	16,49	0,2290		
Total	79	29,83			

**Fuente:** *Autores*

Los resultados obtenidos del análisis de varianza (ANOVA) para cada parámetro fisicoquímico examinado muestra que:

- Al tener un  $F= 26,25$  con un valor de  $p= 0,000$ , el análisis de varianza indica que si existen diferencias estadísticamente significativas de la densidad entre las 8 estaciones evaluadas. Lo cual esta variabilidad se le atribuye por factores como estación y no exclusivamente al error experimental, siendo no homogéneo entre cada estación.
- El número de cetano, presentado en la tabla 34 rechaza la hipótesis nula, demostrando que existen diferencias significativas, a pesar de que estas variaciones no son muy significativas, el número de cetano si presenta diferencias atribuibles entre estaciones.
- Con un valor de  $F= 4,15$  y  $p=0,000$ , mediante análisis de varianza para el índice de cetano, de igual forma, confirma que existe diferencias estadísticas significativas entre cada estación evaluada, siendo esto relevante en cada punto.
- En el parámetro FAME, el ANOVA indica que no existe diferencias entre estaciones con un  $F=0,37$  y  $p=0,97$ , tendiendo un comportamiento homogéneo en todas las estaciones analizadas.

- En el caso de aromáticos, cada estación difiere estadísticamente de manera significativa, reflejando variabilidad en la composición real del combustible que se comercializa en cada estación.

### 6.3.2.2. Medias de cada parámetro vs estaciones

**Tabla 38**

*Medias de Densidad de todas las estaciones*

<b>Densidad</b>				
Estacion	N	Media	Desv.Est	IC de 95%
A	10	0,841410	0,000367	(0,841077; 0,841743)
B	10	0,841620	0,000181	(0,841287; 0,841953)
C	10	0,842310	0,000281	(0,841977; 0,842643)
D	10	0,842040	0,000409	(0,841707; 0,842373)
E	10	0,843110	0,000357	(0,842777; 0,843443)
F	10	0,841010	0,000882	(0,840677; 0,841343)
G	10	0,843490	0,000765	(0,843157; 0,843823)
H	10	0,841620	0,000569	(0,841287; 0,841953)

Desv.Est.agrupada=0,000527849

**Fuente:** Autores

**Tabla 39**

*Medias de Número de cetano de todas las estaciones*

<b>Número de cetano</b>				
Estacion	N	Media	Desv.Est	IC de 95%
A	10	49,110	1,279	(48,259; 49,961)

B	10	50,030	1,328	(49,179; 50,881)
C	10	49,040	1,459	(48,189; 49,891)
D	10	49,630	1,566	(48,779; 50,481)
E	10	49,690	1,695	(48,839; 50,541)
F	10	48,460	0,465	(47,609; 49,311)
G	10	49,240	1,546	(48,389; 50,091)
H	10	50,500	1,054	(49,649; 51,351)

Desv.Est.agrupada= 1,34975

**Fuente:** Autores

**Tabla 40**

*Medias de Índice de cetano de todas las estaciones*

<b>Índice de cetano</b>				
Estacion	N	Media	Desv.Est	IC de 95%
A	10	51,300	2,555	(49,955; 52,645)
B	10	53,270	2,291	(51,925; 54,615)
C	10	51,960	2,160	(50,615; 53,305)
D	10	52,750	2,430	(51,405; 54,095)
E	10	53,140	2,425	(51,795; 54,485)
F	10	49,4400	0,1430	(48,0950; 50,7850)
G	10	52,590	2,081	(51,245; 53,935)
H	10	54,070	1,961	(52,725; 55,415)

Desv.Est.agrupada= 2,13362

**Fuente:** Autores

**Tabla 41***Medias de FAME de todas las estaciones*

<b>FAME</b>				
Estacion	N	Media	Desv.Est	IC de 95%
A	10	0,08100	0,02885	(0,05925; 0,10275)
B	10	0,0600	0,0416	(0,0383; 0,0817)
C	10	0,07800	0,02781	(0,05625; 0,09975)
D	10	0,07800	0,02781	(0,05625; 0,09975)
E	10	0,0720	0,0382	(0,0503; 0,0937)
F	10	0,0770	0,0411	(0,0553; 0,0987)
G	10	0,0720	0,0382	(0,0503; 0,0937)
H	10	0,07800	0,02821	(0,05625; 0,09975)

Desv.Est.agrupada= 0,0345004

**Fuente:** *Autores***Tabla 42***Medias de Aromáticos de todas las estaciones*

<b>Aromáticos</b>				
Estacion	N	Media	Desv.Est	IC de 95%
A	10	29,220	0,402	(28,918; 29,522)
B	10	28,5100	0,1449	(28,918; 29,522)
C	10	28,940	0,481	(28,638; 29,242)
D	10	28,950	0,517	(28,648; 29,252)
E	10	28,790	0,651	(28,488; 29,092)

F	10	29,800	0,537	(29,498; 30,102)
G	10	28,510	0,398	(28,208; 28,812)
H	10	28,580	0,529	(28,278; 28,882)
Desv.Est. agrupada= 0,478539				

**Fuente:** Autores

En conjunto, el análisis de medias para cada parámetro muestra varianzas cuantitativas entre estaciones con distintos niveles de dispersión para cada parámetro evaluado:

- Con rangos aproximados entre 0,8410 y 0,8435 para la densidad, el análisis de medias nos indica que a pesar de existe diferencias pequeñas, si se observa una variación sistemática entre estaciones, estableciendo con la estación G con el valor promedio mas alto y la estación F con el valor más bajo, esto también se evidencia con la desviación estándar agrupada baja de 0,00053, mostrando alta repetibilidad de las medias.
- El numero de cetano que oscila entre 49,04 y 50,50 con una desviación estándar agrupada de 1,35, señala variabilidad moderada entre estaciones. Al tener estaciones con valores elevados y otras con cifras menores, indica que existen diferencias en la calidad del combustible.
- En el índice de cetano, presenta la mayor dispersión global con una desviación estándar de 2,13, esto demuestra que cada estación refleja diferencias mas marcadas entre estaciones, asociada a los diferentes tratamientos que realiza cada estación sobre el Diesel.
- El contenido de biodiesel (FAME), muestra promedios entre 0,060y 0,081, con desviación de 0,0345, relativamente baja y con un IC del 95%, muestra un

solapamiento amplio con un comportamiento homogéneo entre estaciones, con un control uniforme del contenido de FAME entre estaciones.

- Las diferencias entre estaciones no son muy extremas entre las medias de aromáticos entre 28,51 y 29,30. Presentando la estación F con el valor mayor promedio mientras que por lo contrario la estación B que registra el valor mas bajo.

### 6.3.2.3. Comparación de Tukey para cada parámetro

**Tabla 43**

*Método Tukey aplicado a todas las estaciones vs parámetro fisicoquímico para Diesel*

Estación	Densidad	Numero de cetano	Índice de cetano	FAME	Aromáticos
A	C D	A B	A B	A	A
B	B C D	A B	A	A	B C
C	B	A B	A B	A	C
D	A	A B	A	A	B C
E	A	A B	A	A	C
F	D	B	B	A	B C
G	A	A B	A	A	B C
H	B C D	A	A	A	A B

**Fuente:** *Autores*

La comparación de Tukey, mostrado en las presentes tablas de cada parámetro fisicoquímico del Diesel, mencionan lo siguiente:

- **Densidad:** En este parámetro se evidencia que la estación G y E se ubican en el grupo superior A, mientras que para la estación F se posiciona en el grupo inferior D, siendo estas diferentes estadísticamente significativas. Las demás estaciones muestran comportamientos intermedios.
- **Número de cetano:** La comparación de Tukey indica que la estación H tiene el valor promedio más alto ubicando en el grupo superior A, por lo contrario, la estación F se ubica en el grupo con el valor más bajo perteneciente al grupo B, evidenciando diferencias moderadas entre los diferentes puntos de venta evaluados.
- **FAME:** Mediante la comparación de Tukey, se observa que entre estaciones no existe muchas diferencias estadísticamente significativas, ubicadas en el mismo grupo. Lo cual indica un comportamiento homogéneo del contenido de biodiesel entre las estaciones analizadas.
- **Aromáticos:** La prueba de Tukey, establece que la estación A es la mejor en promedio con relación a las demás estaciones en contenido de aromáticos, mientras que la estación E y B, son las estaciones que contiene un bajo índice de aromáticos, perteneciendo al grupo inferior C.

Acorde con los resultados obtenidos por método Tukey y a través de análisis estadístico ANOVA, se determinó que todas las estaciones de servicio evaluadas satisfacen con los límites establecidos y cumplimiento de la norma NTE INEN 1489 para Diesel. Sin embargo, a través de ANOVA se evidencian diferencias importantes entre estaciones, permitiendo distinguir el desempeño relativo del Diesel más allá del cumplimiento mínimo de la norma local.

Por consiguiente, a partir de una evaluación integrada de los parámetros fisicoquímicos más importantes para la calidad del Diesel, con un enfoque en el número de cetano, densidad,

índice de cetano y contenido de aromáticos, se identificó que la estación H tiene consistentemente los valores más favorables y positivos, perteneciendo a los grupos más superiores de la prueba Tukey. Por ello, se considera la estación H como la estación con un rendimiento general mas alto. Por otro lado, la estación F se posiciono muy repetitivamente en los grupos mas bajos de la prueba de Tukey para los parámetros asociado a la calidad del Diesel, señalando a esta como la estación con poco rendimiento, pese a cumplir con los requisitos de la norma local para Diesel.

Al tener diferencias entre estaciones, pero con cumplimiento con la normativa local, estos pueden afectar directamente al desempeño de los motores a Diesel. Con un índice o número de cetano bajo, como el que se encuentra en la estación F, puede generar un retraso mas prologado en la ignición, dando lugar a combustiones mas violentas, con mayor ruido y vibraciones, además puede causar un incremento en las emisiones contaminantes. Así mismo, las variaciones de densidad influyen en la cantidad de combustible inyectado por ciclo, que puede afectar al consumo específico y potencia del motor. En general, al tener estas diferencias entre estaciones, aun dentro del cumplimiento normativo, pueden repercutir en cambios preceptivas tanto en el rendimiento, eficiencia, nivel de emisiones y vida útil de los componentes del sistema de inyección del motor a Diesel, especialmente en motores con sistemas de inyección de alta presión que requieren para su buen funcionamiento.

#### **6.4. Comparación de espectros FTIR para Ecopaís y Diesel**

Para corroborar los resultados obtenidos a través de la evaluación estadística, desde un punto de vista químico, se lleva a cabo un análisis comparativo por espectroscopia FTIR entre combustibles (Ecopaís -Diesel) y las estaciones con mejor y menor desempeño establecidas por el método Tukey. Para el análisis de los espectros, se centra en rangos espectrales concretos, elegidos directamente por zonas de mayor relevancia química de cada combustible. Para la Ecopaís, se

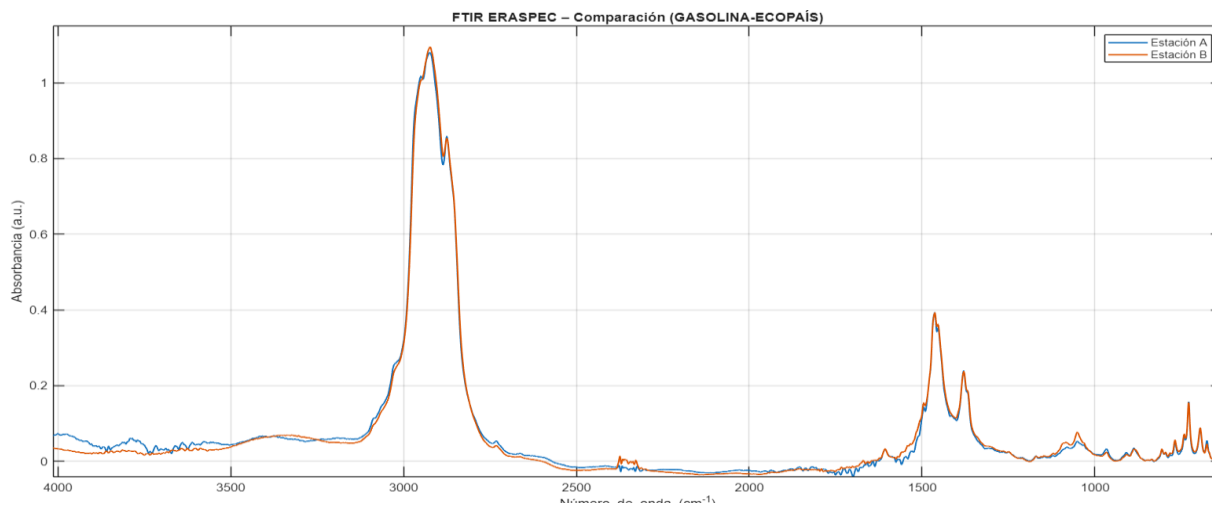
analizan regiones asociadas a vibraciones C-H de hidrocarburos, estructuras aromáticas y enlaces ligados a oxigenantes como es el caso del etanol. A su vez, para el Diesel se priorizan rangos relacionados a hidrocarburos saturados, aromáticos o posibles contribuciones de FAME.

Para la comparación de los espectros, el programa MATLAB es de gran utilidad, el cual permite realizar acercamientos por rangos concretos para calcular métricas comparativas (AUC), aportando un criterio cuantitativo extra, mejorando la evaluación de diferencias de intensidad entre estación con mejor y menor calidad. A través de ello, los resultados obtenidos de la comparación de espectros, respalda de forma química las variaciones de los parámetros fisicoquímicos en su composición química de los combustibles.

#### 6.4.1. Espectros de Gasolina Ecopais

**Figura 31**

*Comparativa de espectros FTIR para estación A-B*



**Fuente:** Autores

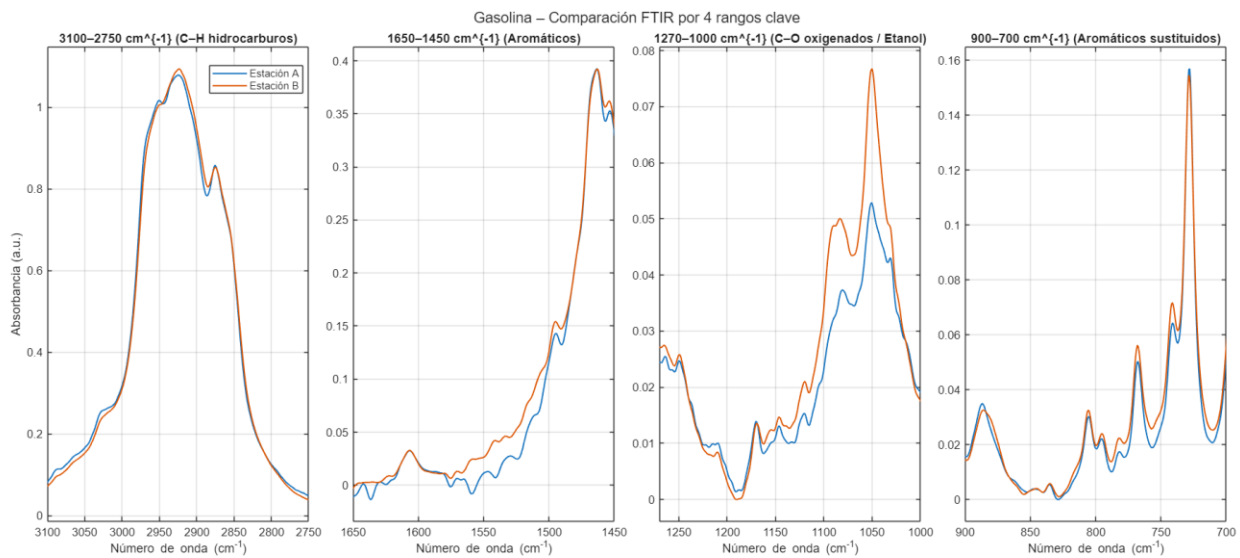
En la figura31 muestra el espectro global FTIR de la gasolina Ecopais, correspondientes a las estaciones de mejor y menor desempeño analítico ya antes establecido. Pese a tener una alta

similitud espectral entre la estación H y F, se evidencia diferencias leves en la intensidad de ciertas bandas, lo que muestra que ha existido variaciones controladas en la proporción relativa de componentes como lo son oxigenantes y aromáticos. Estas diferencias, son las que explican de por qué estas estaciones tienen un distinto rendimiento estadístico, sin comprometer el cumplimiento normativo.

#### 6.4.1.1. Comparación por rangos espectrales FTIR de Ecopaís

**Figura 32**

*Comparación de espectros por rangos entre estación B-A*



**Fuente:** Autores

Al observar la figura 32, presenta los siguientes rangos:

- **3100-2750  $\text{cm}^{-1}$  (C-H alifáticos):** Durante este periodo, las dos estaciones muestran bandas bien definidas e intensas, las cuales van asociadas a las vibraciones de estiramiento C-H de hidrocarburos saturados, explicando el comportamiento típico de una composición química de la gasolina. La estación B, con mejor rendimiento presenta un perfil espectral ligeramente intenso y suave, lo que permite interpretar que las cadenas alifáticas están

distribuidas de manera homogénea. A pesar de existir diferencias, estas son sutiles y no sugieren desviaciones entre estaciones a pesar de las variaciones controladas en la formulación del combustible que efectúa cada estación.

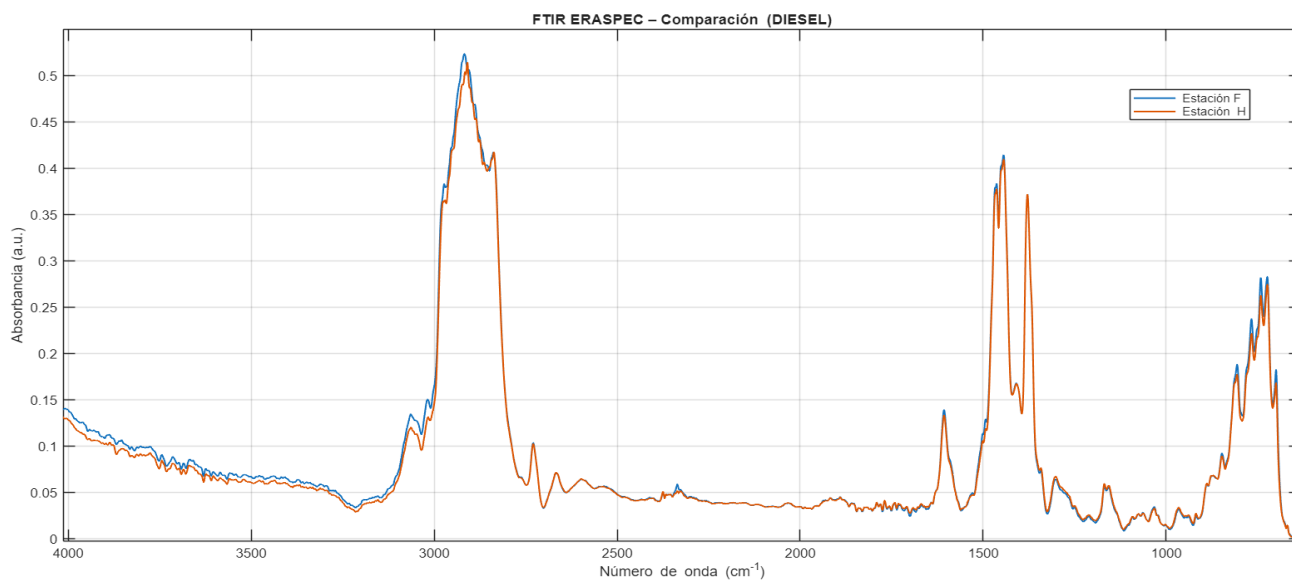
- **1650-1450  $cm^{-1}$** : En este intervalo, se muestra un incremento gradual de absorbancia entre 1500 a 1450 con una pequeña separación entre curvas, esto va direccionado a que el contenido relativo de estructuras aromáticas (anillos aquilbencenicos y bencénicos) son diferentes. Cuando alguna estación presenta una intensidad mas alta en esta área, químicamente se traduce como una mayor participación de compuestos aromáticos, donde tiende a incrementar la densidad y a modificar la respuesta de octanaje (RON). Para la estación B, al mostrar menor intensidad relativa, presenta ligeramente menos compuestos aromáticos, asociado a que la gasolina tiene una composición más limpia.
- **1270-100  $cm^{-1}$** : El presente rango es uno de los más delicados a analizar. En el caso de la estación A, esta presenta picos elevados y bien definidos específicamente entre 1100 a 1050  $cm^{-1}$ , lo que contribuye químicamente a una contribución relativa de enlaces C-O, considerando una mayor huella de oxigenantes sobre el etanol. Por lo contrario, la estación B, presenta picos mas bajos, presentando una proporción de oxigenados bajos estables. Esto es a causa de que el etanol influye en las propiedades como volatilidad, separación de fases y la respuesta del combustible durante el funcionamiento.
- **900-700  $cm^{-1}$** : El presente intervalo muestra los aromáticos sustituidos como etilbenceno, tolueno entre otros, indicando vibraciones fuera del plano del anillo. La estación A entre el rango 800 a 750  $cm^{-1}$ , presenta picos mas elevados cerca de los máximos, esto implica una contribución extra de aromáticos. La estación B, muestra picos más bajos y

homogéneos, por lo que su composición aromática es más estable. Confirmándose de esta manera una clara diferencia entre estaciones.

#### 6.4.2. Comparación por rangos espectrales FTIR de Diesel

**Figura 33**

*Comparativa de espectros FTIR para estación F-H*



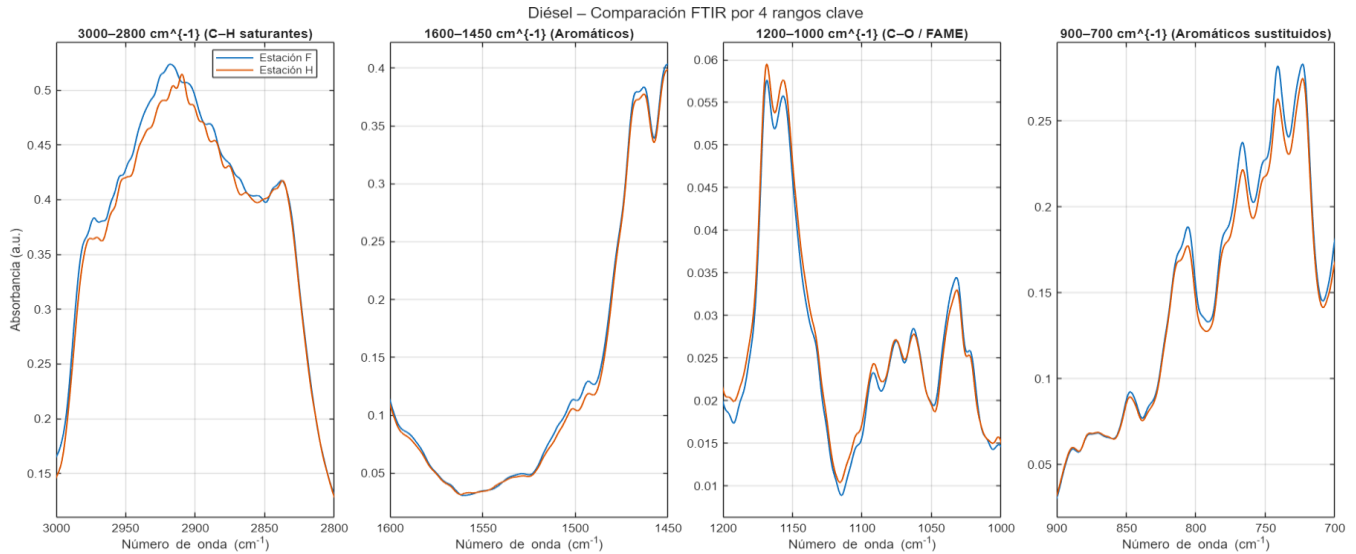
**Fuente:** Autores

Para la estación H y F como mejor y menor desempeño, los espectros FTIR, muestran una superposición, corroborando que las dos estaciones tienen una propia composición hidrocarbonada típica. De esta manera el comportamiento global respalda que el Diesel comercializado en las estaciones analizadas es compatible con el cumplimiento normativo. El análisis por rangos, para este combustible permite precisar que familias químicas coinciden con la mejor y menor estación de desempeño estadístico.

### 6.4.2.1. Comparación por rangos espectrales FTIR de Diesel

Figura 34

Comparación de espectros por rangos entre estación F-H



Fuente: Autores

A través de la comparación de espectros FTIR para Diesel para estaciones con mejor y menor desempeño estadístico, tenemos lo siguiente:

- **3000-2800  $\text{cm}^{-1}$** : Para este rango se observa bandas muy características de estiramiento C-H de grupos  $\text{CH}_2$  y  $\text{CH}_3$ . Al observar el comportamiento de la estación H, indica un perfil mas uniforme y estable, estableciendo que una fracción parafínica es balanceada. Por lo contrario, la estación F muestra altas variaciones de absorbancia, con una distribución poca homogénea en las cadenas alifáticas, esto puede influir negativamente para el índice de cetano y en términos de calidad de ignición.
- **1600-1450  $\text{cm}^{-1}$** : La estación F, presenta señales vinculadas a vibraciones del anillo aromático, mostrando una intensidad relativamente más alta, en comparación a la estación H. Químicamente, al tener una alta concentración de compuestos aromáticos, como lo

mencionado para la estación F, esta puede genera que su índice de cetano sea bajo y haciendo que el combustible en el motor tenga una combustión menos eficaz. Para la estación H, muestra una absorbancia baja, permitiendo así deducir que es la mejor en rendimiento y calidad para el trabajo correcto de combustible en el motor.

- **1200-1000  $cm^{-1}$** : El presente intervalo es de mucha importancia ya que determina la presencia de esteres metálicos (FAME). Para ello, la estación H evidencia picos controlados y estables, estableciendo un contenido de biodiesel muy minoritario o casi nulo. En cambio, la estación F, presenta variaciones más marcadas en la intensidad de banas C-O, presentando una mayor dispersión de contenido de FAME, afectando a comportamiento del combustible.
- **900-700  $cm^{-1}$** : En este rango, presenta vibraciones fuera del plano del anillo aromático. En la estación F se encuentra una mayor presencia de aromáticos sustituidos ya que se observan picos muy intensos y variables, lo cual evidencia más aun que la estación F en términos de calidad relativa es mucho menor en comparación a las demás estaciones. La estación H muestra una composición aromática más controlada debido a que exhibe un patrón más uniforme, demostrando que el combustible en la presente estación tenga un desempeño favorable para el motor.

## 7. CONCLUSIONES

La calidad de los combustibles Ecopaís y Diesel que se expende en las diferentes estaciones de servicio de la ciudad de Machala fueron analizadas objetivamente en el presente proyecto, mediante el uso de espectroscopia FTIR y análisis estadístico ANOVA. Los hallazgos del presente trabajo, evidencias, en términos generales tanto para la Ecopaís como Diesel, cumplen con los requisitos establecidos por las normas NTE INEN 935 y NTE INEN 1489. Pese a cumplir con la normativa local, se identificaron variaciones importantes entre estaciones en cuanto al número de octanaje, índice de cetano, densidades, aromáticos y compuestos oxigenados.

Al realizar el análisis estadista de varianza (ANOVA) y la comparación por método Tukey entre las 8 estaciones analizadas, permitió establecer que cada estación tiene un rendimiento analítico superior e inferior entre sí, tomando en cuenta variables como densidad, octanaje, índice de cetano, aromáticos, entre otros. Estas diferencias no ponen en riesgos la calidad mínima establecida por la normativa de los combustibles, pero si tiende a influir en el comportamiento del combustible dentro de los motores, afectando aspectos como la eficiencia de combustión, la ignición y la estabilidad operativa a largo plazo.

La caracterización química de cada combustible mediante espectroscopia FTIR, con el uso del equipo ERASPEC, posibilitó que los resultados estadísticos sean confirmados a nivel químico. El estudio de los espectros por rangos específicos evidenció variaciones relativas en proporción de saturantes, aromáticos, oxigenados y FAME. Estas diferencias composicionales explican a detalle el desempeño de determinadas estaciones con una alto y bajo rendimiento en términos de calidad. Estas variaciones pueden ser causados por factores operativos y logísticos como almacenamiento, rotación de producto o presencia de residuos, donde estos factores pueden modificar de forma leve

la composición fisicoquímica de combustible, afectando al comportamiento real del combustible durante la combustión.

El enfoque integrado aplicado en el presente proyecto, mediante combinación de análisis estadístico y caracterización espectroscópica, demostró ser una herramienta técnica sólida para el análisis de la calidad de combustibles en diferentes estaciones de servicio. Los hallazgos obtenidos, contribuyen en gran parte para el control de calidad bajo las normas vigentes, permitiendo una evaluación más a profundidad y respaldando una movilidad más confiable, eficiente y segura en la ciudad de Machala.

## **8. RECOMENDACIONES**

Se recomienda establecer programas regulares para evaluar la calidad de combustibles en las diferentes estaciones de servicio, mediante la incorporación de análisis estadístico y técnicas instrumentales como espectroscopia FTIR, con el fin de realizar evaluaciones periódicas más eficientes con la rápida identificación de variaciones composicionales y tomar decisiones técnicas con mayor confiabilidad.

Es importante que las estaciones de servicio actualicen sus sistemas de protocolos de almacenamiento y manejo del combustible, con el fin de reducir variaciones de la composición final del combustible al momento de ser comercializado.

Al tener variabilidad entre estaciones, es recomendable realizar mantenimientos preventivos en los sistemas de inyección debido a que las variaciones de parámetros como cetano, octanaje y oxígeno pueden poner en riesgo el desempeño del motor, trayendo consecuencias graves en temas de costos para flotas de transporte y usuarios particulares.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- Alberto. (31 de Agosto de 2017). *Mundo Motor*. Tipos De Combustibles: Su Impacto En Los Vehículos A Motor [Fotografía]: <https://www.mundodelmotor.net/tipos-de-combustibles/>
- ARCERNNR. (16 de Febrero de 2022). *AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE ENERGÍA Y RECURSOS*. Resolución Nro. ARCERNNR-ARCERNNR-2022-0017-RES: <https://www.epn.edu.ec/wp-content/uploads/2022/03/Resolucion-Nro.-ARCERNNR-ARCERNNR-2022-0017-RES.pdf>
- Babu, B. K., Yadav, M. M., Singh, S., & Yadav, V. K. (2024). Fuel forensics: Recent advancements in profiling of adulterated fuels by ATR-FTIR spectroscopy and chemometric approaches. *Spectrochimica Acta Part A Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 312, 306. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.saa.2024.124049>
- Boadu, K. O. (2019). Effects of Adulteration on Diesel Oil with Kerosene Fuel in Ghana. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 23(7), 1195. <https://doi.org/10.4314/JASEM.V23I7.1>
- bp España. (Recuperado el 20 de Noviembre de 2025). *bp España*. ¿Cuáles son los diferentes tipos de combustibles para coches?: [https://www.bp.com/es\\_es/spain/home/noticias/blog/-cuales-son-los-diferentes-tipos-de-combustibles-para-coches-.html](https://www.bp.com/es_es/spain/home/noticias/blog/-cuales-son-los-diferentes-tipos-de-combustibles-para-coches-.html)
- Campoverde, J., & Guamán, D. (2022). Análisis de la degradación y contaminación del diésel automotriz durante el almacenamiento y su impacto en sistemas de inyección modernos. *Revista Técnica Automotriz*, 9(2), 45–56.
- Carreras Planells, R., Álvarez Flórez, J. A., & Callejón Agramunt, I. (2015). Motores alternativos de combustión interna . En R. Carreras Planells, J. A. Álvarez Flórez, & I. Callejón Agramunt, *Motores alternativos de combustión interna [Fotografía]* (pág. 300). Universitat Politècnica de Catalunya. <https://elibro-net.ecups.idm.oclc.org/es/lc/bibliotecaups/titulos/61423>
- Carreras Planells, R., Flórez, J. A., & Agramunt, I. C. (2015). Motores alternativos de combustión interna. En R. Carreras Planells, J. A. Álvarez Flórez, & I. Callejón Agramunt, *Combustibles para motores de combustión interna* (págs. 299-301). Universitat Politècnica de Catalunya.
- Chen, W., & Yang, J. (2016). A double loop optimization method for. (IEEE, Ed.) *Conferencia Internacional IEEE sobre Tecnología Industrial (ICIT) de 2016*, 622-627. <https://doi.org/10.1109/ICIT.2016.7474821>
- Correa Delgado, R. (1 de Junio de 2015). *Gob.ec*. DECRETO No. 675 (DISPÓNESE QUE LA GASOLINA ECOPAÍS ESTARÁ COMPUESTA POR UN PORCENTAJE DE HASTA EL 10% DE BIOETANOL ANHIDRO, GRADO CARBURANTE, Y LA DIFERENCIA

POR NAFTAS NECESARIAS PARA ALCANZAR EL NÚMERO DE OCTANOS QUE ESTABLECE LA CORRESPONDIENTE NORMA I: <https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-10/Documento%20COMPOSICI%C3%93N%2C%20DISTRIBUCI%C3%93N%20Y%20COMERCIALIZACI%C3%93N%20DE%20GASOLINA%20ECOPA%C3%8DS%20%28FIEL%29.pdf>

Dadson, J. K., Arthur, V., Asiedu, N. Y., & Akoto, O. (2024). Evaluation of physicochemical parameters as indicators of diesel adulteration. *Heliyon*, 10(17), e36945. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2024.E36945>

Dirección de Movilidad y Transporte. (2022). Destilados del petróleo: La gasolina. In Ficha Técnica: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/794567/ficha\\_tecnica-gasolina\\_\\_1\\_.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/794567/ficha_tecnica-gasolina__1_.pdf)

Dorantes Lopez, I. A. (2010). EFECTO DE UN CAMPO MAGNÉTICO ESTÁTICO SOBRE LA DEPOSITACIÓN DE PARAFINAS BAJO CONDICIONES DE FLUJO EN POZOS DEL ACTIVO CINCO PRESIDENTES [Tesis de maestría]. [*Fotografía*]. Universidad Nacional Autónoma de México: Facultad de Ingeniería, México. <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/3982/doranteslopez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

EL UNIVERSO . (15 de Agosto de 2023). *EL UNIVERSO* . Gasolineras con cupos para vender diésel premium incrementaron de 109 a 455 en menos de un mes, la mayoría están en Pichincha [Fotografía]: <https://www.eluniverso.com/noticias/economia/gasolineras-con-cupos-para-vender-diesel-premium-incrementaron-de-109-a-455-en-menos-de-un-mes-la-mayoria-estan-en-pichincha-nota/>

Encalada Cajisaca , F. R., & Ñauta Uzhca, P. G. (2010). *Incidencia del tipo de gasolina, aditivos y equipos optimizadores de combustible comercializados en la ciudad de Cuenca, sobre las emisiones contaminantes emitidas al aire [Tesis de grado ]*. Universidad Politécnica Salesiana.

EP Petroecuador . (21 de Febrero de 2017). EP Petroecuador inicia despacho de gasolina Ecopaís en Esmeraldas: <https://www.eppetroecuador.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/02/Bol-008-2017-despacho-de-gasolina-Ecopais-en-Esmeraldas.pdf>

EP Petroecuador . (6 de Enero de 2020). *EP Petroecuador* . Más de 1.258 millones de galones de gasolinas fueron despachados por EP Petroecuador para el sector automotor durante 2019: <https://www.eppetroecuador.ec/?p=7980>

EP Petroecuador . (13 de Mayo de 2024). *Boletín de prensa*. Cerca de 14.8 millones de galones de Ecopaís se despacharon en 11 provincias, a escala nacional : <https://www.eppetroecuador.ec/?p=22152>

- EP Petroecuador. (2024). Rendición de Cuentas 2025 [Fotografía] (pag 14): [https://www.eppetroecuador.ec/wp-content/uploads/downloads/2025/06/Rendicion-de-Cuentas-PEC\\_2024.pdf](https://www.eppetroecuador.ec/wp-content/uploads/downloads/2025/06/Rendicion-de-Cuentas-PEC_2024.pdf)
- EP Petroecuador. (s.f.). <https://www.ambienteyenergia.gob.ec/el-gobierno-nacional-garantiza-el-normal-abastecimiento-de-combustibles-en-todo-el-territorio-ecuatoriano/>  
<https://www.ambienteyenergia.gob.ec/el-gobierno-nacional-garantiza-el-normal-abastecimiento-de-combustibles-en-todo-el-territorio-ecuatoriano/>
- eralytics. (30 de agosto de 2024). *eraspec:El analizador de combustible FTIR profesional*. eraspec. The professional FTIR fuel analyzer: <https://eralytics.com/products/eraspec/>
- Ferguson, C., & Kirkpatrick, A. (2015). *Internal Combustion Engines: Applied Thermosciences*. John Wiley & Sons.
- Fodor, G. E., Kohl, K. B., & Mason, R. L. (1996). Analysis of Gasolines by FT-IR Spectroscopy. *American Chemical Society*, 68(23), 4255-4259. <https://doi.org/https://doi.org/10.1021/ac9507294>
- Gieco, J. (6 de Mayo de 2023). Octanos y Octanaje. Guia de Crespo; Guia Comercial Crespo [Fotografía]: <https://guiacomercialcrespo.com.ar/octanaje-mejores-combustibles/>
- Hernández Palencia, R. B. (2007). Refinación del petróleo. En R. B. Hernández Palencia, *Refinación del petróleo* (pág. 9). El Cid Editorial. <https://elibronet.ecups.idm.oclc.org/es/lc/bibliotecaups/titulos/15659>
- Instituto Ecuatoriana de Normalizacion INEN. (2021). *Productos Derivados de Petroleo.Gasolina.Requisitos*. Norma Tecnica Ecuatoriana NTE INEN 935:2021 [Docuemnto digital].
- Instituto de Investigación Geológico y Energético. (Recuperado el 24 de Noviembre de 2025). INER realiza estudio de la viabilidad de producción de bioetanol: <https://www.geoenergia.gob.ec/iner-realiza-estudio-de-la-viabilidad-de-produccion-de-bioetanol/>
- Instituto Ecuatoriano de Normalizacion INEN. (2021). *Productos Derivados del Petroleo. Diesel. Requisitos*. Norma Tecnica Ecuatoriana NTE INEN 1489:2021 [Documento digital].
- Komariah, L. N., Arita, S., Rendana, M., Ramayanti, C., Suriani, N. L., & Erisna, D. (2022). Microbial contamination of diesel-biodiesel blends in storage tank; an analysis of colony morphology. *Heliyon*, 8(4), e09264. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2022.E09264>
- Lozano, A. (2023). Parque automotor de Machala crece cerca de mil vehículos cada año. *Diario Correo*. <https://diariocorreo.com.ec>
- Lalramnghaka, J., Thanga, H., & Biaktluanga, L. (2023). Evaluation of gasoline fuel quality using FTIR spectroscopy and multivariate technique: a case study in Aizawl city.

*Petroleum Science and Technology*, 41(6), 677-699.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1080/10916466.2022.2091596>

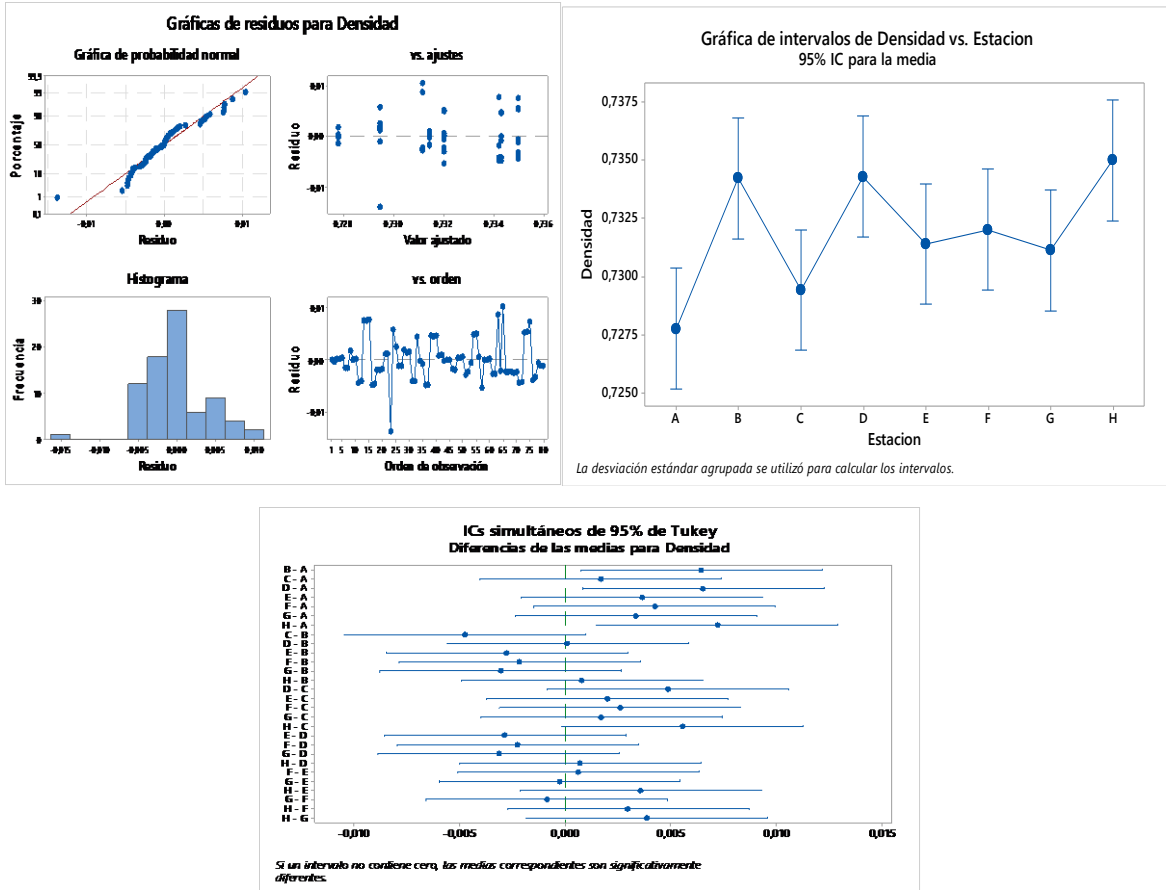
- Ministerio de Energia y Minas . (18 de Julio de 2002). *Gob.ec*. REGLAMENTO PARA EL CONTROL DE CALIDAD Y CANTIDAD DE LOS COMBUSTIBLES LÍQUIDOS DERIVADOS DE LOS HIDROCARBUROS EN TERMINALES (Acuerdo No. 366): [https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-10/Documento\\_REGLAMENTO-PARA-CONTROL-CALIDAD-CANTIDAD-DE-COMBUSTIBLES-LIQUIDOS-DERIVADOS-DE-HIDROCARBUROS-EN-TERMINALES.pdf](https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-10/Documento_REGLAMENTO-PARA-CONTROL-CALIDAD-CANTIDAD-DE-COMBUSTIBLES-LIQUIDOS-DERIVADOS-DE-HIDROCARBUROS-EN-TERMINALES.pdf)
- Minitab. (Recuperado 7 de enero de 2026). *¿Qué es ANOVA?* <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/help-and-how-to/statistical-modeling/anova/supporting-topics/basics/what-is-anova/>
- Morillo Chandi, G., Muñoz Borja, M., Freire Cárdenas, L., & Rosero Espín, M. (2025). Estudio de la variación del grado de octanaje mediante mezclas de gasolinas extra, súper y aditivo mejorador de octanaje en Ecuador[Study of the variation of octane rating by blending extra, super and octane-boosting additive in Ecuador]. *European Public & Social Innovation Review*, 10, 1-18. <https://doi.org/https://doi.org/10.31637/epsir-2025-1388>
- Ordoñez Arguello, P. E., & Ramírez Dias, R. M. (2016). *Evaluacion ex post del proyecto "Eco Pais E5" en la provincia del guayas en el periodo 2010-2014 [Tesis de grado]*. Universidad del Azuay-faculta de Ciencias de la Administracion, Cuenca. <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/5560/1/11889.pdf>
- Pazmiño-Viteri, K., Cabezas-Terán, K., Echeverría, D., Cabrera , M., & Taco-Vásquez, S. (2024). Average Carbon Number Analysis and Relationship with Octane Number and PIONA Analysis of Premium and Regular Gasoline Expended in Ecuador. (Processes , 12 (8), 1706). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/pr12081706>
- Petroecuador, E. (17 de Enero de 2024). *Noticias*. EP Petroecuador[Fotografía]: <https://www.eppetroecuador.ec/?p=20891>
- presaman . (2023 de Junio de 2023). *presman* . Combustible, Comburente y Energía de Activación [Fotografía]: <https://presman.es/combustible-comburente-y-energia-de-activacion/>
- SITEC. (23 de Enero de 2020). *SITEC*. ¿Conoces todo sobre el Petroleo? Origen y Componentes: <https://siteccarmen.com/petroleo-origen-componentes/>
- Stone, R. (2012). *Introduction to internal combustion engines (4th ed.)*. Palgrave Macmillan.
- Subero Pérez, E. (2022). Caracterización de los Combustibles Sólidos. *Caracterización de los Combustibles Sólidos*. Escuela Universitaria Ingeniería Técnica Industrial Zaragoza. <https://zagan.unizar.es/record/5357>

- Téllez, A., Guzmán, S., & Casas, C. (2013). *TERMOQUÍMICA Y COMBUSTIBLES*. Universidad de San Buenaventura, Bogotá.
- Terneus Páez, C. F., & Viteri Salazar, O. (2021). Analysis of biofuel production in Ecuador from the perspective of the water-food-energy nexus. *Energy Policy*, 157(ISSN 0301-4215). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112496>
- Toyo, M. (7 de Enero de 2025). *INSPENET*. Procesos industriales de refinación del petróleo: Una visión general [Fotografía]: <https://inspenet.com/articulo/procesos-industriales-de-refinacion-petroleo/>
- Turns, S. R. (2020). *An introduction to combustion: Concepts and applications* (4th ed.). McGraw-Hill Education.
- Urgilés Sánchez, L., & Erreyes Erreyes, J. L. (2018). *Análisis de la influencia del combustible Ecopais en emisiones contaminantes y prestaciones de un vehículo Chevrolet Grand Vitara como prototipo en la ciudad de Cuenca [Tesis de titulación]*. Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15324>
- Van Basshuysen, R., & Schäfer, F. (2016). *Internal combustion engine handbook: Basics, components, systems and perspectives*. SAE International.

## 10. ANEXOS

**Figura 35**

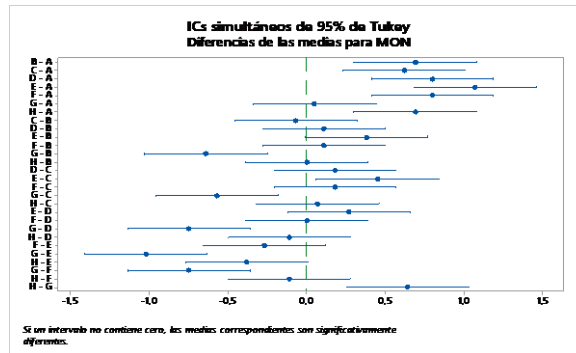
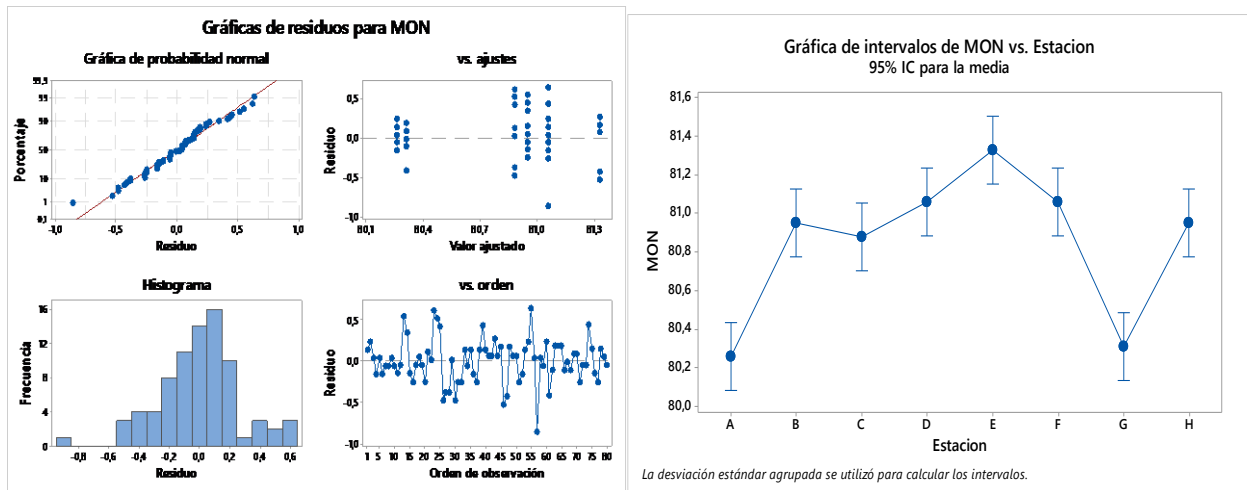
*Residuos, media y método Tukey (ANOVA) para densidad en Ecopaís*



Fuente: Autores

**Figura 36**

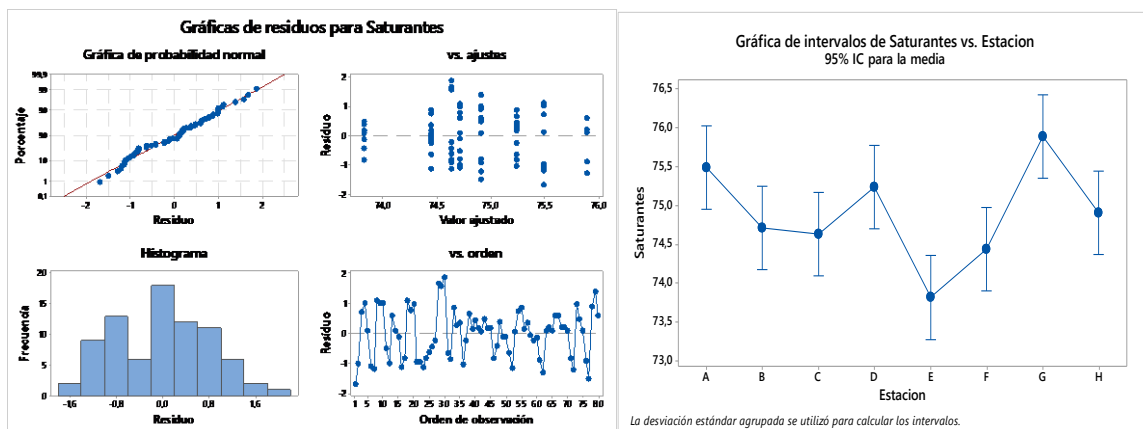
*Residuos, media y método Tukey (ANOVA) para MON en Ecopaís*

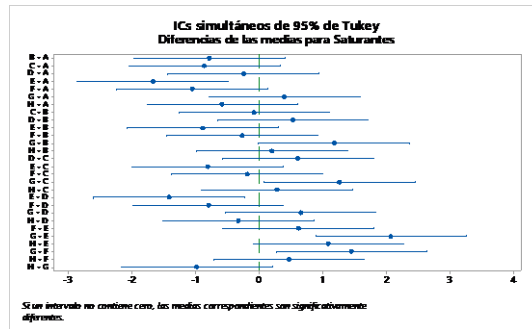


**Fuente: Autores**

**Figura 37**

*Residuos, media y método Tukey (ANOVA) para Saturantes en Ecopaís*

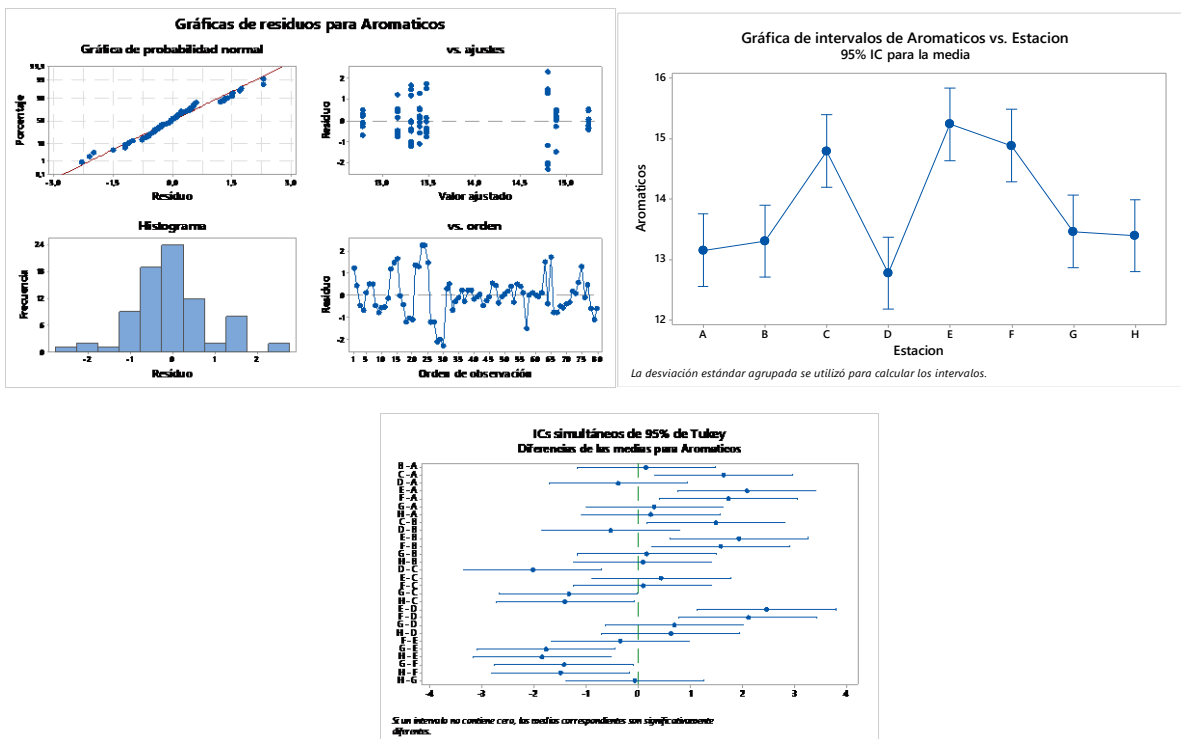




Fuente: Autores

Figura 38

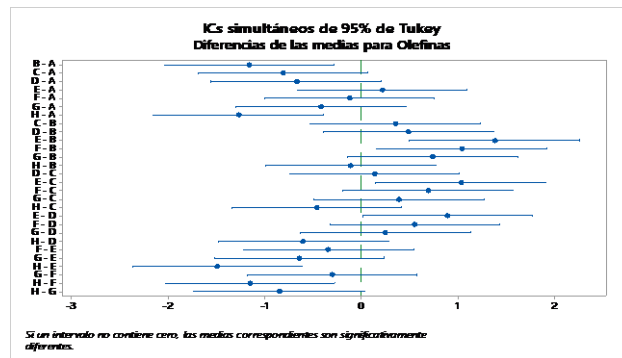
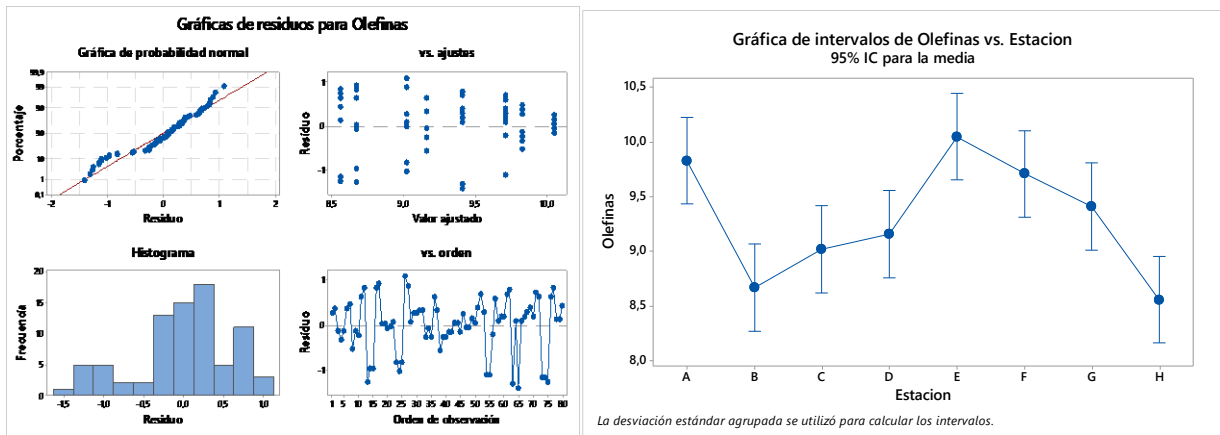
*Residuos, media y método Tukey (ANOVA) para Aromáticos en Ecopaís*



Fuente: Autores

**Figura 39**

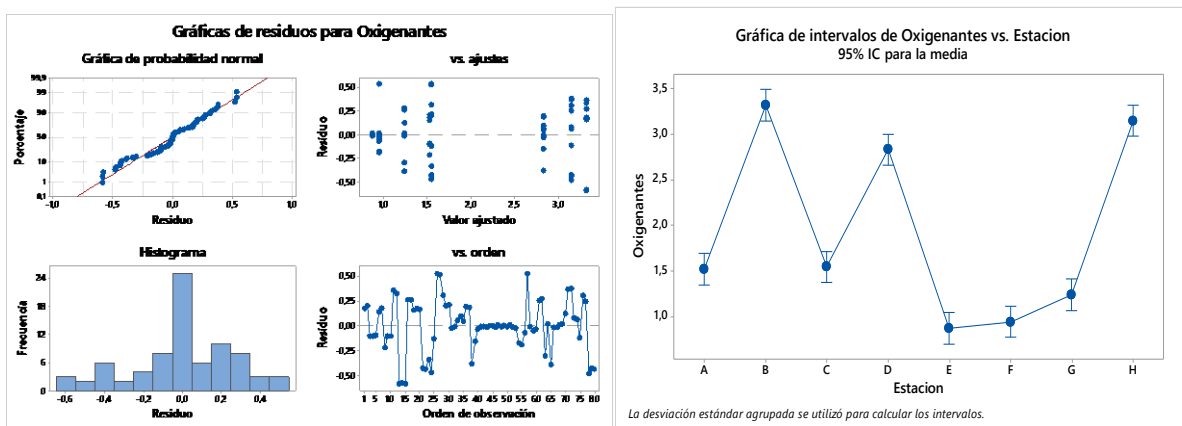
*Residuos, media y método Tukey (ANOVA) para Aromáticos en Ecopaís*

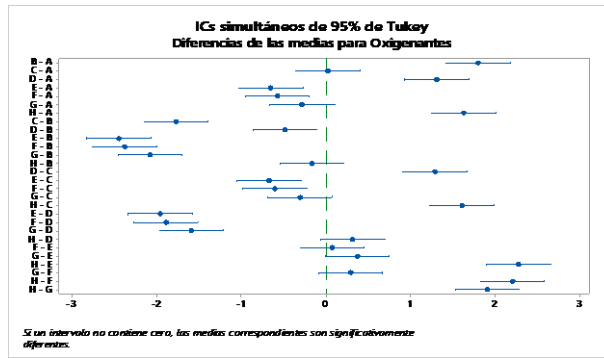


Fuente: Autores

**Figura 40**

*Residuos, media y método Tukey (ANOVA) para oxigenantes en Ecopaís*

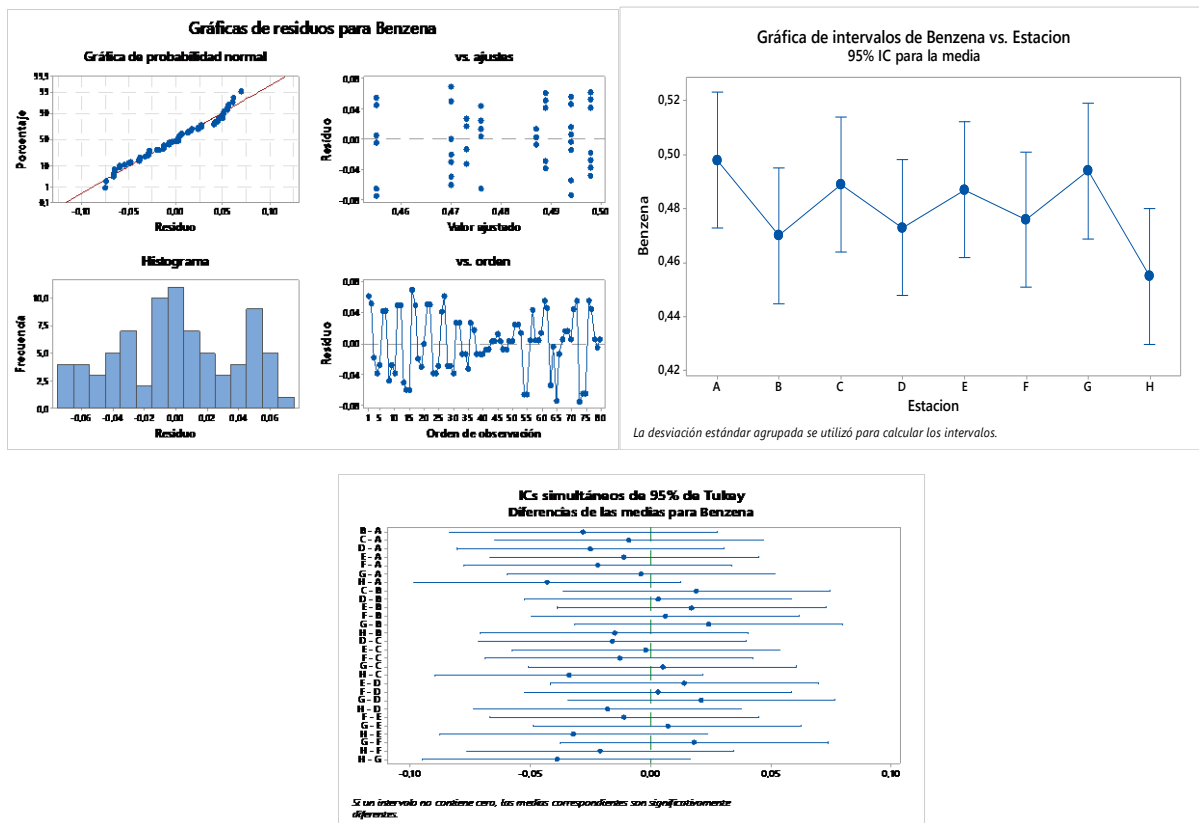




Fuente: Autores

Figura 41

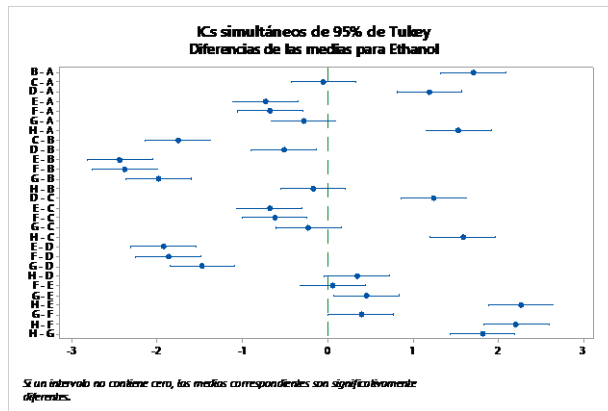
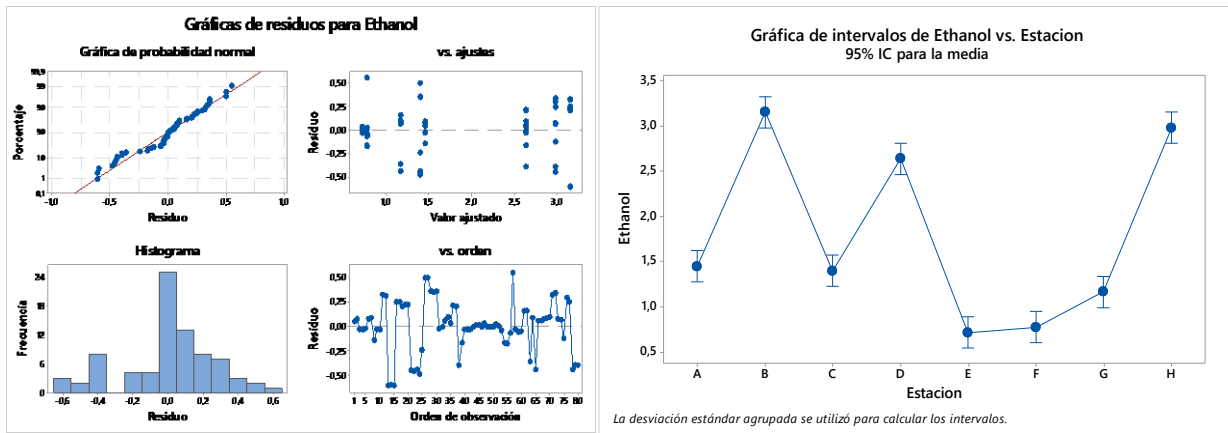
Residuos, media y método Tukey (ANOVA) para Benceno en Ecopaís



Fuente: Autores

Figura 42

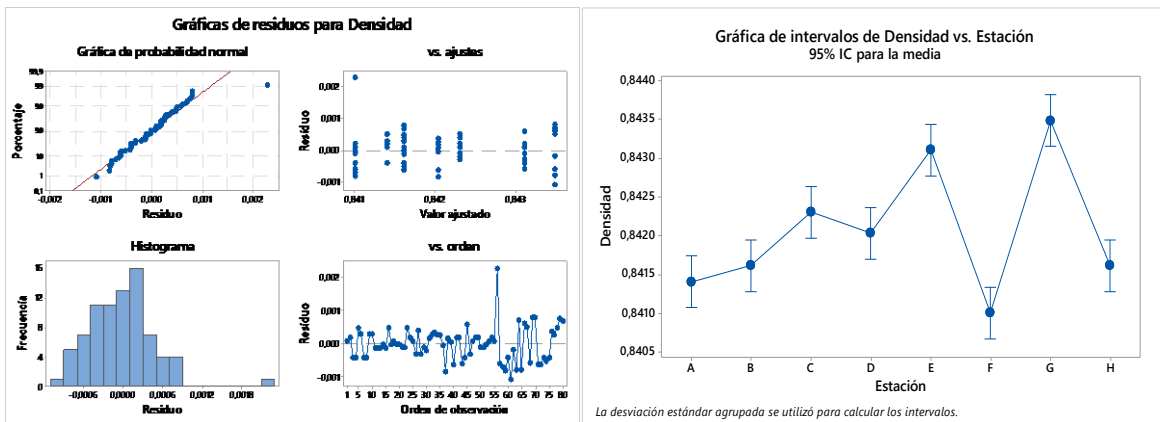
Residuos, media y método Tukey (ANOVA) para Etanol en Ecopaís

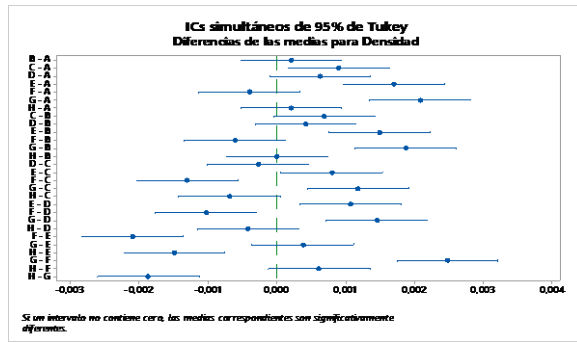


Fuente: Autores

Figura 43

Residuos, media y método Tukey (ANOVA) para densidad en Diesel

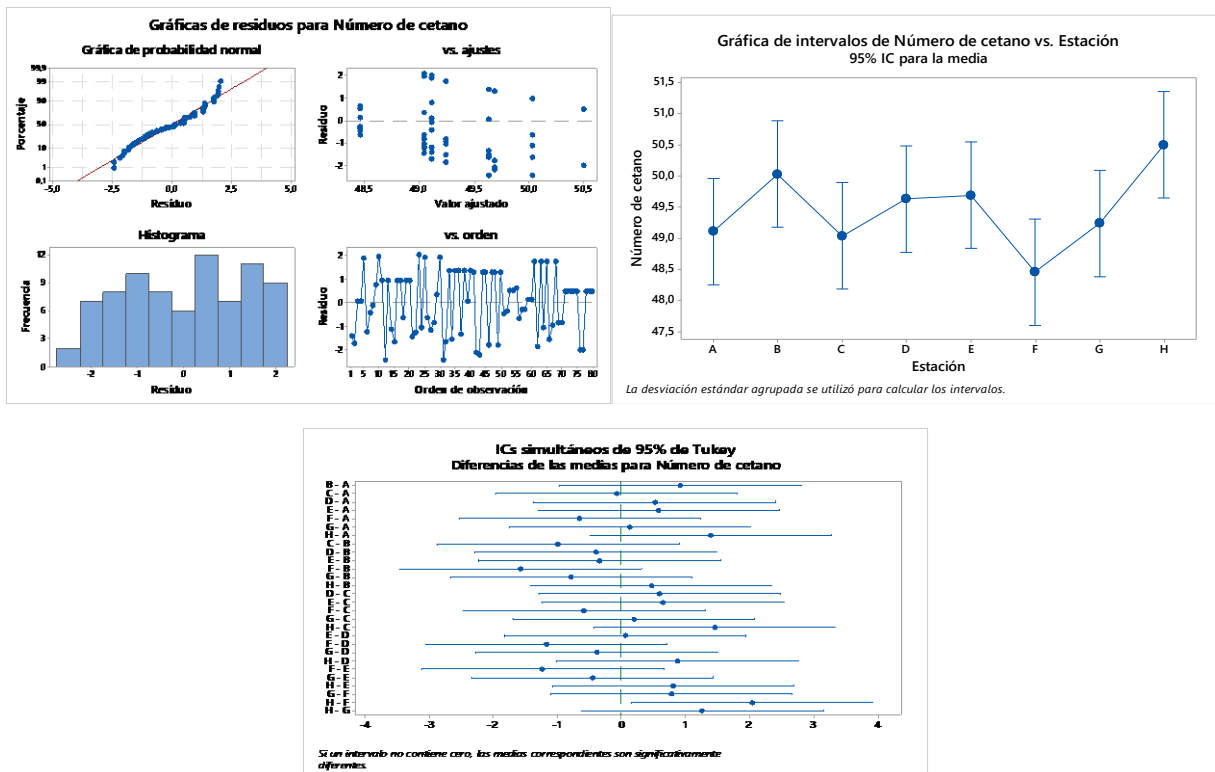




Fuente: Autores

Figura 44

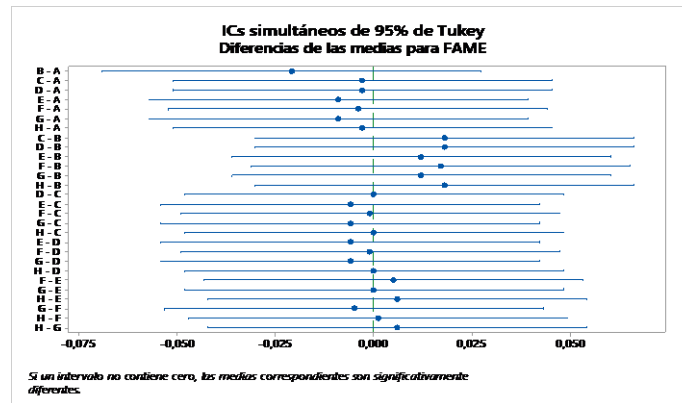
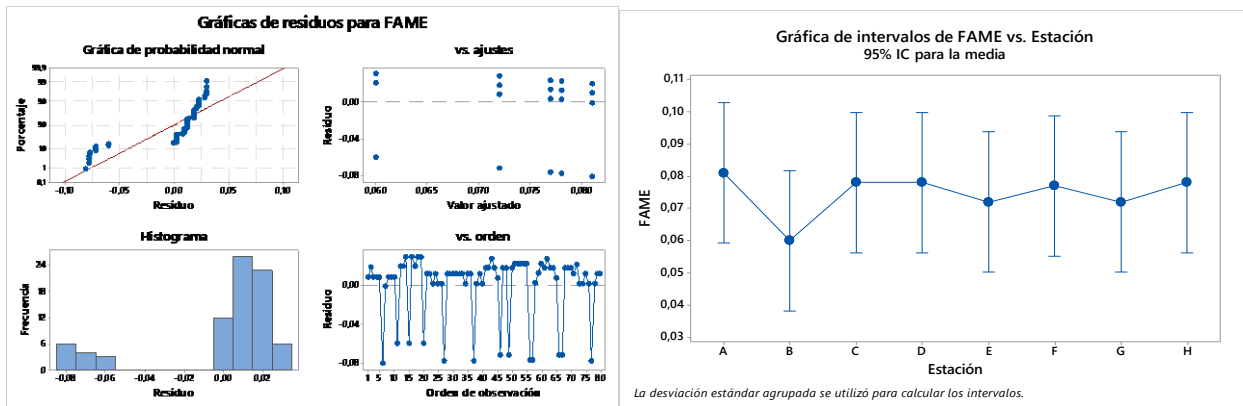
Residuos, media y método Tukey (ANOVA) para Número de cetano en Diesel



Fuente: Autores

**Figura 45**

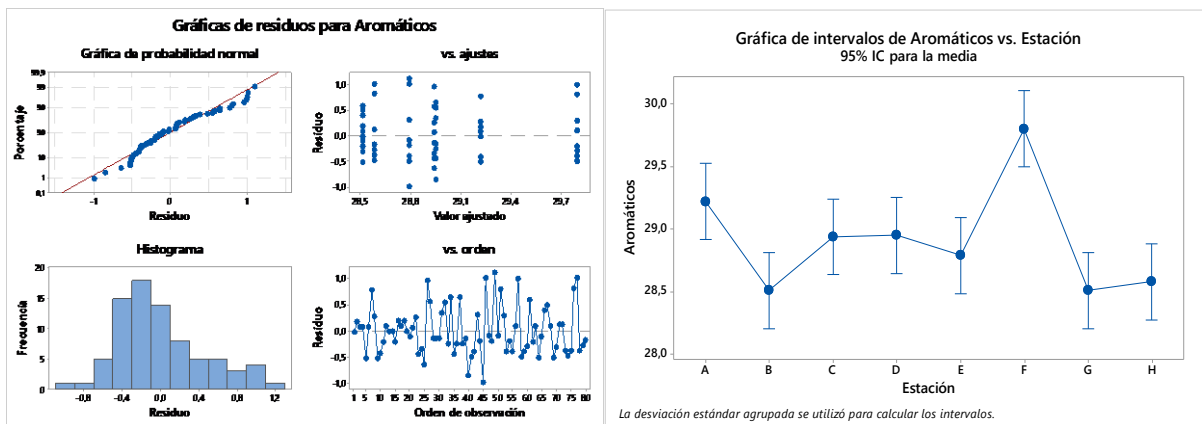
*Residuos, media y método Tukey (ANOVA) para FAME en Diesel*

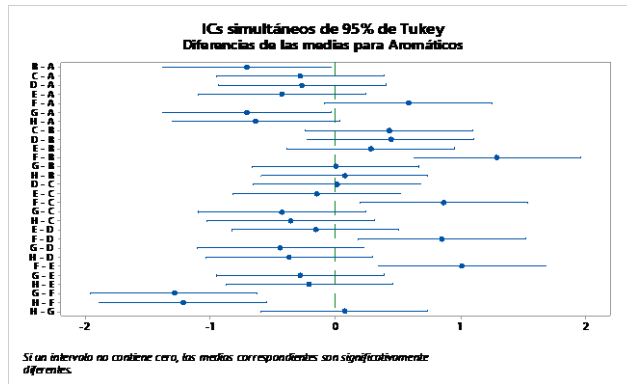


Fuente: Autores

**Figura 46**

*Residuos, media y método Tukey (ANOVA) para Aromáticos en Diesel*





**Fuente:** *Autores*

