



Ejercicio de evaluación de contadores de partículas para emisiones vehiculares, con fines de reglamentación en Colombia y Chile



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Embajada de Suiza en el Perú
Hub Regional Lima COSUDE


swisscontact

Ejercicio de evaluación de contadores de partículas para emisiones vehiculares, con fines de reglamentación en Colombia y Chile:

Documento elaborado en el marco del Programa Clima y Aire Limpio en Ciudades de América Latina - CALAC+ (Fase 2) financiado por la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación - COSUDE y ejecutado por la Fundación Suiza de Cooperación para el Desarrollo Técnico - Swisscontact.

El presente documento es de carácter informativo y no necesariamente refleja los puntos de vista u opiniones de las organizaciones y gobiernos participantes.

Las denominaciones utilizadas y la presentación del material de esta publicación no implican en lo absoluto la expresión de ninguna opinión sobre el estatus legal de un país, territorio, ciudad o área, sobre sus autoridades.

Elaborado por

Equipo programa CALAC+

Jaime Rueda Gómez

Coordinador regional MMNC - CALAC+
Editor

David Carrasco

Coordinador regional transporte urbano –
CALAC+

Eliana Toro Huertas

Analista de datos
Consultora y apoyo en documentación

Franco Fuentes

Coordinador CALAC+ para Chile

Adrián Montalvo

Director CALAC+

Revisado por:

Mayra Lancheros

Profesional del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Paula Rodríguez

Profesional del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Nancy Manríquez

Ministerio del Medio Ambiente de Chile

Revisión por pares:

Dr. Anastasios Melas

Join Research Centre – JRC
Comisión Europea

Foto de portada: Centro de revisiones vehiculares de la Secretaría Distrital de Ambiente | Programa CALAC+

Edición: 2025

LOS TEXTOS PUEDEN SER MENCIONADOS TOTAL O PARCIALMENTE CITANDO LA FUENTE

ÍNDICE

| | |
|---|-----------|
| LISTA DE TABLAS..... | 4 |
| LISTA DE FIGURAS..... | 5 |
| ACRÓNIMOS..... | 6 |
| RESUMEN EJECUTIVO | 7 |
| INTRODUCCIÓN | 8 |
| OBJETIVOS | 9 |
| OBJETIVO GENERAL | 9 |
| OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 9 |
| 1. ESTADO DEL ARTE | 10 |
| 1.1 GENERALIDADES DEL CONTEO DE NÚMERO DE PARTÍCULAS | 10 |
| 1.2 REGULACIÓN DE CONTEO DE PARTÍCULAS EN PAÍSES EUROPEOS..... | 11 |
| 2. METODOLOGÍA | 21 |
| 2.1 PRUEBAS PARALELAS PARA COMPARACIÓN ENTRE EQUIPOS Y REFERENCIA | 22 |
| 2.2 PRUEBAS EN VEHÍCULOS | 24 |
| 2.3 PROCESAMIENTO DE DATOS | 27 |
| 2.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS | 29 |
| 3. RESULTADOS DE LA VALIDACIÓN DE CONTADORES DE PARTÍCULAS..... | 32 |
| 3.1 COMPARACIÓN GLOBAL CON SISTEMA DE VERIFICACIÓN..... | 32 |
| 3.2 COMPARACIÓN ENTRE EQUIPO DE VERIFICACIÓN Y CLASIFICADOR DE AEROSOLES ELPI + | 34 |
| 4. RESULTADOS DE PRUEBAS EN VEHÍCULOS..... | 35 |
| 4.1 COMPARACIÓN GLOBAL..... | 35 |
| 4.2 COMPARACIÓN DE EQUIPOS SEGÚN ESTÁNDAR DE EMISIÓN | 36 |
| 5. RESULTADOS CONSIDERANDO PROCEDIMIENTOS | 37 |
| 6. CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES..... | 39 |
| 7. AGRADECIMIENTOS..... | 40 |
| 8. REFERENCIAS..... | 41 |
| ANEXOS..... | 44 |
| ANEXO 1. COMPARACIÓN ENTRE EQUIPOS Y SISTEMA DE REFERENCIA | 44 |
| ANEXO 2. DETALLES DE PRUEBAS ESTADÍSTICAS INFERENCIALES | 161 |
| ANEXO 3. COMPARACIÓN DE PRUEBAS EN VEHÍCULOS: ANÁLISIS POR EQUIPO EN EL TIEMPO | 171 |
| ANEXO 4. COMPARACIÓN DE EQUIPOS POR VEHÍCULOS EN RALENTÍ ALTO Y BAJO | 173 |
| ANEXO 5. DETALLES DE RESULTADOS DEL CLASIFICADOR DE AEROSOLES | 176 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Regulación de conteo de partículas durante PTI en países europeos..... | 11 |
| Tabla 2. Límites máximos permisibles y otros parámetros adoptados o sugeridos por país | 14 |
| Tabla 3. Procedimientos de prueba y límites de emisión de NP por país..... | 16 |
| Tabla 4. Rango permisible de eficiencia en el conteo de partículas por país | 19 |
| Tabla 5. Especificaciones de los contadores de partículas participantes | 23 |
| Tabla 6. Especificaciones del contador de partículas de referencia y del clasificador de aerosoles | 24 |
| Tabla 7. Vehículos de prueba | 25 |
| Tabla 8. Promedio de las correlaciones por equipo según concentración de verificación..... | 34 |
| Tabla 9. Comparación de protocolos de medición de NP | 38 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Metodología utilizada en el ejercicio de verificación | 21 |
| Figura 2. Esquema de las pruebas de verificación | 22 |
| Figura 3. Esquema de las pruebas de medición en vehículos – Vista superior..... | 24 |
| Figura 4. Esquema del procedimiento de prueba en vehículos | 26 |
| Figura 5. Comparación global entre contadores y sistema de referencia | 33 |
| Figura 6. Comparación global a distintas concentraciones: Equipo ELPI+ vs Equipo de verificación | 34 |
| Figura 7. Comparación global de los equipos considerando vehículos con y sin DPF | 35 |
| Figura 8. Concentración de NP para vehículos con y sin DPF nuevos o usados..... | 36 |
| Figura 9. Concentraciones de vehículos según estándares de emisión para cada equipo. | 37 |

ACRÓNIMOS

| | | |
|-------------------|---|--|
| CALAC+ | : | Programa Clima y Aire Limpio en Ciudades de América Latina |
| COSUDE | : | Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación |
| DPF | : | Filtro de partículas Diésel (sigla en inglés) |
| EGR | : | Válvula de Recirculación de Gases de Escape (sigla en inglés) |
| EPA | : | Agencia Ambiental de los Estados Unidos (sigla en inglés) |
| EPOC | : | Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica |
| GMD | : | Diámetro medio geométrico (sigla en inglés) |
| IARC | : | Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (sigla en inglés) |
| ITP | : | Inspección Técnica Periódica |
| METAS | : | Instituto Federal de Metrología de Suiza |
| NMi | : | Instituto Nacional de Metrología de Países Bajos |
| NTC | : | Norma Técnica Colombiana |
| PCDN | : | Nanopartículas derivadas de combustión primaria (sigla en inglés) |
| PM ₁₀ | : | Material particulado grueso |
| PM _{2.5} | : | Material particulado fino |
| PM _{0.1} | : | Material particulado ultrafino |
| PNC - NP | : | Número de partículas sólidas |
| RUNT | : | Registro Único Nacional de Tránsito |
| SCR | : | Catalizador Reductor Selectivo (Sigla en inglés) |

RESUMEN EJECUTIVO

El presente documento muestra de forma detallada los resultados de un ejercicio de verificación de contadores de partículas, ejecutado en junio de 2023 en el marco del programa Clima y Aire Limpio en Ciudades de América Latina - CALAC+ fase II, programa de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE) y ejecutado por Swisscontact.

En el Capítulo 1 se realiza un contexto de la normatividad existente en los cuatro países europeos que han adoptado el conteo de número de partículas para el seguimiento y control ambiental a vehículos provistos con filtros de partículas diésel, así como el resumen de las recomendaciones de la Unión Europea.

Posteriormente, en el Capítulo 2 se detalla la metodología empleada que se divide en tres partes, partiendo de una etapa de pruebas comparativas entre cada equipo contador de partículas y el sistema de referencia, adicionalmente, pruebas individuales a diferentes tecnologías vehiculares fueron desarrolladas, finalizando con una etapa de procesamiento, análisis de resultados y documentación.

El ejercicio logró recopilar información en campo del comportamiento de 5 equipos contadores de partículas presentes en el mercado internacional, los cuales fueron comparados con un sistema de referencia de conteo de partículas a cuatro concentraciones de sal de cloruro de potasio (concentración baja: 10.000 #/cm³, concentración media: 100.000 #/cm³, concentración media alta: 250.000 #/cm³ y alta concentración: 1.000.000 #/cm³), los resultados de las verificaciones realizadas se detallan en el Capítulo 3.

Además, se realizaron mediciones individuales de conteo de partículas en vehículos Euro VI/6, Euro V/5+DPF, Euro V sin DPF y Euro 4 sin DPF, con el fin de caracterizar el comportamiento de los vehículos medidos por cada contador de partículas. Detalles de los resultados se presentan en el Capítulo 4 del documento.

Posteriormente, en el Capítulo 5, se realiza un análisis comparativo considerando dos procedimientos, el de Suiza simplificado y el de Países Bajos, y finalmente en el Capítulo 6 se realizan recomendaciones finales y conclusiones sobre el ejercicio, relacionadas a los procedimientos empleados, y puntos a tener en cuenta en procesos de verificación y de reglamentación, como lo son los parámetros y esquema general para la implementación del conteo de partículas en Colombia y Chile.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, varios países de América Latina han estado reglamentando nuevos estándares de emisión para los vehículos diésel, buscando la reducción de la contaminación atmosférica y la mitigación de los impactos en la salud humana, en especial del material particulado. Entre estos países, se encuentran Colombia y Chile, que han adoptado los estándares de emisión más exigentes a nivel internacional: Euro 6/VI y EPA 2010 para vehículos diésel, que son tecnologías con emisiones debido al uso de filtros de partículas. Estos estándares requieren el uso de filtros de partículas diésel (DPFs), debido al alto nivel de remoción de material particulado en las emisiones de escape.

La eficiencia de estos nuevos sistemas de control de emisiones ha llevado a explorar nuevos métodos de inspección técnica periódica, como el conteo de número de partículas, una técnica que ha sido regulada internacionalmente en Suiza, Países Bajos, Bélgica y Alemania. Este método ha hecho posible evaluar de una forma precisa el estado de los filtros de partículas, por lo tanto, los niveles de emisión de los vehículos en circulación son medidos.

En el contexto de apoyar nuevas regulaciones en Colombia y Chile a través de experiencias locales, un ejercicio de verificación metrológica fue llevado a cabo para comparar seis contadores de partículas contra un dispositivo de conteo de partículas de referencia.

Este ejercicio busca mostrar de forma comparativa el comportamiento de contadores de partículas bajo diferentes concentraciones de NP, en comparación con un sistema de referencia, adicionalmente, /pruebas en vehículos fueron realizadas.

Entre los cuatro países que han reglamentado el conteo de partículas, hay pequeñas diferencias a nivel técnico y de procedimiento, por lo tanto en Latinoamérica, desde el programa CALAC+ se ha facilitado un acercamiento a los métodos, procedimientos, requerimientos de equipos y pruebas metrológicas. Los resultados obtenidos en el ejercicio de medición permiten complementar temas como la confiabilidad que tengan los instrumentos contadores de partículas a través del tiempo, así como la definición clara de procedimientos de evaluación, verificación y calibración para el conteo de número de partículas.

OBJETIVOS

Objetivo general

El objetivo general es evaluar el desempeño de los contadores de partículas participantes, que hayan sido diseñados para la inspección de los vehículos equipados con DPF, en comparación con un sistema de referencia y en medición directa sobre vehículos.

Objetivos específicos

Para alcanzar el objetivo general se definieron los siguientes objetivos específicos:

Recolectar información metrológica de contadores de partículas disponibles en el mercado para Pruebas de Inspección Técnica Periódica en vehículos equipados con DPF.

Realizar un ejercicio de evaluación de contadores de partículas a partir de la comparación con equipo de referencia.

Generar información base para la reglamentación de la medición de concentración de número de partículas sólidas y la revisión de especificaciones técnicas de los equipos a usar en Colombia y Chile.

1. ESTADO DEL ARTE

1.1 Generalidades del conteo de número de partículas

El material particulado presenta una mezcla compleja de sustancias orgánicas e inorgánicas que varían en parámetros como el tamaño, composición química, origen, y forma. El tamaño de las partículas puede variar en más de cuatro órdenes de magnitud, pasando de tamaños nanométricos hasta decenas de micrómetros, y pueden ser clasificadas como partículas gruesas - PM_{10} , que son filtradas en gran medida por el sistema respiratorio superior, partículas finas - $PM_{2.5}$, que pueden penetrar en la región traqueo bronquial y alveolar, y las partículas ultrafinas - $PM_{0.1}$, que tienen una mayor probabilidad de deposición en la región pulmonar del sistema respiratorio. [1]

Las partículas ultrafinas debido a su pequeño tamaño y su gran área superficial pueden ser cubiertas o mezcladas con contaminantes provenientes de procesos de combustión como metales, sulfuros, hidrocarburos policíclicos aromáticos, entre otros, algunos potencialmente cancerígenos. Altos niveles de UFP pueden causar efectos en salud como exacerbación de asma y EPOC, disminución de la función pulmonar, incremento en incidencias por cáncer de pulmón, incremento de mortalidad por causas respiratorias y cardiovasculares, entre otros. [2]

Esta complejidad y variabilidad de las partículas tienen un efecto heterogéneo en el sistema respiratorio, por ejemplo, partículas como sal marina, nitratos de amonio y sulfatos tienen un potencial bajo de causar inflamación en los pulmones, mientras que las más dañinas son las nanopartículas derivadas de combustión primaria (PCDNs, por sus siglas en inglés), principalmente de fuentes diésel. Estas que pueden causar inflamación pulmonar y a largo plazo fibrosis pulmonar, tumores pulmonares, entre otros [2]. Además, las emisiones provenientes de motores que operan con diésel son catalogadas como cancerígenas para los humanos por la Agencia Internacional para la Investigación Contra el Cáncer (IARC, por sus siglas en inglés) [3]. Estas emisiones (mezcla compleja de compuestos volátiles con fracciones orgánicas, sulfatos y nitratos y no volátiles como hollín y cenizas) tienen una alta relación con la calidad de los combustibles, lubricantes y condiciones de operación de los motores como la carga, el desgaste y los sistemas de control de emisiones utilizados [4].

Los motores de combustión interna emiten partículas sólidas en un amplio rango de tamaños. La distribución de tamaño puede variar dependiendo de factores como el tipo de combustible, la eficiencia de combustión del motor, y las condiciones ambientales, con factores de emisión inclusive por encima de 1×10^{14} #/kWh en motores diésel sin filtros de partículas diésel (DPF) [5], estas emisiones se han reducido drásticamente a partir del uso de DPF, un sistema de control de emisiones que ha permitido reducciones de más de 99% de las emisiones de número de partículas sólidas [5], logrando factores de emisión típicamente inferiores a 1×10^{11} #/km (vehículos livianos) [6] y 3×10^{11} #/kWh (Vehículos de carga pesada) [7].

Las reducciones de material particulado logradas por el uso de DPF ha eliminado emisiones visibles de los motores diésel. Esto ha llevado a un reto tanto en las métricas utilizadas para la cuantificación de emisiones para la homologación de motores (pasando de factores de emisión en masa [mg/km,

mg/kWh] a factores de emisión en número de partículas sólidas [# /km, #/kW/h]), así como en los métodos de inspección técnica periódica (ITP), donde la opacidad, no es sensible a vehículos equipados con DPF y presenta un nivel de obsolescencia debido a que las emisiones en estos vehículos están por debajo del límite de detección [8]. Esto ha llevado a una evolución en los métodos de medición de ITP, que ahora contempla la medición de conteo de partículas. Este método mide la concentración en número de partículas sólidas por unidad de volumen (unidades: #/cm³, 1/cm³, partículas/cm³ o cm⁻³). Valores típicos para vehículos diésel provistos con DPF están por debajo de 10.000 #/cm³, mientras que en vehículos diésel sin DPF valores típicos exceden una concentración de 1'000.000 #/cm³.

Este nuevo método de inspección técnica periódica vehicular para la medición de concentración de partículas sólidas en el tubo de escape, ha sido reglamentado por Suiza, Alemania, Países Bajos y Bélgica, y busca ser reglamentado en Colombia y Chile.

1.2 Regulación de conteo de partículas en países europeos

Cuatro temas clave se resaltan en las regulaciones relacionadas al método de conteo de partículas, descritos a continuación:

1. Límites máximos permisibles, adopción de métodos y fuentes de emisión a las que aplica.
2. Requerimientos técnicos de instrumentos.
3. Procedimientos de medición en pruebas de inspección técnica periódica.
4. Procedimientos de verificación.

Cada uno de los puntos enunciados se detallan y comparan en los literales I a IV del presente capítulo para los cuatro países que han reglamentado el conteo de partículas en las actividades de inspección técnica periódica, junto a las recomendaciones dadas por la comisión europea para la medición de conteo de partículas. Se resalta que la información es descriptiva y los esquemas regulatorios para Chile, Colombia y en general para cualquier país que quiera implementar el conteo de partículas va a variar de acuerdo con las funciones de cada una de las instituciones asociadas a la reglamentación y adopción de los métodos.

De forma referencial, en la tabla 1 se resumen las regulaciones asociadas a cada país europeo que ha adoptado el conteo de partículas en las pruebas de inspección técnica periódica, las cuales se detallan en los siguientes apartados.

Tabla 1. Regulación de conteo de partículas durante PTI en países europeos.

| País / Región | Institución | Norma / Documento recomendación | Fecha | Descripción |
|---------------|--|---------------------------------|---------|--|
| Suiza | INB – Sector interdisciplinario de normalización | Norma Suiza SN 277.206 [9] | 06-2014 | Define métodos y procedimientos de prueba para la medición de conteo de partículas en vehículos con filtros de partículas. |

| País / Región | Institución | Norma / Documento recomendación | Fecha | Descripción |
|---------------------|--|--|-----------------------------|--|
| Suiza | Departamento Federal de Justicia y Seguridad – DFPG | RS 941.242 [10]: Ordenanza sobre equipos de medición de gases para motores de combustión interna | 03-2006 versión de 04-2021 | Regula requisitos para equipos de conteo de partículas, procedimientos para comercialización y para mantener estabilidad de mediciones. |
| Suiza | Departamento Federal del Medio ambiente, del Transporte, de la Energía y de Comunicaciones – DATEC | RS 741.437 [11] | 08-2002, versión de 01-2023 | Define límites máximos permisibles de número de partículas, fuentes a las que aplica, condiciones generales y de ejecución de la medición. |
| Suiza | Consejo federal suizo | RS 941.210 [12] | 02-2006 | Establece requisitos para la verificación inicial de instrumentos de medición y de la evaluación de la conformidad. |
| Alemania | Ministerio Federal del Transporte e infraestructura digital | Directrices para la inspección de gases de escape de vehículos de motor según numeral 6.8.2 AU- y anexo 6.8.2 VIIIa StVZO [13] | 10-2022 | Describe el procedimiento de prueba de conteo de partículas en inspección técnica vehicular, los límites máximos permisibles y estándar de vehículos que aplica. |
| Alemania | Physikalisch-Technische Bundesanstalt - PTB (Instituto Nacional de metrología Alemán) | PTB-A 12.16 Requerimientos del PTB para contadores de partículas [14] | 5-2021 | Establece requerimientos técnicos y metrológicos para contadores de partículas que sean usados en pruebas de inspección técnica periódica. |
| Bélgica | Gobierno de Flandes | Decreto que modifica el decreto real de marzo 15, 1968 y el Decreto real de 23 de diciembre de 1994 [15] | 01-2022 | Define los requisitos para la medición de conteo de número de partículas en vehículos, así como las categorías, límites, y condiciones generales de aplicación. |
| Bélgica | Departamento de Movilidad y Obras Públicas en Flandes | Manual de Inspección técnica periódica v5.2 [16] | NA | Establece los requerimientos técnicos para realizar el conteo de partículas. |
| Países bajos | NMi – National Metrological Institute (Instituto Nacional de metrología de Países Bajos) | Parte 1: Requerimientos metrológicos y técnicos [17] | 10-2019 | Especifica los requerimientos técnicos y metrológicos de contadores de partículas. |
| Países bajos | NMi – National Metrological Institute (Instituto Nacional de metrología de Países Bajos) | Part 2: Pruebas de desempeño y controles metrológicos [18] | 10-2019 | Especifica controles metrológicos y de pruebas de desempeño en contadores de partículas. |
| Países bajos | Ministerio de infraestructura y gestión del agua | Regulación No. IENW / BSK-2020/125046 [19] | 2020 | Define límites máximos permisibles de número de partículas, fuentes a las que aplica, condiciones generales y de ejecución de la medición. |

| País / Región | Institución | Norma / Documento recomendación | Fecha | Descripción |
|-----------------------------|------------------|--|---------|---|
| Europa | Comisión Europea | Recomendaciones en la medición de número de partículas para la inspección técnica periódica [20] | 03-2023 | Define recomendaciones de requerimientos técnicos, metrológicos, procedimientos de medición, límites de emisión, y controles metrológicos para el conteo de partículas en pruebas de inspección técnica periódica en países europeos. |
| Asociación en Europa | Asociación VERT | Recomendaciones de VERT en procedimientos e instrumentos TA-024/21 [21] | 05-2021 | Da recomendaciones en los procedimientos de prueba de conteo de partículas, límites, requerimientos técnicos y metrológicos y procedimientos de aprobación |

I. Límites máximos permisibles, métodos y fuentes de emisión a los que aplica.

El primer tema para detallar está relacionado con el establecimiento de límites máximos permisibles, la adopción de métodos y la definición de las fuentes a las que aplica la reglamentación. En este sentido, cada uno de los cuatro países ha establecido sus propios límites máximos permisibles, resaltando límites totales, de aprobación rápida y de aprobación por prueba adicional. Estos se describen en la Tabla 2, donde se resalta el límite de 250.000 #/cm³ como aquel que distingue claramente tecnologías con DPF en buen funcionamiento. Además, de acuerdo con Giechaskiel ,B. et al [22], en la correlación entre pruebas de concentración de partículas en ralentí y factores de emisión de número de partículas obtenidas por pruebas dinámicas bajo ciclos NEDC o WLTC, el límite de 250.000 #/cm³ está muy por encima del límite de Euro VI/6 de 6.0E+11 #/km.

Las categorías y estándares a los que aplica cada reglamentación varían también para cada país, resaltando que los reglamentos son independientes del año modelo de los vehículos y, en todos los casos, se centran en el estándar Euro, la tecnología y la categoría vehicular. Un común denominador es la aplicación para vehículos de estándar Euro VI/6, con variaciones en algunas categorías de vehículos pesados y livianos (Ver Tabla 2). Además, por ejemplo, Suiza no hace una distinción de estándares de emisión, sino que define su aplicación a vehículos que cuentan con filtro de partículas, e incluye maquinaria móvil fuera de carretera.

Con respecto a la adopción de los métodos, las especificaciones metrológicas se definen mediante reglamentos técnicos descritos por los institutos nacionales de metrología correspondientes. En algunos casos, se describe el método de medición directamente en la reglamentación del Ministerio o Departamento correspondiente de cada país.

La Tabla 2 presenta de forma general una comparativa de parámetros definidos para cada uno de los cuatro países, además de las recomendaciones de la Comisión Europea y de la Asociación VERT. Se resalta nuevamente que cada país ha definido sus propios límites máximos permisibles, aplicables a fuentes de diferentes estándares de emisión, protocolos de prueba, requerimientos de instrumentos entre otras especificaciones.

Tabla 2. Límites máximos permisibles y otros parámetros adoptados o sugeridos por país

| Parámetros | Suiza | Alemania | Países bajos | Bélgica | Comisión Europea | Recomendación VERT |
|---|--|--|--|---|--|--|
| Límites de concentración de NP [# /cm³] | <i>procedimiento simplificado</i> ≤ 100.000 <i>Procedimiento completo</i> ≤ 250.000 | Primeros 30s ≤ 50.000 Si es mayor: promedio 3 de 30s ≤ 250.000 | <i>Aprobación</i> ≤ 1.000.000 | <i>Aprobación</i> ≤ 250.000 <i>Observación</i> > 250.000 y ≤ 1.000.000 <i>Rechazo</i> > 1.000.000 | Recomendado ≤ 250.000 Hasta ≤ 1.000.000 | <i>Con DPF</i> ≤ 50.000 <i>Pase rápido</i> ≤ 30.000 |
| Tipo de vehículos | Maquinaria y vehículos categorías M y N diésel | Todas las categorías diésel | Todas las categorías diésel | M1 y N1 Diésel No incluye pesados | Todas las categorías diésel | Todo tipo de vehículo |
| Estándar de emisión | Vehículos equipados con DPF incluyendo maquinaria | ≥ Euro 6/VI | Vehículos equipados con DPF de fábrica | <i>Para Flandes y Valonia</i> ≥ Euro 5a <i>Para Bruselas</i> ≥ Euro 5b | LDDV ≥ Euro 5b HDDV ≥ Euro VI | Todo vehículo con motor de combustión interna |
| Fecha de inicio (dd-mm-aaaa) | 01-01-2023 | 1-07-2023 | 01-01-2023 | 01-07-2022 | (Fecha de publicación) 20-03-2023 | (Fecha de publicación) 01-05-2021 |
| Especificaciones metrológicas | SR 941.242 SR 941.210 METAS | PTB | NMi | NMi | Institutos Metrológicos Nacionales | Institutos de metrología |
| Instrumento | Medidor de conteo de partículas | | | | | |
| Protocolos de prueba | <i>Simplificado</i> En ralentí bajo <i>Completo</i> En ralentí alto | Ralentí bajo, estabilización con aceleración en ralentí alto | <i>Ralentí bajo</i> | <i>Ralentí bajo</i> | <i>Ralentí bajo</i> <i>Opcional,</i> Aceleraciones realizadas para el acondicionamiento del vehículo | <i>Ralentí bajo</i> 15 s de estabilización + 3 bloques de 15 s de medición continua |

II. Requerimientos de instrumentos

Con respecto a los requerimientos técnicos de los instrumentos, cada país ha definido sus propios requerimientos a través del correspondiente instituto nacional de metrología.

Para tener en cuenta en las futuras reglamentaciones en países de América Latina, se sugiere considerar de forma inicial equipos homologados por alguna de las tres instituciones europeas que en la actualidad realizan este proceso: METAS (Suiza), NMi (Países Bajos) o PTB (Alemania).

Además de los requerimientos de cada país, se resaltan las recomendaciones de la Unión Europea para la medición de número de partículas en pruebas de inspección técnica periódica para vehículos encendidos por compresión, allí se detallan los puntos a tener en cuenta relacionado a los

requerimientos de instrumentos de medición, enlistados a continuación como base para las consideraciones futuras en las reglamentaciones de los países de América Latina.

Listado de temas tratados en Recomendaciones de la Comisión Europea en conteo de partículas [20]

- Descripción del instrumento de medición
- Partes del equipo de medición
- Etiquetas con información del equipo
- Instrucciones de operación del equipo
- Requerimientos metrológicos
 - o Unidades
 - o Rango de medición
 - o Resolución del visualizador del dispositivo
 - o Tiempo de respuesta
 - o Tiempo de calentamiento
 - o Máximo Error Permisible
 - o Requerimientos de eficiencia según tamaños
 - o Requerimientos de linealidad
 - o Nivel cero
 - o Eficiencia de remoción de volátiles
 - o Estabilidad en el tiempo y autoajustes
 - o Repetibilidad
 - o Condiciones de referencia
 - o Requerimientos mínimos ambientales y de suministro de energía
 - o Perturbaciones
- Requerimientos técnicos
 - o Construcción
 - o Requerimientos para asegurar la correcta operación
- Controles metrológicos
 - o Pruebas de tipo u homologación
 - o Verificación inicial
 - o Verificación subsecuente
- Procedimiento de medición
- Límites de concentración

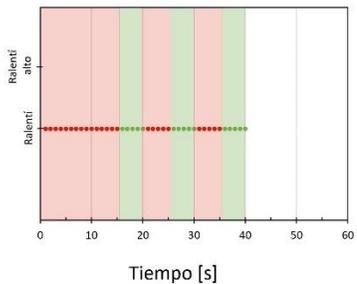
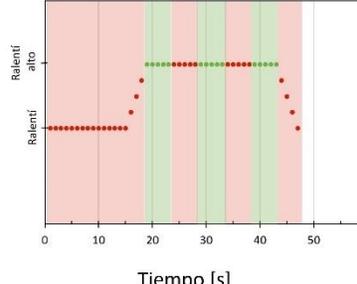
III. Procedimientos de medición en pruebas de inspección técnica periódica

Los procedimientos de medición de conteo de partículas varían de país en país, en la Tabla 3 se presentan y describen los cuatro procedimientos establecidos para cada uno de los países Europeos que han reglamentado el método. Se resalta que para todos los casos hay una fase de estabilización de la muestra, seguida de una toma de muestra de concentración de partículas que se promedia para lograr el valor final, en algunos casos, se realizan segundas pruebas supeditado a los resultados obtenidos de la primera prueba.

Tabla 3. Procedimientos de prueba y límites de emisión de NP por país

| Países Bajos | | | | | | | | |
|---|---|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|---|-------------------------------|--|--|
| | | | | | | | | |
| <p><i>Procedimiento en Países Bajos:</i></p> <p>Inicia con una fase de estabilización de 15s en ralentí bajo seguido de una fase continua de medición de 15s, las cuales se promedian para obtener el resultado final de la prueba de medición. La prueba puede ser realizada con el motor frío, si el resultado excede el límite, entonces la prueba debe ser realizada nuevamente con el motor caliente</p> | | | | | | | | |
| <p><i>Límites en Países Bajos:</i></p> <p>Hay un límite máximo permisible de 1.000.000 #/cm³</p> | | | | | | | | |
| <table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td style="padding: 5px;"><i>Límite en Países Bajos</i></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">$\leq 1.000.000 \text{ \#/cm}^3$</td> </tr> </table> | | | <i>Límite en Países Bajos</i> | $\leq 1.000.000 \text{ \#/cm}^3$ | | | | |
| <i>Límite en Países Bajos</i> | | | | | | | | |
| $\leq 1.000.000 \text{ \#/cm}^3$ | | | | | | | | |
| Bélgica | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| <p><i>Procedimiento en Bélgica:</i></p> <p>Al igual que en el caso de Países Bajos, el procedimiento inicia con una fase de estabilización de 15s en ralentí bajo seguido de una fase continua de medición de 15s, las cuales se promedian para obtener el resultado final de la prueba de medición.</p> | | | | | | | | |
| <p><i>Límites en Bélgica:</i></p> <p>Hay un límite de aprobación de 1.000.000 #/cm³, si el resultado está entre 250.000 #/cm³ y 1.000.000 #/cm³ el vehículo pasa la prueba con alerta.</p> | | | | | | | | |
| <table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td style="padding: 5px;"><i>Aprobación</i></td> <td style="padding: 5px;"><i>Observación</i></td> <td style="padding: 5px;"><i>Rechazo</i></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">$\leq 250.000 \text{ \#/cm}^3$</td> <td style="padding: 5px;">$> 250.000 \text{ y } \leq 1.000.000 \text{ \#/cm}^3$</td> <td style="padding: 5px;">$> 1.000.000 \text{ \#/cm}^3$</td> </tr> </table> | <i>Aprobación</i> | <i>Observación</i> | <i>Rechazo</i> | $\leq 250.000 \text{ \#/cm}^3$ | $> 250.000 \text{ y } \leq 1.000.000 \text{ \#/cm}^3$ | $> 1.000.000 \text{ \#/cm}^3$ | | |
| <i>Aprobación</i> | <i>Observación</i> | <i>Rechazo</i> | | | | | | |
| $\leq 250.000 \text{ \#/cm}^3$ | $> 250.000 \text{ y } \leq 1.000.000 \text{ \#/cm}^3$ | $> 1.000.000 \text{ \#/cm}^3$ | | | | | | |

Suiza

Procedimientos en Suiza

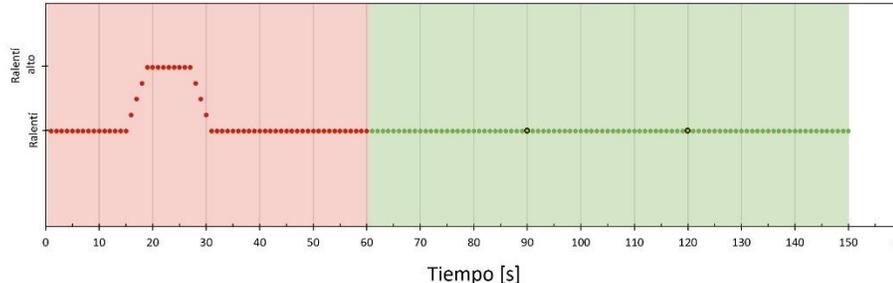
Cuenta con un procedimiento simplificado y según su resultado habilita la necesidad de hacer una segunda prueba en ralentí alto denominada “procedimiento completo”

| <i>Procedimiento simplificado</i> | <i>Procedimiento completo</i> |
|---|--|
| Inicia con una fase de estabilización de 15 s, seguido de un promedio intermitente de 3 mediciones de 5 s, con una intermitencia de 5 s entre pruebas, los resultados se promedian para obtener el valor final, si el valor está por debajo de 100.000 #/cm ³ se da una aprobación rápida, si no, se debe continuar con el procedimiento completo. | Contempla el procedimiento simplificado y adicionalmente se realiza una medición con estabilización de 15 s y una medición en ralentí alto con una intermitencia en la adquisición de datos cada 5 segundos. El límite en este caso es de 250.000 #/cm ³ |

Límites para Suiza

| <i>procedimiento simplificado</i> | <i>Procedimiento completo</i> |
|-----------------------------------|-------------------------------|
| ≤ 100.000 #/cm ³ | ≤ 250.000 #/cm ³ |

Alemania



Procedimiento en Alemania

Inicia con una fase de estabilización de 15 s en ralentí con ralentí alto < 5s y ralentí bajo por 30 s (fase de asentamiento), continúa con una fase de medición con 3 tomas de muestra continuas de 30 s,

Límites en Alemania

Si el promedio de la concentración en la primera toma de muestra es ≤ 50.000 #/cm³ se da una aprobación rápida y se finaliza la prueba, si no, se realiza un promedio con las 3 tomas de muestra y debe ser ≤ 250.000 #/cm³

| <i>Aprobación rápida</i> | <i>Aprobación completa</i> |
|----------------------------|-----------------------------|
| ≤ 50.000 #/cm ³ | ≤ 250.000 #/cm ³ |

| Comisión Europea |
|--|
| <p><i>Procedimiento sugerido por la Comisión Europea:</i></p> <p>Procedimiento en ralentí bajo iniciando con una fase de estabilización ≥ 15 s seguido de una fase de medición ≥ 15s. Si la concentración es más grande que dos veces el límite, la medición puede detenerse inmediatamente antes de 15 s.</p> <p>La prueba debe ser realizada con el motor caliente y el vehículo debe ser acondicionado. Pruebas con el motor frío son permitidas, pero en caso de exceder los límites, la prueba se debe repetir, y el vehículo debe completar los requerimientos necesarios de temperatura del refrigerante del motor y de acondicionamiento.</p> <p><i>Límites sugeridos por la Comisión Europea:</i></p> <p>Se recomienda un límite de 250.000 #/cm³, pero también límites hasta 1.000.000 #/cm³ son permitidos.</p> |

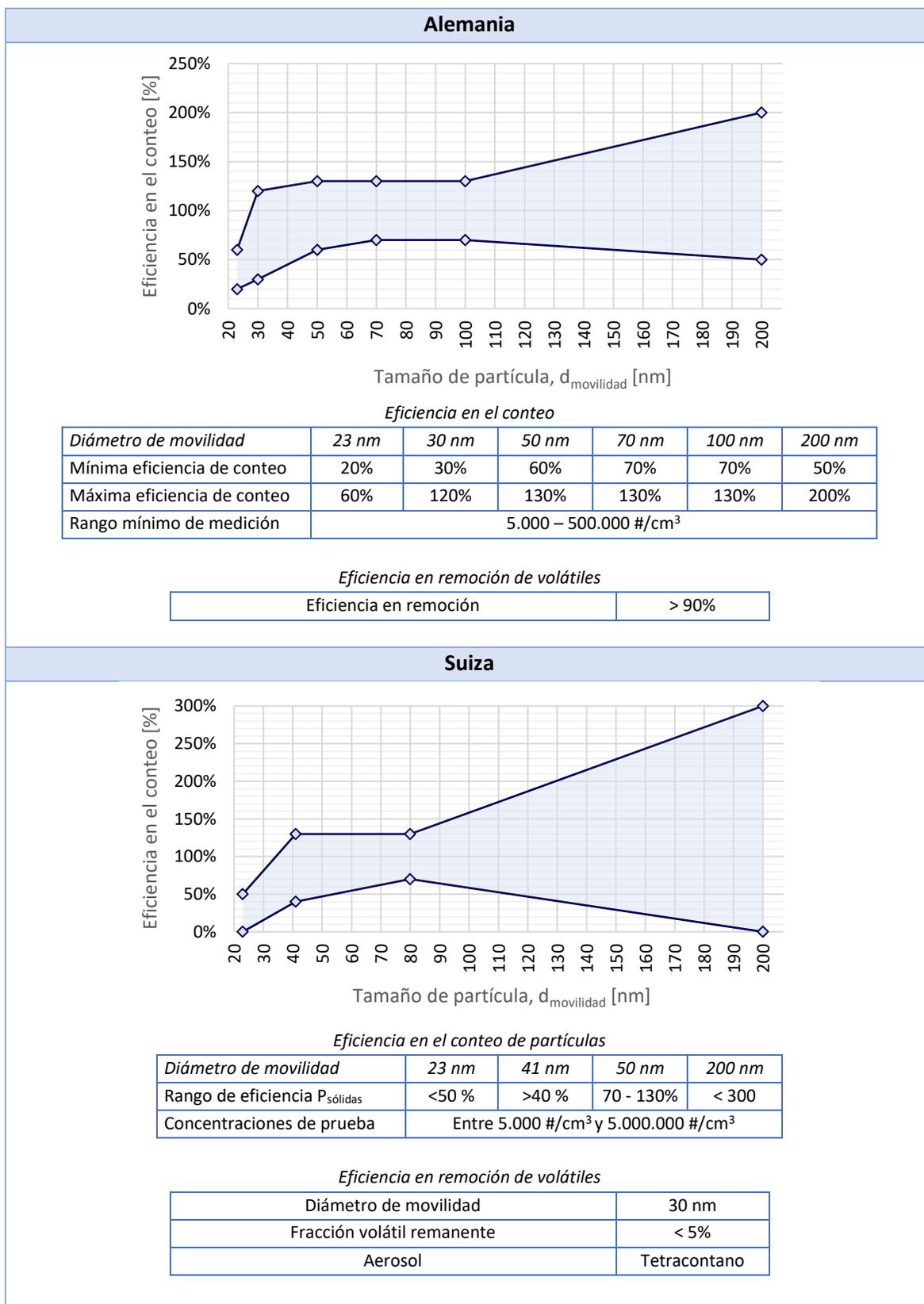
IV. Procedimientos de verificación de eficiencia en el conteo de partículas

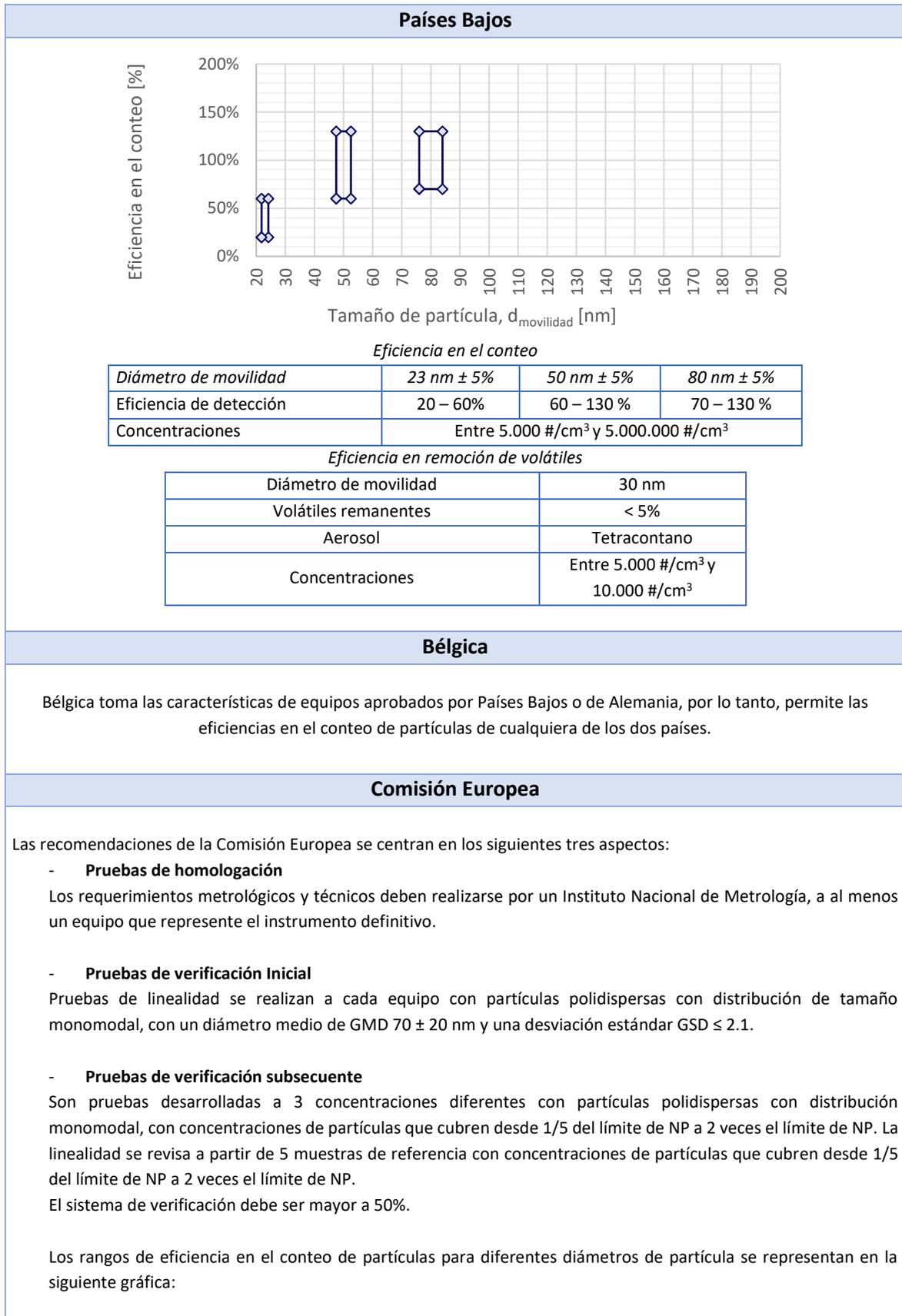
Los procedimientos de verificación de equipos varían para cada país y se realizan teniendo en cuenta consideraciones como:

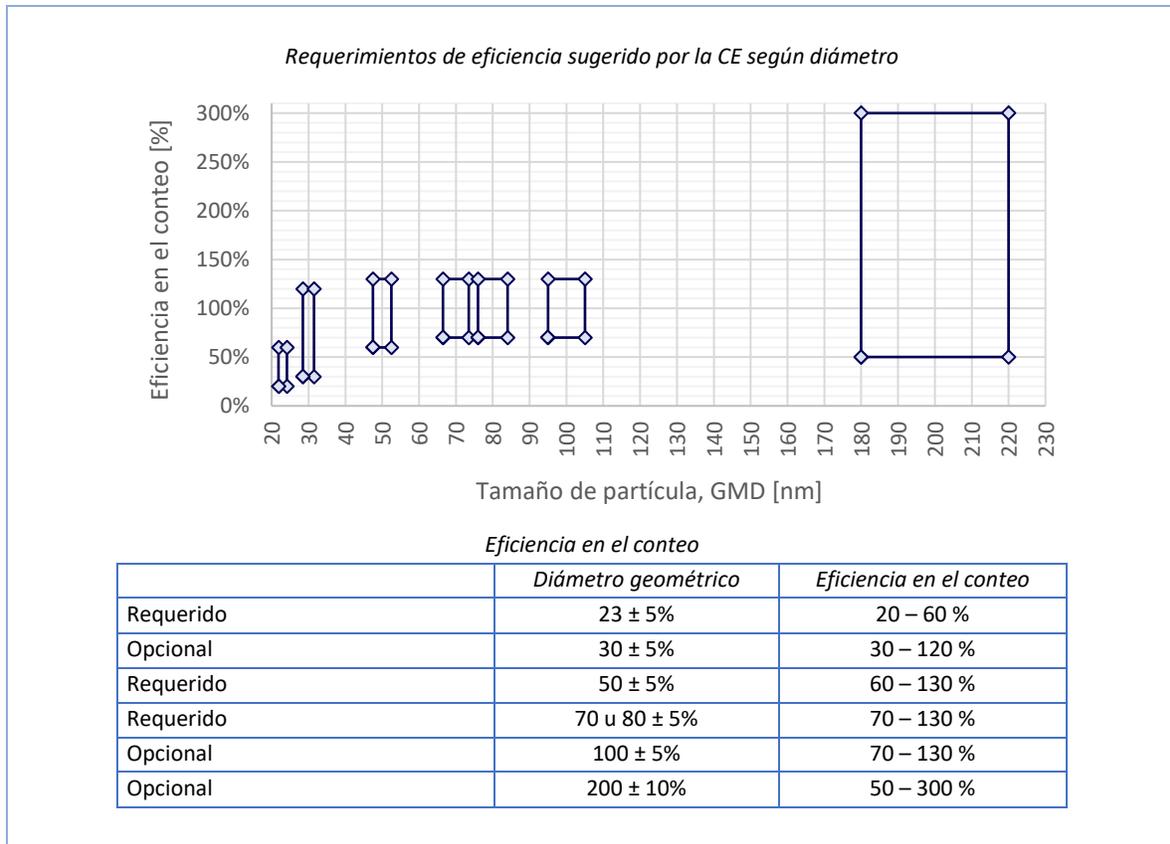
1. Tipo de aerosol: Se resaltan dos tipos de aerosoles, hollín o sales y pueden ser de tipo monodisperso y polidisperso. Partículas de hollín son típicamente usadas en pruebas de homologación de equipos, mediante procedimientos realizados por los institutos nacionales de metrología, partículas de sal son utilizadas para pruebas de verificación, en este caso, factores de corrección deben ser aplicados debido a las diferencias en la eficiencia en el conteo en comparación con hollín, mayor información está disponible en [23].
2. Tamaño de la partícula: Los tamaños de partículas usados para la verificación de instrumentos varía de acuerdo con los requerimientos de cada instituto de metrología o regulación de país (Ver Tabla 4).
3. Concentración de partículas: Las concentraciones de partículas también varía y cubren todo el espectro de medición, bajas concentraciones, medias y altas.
4. Eficiencia en el conteo de partículas: Un rango permisible de eficiencias de conteo ha sido definido en cada país para un amplio rango de concentraciones y tamaños de partículas, las cuales van desde miles a millones de partículas por cm³ y valores de eficiencia de 25%, 50% hasta 75% son considerados.
5. Eficiencia en remoción de volátiles: El conteo de partículas se realiza sobre la fracción sólida de las partículas, y es necesario que los equipos cuenten con sistemas de remoción de partículas volátiles, para lo cual, se han establecido eficiencias en remoción de tetracontano de 90% o 95% en los países que han reglamentado el método.
6. Equipo de referencia: Para la verificación de eficiencia en el conteo de partículas, es importante tener en consideración que las regulaciones definen las características del equipo o sistema de referencia, así como la periodicidad requerida en pruebas de homologación y verificación.

La Tabla 4 presenta las gráficas de los requerimientos en la evaluación de eficiencia en el conteo de partículas para cada uno de los países europeos que han reglamentado el conteo de partículas.

Tabla 4. Rango permisible de eficiencia en el conteo de partículas por país







2. METODOLOGÍA

Entre el 6 y 9 de junio de junio de 2023, en el centro de revisiones vehiculares de la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá, se llevaron a cabo las pruebas de medición en campo, de concentración de número de partículas de forma paralela entre contadores de partículas y un sistema de referencia. Adicionalmente, se realizaron pruebas individuales de cada equipo a vehículos de diferentes tecnologías. Posteriormente, se realizó un procesamiento y análisis de resultados. La Figura 1 describe las etapas de la metodología, que se detallan más adelante.

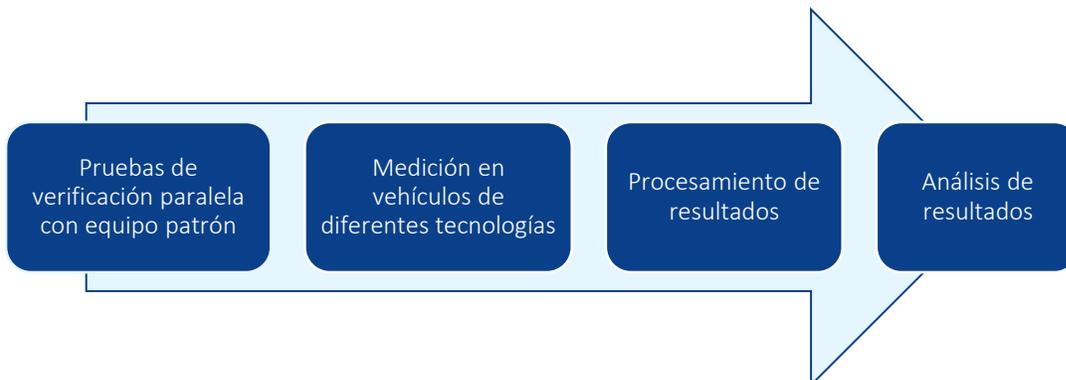


Figura 1. Metodología utilizada en el ejercicio de verificación

2.1 Pruebas paralelas para comparación entre equipos y referencia

En las pruebas de verificación participaron 6 equipos contadores de partículas, que se conectaron de forma paralela a un divisor de flujo que distribuía una concentración constante de partículas de cloruro de potasio (KCl). Estas partículas fueron alimentadas por un generador de aerosoles TSI 3750, acondicionadas por un desecador TSI 3062 y un neutralizador de aerosoles TSI 3088. En paralelo a los 6 equipos de medición, estaba conectado un equipo de referencia. Este sistema de referencia consistía en un contador de partículas por condensación TSI 3750 unido a un dilutor de aerosoles TSI 3332 ajustado a un factor de dilución de 100:1 para todas las pruebas.

Adicionalmente, para las pruebas realizadas los días 3 y 4 se conectó también en paralelo un clasificador de aerosoles DEKATI ELPI+ sin sistema de dilución. Este sistema fue usado para la comparación con el sistema de referencia y la validación de la distribución de concentraciones. La Figura 2 muestra un esquema general de la disposición de los equipos asociados a las pruebas de verificación paralela, ilustrando la ubicación del divisor de flujo, los dispositivos de acondicionamiento y neutralización de partículas, y la ubicación de los equipos de medición de NP.

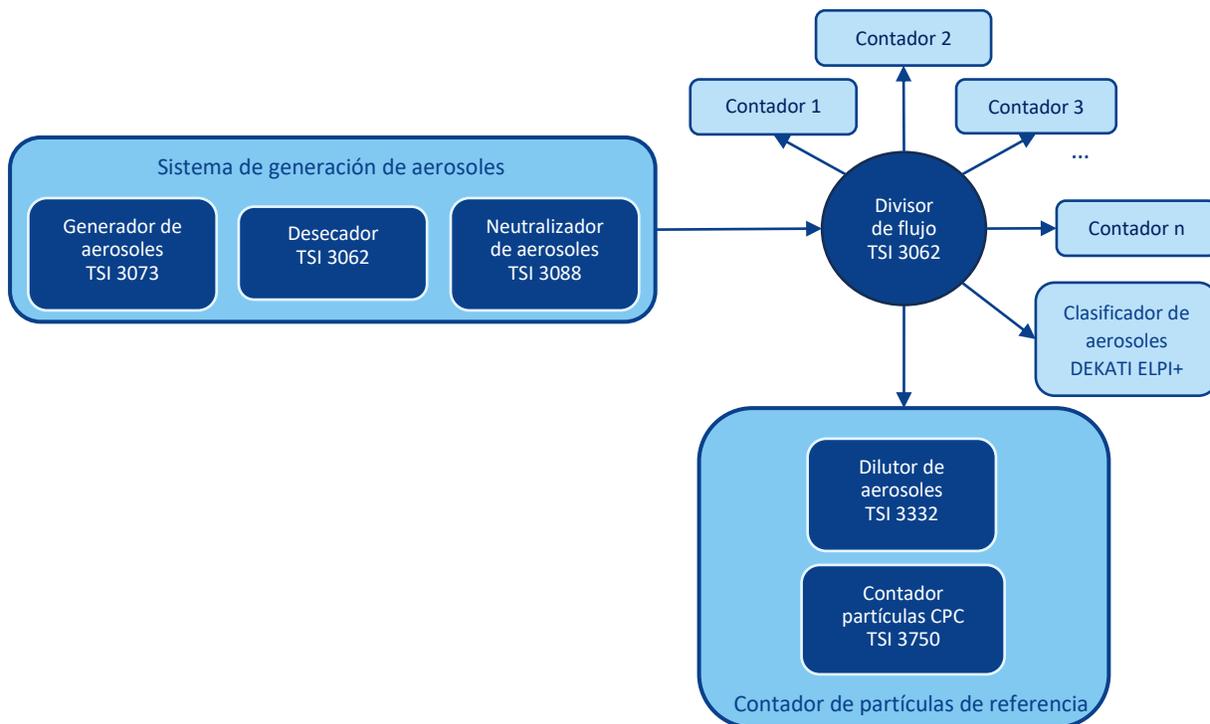


Figura 2. Esquema de las pruebas de verificación

Cada prueba de medición comparativa se desarrolló durante un minuto a cuatro concentraciones de referencia:

- Concentración Baja: Cercana a 10.000 #/cm³
- Concentración Media: Cercana a 100.000 #/cm³
- Concentración Media Alta: Cercana a 250.000 #/cm³
- Concentración Alta: Cercana a 1.000.000 #/cm³

El tipo de fluido de verificación utilizado fue polidisperso, preparado con una solución de sal de cloruro de potasio (KCl) en agua de 20 mg/100 ml, que permaneció constante durante los cuatro días de medición. La distribución de partículas tenía un diámetro medio de 100 nm, medido con el clasificador de aerosoles (ELPI+) durante los días 3 y 4. Las pruebas de verificación se realizaron al principio y final de cada día a excepción del día 4 donde solamente se realizó una ronda de verificación.

Los modelos de equipos contadores de partículas participantes fueron AVL DiTEST Counter, TEXA NP 01, TSI 3795-HC, OPUS PN Meter, 3DATX ParSYNC Flex y CAPELEC CAP 3070. Sus especificaciones se detallan en la Tabla 5. Para el análisis de los resultados, los equipos de AVL, CAPELEC, OPUS, TEXA y TSI se les asignó de forma aleatoria una letra: A, B, C, D o E con el fin de realizar una comparación anónima. Si desea conocer los resultados específicos para cada equipo, puede consultar directamente a cada fabricante.

Para el caso de 3DATX hubo una participación en las mediciones únicamente con el modelo parSYNC Flex; sin embargo, por solicitud de 3DATX, el estudio no consideró los resultados de este modelo. Posterior al ejercicio, 3DATX presentó una versión actualizada del equipo (parSYNC Flex-PNC), equipado con sensor de conteo de número de partículas certificado, para el cual se realizaron pruebas en vehículos de forma paralela con el Dekati ELPI+. Los resultados del nuevo equipo no fueron tenidos en cuenta en el marco del presente estudio, y se considera como información adicional, no obstante, ambos equipos se describen en la Tabla 5 de especificaciones.

Tabla 5. Especificaciones de los contadores de partículas participantes

| MARCA | MODELO | TIPO | RANGO DE MEDICIÓN [# /cm ³] | ERROR | TAMAÑO DE PARTÍCULA [nm] | ALIMENTACIÓN | PESO [kg] / DIMENSIONES [mm] | TIEMPO CALENT. [min] / HR [%] / PA [kPa] / frecuencia |
|---------|----------------------------|------|---|--|--|-------------------------------------|------------------------------|---|
| 3DATX | parSYNC Flex [24] | DC | - | - | 10 – 250 80 – 7.000 250 – 10.000 | VDC 18V interno | 6.2 / 420 x 155 x 295 | - |
| | parSYNC Flex – PNC [25] | DC | 5.000 a 5.0E+06 | Relativo ± 25% Absoluto 25.000 #/cm ³ Resolución: 1000 #/cm ³ | - | Interna 2 Baterías 18V 8.0 Ah | 16.5 / 400 x 550 x 240 | - |
| AVL | DiTEST COUNTER [26] | DC | 0 a 1.0E+07 | - | 20 – 300 | 100 – 230 VAC | 8.6 / 496 x 210 x 309 | <4 / - / - / - |
| CAPELEC | CAP3070 [27] | DC | 5.000 a 5.0E+06 | Resolución: 1000 #/cm ³ | - | 100 – 260 VAC | - | - |
| OPUS | PN METER [28] ¹ | DC | - | - | - | - | - | - |
| TEXA | NP 01 [29] | DC | 5000 a 5.0E+06 | Relativo: +/- 25% Resolución: 1000 #/cm ³ | 23 – 200 | 220 – 240 VAC | 390 x 267.4 x 200 | - / 85% / 86 ... 106 / 1 Hz |
| TSI | 3795-HC [30] | CPC | 2000 a 1.0E+08 | +/- 10% | 23 – 1000 | 100 – 240 VAC | 13.1 / 260 x 330 x 570 | - / 75 – 106/ Fluido: Alcohol isopropílico |

¹ La información de OPUS PN Meter fue diligenciada a partir de la información directa entregada por el fabricante, la página WEB no cuenta con información de especificaciones técnicas a la fecha de consulta.

Hubo un equipo adicional que se utilizó en las pruebas, es un equipo de verificación CAPELEC PN CALIBRATOR, facilitado por CAPELEC. Este dispositivo permitió algunas mediciones exploratorias y comparativas adicionales, sin embargo, no se incluyen en los resultados del presente documento.

Las especificaciones del contador de partículas TSI del sistema de referencia, del clasificador de aerosoles de Dekati y del equipo de verificación de CAPELEC se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Especificaciones del contador de partículas de referencia y del clasificador de aerosoles

| MARCA | MODELO | TIPO | RANGO DE MEDICIÓN [# /cm ³] | ERROR | RANGO DE MEDICIÓN TAMAÑO [nm] |
|---------|-------------------|------|---|----------------------------------|-------------------------------|
| TSI | 3750 | CPC | Hasta 100.000 | ± 5% a 100.000 #/cm ³ | Desde 7 nm |
| DEKATI | ELPI+ (14 ch) | ELPI | 420 a 1,4 E+08 (varía según cada canal) | - | 6 a 10.000 nm |
| CAPELEC | PTI PN Calibrator | CPC | 0 a 10 ⁷ | - | - |

2.2 Pruebas en vehículos

En el ejercicio, también se realizaron mediciones independientes a vehículos de diferentes tecnologías tanto nuevos como en uso, para su ejecución se habilitó una línea de inspección individual con los equipos distribuidos de forma lineal y consecutiva, tal como se presenta en la Figura 3.

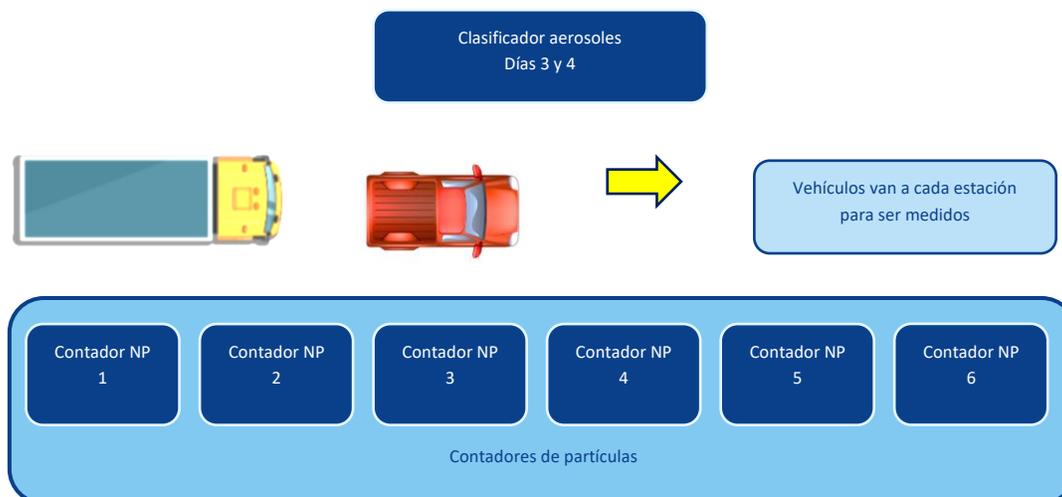


Figura 3. Esquema de las pruebas de medición en vehículos – Vista superior

Todos los vehículos medidos fueron de combustible diésel, de los cuales hay 2 camiones Euro VI nuevos, 2 camionetas Euro 6 nuevas, 3 buses Euro V con filtro de partículas de fábrica (Euro V+DPF) usados, una camioneta Euro 5+ DPF usada, 2 buses Euro V usados (sin DPF), y una camioneta Euro 4 nueva (sin DPF). Los vehículos medidos se describen con mayor detalle en la Tabla 7.

Tabla 7. Vehículos de prueba

| Marca | Línea | ¿DPF? | Estándar de emisión | Estado | Días de medición | Fotografía |
|---------------|---------------|-------|---------------------|-------------------------|------------------|---|
| Ssangyong | Rexton sports | Si | Euro 6 | Nuevo <100 km | 1, 2, 3, 4 |  |
| Volkswagen | Amarok | Si | Euro 5 + DPF | Usado <15000 km | 1 |  |
| Foton | Tunland | Si | Euro 6 | Nuevo <100 km | 1 |  |
| Volvo | B340M | Si | Euro V + DPF | Usado >300.000 km | 1 |  |
| Volvo | B340M | Si | Euro V + DPF | Usado >300.000 km | 2 |  |
| Volvo | B340M | Si | Euro V + DPF | Usado >300.000 km | 3 |  |
| Foton | Aumark FPR | Si | Euro VI | Nuevo <100 km | 3 |  |
| Volvo | B240R | No | Euro V | Usado >500.000 km | 4 |  |
| Mercedes Benz | Atego | No | Euro V | Usado >500.000 km | 3 |  |
| Chevrolet | NPR | Si | Euro VI | Nuevo <100 km | 3 |  |
| Chevrolet | Trailblazer | No | Euro 4 | Nuevo <100 km | 3 |  |
| Hino | 500 | No | Euro V | Nuevo <100 km | 4 |  |

El procedimiento de medición empleado para cada vehículo se describe en la Figura 4, el cual fue ajustado de la *Guía técnica para la Inspección Técnica Periódica (ITP) de vehículos provistos con filtros de partículas diésel basado en el conteo de partículas* (CALAC+, 2020):

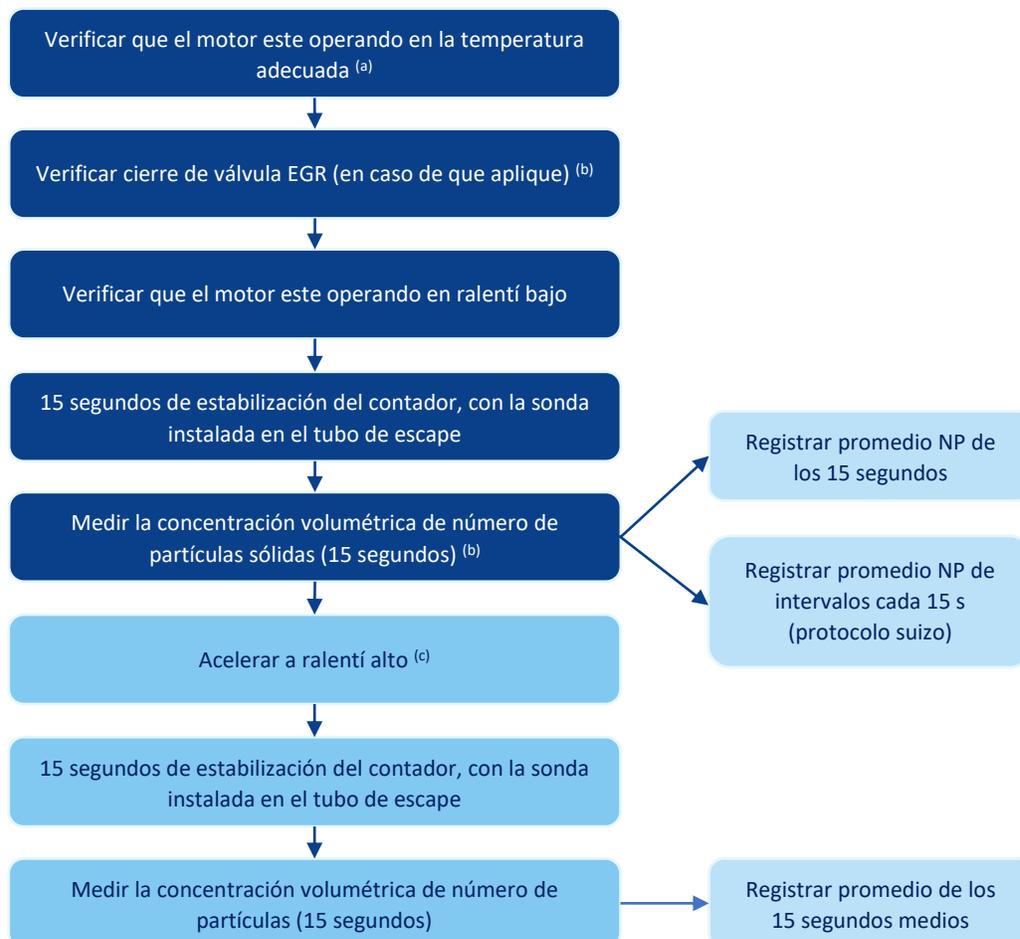


Figura 4. Esquema del procedimiento de prueba en vehículos

Particularidades sobre el procedimiento se describen en las siguientes notas:

(a) La temperatura se verificó mediante la visualización en el tablero de instrumentos del vehículo, no se utilizaron equipos externos. Además, en el caso de tener el vehículo apagado, el calentamiento se realizó a partir de vueltas en las inmediaciones del Centro de Revisiones Vehiculares.

(b) Es estado de apertura de la EGR no fue verificado durante la campaña de medición.

(c) Se adquirieron datos fuente cada segundo durante al menos un minuto para cada prueba por cada equipo, en la fase de procesamiento se realiza la división de los resultados de estabilización y de la muestra a ser promediada, así como en los resultados se muestra una comparación entre el protocolo suizo simplificado y el protocolo de países bajos.

(d) Se realizaron pruebas en ralentí alto solamente en algunos vehículos con algunos equipos de forma aleatoria.

2.3 Procesamiento de datos

El procedimiento para el procesamiento de datos de las pruebas de comparación entre los equipos contadores de partículas y el equipo de referencia, y las pruebas sobre vehículos se llevó a cabo de la siguiente manera:

1. *Diligenciamiento de bitácoras*

Durante la fase de mediciones, fueron llenadas manualmente bitácoras de seguimiento a las pruebas realizadas, con el fin de tener trazabilidad de las pruebas y los archivos fuente correspondientes. Hubo dos formatos de bitácora, unas se efectuaron por observadores externos de las pruebas, y las otras directamente por cada fabricante o representante de equipos. Las bitácoras relacionaron la siguiente información:

- Número de prueba
- Detalles de la prueba (Fecha / día / hora)
- Tipo de prueba (verificación baja/media/media alta/alta o prueba en vehículo)
- Identificación del vehículo (si aplica)
- Equipo de prueba
- Nombre de archivo fuente generado
- Resultado de prueba (Preliminar)
- Responsable del diligenciamiento
- Comentarios

2. *Revisión de Bitácoras*

Se realizó una digitalización y revisión minuciosa de todas las bitácoras correspondientes a los cuatro días de medición.

Durante esta revisión exhaustiva, se verificaron y analizaron detalladamente los registros anotados en las bitácoras, con el objetivo de garantizar la precisión y consistencia de la información registrada. Se puso atención particular en los detalles relacionados con la fecha y hora de cada medición, las condiciones durante las pruebas, los procedimientos específicos llevados a cabo, cualquier anomalía o incidencia registrada, y cualquier otra información relevante relacionada con el proceso de medición.

3. *Formato de archivos fuente*

En las pruebas en campo se generaron más de 400 archivos fuente; cada equipo generó archivos en distintos formatos, incluyendo CSV, TXT o PDF, como resultado de las mediciones realizadas durante las pruebas de verificación. Se llevó a cabo un análisis exhaustivo de integridad de datos para cada uno de estos archivos, considerando las diversas extensiones y formatos utilizados.

Este análisis consistió en verificar la coherencia y la integridad de los datos contenidos en cada archivo, asegurando que no hubiera errores de formato, pérdida de información o inconsistencias. Se examinaron los archivos CSV y TXT para garantizar que estuvieran estructurados correctamente y que los datos estuvieran separados y delimitados

adecuadamente. Además, se revisaron los archivos PDF para asegurar que la información estuviera legible y completa, y se tomaron medidas para convertir los datos en formatos más accesibles si fuera necesario.

4. Consolidación de pruebas de verificación y pruebas en vehículos

Las pruebas de verificación se consolidaron en base a la hora de medición y el tipo de prueba realizada, categorizándolas en bajas, medias, medias-altas y altas concentraciones de NP. En el caso de pruebas realizadas con vehículos, se llevó a cabo una consolidación adicional considerando el estándar de emisión del vehículo, si cuenta o no con DPF y el día específico de la medición.

De esta manera, se garantizó una comparación precisa entre los diferentes tipos de vehículos evaluados y se tuvo en cuenta cualquier variabilidad asociada con las condiciones de medición específicas para cada día.

5. Archivos de procesamiento

Los datos consolidados se introdujeron en archivos de procesamiento consolidados, donde se asignó una hoja específica para cada equipo. Cada hoja contiene las mediciones realizadas por un equipo particular durante el período de estudio. Posteriormente, se generó una hoja global en el archivo para la comparación entre equipos. Esta hoja global incluye una tabla que muestra las mediciones de todos los equipos de manera conjunta, lo que facilita la comparación directa entre ellos.

Esta estructura de archivo permite una organización clara y sistemática de los datos, facilitando su análisis y la identificación de posibles discrepancias o tendencias entre los diferentes equipos.

6. Nomenclatura

Se designaron nombres específicos para cada prueba con el fin de facilitar su identificación.

En el caso de las pruebas de verificación, se utilizan tres números separados por guiones bajos. El primer dígito indica el día en que se llevó a cabo la prueba, el segundo dígito corresponde a la jornada de medición, siendo 1 para la mañana y 2 para la tarde, y el último número indica el orden en el que se realizaron las pruebas. Por ejemplo, "3_2_6" representa la sexta prueba realizada durante la tarde del tercer día.

Para las pruebas realizadas con vehículos, se numeran según el orden de medición y se nombran utilizando la marca del vehículo seguida de la descripción de la prueba. Por ejemplo, "4. día 2 SSY_E6 Ralentí Alto" indica la prueba número cuatro realizada con un vehículo de la marca SSY durante el segundo día, donde se evaluó el ralentí alto.

7. Representación Gráfica

Se llevaron a cabo dos tipos de representaciones gráficas para comparar las mediciones entre los equipos y el equipo de verificación:

- Gráficos de series temporales, para visualizar la evolución de las mediciones a lo largo del tiempo. Estos gráficos permiten identificar patrones, tendencias y variaciones en las mediciones realizadas por cada equipo y compararlos con las mediciones del Equipo de verificación.
- Gráficos de dispersión, para comparar directamente las mediciones de cada equipo con las del Equipo de verificación. Estos gráficos proporcionan una representación visual de la relación entre las mediciones de los diferentes equipos y permiten identificar discrepancias en los datos generados por cada equipo.

8. Análisis de picos y delimitación del tamaño de archivos

Se realizó un análisis visual de picos para garantizar la coherencia de los datos recopilados durante las pruebas. Este análisis implicó la identificación y extracción de los picos relevantes para el análisis estadístico. Se estableció un límite máximo de 60 datos por equipo en cada prueba para mantener la consistencia en el análisis. Además, se aplicaron criterios de filtrado, eliminando los datos negativos y considerando únicamente las pruebas que contaban con más de 3 valores para su posterior análisis estadístico. Este enfoque aseguró la calidad y la fiabilidad de los datos utilizados en el análisis estadístico subsiguiente.

2.4 Análisis de resultados

a. Análisis en pruebas comparativas entre contadores de partículas y equipo de referencia

Para el análisis de resultados en las pruebas comparativas de cada contador de partículas y el sistema de referencia se utilizaron análisis gráficos, estadística descriptiva e inferencial, asegurando robustez y confiabilidad a los resultados, los análisis se describen a continuación:

1. Gráficos de Dispersión y Estadísticas Descriptivas

Se generaron gráficos de dispersión para comparar los resultados de cada uno de los equipos con el Equipo de verificación. Estos gráficos permitieron visualizar la relación entre las mediciones realizadas por cada equipo y las mediciones de referencia del Equipo de verificación. Además, se calcularon el coeficiente de determinación (R^2) y el coeficiente de correlación para cuantificar la fuerza y la dirección de la relación entre los conjuntos de datos.

Las estadísticas descriptivas se calcularon para resumir las características clave de los datos, como la media, la mediana, la desviación estándar y el rango intercuartílico. Además, se generaron diagramas de caja y bigotes para cada equipo, lo que permitió evaluar visualmente la concordancia entre las distribuciones de los datos de cada uno de los equipos.

Estas herramientas proporcionan una comprensión detallada de la precisión y la variabilidad de las mediciones realizadas por cada equipo en comparación con la referencia.

2. *Pruebas de Normalidad:*

Se realizaron pruebas de normalidad para verificar si los datos seguían una distribución normal. Para ello, se utilizaron gráficos Q-Q plot, que comparan los cuantiles observados de los datos con los cuantiles teóricos de una distribución normal. Además, se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk, que proporciona una medida de la desviación de los datos de la normalidad.

Estas pruebas fueron fundamentales para garantizar la validez de los supuestos requeridos por algunos métodos estadísticos paramétricos utilizados en la comparación entre muestras y para tomar decisiones informadas sobre el tipo de análisis estadístico adecuado a utilizar en el estudio.

3. *Prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis*

Se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para evaluar si existen diferencias significativas entre los equipos en términos de los resultados de las mediciones. Esta prueba es especialmente útil cuando los datos no cumplen con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas requeridos por las pruebas paramétricas. El análisis se centró en determinar si hay diferencias significativas entre los equipos en cuanto a sus mediciones.

4. *Prueba Dunn y Variaciones en el Nivel de Significancia*

Tras la realización de la prueba de Kruskal-Wallis, se llevó a cabo la prueba post hoc de Dunn para identificar qué equipos específicos difieren entre sí, en caso de que se encontraran diferencias significativas en la prueba global.

Además, se realizaron ajustes en los niveles de significancia para controlar el error tipo I debido a las múltiples comparaciones. En este sentido, se aplicó la corrección de Bonferroni. Los niveles de significancia considerados fueron 0.05, 0.01 y 0.001, lo que proporcionó un enfoque robusto para evaluar las diferencias significativas entre los equipos con un alto grado de confianza y controlando el riesgo de detectar falsos positivos debido a la realización de múltiples comparaciones.

5. *Comparación a distintas concentraciones*

Se realizaron análisis comparativos por los equipos considerando las diferentes concentraciones a las que fueron sometidos, categorizadas como bajas, medias, medias-altas y altas.

Este análisis permitió observar el comportamiento de los equipos en diferentes niveles de concentración. Se generaron gráficos para representar el comportamiento de las mediciones, contrastando el equipo de verificación con los demás equipos. Además, se consideró un rango de variabilidad de $\pm 30\%$ y $\pm 50\%$ con respecto al equipo de verificación para evaluar la precisión relativa de cada equipo en diferentes niveles de concentración.

6. *Comparación considerando el diámetro medio de generador de aerosoles*

Se llevó a cabo una comparación de las mediciones de verificación, entre los días que se logró validar la media de los tamaños del aerosol generado (días 3 y 4) con el Dekati ELPI+, y comparado con los días que no se realizó dicha validación. Esta comparación proporcionó información sobre la consistencia durante los dos periodos de tiempo en la medición de conteo de partículas.

7. *Análisis de Resultados y Conclusiones*

Se llevó a cabo un análisis detallado de los resultados obtenidos de todas las pruebas estadísticas realizadas. Se identificaron patrones, tendencias o discrepancias significativas entre los equipos de medición y el Equipo de verificación. Finalmente, se redactaron conclusiones basadas en estos análisis, destacando las implicaciones para la precisión y fiabilidad de los datos obtenidos por los equipos de medición particulares en comparación con el estándar de verificación.

b. Análisis de pruebas en vehículos

1. *Análisis por equipo en función del tiempo*

Para cada equipo se llevaron a cabo análisis comparativos para observar el comportamiento de los vehículos con DPF y sin DPF.

Se generaron gráficos que representan la evolución de las mediciones a lo largo del tiempo para cada equipo, permitiendo una evaluación detallada de cómo cada equipo registró las emisiones de los diferentes tipos de vehículos, se debe tener en cuenta que los datos inferiores al límite de detección de los contadores de partículas también fueron considerados.

2. *Comparación de pruebas en ralentí bajo y alto*

Se realizó una comparación de las mediciones realizadas por los equipos en ralentí bajo y alto, a cada uno de los vehículos evaluados durante el día 2 del estudio. Se analizaron y contrastaron los datos recopilados por cada equipo para identificar posibles disparidades en la precisión y consistencia de las mediciones entre ellos.

3. *Comparación de equipos según la tecnología del vehículo*

Se efectuaron análisis comparativos adicionales para observar el comportamiento de los vehículos con DPF y vehículos sin DPF para cada equipo, considerando también la tecnología específica del vehículo. Se generaron gráficos que muestran las mediciones de emisiones para cada tipo de vehículo, clasificadas por la presencia o ausencia de DPF, y además se tomaron en cuenta las diferencias en los estándares de emisión de los vehículos. Estos análisis proporcionaron información adicional sobre cómo cada equipo respondió a las variaciones en la tecnología de los vehículos evaluados.

c. Comparación de procedimientos de prueba

Se realizó el contraste de los procedimientos de prueba de conteo de partículas de Suiza y de Países Bajos para uno de los vehículos medidos, con datos de pruebas de ralentí alto y bajo.

- Procedimiento Países Bajos: Como se mencionó en el estado del arte, este protocolo considera un tiempo de estabilización inicial de 15 segundos, posteriormente, se lleva a cabo la medición continua durante los siguientes 15 segundos, la cual se promedia para obtener el resultado final.
- Protocolo Suiza simplificado: Considera un tiempo de estabilización inicial de 15 segundos. Posteriormente, se realizan mediciones en tres intervalos de 5 segundos cada uno. Después de cada intervalo de medición de 5 segundos, se espera un período adicional de 5 segundos antes de tomar la siguiente medición. Finalmente, se promedian los resultados de los tres intervalos de 5 segundos para obtener un resultado final.

Una vez procesados los resultados, se realizaron pruebas de normalidad para determinar si los datos seguían una distribución normal. Con base en los resultados obtenidos, se aplicó la prueba T-Student o la prueba de Kruskal-Wallis para analizar las posibles disparidades estadísticas en la metodología de análisis entre los dos países y su eventual influencia en los resultados de medición generados por los equipos particulares en diversas condiciones de funcionamiento del vehículo.

3. RESULTADOS DE LA VALIDACIÓN DE CONTADORES DE PARTÍCULAS

Los resultados mostraron que las verificaciones a bajas concentraciones son similares para los 5 equipos analizados en comparación al equipo de referencia, con diferencias aceptables que oscilan entre un 20 y 60% (aproximadamente) del comportamiento del patrón. En altas concentraciones hubo mayores diferencias entre algunos equipos y el equipo de referencia, considerando datos 2 veces más altos o por el contrario 1/3 más bajos en comparación a la referencia.

3.1 Comparación global con sistema de verificación

Se realizaron un total de 33 pruebas comparativas del sistema de verificación y los cinco equipos. se muestra gráficamente los resultados globales en la Figura 5, abarcando diferentes concentraciones del generador de aerosoles: Bajas (recuadro verde), Medias (recuadro amarillo), Media-altas (recuadro azul) y Altas (recuadro rojo).

La línea intermitente vertical y horizontal roja corresponden al cruce de una concentración de 250.000 \#/cm^3 , la línea diagonal azul considera los valores del equipo de verificación y la distancia de cada punto de cada equipo con respecto a dicha línea representa la diferencia absoluta, que a su vez se acotan de forma indicativa en dos rangos: de 25% y 50%. Es importante resaltar que en diferentes regulaciones el error máximo permisible puede ser relativo o absoluto, el que sea más grande.

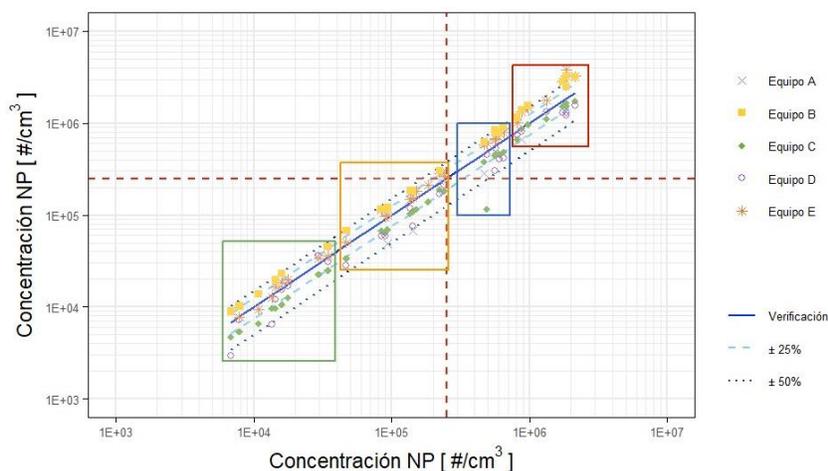


Figura 5. Comparación global entre contadores y sistema de referencia

Los resultados muestran que el Equipo A se mantiene dentro del rango de $\pm 25\%$ para todas las concentraciones de referencia, indicando una alta precisión en comparación con el equipo de verificación. El Equipo B está dentro del rango de $\pm 25\%$ para las concentraciones de referencia baja, media y media-alta, pero para la concentración de referencia alta, sus resultados están ligeramente fuera de este rango, lo que sugiere una sobre estimación a altas concentraciones y una precisión algo menor en estas condiciones. El Equipo C alcanza el rango de $\pm 25\%$ para las concentraciones de referencia baja y media, pero para las concentraciones de referencia media-alta y alta, se extiende al rango de $\pm 50\%$, indicando una precisión reducida en estas situaciones. Similarmente, el Equipo D muestra resultados dentro del rango de $\pm 25\%$ para las concentraciones de referencia baja y media, y dentro del rango de $\pm 50\%$ para las concentraciones de referencia media-alta y alta, señalando una precisión inferior en estas últimas. Por último, el Equipo E se encuentra dentro del rango de $\pm 25\%$ para las concentraciones de referencia baja, media y media-altas, mientras que, para las concentraciones de referencia alta, está dentro del rango de $\pm 50\%$, mostrando la menor precisión.

En este contexto, el Equipo A ilustra los mejores resultados al mantenerse dentro del rango de $\pm 25\%$ para todas las concentraciones de referencia. Los equipos B, y E también muestran resultados aceptables, aunque con una precisión ligeramente menor en las concentraciones de referencia media-alta y alta. Los equipos C y D, en contraste, muestran la menor precisión al extenderse al rango de $\pm 50\%$ para las concentraciones de referencia media, media-alta y alta. Se resalta que la eficiencia en el conteo de partículas depende del tipo de aerosol, el tamaño y la morfología. Estudios han observado diferencias en las eficiencias de conteo al utilizar partículas de hollín o de sal, de acuerdo con la guía de la comisión europea, esas diferencias pueden ser ajustadas por un factor de corrección apropiado calculado por los institutos de metrología nacionales, incluyendo las diferencias entre aerosoles utilizados [31].

Información más detallada de los resultados gráficos y de la estadística descriptiva para cada prueba comparativa según cada equipo y el equipo de referencia se presenta en el Anexo 1, mientras que los resultados de las pruebas estadísticas inferenciales se presentan en el Anexo 2.

La Tabla 8 muestra el promedio de los resultados de las correlaciones por equipo y las concentraciones de NP del generador de aerosoles evaluadas (Baja, Media, Media-alta y Altas). Estas correlaciones se calcularon entre los resultados de cada equipo y los resultados del equipo de verificación.

Tabla 8. Promedio de las correlaciones por equipo según concentración de verificación

| Equipo | Promedio correlación global | Concentración Baja | Concentración Media | Concentración Media-Alta | Concentración Alta |
|--------------|-----------------------------|--------------------|---------------------|--------------------------|--------------------|
| Verificación | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Equipo A | 0,7833 | 0,1200 | 0,9650 | 0,9250 | 0,8000 |
| Equipo B | 0,8127 | 0,5525 | 0,8150 | 0,9560 | 0,8571 |
| Equipo C | 0,6256 | 0,5217 | 0,6333 | 0,7100 | 0,6333 |
| Equipo D | 0,5983 | 0,5967 | 0,7525 | 0,6833 | 0,1650 |
| Equipo E | 0,6925 | 0,6750 | 0,6389 | 0,7171 | 0,7488 |

El análisis revela distintos patrones de correlación según las diferentes concentraciones evaluadas. Algunos equipos como el A y B presentaron un mejor comportamiento para concentraciones medias y superiores, diferente al equipo D que tuvo mejores comportamientos a concentraciones cercanas o inferiores a media-altas, por otro lado, los equipos C y E tuvieron un comportamiento constante de las correlaciones para todo el espectro de concentraciones.

3.2 Comparación entre equipo de verificación y clasificador de aerosoles ELPI +

Se realizaron mediciones adicionales en las mismas jornadas de verificación de los días 3 y 4, conectando de forma adicional el Equipo ELPI+ al sistema de verificación para su comparación. Los resultados muestran una alta correlación entre ambos equipos, como se detalla en el Anexo 5 y se ilustra en la Figura 6, allí se comparan los promedios de concentración de NP medido con los dos equipos. En todas las concentraciones medidas (Baja, Media, Media-alta y Alta), el equipo ELPI+ se mantuvo dentro del rango de $\pm 25\%$ en comparación con el equipo de verificación, además, los resultados muestran una correlación alta entre los dos equipos, con un coeficiente de correlación global de 0.9956.

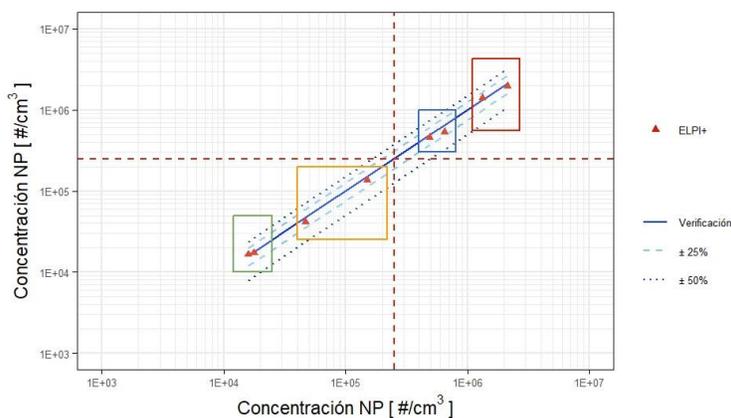


Figura 6. Comparación global a distintas concentraciones: Equipo ELPI+ vs Equipo de verificación

4. RESULTADOS DE PRUEBAS EN VEHÍCULOS

4.1 Comparación global

Los resultados muestran que las concentraciones de partículas en vehículos sin DPF están por encima de $1.0E+06$ $\#/cm^3$, consistente para la tecnología, mientras que para el caso de vehículos equipados con DPF, los valores son inferiores a $1.0E+5$ $\#/cm^3$, a excepción de las mediciones en uno de los vehículos, además en algunos casos, las concentraciones estuvieron por debajo del límite inferior de detección de algunos contadores de partículas: 1000 $\#/cm^3$ o 5.000 $\#/cm^3$.

Además, los resultados presentan que los vehículos con DPF emiten entre 2 y tres órdenes de magnitud menos concentración de partículas que vehículos sin DPF, y para todos los casos, están por debajo del umbral de $2.5E+05$ $\#/cm^3$.

En la Figura 3 se detallan los resultados promedio de la concentración de partículas por cm^3 medida por los cinco equipos en los vehículos, discriminados por la presencia o ausencia de filtro de partículas diésel (DPF).

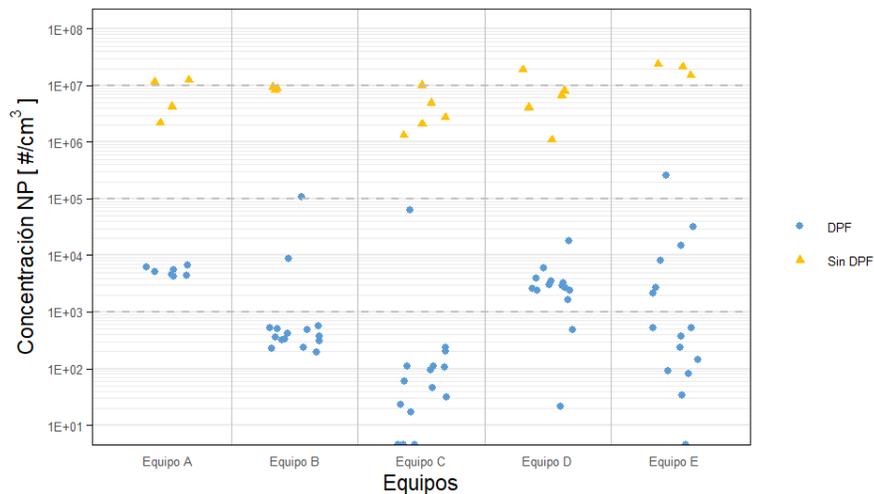


Figura 7. Comparación global de los equipos considerando vehículos con y sin DPF

En el análisis de los resultados se puede evidenciar que algunos equipos muestran datos menos dispersos, por ejemplo, las concentraciones obtenidas por el equipo A para vehículos con y sin DPF en comparación con las del equipo E. En otro punto, al comparar los resultados obtenidos en los vehículos y en los resultados de las verificaciones hay consistencias por ejemplo en el equipo C, donde se mostraba una subestimación de las concentraciones medidas (ver Figura 6), y en este caso se evidencia un comportamiento similar en la medición a vehículos con y sin DPF.

El análisis se extendió considerando cuatro categorías basadas en la presencia o ausencia de DPF y el estado del vehículo (nuevo o usado), como se muestra en la Figura 8, donde no hay una diferenciación clara entre vehículos nuevos o usados, pero sí hay entre aquellos con y sin DPF.

Aquí se resalta que 3 de los 4 vehículos con DPF usados medidos tienen más de 250000 km en operación, evidenciando un buen estado de mantenimiento de los DPF.

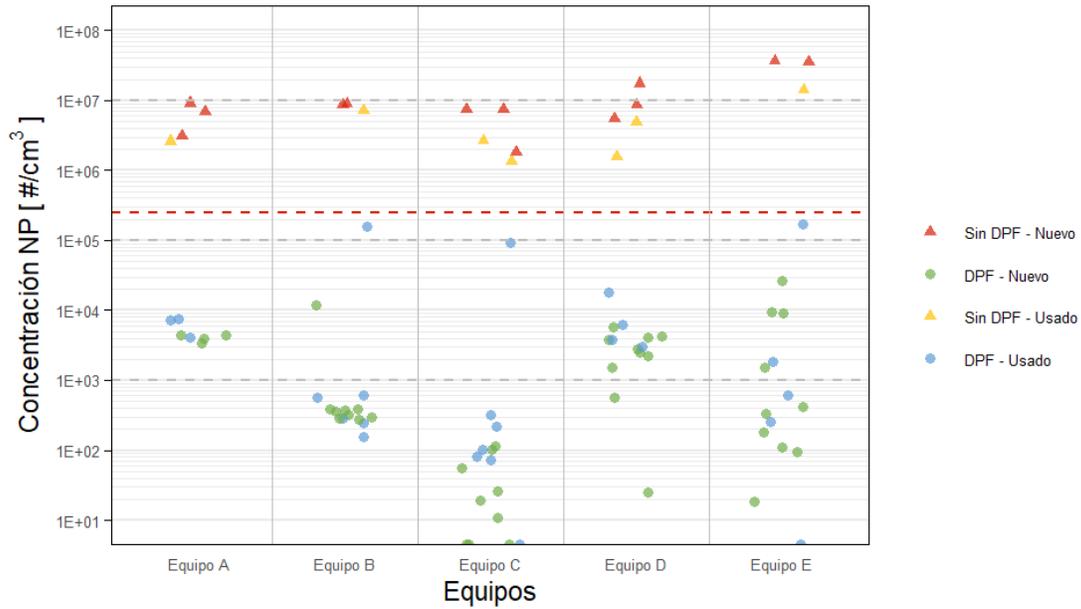


Figura 8. Concentración de NP para vehículos con y sin DPF nuevos o usados

Comparando nuevamente estos resultados con el umbral de $2.5E+05 \text{ #/ cm}^3$ (línea punteada roja), se observa que los vehículos con DPF, tanto nuevos como usados, están por debajo de este umbral en todas las mediciones realizadas por los diferentes equipos, mientras que aquellos sin DPF están ampliamente por encima de este valor.

Mayor detalle del comportamiento de las concentraciones de conteo de partículas para los vehículos según las mediciones por cada equipo se presentan en el Anexo 3.

4.2 Comparación de equipos según estándar de emisión

El comportamiento de las concentraciones de NP según el estándar de emisión de los vehículos, con y sin DPF, para cada uno de los equipos se presentan en la Figura 9.

Esta forma de visualizar los datos permite evidenciar que para todos los equipos hay una diferenciación en las concentraciones medidas a vehículos con y sin DPF, además se muestra que los resultados para vehículos con DPF están en el mismo orden de magnitud independientemente del estándar de emisión, así mismo se evidencia en el caso de vehículos sin DPF.

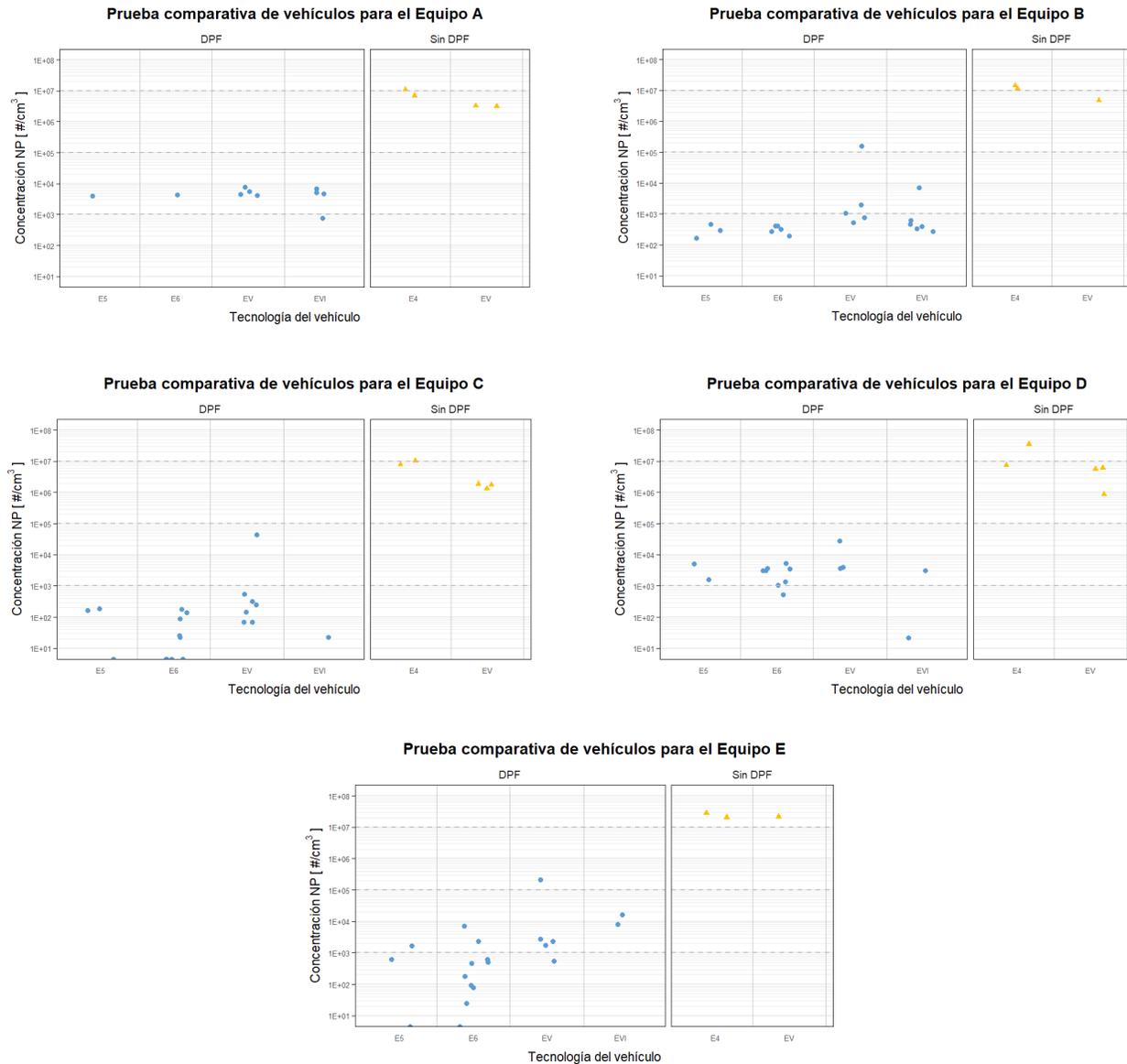


Figura 9. Concentraciones de vehículos según estándares de emisión para cada equipo.

5. RESULTADOS CONSIDERANDO PROCEDIMIENTOS

Teniendo en cuenta que cada una de las mediciones de conteo de partículas fueron realizadas en un intervalo de 60s aproximadamente, se pudo realizar la comparación entre los resultados bajo el método de Suiza simplificado y el método de Países bajos. En la Tabla 3 del numeral III del Capítulo Numeral 1.2, se detallan ambos procedimientos, los cuales son realizados en ralentí con diferencias en los datos promediados. El protocolo de Países Bajos se caracteriza por un periodo de estabilización de 15 segundos seguido de 15 segundos de medición. El valor final de NP se obtiene mediante el promedio de los datos registrados durante la fase de medición. En contraste, el protocolo de Suiza simplificado presenta un periodo de estabilización de 15 segundos seguido de la medición en tres bloques de 5 segundos cada uno. Para el cálculo del valor final de NP, se promedian los datos de los tres bloques, sin considerar los 5 segundos de intervalo entre ellos.

En la Tabla 9 se presenta una comparación de los resultados obtenidos en el ejercicio, considerando los dos protocolos de medición aplicado a los cinco equipos en mediciones a vehículos a ralentí bajo. Para ello, se realizaron pruebas de normalidad, y al ser aprobada la hipótesis nula, se realiza la prueba paramétrica T-Student con el objetivo de evaluar las diferencias entre los protocolos.

Tabla 9. Comparación de protocolos de medición de NP

| Equipo | Protocolo | Media | Diferencia [%] | Valor p | Normalidad | Valor p | T-Student |
|-----------------|--------------|---------|----------------|---------|------------|---------|-----------|
| Equipo A | Suiza | - | - | - | - | - | - |
| | Países Bajos | - | | - | - | | |
| Equipo B | Suiza | 390.00 | 8.98 | 0.8740 | Ho | 0.583 | Ho |
| | Países Bajos | 426.67 | | 0.3431 | Ho | | |
| Equipo C | Suiza | 97.60 | 0.54 | 11.1245 | Ho | 0.991 | Ho |
| | Holanda | 98.13 | | 37.5675 | Ho | | |
| Equipo D | Suiza | 2841.80 | 2.34 | 0.6270 | Ho | 0.89 | Ho |
| | Holanda | 2909.00 | | 0.5482 | Ho | | |
| Equipo E | Suiza | 589.60 | 2.45 | 14.6462 | Ho | 0.967 | Ho |
| | Holanda | 604.20 | | 24.0103 | Ho | | |

Con base en los resultados, se observa que el protocolo de Suiza presenta valores de medición de NP ligeramente menores que el protocolo de Holanda. Esta diferencia se observa en todos los equipos. No obstante, al realizar la prueba T-Student, se determina que las diferencias no son estadísticamente significativas. Esto significa que no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula, que establece que no hay diferencia real entre los protocolos. Asimismo, al realizar la prueba de normalidad, se evidencia que los datos de todos los equipos siguen una distribución normal.

En este contexto, se concluye que no hay evidencia suficiente para determinar que un protocolo de medición de NP sea diferente al otro. Tanto el protocolo de Países Bajos como el protocolo de Suiza presentan resultados comparables en cuanto a la medición de NP en vehículos a ralentí bajo.

Mayor información sobre los resultados bajo pruebas de ralentí alto y bajo desarrolladas durante el día 2 se detallan en el Anexo 4.

6. CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES

Hubo un buen comportamiento general de cada contador de partículas en comparación al equipo de verificación utilizado. Para el caso de vehículos nuevos y usados con estándares Euro V+DPF, 5+DPF o Euro VI/6, los 5 contadores de partículas midieron concentraciones inferiores a $1.0E+04$ $\#/cm^3$, en algunos casos inferiores a $1.0E+03$ $\#/cm^3$, y solamente un vehículo con DPF estuvo por encima de 100.000 $\#/cm^3$, siendo consistentes con la tecnología medida. Para el caso de vehículos con estándares Euro V/5 o Euro 4 sin DPF, las concentraciones registradas por la totalidad de los equipos fueron mayores o cercanas a $1.0E+06$ $\#/cm^3$ siendo consistente con las tecnologías correspondientes. Todos los equipos utilizados en el estudio cuentan con certificación de NMI, METAS y/o PTB.

Con respecto a la incidencia de la altura de Bogotá (2.600 m.s.n.m.), en general se constató que no se veía una incidencia directa en los resultados, sin embargo, no se descartó realizar más pruebas en un futuro para validar específicamente la incidencia de este parámetro.

Los resultados obtenidos bajo los métodos de Suiza simplificado y de Países Bajos fueron estadísticamente similares. Todas las pruebas fueron realizadas a velocidad de motor constante y con una duración menor a 60 s, por lo cual el método alemán no fue analizado.

Es recomendable incluir un esquema de verificación de concentración de partículas sólidas para conocer el comportamiento de los equipos a lo largo del tiempo. Se deben tener en cuenta la definición de parámetros como los tamaños de partículas, la eficiencia en el conteo para cada uno de los tamaños, el tipo de aerosol, las concentraciones, entre otros, además, requerimientos técnicos de cada contador de NP (por ejemplo, flujo de la muestra, tipo de acople en la sonda, voltaje de alimentación, etc.) deben ser considerados.

Se realizó énfasis por parte de los fabricantes, sobre la importancia de definir el tipo de aerosol de verificación y el tamaño de partícula media, además de llevar a cabo mediciones periódicas de verificación del cero para garantizar un uso apropiado del equipo cuando se miden vehículos.

Estos hallazgos subrayan la importancia del uso de tecnologías más avanzadas, como el DPF, en la reducción de emisiones de partículas. Los vehículos Euro VI equipados con DPF muestran una notable eficacia en la mitigación de la contaminación atmosférica, lo que resalta la necesidad de promover la adopción de estas tecnologías más limpias en el parque vehicular para mejorar la calidad del aire urbano.

7. AGRADECIMIENTOS

Desde el programa CALAC+ damos un especial agradecimiento a nuestros socios y a todas las instituciones que participaron en el ejercicio de evaluación de contadores de partículas para emisiones vehiculares.

| | |
|---|---|
| Instituciones gubernamentales | <ul style="list-style-type: none">- Ministerio de Medio Ambiente de Chile (Socio del programa en Chile)- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Colombia – Dirección de Asuntos Ambientales Sectorial y Urbano. (Socio del programa en Colombia)- Secretaría Distrital de Ambiente - Subdirección de calidad del aire, auditiva y visual (Socio del programa en Colombia)- Área Metropolitana del Valle de Aburrá- CAR Cundinamarca- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM- Transmilenio- Ecopetrol- Organismo Nacional de Acreditación de Colombia - ONAC |
| Fabricantes de equipos | <ul style="list-style-type: none">- 3DATX (USA)- AVL (Austria)- CAPELEC (Francia)- TEXA (Italia)- TSI (USA)- OPUS (USA) |
| Representantes locales de fabricantes | <ul style="list-style-type: none">- Gesoltec- Intecon inc.- Purexhaust- Solumek |
| Empresas que apoyaron con vehículos de prueba | <ul style="list-style-type: none">- Corbeta S.A.<ul style="list-style-type: none">o Camioneta Fotón BJ2037Y3MAV-6D Euro 6o Camión Fotón Euro VI BJ1078VEJEA-F3- Ssangyong Motor Colombia S.A.<ul style="list-style-type: none">o Camioneta Ssangyong Rexton Sports.- General Motors Colmotores S.A.<ul style="list-style-type: none">o Camión Chevrolet NPR Euro VI.o Camioneta Chevrolet Trailblazer Euro 4. General Motors Colmotores S.A.- Hino Motors Manufacturing Colombia S.A.S<ul style="list-style-type: none">o Hino FC9J Euro V- Porsche Colombia S.A.S.<ul style="list-style-type: none">o Volkswagen Amarok Euro 5+DPF- Transmilenio<ul style="list-style-type: none">o 4 buses Euro V+DPFo 2 buses Euro V |
| Universidades | <ul style="list-style-type: none">- Universidad de Antioquia, Departamento de Ingeniería Mecánica- Universidad de la Sabana, Departamento de Ingeniería Mecánica |
| Comisión Europea | <ul style="list-style-type: none">- Centro Común de Investigación (JRC) – Revisión por pares |

8. REFERENCIAS

- [1] S. Vardoulakis, X. Phoon y C. Ochieng, «Chapter 5. Health effects of Air Pollutants,» de *Human exposure to pollutants via dermal absorption and inhalation.*, vol. 17, Springer, 2010.
- [2] R. Baughman y M. Pirozynski, «Chapter 10 - Health effects of nanoparticles (inhalation) from medical point of view/type of diseases,» de *Nanoparticles in Medicine and Environment*, Springer, 2010, pp. 187-202.
- [3] Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer - IARC, «Gases de escape de los motores diésel son carcinogénicos,» OMS, Nota de prensa N° 213, Lyon, 2012.
- [4] C. Myung, A. Ko y S. Park, «Review on characterization of nano-particle emissions and PM morphology from internal combustion engines: Part 1,» *International Journal of Automotive Technology*, vol. 15, nº 2, pp. 203-218, 2014.
- [5] C. Myung, J. Kim, S. Kwon, K. Choi, A. Ko y S. Park, «Nano-particle emission characteristics of european and worldwide harmonized test cycles for heavy-duty diesel engines,» *International Journal of Automotive Technology*, vol. 12, nº 3, pp. 331-337, 2011.
- [6] C. Gruening, P. Bonnel, M. Clairotte, C. Ferrarese, J. Franzetti, R. Loos, D. Manara, A. Melas, M. Tutuianu, V. Valverde Morales, M. Carriero, M. Otura Garcia, G. Martini y A. Krasenbrink, «European market surveillance of motor vehicles - 2022 Emissions Dataset,» European Commission, Joint Research Centre (JRC), 2023.
- [7] R. Gioria, T. Selleri, B. Giechaskiel, J. Franzetti, C. Ferrarese, A. Melas, F. Forloni, R. Suarez-Bertoa y A. Perujo, «Regulated and unregulated emissions from Euro VI Diesel and CNG heavy-duty vehicles,» *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 134, nº 104349, 2024.
- [8] A. Melas, T. Selleri, R. Suarez-Bertoa y B. Giechaskiel, «Evaluation of Measurement Procedures for Solid Particle Number (SPN) Measurements during the Periodic Technical Inspection (PTI) of Vehicles,» *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 19, nº 7602, 2022.
- [9] INB - Interdisziplinärer Normenbereich, Schweizer Norm SN 277206:2014 en. Internal Combustion Engines - Exhaust Gas After-Treatment - Particle Filter System - Testing Method, Winterthur: Swiss Association for Standardisation - SNV, 2014.
- [10] Eidgenössische Justiz- und Polizeidepartement (EJPD), Verordnung des EJPD über Abgasmessmittel für Verbrennungsmotoren (VAMV), 2021.

- [11] Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni (DATEC), «Ordinanza del DATEC sulla manutenzione e il controllo successivo degli autoveicoli per quanto concerne le emissioni dei gas di scarico e di fumo,» Piattaforma di pubblicazione del diritto federale (Versione in italiano), 2023.
- [12] Confederazione Svizzera, Ordinanza sugli strumenti di misurazione (OStrM), 2016.
- [13] Amtsblatt des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur der Bundesrepublik Deutschland, Richtlinie für die Durchführung der Untersuchung der Abgase von Kraftfahrzeugen nach Nummer 6.8.2 der Anlage VIIIa StVZO (AU-Richtlinie), Dortmund, Germany: Verkehrsblatt - Dokument Nr. B 3623, 2022.
- [14] PTB. Physikalisch-Technische Bundesanstalt, PTB-A 12.16. PTB Anforderungen 12.16. Partikelzähler, Braunschweig and Berlin, 2021.
- [15] Belgisch Staatsblad, Belgisch Staatsblad 192e JAARGANG, Brussel, Belgium, 2022, pp. 24220-24223, 24255-24260.
- [16] Mobiliteit en Openbare Werken - Vlaanderen, Handboek, Periodieke Technische Controle (M, N, O), vol. Versie 5.0, Vlaanderen.
- [17] NMI - National Metrological Institute, Instruments for measuring vehicle exhaust particulate number emissions Part 1: Metrological and technical requirements (Proposal), Dutchland, 2019.
- [18] NMI. National Metrological Institute, Instruments for measuring vehicle exhaust particulate number emissions. Part 2 - Metrological controls and performance tests, Dutchland, 2019.
- [19] Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, Regulation of the State Secretary for Infrastructure and Water Management, of 12 January 2021 No. IENW / BSK-2020/125046, amending the Vehicle Regulation for the introduction of the PTI particulate filter check with particle counter..
- [20] European Commission, COMMISSION RECOMMENDATION of 20.3.2023 on particle number measurement for the periodic technical inspection of vehicles equipped with compression ignition engines, Brussels, 2023.
- [21] VERT Association, Technische Anleitung TA-024/21. PTI by Particle Count PN at Low Idle. VERT recommended procedures and instruments, Niederweningen, Switzerland: VERT c/o JCA Treuhand AG, 2021.

- [22] B. Giechaskiel, T. Lahde, R. Suarez-Bertho, M. Clairotte, T. Grigoratos, A. Zardini, A. Perujo y G. Martini, «Particle number measurements in the European legislation and future JRC activities,» *Combustion engines*, vol. 174, nº (3), pp. 3-16, 2018.
- [23] K. Vasilatou, C. Wälchli, K. Auderset, H. Burtscher, T. Hammer, B. Giechaskiel y A. Melas, «Effects of the test aerosol on the performance of periodic technical inspection particle counters,» *Journal of Aerosol Science*, vol. 172, nº 103182, 2023.
- [24] 3DATX, «Brochure of 3DATX parSYNC Flex R-28,» 2024. [En línea]. Available: https://3datx.com/wp-content/uploads/3DATX_parSYNC_FLEX_brochure_US_09-01-23.pdf.
- [25] 3DATX, «Brochure of 3DATX parSYNC Flex PNC,» [En línea]. Available: https://3datx.com/wp-content/uploads/3DATX_parSYNC_FLEX-PNC_brochure_tagline_240207.pdf. [Último acceso: 04 2024].
- [26] AVL DiTEST, «AVL DiTEST Counter (Website),» 2024. [En línea]. Available: <https://www.avlditest.com/en/counter.html>.
- [27] CAPELEC, «Particle counter CAP3070 (Website),» 2024. [En línea]. Available: <https://www.capelec.com/en/equipements/emission-testers/cap3070>.
- [28] Opus Inspection, «OPUS PN Meter,» 2024. [En línea]. Available: <https://www.opus.global/vehicle-inspection/pn-meter/>.
- [29] TEXA, «NP 01. Instruments for measuring vehicle exhaust particulate number emissions (Flyer),» 2024. [En línea]. Available: https://www.texa.com/wp-content/uploads/2022/02/Analizzatore_particolato_en-GB_V3_DEF.pdf.
- [30] TSI Incorporated, «TSI Particle Technology. Particle instruments (Catalog),» 2024. [En línea]. Available: https://tsi.com/getmedia/b35e42d2-5045-47b1-9522-c0b094d85dbb/Particle_Catalog_Web?ext=.pdf.
- [31] A. Melas, K. Vasilatou, R. Suarez-Bertho y B. Giechaskiel, «Laboratory measurements with solid particle number instruments designed for periodic technical inspection (PTI) of vehicles,» *Measurement*, vol. 215, nº 112839, 2023.

ANEXOS

Anexo 1. Comparación entre equipos y sistema de referencia

En el Anexo 1, se presentan detalles del análisis comparativo entre equipos contadores de partículas y el equipo de referencia para cada una de las pruebas realizadas. Este análisis se centra en un análisis estadístico descriptivo e inferencial.

Análisis de pruebas día 1 – Comparaciones equipos y sistema de referencia

Tabla A-1. Distribución de los datos para la Prueba 1_1_1

| Prueba 1_1_1 | | |
|--------------|------------|----------------------------|
| Eq. | Histograma | Diagrama Cuantil - Cuantil |
| Verificación | | |
| A | No aplica | No aplica |
| B | | |
| C | | |
| D | No aplica | No aplica |

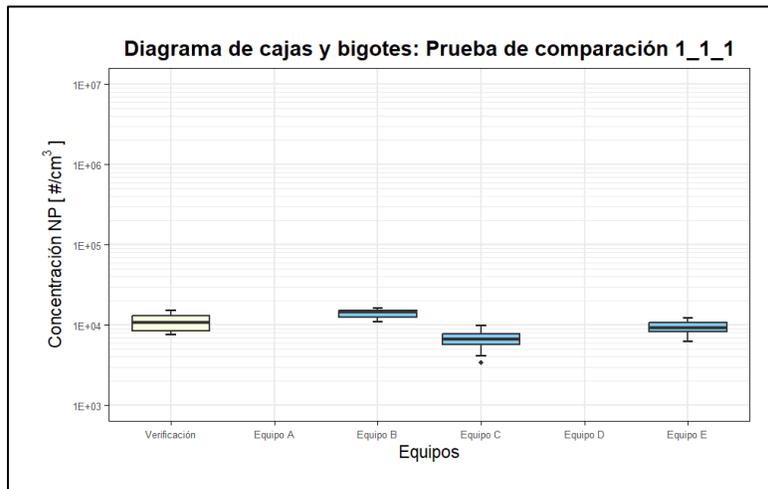
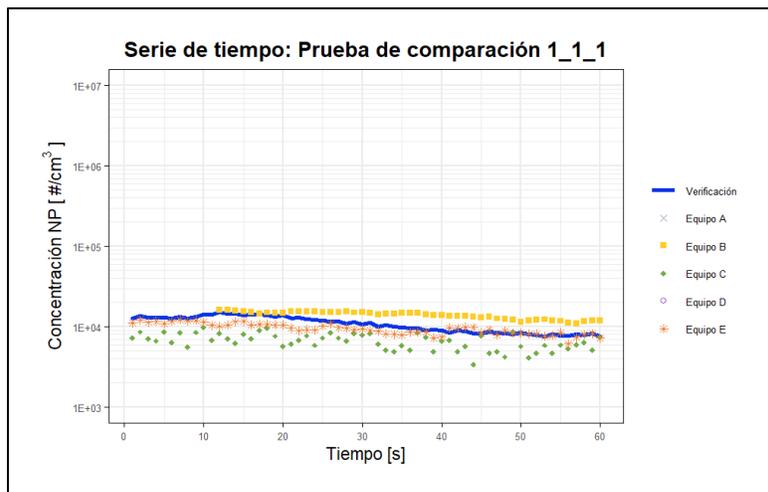
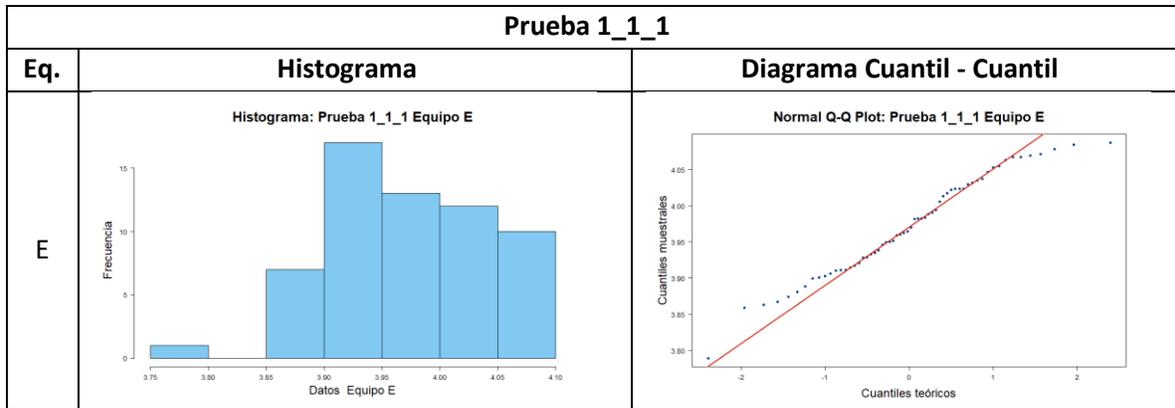


Tabla A-2. Medidas estadísticas descriptivas para la prueba 1_1_1

| Parámetros | Verificación | Equipo A | Equipo B | Equipo C | Equipo D | Equipo E |
|------------|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Min | 7618 | - | 11000 | 3365 | - | 6156 |
| Q1 | 8442 | - | 12350 | 5636 | - | 8230 |

| | | | | | | |
|-------------|-------|---|---------|---------|---|---------|
| Mediana | 10799 | - | 14600 | 6628 | - | 9274 |
| Q3 | 13101 | - | 15150 | 7821 | - | 10669 |
| Máx | 15304 | - | 16100 | 9742 | - | 12216 |
| Media | 10883 | - | 13910 | 6641 | - | 9482 |
| σ | 2415 | - | 1485 | 1469 | - | 1480 |
| Coef. R^2 | 1 | - | 0.8934 | 0.3313 | - | 0.6577 |
| Coef. Corr | 1 | - | 0.85336 | 0.57556 | - | 0.81101 |

* σ Desviación estándar

El análisis comparativo de las concentraciones de partículas entre tres equipos de interés y un Equipo de Verificación durante la prueba de verificación a concentraciones bajas (1_1_1) revela diferencias sustanciales en los resultados. A continuación, se detallan los hallazgos encontrados:

El análisis de los datos revela diferencias significativas en las medidas de tendencia central y la distribución entre el Equipo de Verificación y los diferentes equipos. El Equipo de Verificación presenta una mediana de 10799 y una media de 10883, indicando una distribución equilibrada en torno a estos valores centrales. En comparación, el Equipo B muestra una mediana de 14600 y una media de 13910, lo que sugiere una tendencia hacia valores más altos en comparación con el Equipo de Verificación. El Equipo C, por su parte, tiene una mediana de 6628 y una media de 6641, mientras que el Equipo E presenta una mediana de 9274 y una media de 9482, indicando también una tendencia hacia valores superiores en relación con el Equipo de Verificación.

En cuanto a la desviación estándar, se observa que el Equipo de Verificación tiene una desviación estándar de 2415, lo que indica una mayor dispersión en sus datos en comparación con los otros equipos. El Equipo B, con una desviación estándar de 1485, muestra una menor dispersión, reflejando una mayor consistencia en sus valores. El Equipo C y el Equipo E presentan desviaciones estándar de 1469 y 1480, respectivamente, indicando una variabilidad similar y relativamente baja en sus datos en comparación con el Equipo de Verificación. Esto sugiere que, mientras que el Equipo de Verificación tiene una mayor dispersión en sus datos, los otros equipos mantienen una variabilidad más contenida.

El análisis de los coeficientes de determinación (R^2) y de correlación muestra diferencias significativas en la relación entre los equipos. El Equipo B tiene un coeficiente R^2 de 0.8934 y un coeficiente de correlación de 0.85336, lo que sugiere una alta correlación y una buena capacidad explicativa de los datos, aunque con una ligera disminución en comparación con el Equipo de Verificación. Por otro lado, el Equipo C muestra un coeficiente R^2 de 0.3313 y un coeficiente de correlación de 0.57556, reflejando una relación más débil entre las variables. Finalmente, el Equipo E tiene un coeficiente R^2 de 0.6577 y un coeficiente de correlación de 0.81101, indicando una correlación significativa pero menos fuerte en comparación con los equipos de verificación y B.

Por otro lado, las pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk revelaron que las concentraciones de partículas en el Equipo de Verificación y el Equipo B muestran evidencia significativa en contra de la

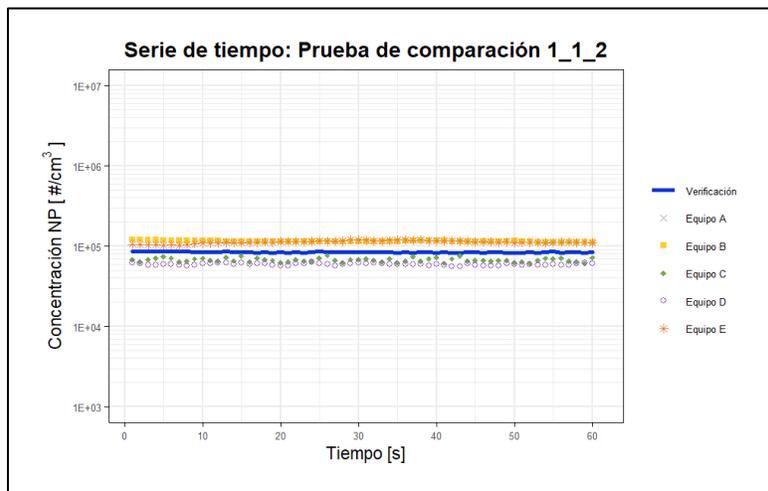
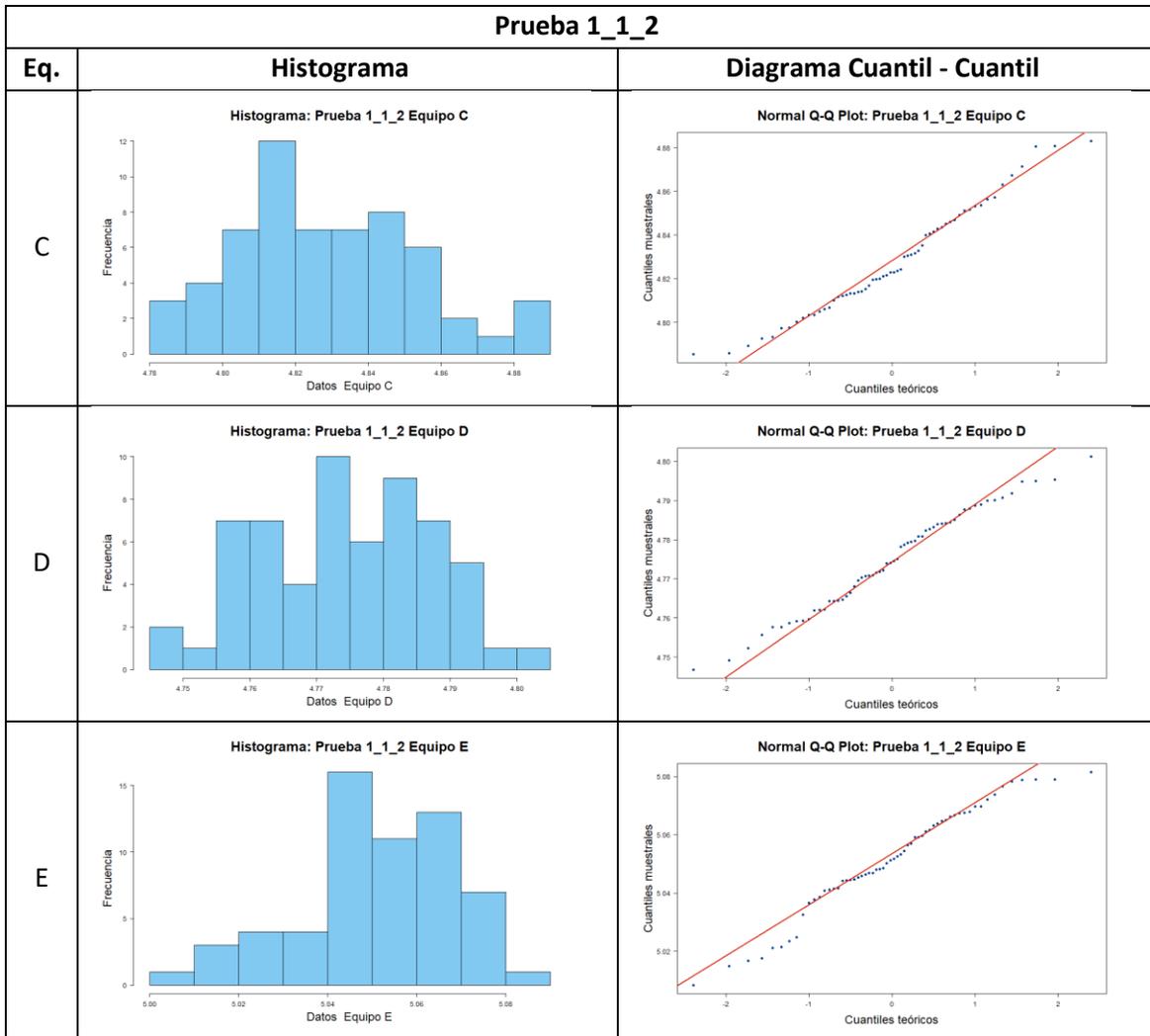
hipótesis nula de normalidad, con valores p muy bajos de 0.00012431 y 0.00181335 respectivamente. Esto sugiere que estas variables no siguen una distribución normal y podrían estar influenciadas por factores que causan desviaciones significativas de la normalidad. En contraste, las variables correspondientes al Equipo C y Equipo E muestran valores p más altos de 0.46461960 y 0.13684800 respectivamente, lo que indica menos evidencia en contra de la hipótesis nula y sugiere que estas variables podrían seguir una distribución normal de manera más cercana.

En este contexto, se llevó a cabo un análisis comparativo entre el Equipo de Verificación y los demás equipos utilizando la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Los resultados de la prueba indican que hay diferencias estadísticamente significativas entre al menos dos de los equipos. Con un estadístico Chi-cuadrado de 153.558 y un valor p extremadamente bajo de $< 2.2E-16$ para 3 grados de libertad, se rechaza la hipótesis nula de que las medianas de todos los grupos son iguales. Este hallazgo sugiere que la concentración de partículas varía de manera significativa entre los equipos.

Debido a la alta variabilidad observada entre los equipos, se realizó un análisis comparativo múltiple mediante la prueba post-hoc de Dunn con ajuste Bonferroni, en donde se consideraron tres niveles de significancia (0.05, 0.01 y 0.001) para evaluar la robustez de los hallazgos. Los resultados revelaron diferencias significativas entre el Equipo de Verificación y los demás equipos, con la excepción del Equipo E, donde se aceptó la hipótesis nula únicamente a un nivel de 0.001.

Tabla A-3. Distribución de los datos para la Prueba 1_1_2

| Prueba 1_1_2 | | |
|--------------|------------|----------------------------|
| Eq. | Histograma | Diagrama Cuantil - Cuantil |
| Verificación | | |
| A | No aplica | No aplica |
| B | | |



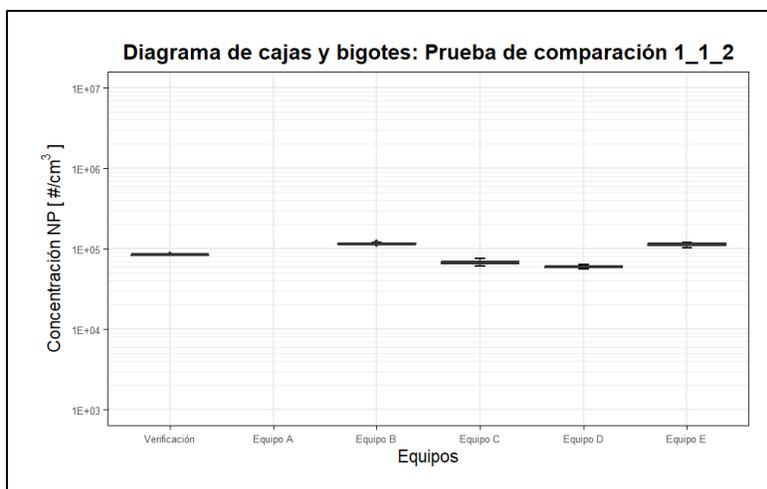


Tabla A-4. Medidas estadísticas descriptivas para la prueba 1_1_2

| Parámetros | Verificación | Equipo A | Equipo B | Equipo C | Equipo D | Equipo E |
|----------------------|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Min | 82277 | - | 111000 | 61035 | 55824 | 101938 |
| Q1 | 83429 | - | 114000 | 64638 | 58120 | 110014 |
| Mediana | 84093 | - | 115000 | 66514 | 59468 | 112574 |
| Q3 | 84881 | - | 116000 | 70111 | 60873 | 116382 |
| Máx | 87065 | - | 121000 | 76358 | 63266 | 120628 |
| Media | 84284 | - | 115033 | 67336 | 59548 | 112680 |
| σ | 1094 | - | 2147 | 3857 | 1757 | 4620 |
| Coef. R ² | 1 | - | 0.294 | 0.0374 | 0.0406 | 0.342 |
| Coef. Corr | 1 | - | 0.5422 | 0.19335 | 0.20161 | -0.58485 |

* σ Desviación estándar

El análisis comparativo de las concentraciones de partículas entre cuatro equipos de interés y un Equipo de Verificación durante la prueba de verificación a concentraciones medias (1_1_2) revela diferencias significativas en los resultados. A continuación, se detallan los hallazgos encontrados:

El análisis de los datos revela variaciones significativas en las medidas de tendencia central y dispersión entre los equipos de verificación y los equipos evaluados. El Equipo de Verificación muestra una mediana de 84,093 y una media de 84,284, indicando una distribución bastante equilibrada de los datos en torno a estos valores. En comparación, el Equipo B presenta una mediana de 115,000 y una media de 115,033, reflejando valores notablemente más altos. El Equipo C tiene una mediana de 66,514 y una media de 67,336, lo que sugiere valores intermedios en comparación con el Equipo de Verificación. El Equipo D muestra una mediana de 59,468 y una media de 59,548, que están cerca de los datos del Equipo de Verificación, pero con una tendencia algo inferior. Por último, el Equipo E presenta una mediana de 112,574 y una media de 112,680, indicando una distribución con valores también elevados, aunque con un rango más amplio en comparación con los otros equipos.

La desviación estándar muestra una variabilidad considerable en los datos entre el Equipo de Verificación y los equipos analizados. En el Equipo de Verificación, la desviación estándar es de 1,094, indicando una dispersión relativamente baja en comparación con los otros equipos. Por otro lado, el Equipo B tiene una desviación estándar de 2,147, lo que señala una mayor dispersión en sus datos en comparación con el Equipo de Verificación. El Equipo C presenta una desviación estándar de 3,857, lo que sugiere una variabilidad considerablemente mayor en sus datos. El Equipo D tiene una desviación estándar de 1,757, lo que indica una dispersión moderada. Finalmente, el Equipo E muestra una desviación estándar de 4,620, lo que refleja la mayor variabilidad en los datos entre todos los equipos analizados.

El análisis de los coeficientes de determinación (R^2) y los coeficientes de correlación revela diferencias en la relación entre las variables para los distintos equipos. El Equipo de Verificación muestra un R^2 de 1 y un coeficiente de correlación de 1, indicando una relación perfecta y directa entre las variables. En contraste, el Equipo B tiene un R^2 de 0.294 y un coeficiente de correlación de 0.5422, sugiriendo una relación moderada y positiva entre sus variables. El Equipo C presenta un R^2 de 0.0374 y un coeficiente de correlación de 0.19335, indicando una relación muy débil y positiva. El Equipo D muestra un R^2 de 0.0406 y un coeficiente de correlación de 0.20161, también sugiriendo una relación débil, pero positiva, entre las variables. Por último, el Equipo E tiene un R^2 de 0.342 y un coeficiente de correlación de -0.58485, lo que refleja una relación moderada, aunque negativa, entre las variables.

Por otro lado, las pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk indican que las concentraciones de partículas en los diferentes equipos muestran distintos niveles de conformidad con una distribución normal. Para el Equipo de Verificación, así como para el Equipo B, se encontró evidencia significativa en contra de la hipótesis nula de normalidad, con valores p de 0.02155560 y 0.00119089 respectivamente. Estos resultados sugieren que las concentraciones de partículas en estos equipos no siguen una distribución normal. Por otro lado, para el Equipo C, el valor p de 0.06729472 indica que no hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula de normalidad, aunque este valor se acerca al umbral de significancia del 0.05. En cuanto al Equipo D y el Equipo E, los valores p de 0.49391070 y 0.14656700 respectivamente sugieren que no hay suficiente evidencia para concluir que las concentraciones de partículas en estos equipos no siguen una distribución normal.

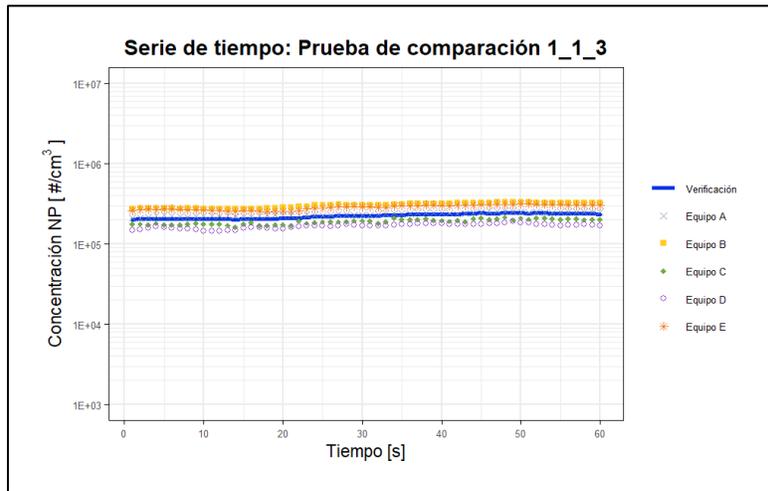
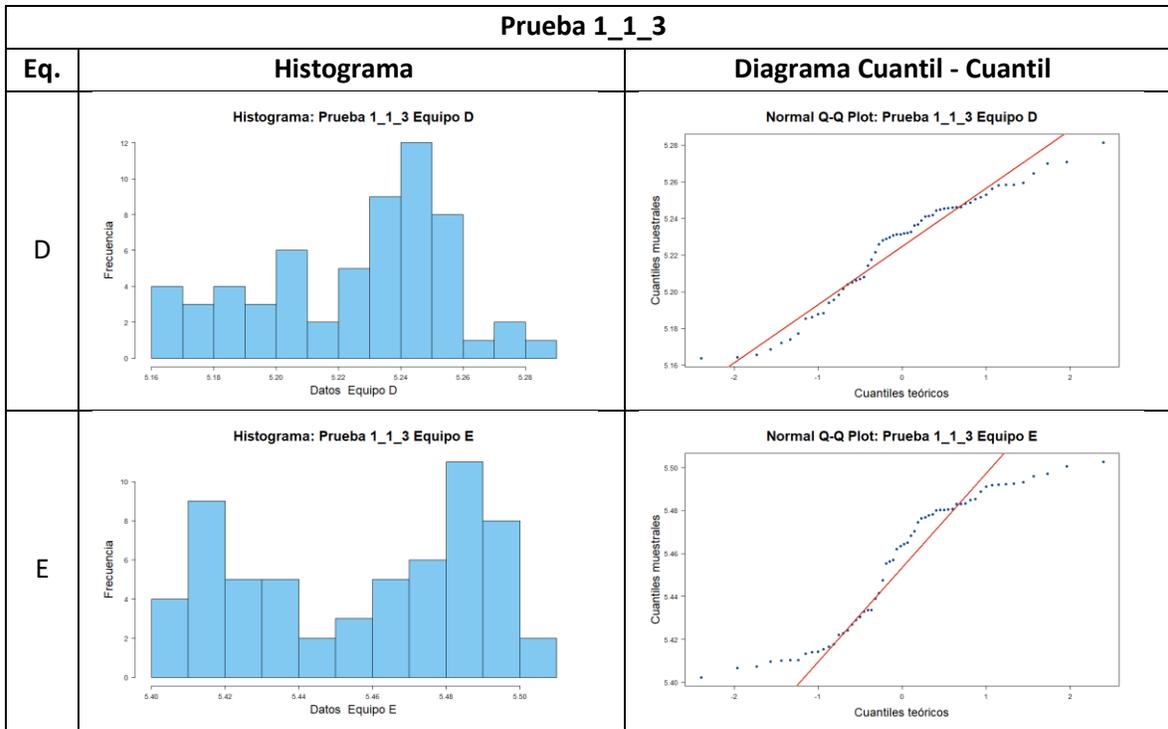
En este contexto, se llevó a cabo un análisis comparativo entre el Equipo de Verificación y los demás equipos utilizando la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Los resultados de la prueba indican que hay diferencias estadísticamente significativas entre al menos dos de los equipos. Con un estadístico Chi-cuadrado de 273.49 un valor p extremadamente bajo de $< 2.2E-16$ para 4 grados de libertad, se rechaza la hipótesis nula de que las medianas de todos los grupos son iguales. Este hallazgo sugiere que la concentración de partículas varía de manera significativa entre los equipos.

Dada la variabilidad observada entre los equipos en general, se llevó a cabo un análisis comparativo múltiple a través de la prueba post hoc de Dunn con corrección de Bonferroni, considerando tres niveles de significancia (0.05, 0.01 y 0.001). Los resultados revelaron que no se presentan diferencias

significativas entre el Equipo E y el Equipo B a un nivel de significancia del 0.001. Sin embargo, las demás comparaciones se concluye que existe evidencia significativa para aceptar la hipótesis alternativa, es decir que hay diferencias significativas entre los equipos.

Tabla A-5. Distribución de los datos para la Prueba 1_1_3

| Prueba 1_1_3 | | |
|--------------|------------|----------------------------|
| Eq. | Histograma | Diagrama Cuantil - Cuantil |
| Verificación | | |
| A | | |
| B | | |
| C | | |



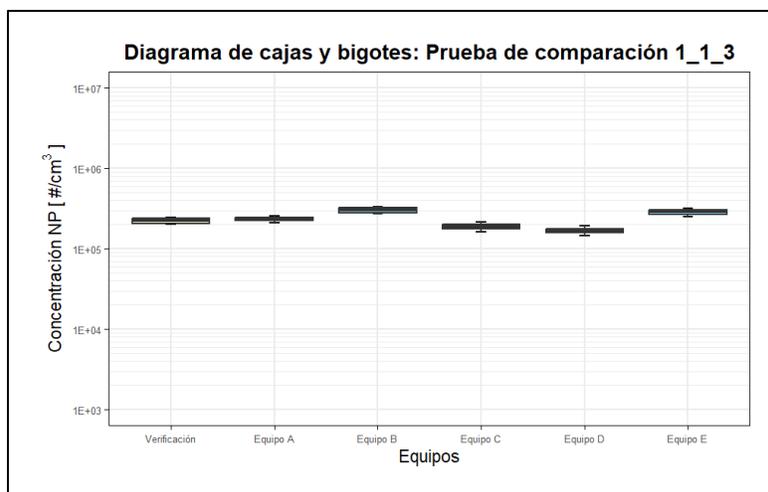


Tabla A-6. Medidas estadísticas descriptivas para la prueba 1_1_3

| Parámetros | Verificación | Equipo A | Equipo B | Equipo C | Equipo D | Equipo E |
|----------------------|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Min | 202638 | 208657 | 272000 | 161713 | 145798 | 252556 |
| Q1 | 205727 | 224184 | 279250 | 176765 | 159248 | 264914 |
| Mediana | 224079 | 233220 | 306500 | 190523 | 170431 | 290975 |
| Q3 | 238126 | 245020 | 323000 | 202695 | 176229 | 304146 |
| Máx | 244160 | 257059 | 334000 | 213918 | 191068 | 318064 |
| Media | 223213 | 235261 | 303300 | 190074 | 168207 | 286238 |
| σ | 15077 | 12749 | 21039 | 13816 | 11604 | 20732 |
| Coef. R ² | 1 | 0.8627 | 0.9742 | 0.8531 | 0.8153 | 0.9457 |
| Coef. Corr | 1 | 0.92883 | 0.987 | 0.92364 | 0.90292 | 0.97246 |

* σ Desviación estándar

El análisis comparativo de las concentraciones de partículas entre cinco equipos de interés y un Equipo de Verificación durante la prueba de verificación a concentraciones media altas (1_1_3) revela diferencias sustanciales en los resultados. A continuación, se detallan los hallazgos encontrados:

El análisis de los parámetros revela una variedad de distribuciones entre los equipos comparados con el Equipo de Verificación. En el caso del Equipo de Verificación, la mediana se sitúa en 224079 y la media en 223213, lo que sugiere una distribución relativamente equilibrada en torno a estos valores centrales. Comparativamente, el Equipo A muestra una mediana de 233220 y una media de 235261, indicando valores centrales más altos en comparación con el Equipo de Verificación. El Equipo B tiene una mediana de 306500 y una media de 303300, reflejando una tendencia hacia valores aún mayores. El Equipo C presenta una mediana de 190523 y una media de 190074, mostrando una distribución cercana a la del Equipo de Verificación pero con valores ligeramente inferiores. El Equipo D tiene una mediana de 170431 y una media de 168207, mostrando valores inferiores a los de los otros equipos. Finalmente, el Equipo E presenta una mediana de 290975 y una

media de 286238, indicando una tendencia similar a la de los equipos A y B, con valores relativamente altos.

En cuanto a la desviación estándar, se observan variaciones notables en la dispersión de los datos entre el Equipo de Verificación y los distintos equipos. El Equipo de Verificación tiene una desviación estándar de 15077, que refleja una variabilidad moderada en torno a la media. En comparación, el Equipo A, con una desviación estándar de 12749, muestra una menor dispersión, indicando datos más concentrados alrededor de la media. El Equipo B, por otro lado, presenta una desviación estándar de 21039, lo que sugiere una mayor dispersión y, por tanto, una mayor variabilidad en los valores. El Equipo C tiene una desviación estándar de 13816, indicando una variabilidad intermedia en relación con los otros equipos. El Equipo D, con una desviación estándar de 11604, presenta la menor dispersión, lo que sugiere que los datos están más agrupados en torno a la media. Finalmente, el Equipo E muestra una desviación estándar de 20732, similar a la del Equipo B, lo que indica una alta variabilidad en los datos en comparación con el Equipo de Verificación.

Al analizar los coeficientes de determinación (R^2) y los coeficientes de correlación para cada equipo, se observan patrones diversos que reflejan la relación entre los datos. El Equipo A, con un coeficiente R^2 de 0.8627 y un coeficiente de correlación de 0.92883, muestra una fuerte relación lineal con los datos, aunque no tan perfecta como la verificación. El Equipo B tiene un coeficiente R^2 de 0.9742 y un coeficiente de correlación de 0.987, lo que sugiere una relación muy fuerte entre los datos, similar a la verificación. El Equipo C muestra un coeficiente R^2 de 0.8531 y un coeficiente de correlación de 0.92364, lo que también indica una relación fuerte, aunque con una ligera disminución en comparación con el Equipo B. El Equipo D, con un coeficiente R^2 de 0.8153 y un coeficiente de correlación de 0.90292, presenta una relación algo más débil pero aún significativa en comparación con los otros equipos. Finalmente, el Equipo E tiene un coeficiente R^2 de 0.9457 y un coeficiente de correlación de 0.97246, indicando una relación muy fuerte, aunque no tan perfecta como la del Equipo B. Estos resultados revelan que, mientras algunos equipos se acercan a una relación perfecta, otros muestran variaciones en la fuerza de la relación entre los datos.

Por otro lado, las pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk indican que las concentraciones de partículas en los diferentes equipos muestran distintos niveles de conformidad con una distribución normal. Para el Equipo de Verificación, así como para el Equipo B, Equipo C, Equipo D y Equipo E, se encontró evidencia significativa en contra de la hipótesis nula de normalidad, con valores p que oscilan entre 0.0000083202 y 0.02709938. Estos resultados sugieren que las concentraciones de partículas en estos equipos no siguen una distribución normal. Por otro lado, para el Equipo A, el valor p de 0.06626118 indica que no hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula de normalidad, aunque este valor se acerca al umbral de significancia del 0.05.

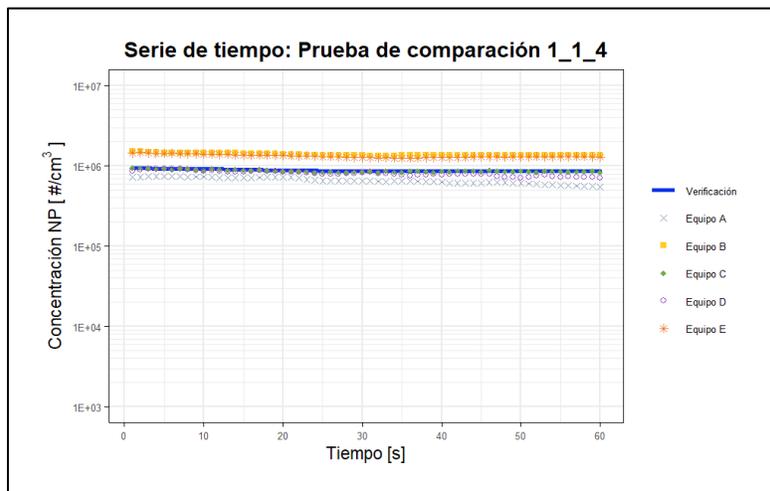
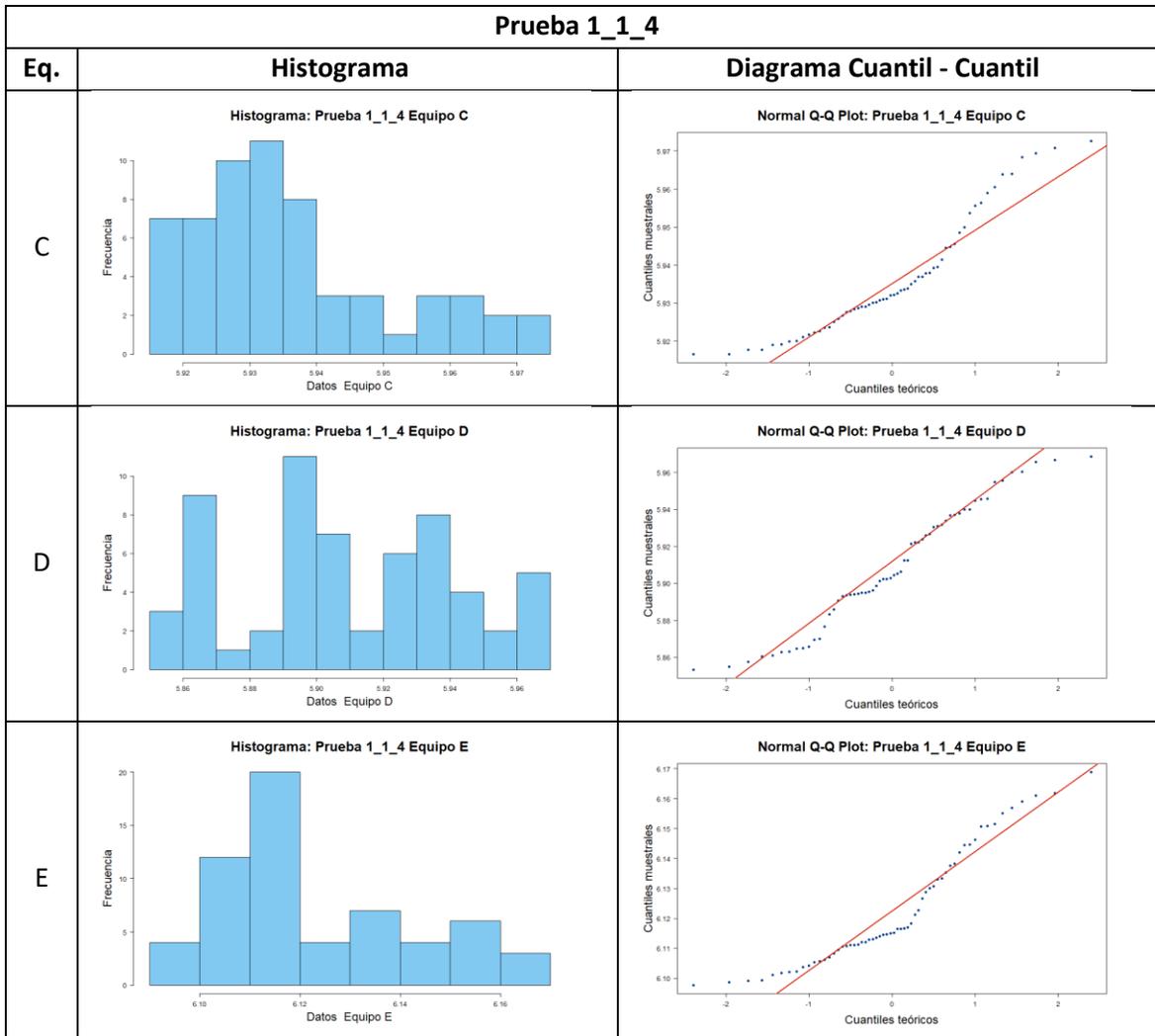
En este contexto, se llevó a cabo un análisis comparativo entre el Equipo de Verificación y los demás equipos utilizando la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Los resultados indican que hay diferencias estadísticamente significativas entre al menos dos de los equipos en términos de las concentraciones de partículas medidas durante la prueba. El estadístico chi-cuadrado obtenido es de 325.22, con un valor p extremadamente bajo de $< 2.2E-16$ para 5 grados de libertad. Esto lleva al

rechazo de la hipótesis nula de que las medianas de todos los grupos son iguales. En otras palabras, se concluye que las concentraciones de partículas varían significativamente entre los equipos evaluados en la prueba.

La variabilidad observada entre los equipos motivó la realización de un análisis comparativo múltiple mediante la prueba post hoc de Dunn con corrección de Bonferroni, empleando tres niveles de significancia (0.05, 0.01 y 0.001). Los resultados indicaron que hay diferencias significativas entre las comparaciones entre equipos rechazaron la hipótesis nula en los diferentes niveles de confianza.

Tabla A-7. Distribución de los datos para la Prueba 1_1_4

| Prueba 1_1_4 | | |
|--------------|---|--|
| Eq. | Histograma | Diagrama Cuantil - Cuantil |
| Verificación | <p>Histograma: Prueba 1_1_4 Equipo de verificación</p> | <p>Normal Q-Q Plot: Prueba 1_1_4 Equipo de verificación</p> |
| A | <p>Histograma: Prueba 1_1_4 Equipo A</p> | <p>Normal Q-Q Plot: Prueba 1_1_4 Equipo A</p> |
| B | <p>Histograma: Prueba 1_1_4 Equipo B</p> | <p>Normal Q-Q Plot: Prueba 1_1_4 Equipo B</p> |



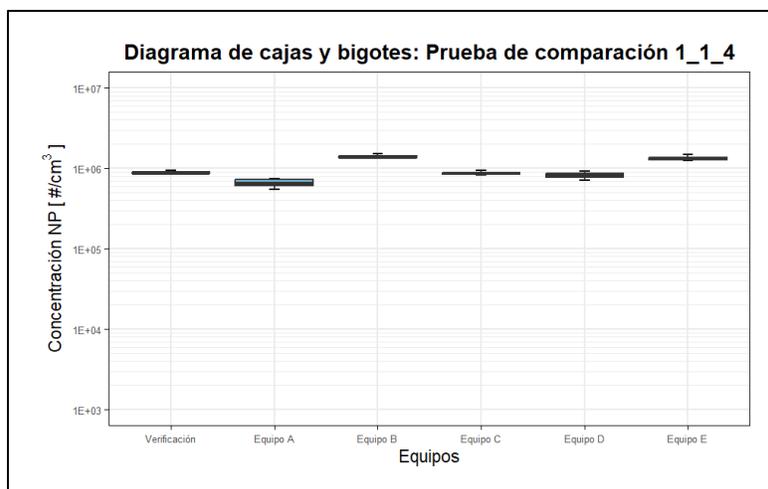


Tabla A-8. Medidas estadísticas descriptivas para la prueba 1_1_4

| Parámetros | Verificación | Equipo A | Equipo B | Equipo C | Equipo D | Equipo E |
|----------------------|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Min | 855537 | 551850 | 1337000 | 825294 | 713425 | 1252373 |
| Q1 | 863863 | 610129 | 1364000 | 841956 | 771117 | 1284203 |
| Mediana | 867413 | 652172 | 1370500 | 855312 | 801050 | 1303503 |
| Q3 | 899214 | 720046 | 1437500 | 880580 | 862832 | 1371004 |
| Máx | 944203 | 746674 | 1526000 | 938872 | 929927 | 1475107 |
| Media | 882125 | 659485 | 1396217 | 864148 | 812260 | 1327688 |
| σ | 25926 | 58545 | 48931 | 30762 | 60989 | 59848 |
| Coef. R ² | 1 | 0.7093 | 0.9547 | 0.7297 | 0.7222 | 0.9278 |
| Coef. Corr | 1 | 0.842208 | 0.977098 | 0.8542 | 0.849848 | 0.96324 |

* σ Desviación estándar

El análisis comparativo de las concentraciones de partículas entre cinco equipos de interés y un Equipo de Verificación durante la prueba de verificación a concentraciones altas (1_1_4) revela diferencias sustanciales en los resultados. A continuación, se detallan los hallazgos encontrados:

El análisis de los datos revela diferencias notables en las medidas de tendencia central y distribución entre el Equipo de Verificación y los equipos analizados. El Equipo de Verificación presenta una mediana de 867413 y una media de 882125, lo que indica una distribución relativamente equilibrada en torno a estos valores centrales. Comparado con el Equipo de Verificación, el Equipo A tiene una mediana de 652172 y una media de 659485, sugiriendo que sus datos están en general a niveles inferiores. En contraste, el Equipo B muestra una mediana de 1370500 y una media de 1396217, evidenciando una inclinación hacia valores significativamente más altos en comparación con el Equipo de Verificación. El Equipo C presenta una mediana de 855312 y una media de 864148, que están cercanas a los datos del Equipo de Verificación, mientras que el Equipo D tiene una mediana de 801050 y una media de 812260, indicando también valores algo superiores. Finalmente, el Equipo E muestra una mediana de 1303503 y una media de 1327688, reflejando una tendencia a valores aún más altos en comparación con los otros equipos.

En cuanto a la dispersión de los datos, El Equipo de Verificación presenta una desviación estándar de 25926, lo que indica una variabilidad moderada en torno a la media. En comparación, el Equipo A muestra una desviación estándar mucho mayor de 58545, sugiriendo una dispersión más amplia de los datos. El Equipo B tiene una desviación estándar de 48931, lo que también indica una variabilidad considerable, aunque menor en comparación con el Equipo A. El Equipo C, con una desviación estándar de 30762, presenta una dispersión más baja en comparación con el Equipo A y el Equipo B, indicando datos más concentrados alrededor de la media. El Equipo D muestra una desviación estándar de 60989, la más alta entre los equipos, reflejando una gran variabilidad en los datos. Finalmente, el Equipo E tiene una desviación estándar de 59848, lo que sugiere una dispersión significativa, aunque menor que la del Equipo D.

Al analizar los coeficientes de determinación (R^2) y los coeficientes de correlación para cada equipo, observamos variaciones significativas en la relación entre los datos y la línea de tendencia. El Equipo A tiene un R^2 de 0.7093 y un coeficiente de correlación de 0.842208, sugiriendo una fuerte relación positiva, aunque no tan ajustada como la del Equipo de Verificación. El Equipo B, con un R^2 de 0.9547 y un coeficiente de correlación de 0.977098, muestra una excelente relación positiva y un ajuste muy alto de la tendencia. El Equipo C, con un R^2 de 0.7297 y un coeficiente de correlación de 0.8542, también tiene una fuerte correlación, pero con una ligera disminución en la calidad del ajuste en comparación con el Equipo B. El Equipo D presenta un R^2 de 0.7222 y un coeficiente de correlación de 0.849848, indicando una buena relación positiva pero con algo de dispersión en los datos respecto a la línea de tendencia. Finalmente, el Equipo E muestra un R^2 de 0.9278 y un coeficiente de correlación de 0.96324, evidenciando una relación positiva fuerte y un ajuste bastante alto, aunque ligeramente inferior al del Equipo B.

Por otro lado, las pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk indican que las concentraciones de partículas en los diferentes equipos muestran distintos niveles de conformidad con una distribución normal. Para el Equipo de Verificación, el Equipo A, El Equipo B, el Equipo C, el Equipo D y el Equipo E presentan valores p extremadamente bajos de 0.00000012, 0.00135018, 0.00000126, 0.00010362, 0.04168410 y 0.00009832, respectivamente, concluyendo que los datos para estos equipos no siguen una distribución normal.

En este contexto, se llevó a cabo un análisis comparativo entre el Equipo de Verificación y los demás equipos utilizando la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Los resultados de la prueba indican que hay diferencias estadísticamente significativas entre al menos dos de los equipos. Con un estadístico Chi-cuadrado de 314.07 y un valor p extremadamente bajo de $< 2.2E-16$ para 5 grados de libertad, se rechaza la hipótesis nula de que las medianas de todos los grupos son iguales. Este hallazgo sugiere que la concentración de partículas varía de manera significativa entre los equipos.

La variabilidad observada entre los equipos motivó la realización de un análisis comparativo múltiple por medio de la prueba post hoc de Dunn con corrección de Bonferroni, utilizando tres niveles de significancia (0.05, 0.01 y 0.001). Los resultados indicaron que existen diferencias significativas entre

las comparaciones entre equipos, ya que rechazaron la hipótesis nula en los diferentes niveles de confianza.

Tabla A-9. Distribución de los datos para la Prueba 1_2_1

| Prueba 1_2_1 | | |
|--------------|------------|----------------------------|
| Eq. | Histograma | Diagrama Cuantil - Cuantil |
| Verificación | | |
| A | No aplica | No aplica |
| B | No aplica | No aplica |
| C | | |
| D | | |
| E | | |

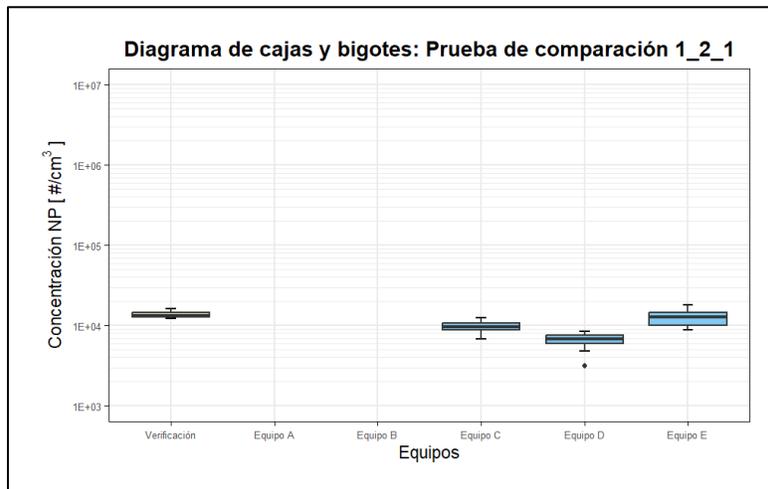
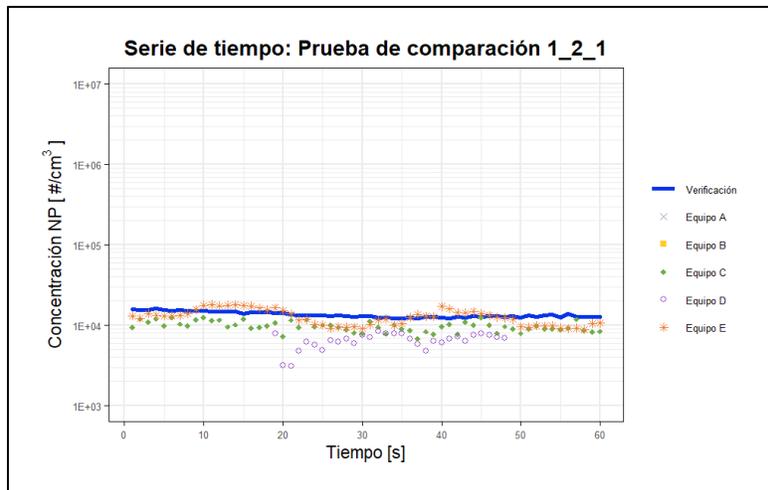


Tabla A-10. Medidas estadísticas descriptivas para la prueba 1_2_1

| Parámetros | Verificación | Equipo A | Equipo B | Equipo C | Equipo D | Equipo E |
|----------------------|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Min | 12226 | - | - | 6838 | 3126 | 8831 |
| Q1 | 12639 | - | - | 8757 | 5960 | 10022 |
| Mediana | 13193 | - | - | 9554 | 6746 | 12676 |
| Q3 | 14559 | - | - | 10824 | 7535 | 14688 |
| Máx | 16115 | - | - | 12558 | 8354 | 18052 |
| Media | 13563 | - | - | 9735 | 6500 | 12776 |
| σ | 1116 | - | - | 1421 | 1328 | 2828 |
| Coef. R ² | 1 | - | - | 0.2261 | 0.0265 | 0.2161 |
| Coef. Corr | 1 | - | - | 0.47552 | -0.46836 | 0.4649 |

* σ Desviación estándar

El análisis comparativo de las concentraciones de partículas entre tres equipos de interés y un Equipo de Verificación durante la prueba de verificación a concentraciones bajas (1_2_1) revela diferencias sustanciales en los resultados. A continuación, se detallan los hallazgos encontrados:

El análisis de los datos muestra diferencias notables en las medidas de tendencia central entre el Equipo de Verificación y los diferentes equipos evaluados. El Equipo de Verificación presenta una mediana de 13193 y una media de 13563, reflejando una distribución bastante equilibrada de los datos en torno a estos valores centrales. Comparado con esto, el Equipo C muestra una mediana de 9554 y una media de 9735, lo que indica valores relativamente más bajos en comparación con el Equipo de Verificación. El Equipo D tiene una mediana de 6746 y una media de 6500, sugiriendo una tendencia hacia valores aún más bajos en su conjunto de datos. Finalmente, el Equipo E presenta una mediana de 12676 y una media de 12776, lo que muestra una distribución de datos más cercana a la del Equipo de Verificación, aunque todavía ligeramente inferior en comparación.

En cuanto a la dispersión de los datos, se observa que el Equipo de Verificación tiene una desviación estándar de 1116, indicando una dispersión relativamente baja en torno a la media. En contraste, el Equipo C presenta una desviación estándar de 1421, que es mayor que la del Equipo de Verificación, lo que sugiere una mayor variabilidad en sus datos. El Equipo D muestra una desviación estándar de 1328, también superior a la del Equipo de Verificación, reflejando una dispersión considerablemente mayor. Por último, el Equipo E tiene una desviación estándar de 2828, la más alta entre los equipos analizados, lo que indica una gran variabilidad en sus datos comparado con los demás equipos.

El análisis de los coeficientes de determinación (R^2) y de correlación revela distintas relaciones entre los equipos. El Equipo C tiene un coeficiente R^2 de 0.2261 y un coeficiente de correlación de 0.47552, mostrando una relación moderada y una menor capacidad de explicación de la variabilidad en los datos en comparación con el Equipo de Verificación. El Equipo D tiene un coeficiente R^2 de 0.0265 y un coeficiente de correlación de -0.46836, sugiriendo una relación débil y negativa entre las variables. Finalmente, el Equipo E presenta un coeficiente R^2 de 0.2161 y un coeficiente de correlación de 0.4649, indicando una relación débil y positiva, similar a la del Equipo C pero con menor capacidad explicativa.

Por otro lado, las pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk indican que las concentraciones de partículas en los diferentes equipos muestran distintos niveles de conformidad con una distribución normal. Para el Equipo de Verificación, así como para el Equipo D y Equipo E, se encontró evidencia significativa en contra de la hipótesis nula de normalidad, con valores p de 0.00004398, 0.01566815 y 0.001590437 respectivamente. Estos resultados sugieren que las concentraciones de partículas en estos equipos no siguen una distribución normal. Por otro lado, para el Equipo C, el valor p de 0.1235303 indica que no hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula de normalidad.

En este contexto, se llevó a cabo un análisis comparativo entre el Equipo de Verificación y los demás equipos utilizando la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Los resultados de la prueba indican que hay diferencias estadísticamente significativas entre al menos dos de los equipos. Con un estadístico Chi-cuadrado de 138.69 y un valor p extremadamente bajo de $< 2.2E-16$ para 3 grados

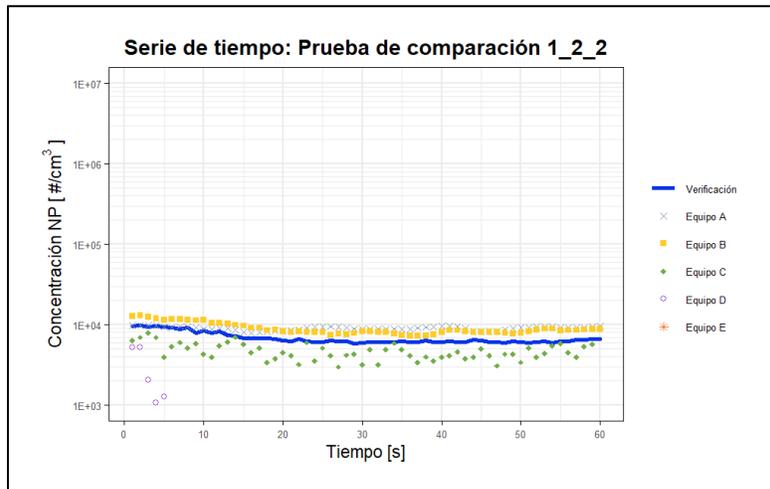
de libertad, se rechaza la hipótesis nula de que las medianas de todos los grupos son iguales. Este hallazgo sugiere que la concentración de partículas varía de manera significativa entre los equipos.

Debido a la alta variabilidad observada entre los equipos, se realizó un análisis comparativo múltiple mediante la prueba post-hoc de Dunn con ajuste Bonferroni, en donde se consideraron tres niveles de significancia (0.05, 0.01 y 0.001). Los resultados indican que no existen diferencias significativas entre el Equipo de Verificación y el Equipo E a un nivel de significancia de 0.01 y 0.001. Sin embargo, las comparaciones entre equipos revelan diferencias significativas en todos los niveles de confianza.

Tabla A-11. Distribución de los datos para la Prueba 1_2_2

| Prueba 1_2_2 | | |
|--------------|--|---|
| Eq. | Histograma | Diagrama Cuantil - Cuantil |
| Verificación | <p>Histograma: Prueba 1_2_2 Verificación</p> | <p>Normal Q-Q Plot: Prueba 1_2_2 Equipo de verificación</p> |
| A | <p>Histograma: Prueba 1_2_2 Equipo A</p> | <p>Normal Q-Q Plot: Prueba 1_2_2 Equipo A</p> |
| B | <p>Histograma: Prueba 1_2_2 Equipo B</p> | <p>Normal Q-Q Plot: Prueba 1_2_2 Equipo B</p> |

| Prueba 1_2_2 | | |
|--------------|--|---|
| Eq. | Histograma | Diagrama Cuantil - Cuantil |
| C | <p>Histograma: Prueba 1_2_2 Equipo C</p> <p>Datos Equipo C</p> | <p>Normal Q-Q Plot: Prueba 1_2_2 Equipo C</p> <p>Cuantiles muestrales</p> <p>Cuantiles teóricos</p> |
| D | <p>Histograma: Prueba 1_2_2 Equipo D</p> <p>Datos Equipo D</p> | <p>Normal Q-Q Plot: Prueba 1_2_2 Equipo D</p> <p>Cuantiles muestrales</p> <p>Cuantiles teóricos</p> |
| E | No aplica | No aplica |



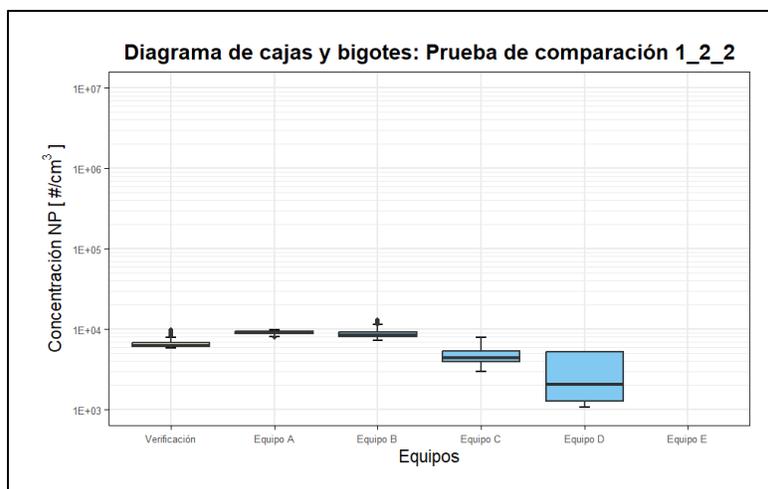


Tabla A-12. Medidas estadísticas descriptivas para la prueba 1_2_2

| Parámetros | Verificación | Equipo A | Equipo B | Equipo C | Equipo D | Equipo E |
|----------------------|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Min | 5851 | 7889 | 7200 | 2996 | 1067 | - |
| Q1 | 6097 | 8824 | 8000 | 3934 | 1163 | - |
| Mediana | 6246 | 9112 | 8350 | 4418 | 2073 | - |
| Q3 | 6810 | 9402 | 9550 | 5432 | 5198 | - |
| Máx | 9751 | 9880 | 13000 | 7827 | 5214 | - |
| Media | 6826 | 9029 | 8943 | 4684 | 2959 | - |
| σ | 1140 | 481 | 1526 | 1110 | 2079 | - |
| Coef. R ² | 1 | 0.1284 | 0.9101 | 0.3173 | 0.3059 | - |
| Coef. Corr | 1 | 0.358331 | 0.954012 | 0.563295 | 0.553101 | - |

* σ Desviación estándar

El análisis comparativo de las concentraciones de partículas entre cuatro equipos de interés y un Equipo de Verificación durante la prueba de verificación a concentraciones bajas (1_2_2) revela diferencias sustanciales en los resultados. A continuación, se detallan los hallazgos encontrados:

El análisis de los datos muestra diferencias notables en las medidas de tendencia central y distribución entre el Equipo de Verificación y los distintos equipos. El Equipo de Verificación presenta una mediana de 6246 y una media de 6826, lo que sugiere una distribución relativamente equilibrada de los datos en torno a estos valores. En comparación, el Equipo A muestra una mediana de 9112 y una media de 9029, lo que indica valores centrales más altos en comparación con el Equipo de Verificación. El Equipo B tiene una mediana de 8350 y una media de 8943, también reflejando valores centrales más elevados, aunque con una media superior a la mediana. El Equipo C presenta una mediana de 4418 y una media de 4684, lo que sugiere una distribución más baja en comparación con los demás equipos. Finalmente, el Equipo D tiene una mediana de 2073 y una

media de 2959, reflejando valores centrales significativamente más bajos que los del Equipo de Verificación y los otros equipos.

En cuanto a la desviación estándar muestra una variabilidad considerable en los datos entre la Verificación y los diferentes equipos. El Equipo de Verificación tiene una desviación estándar de 1140, indicando una dispersión moderada alrededor de la media. En contraste, el Equipo A presenta una desviación estándar de 481, sugiriendo una menor variabilidad en comparación con la Verificación. El Equipo B tiene una desviación estándar de 1526, lo que indica una mayor dispersión en sus datos. El Equipo C muestra una desviación estándar de 1110, que es similar a la de la Verificación, mientras que el Equipo D tiene una desviación estándar significativamente más alta de 2079, lo que refleja una amplia variabilidad en sus datos.

Los coeficientes de determinación (R^2) y de correlación revelan variaciones significativas en la relación entre los datos de los equipos y el Equipo de Verificación. El Equipo A presenta un R^2 de 0.1284 y un coeficiente de correlación de 0.358331, sugiriendo una relación débil y moderada con respecto a la Verificación. El Equipo B tiene un R^2 de 0.9101 y un coeficiente de correlación de 0.954012, indicando una alta correlación y una explicación significativa de la variabilidad en los datos comparado con el Equipo de Verificación. El Equipo C muestra un R^2 de 0.3173 y un coeficiente de correlación de 0.563295, señalando una relación moderada. Finalmente, el Equipo D tiene un R^2 de 0.3059 y un coeficiente de correlación de 0.553101, indicando una correlación moderada y una relación relativamente baja en comparación con el Equipo de Verificación.

Por otro lado, las pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk revelaron que las concentraciones de partículas de los Equipos de verificación, el Equipo B y el Equipo C muestran evidencia significativa en contra de la hipótesis nula de normalidad, con valores p muy bajos 2.05E-09, 0.000000515 y 0.01852998 respectivamente. Esto sugiere que estas variables no siguen una distribución normal. Por su parte el Equipo A y el Equipo D reflejan valores p más altos de 0.06204244 y 0.0716014, lo que indica menor evidencia en contra de la hipótesis nula y sugiere que estas variables podrían seguir una distribución normal de manera más cercana.

En este contexto, se llevó a cabo un análisis comparativo entre el Equipo de Verificación y los demás equipos utilizando la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Los resultados de la prueba indican que hay diferencias estadísticamente significativas entre al menos dos de los equipos. Con un estadístico Chi-cuadrado de 176.38 y un valor p extremadamente bajo de $< 2.2E-16$ para 4 grados de libertad, se rechaza la hipótesis nula de que las medianas de todos los grupos son iguales. Este hallazgo sugiere que la concentración de partículas varía de manera significativa entre los equipos.

La variabilidad observada entre los equipos motivó la realización de un análisis comparativo múltiple a través de la prueba post hoc de Dunn con corrección de Bonferroni, utilizando tres niveles de significancia (0.05, 0.01 y 0.001). Los resultados indicaron que no existen diferencias significativas entre el Equipo C con el Equipo D para todos los niveles de significancia evaluados. En el caso del Equipo C con el Equipo D acepta la hipótesis nula únicamente al nivel de significancia de 0.001 es

decir a un nivel de confianza del 99.9% El resto de las comparaciones entre equipos rechazaron la hipótesis nula en los diferentes niveles de confianza, lo que sugiere diferencias significativas entre los equipos.

Tabla A-13. Distribución de los datos para la Prueba 1_2_3

| Prueba 1_2_3 | | |
|--------------|------------|----------------------------|
| Eq. | Histograma | Diagrama Cuantil - Cuantil |
| Verificación | | |
| A | | |
| B | | |
| C | | |
| D | No aplica | No aplica |

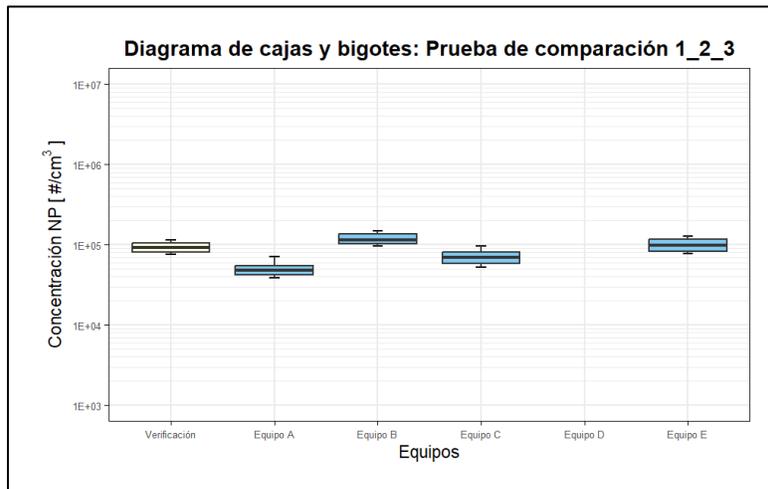
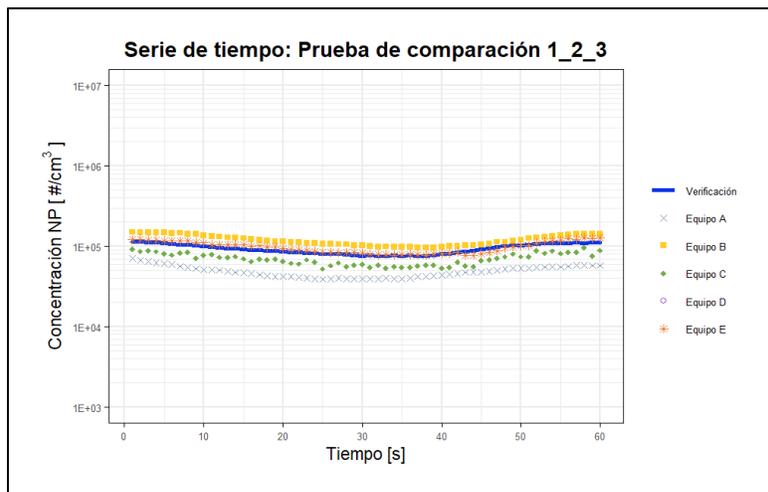
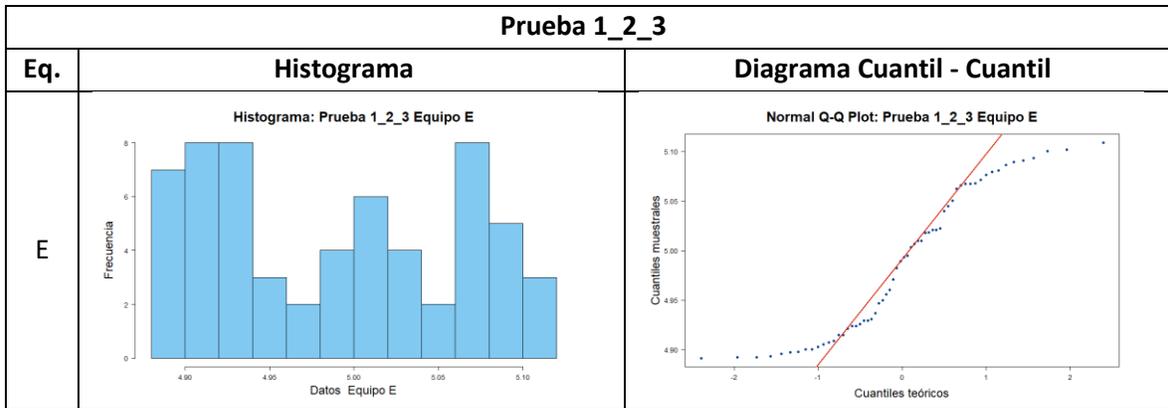


Tabla A-14. Medidas estadísticas descriptivas para la prueba 1_2_3

| Parámetros | Verificación | Equipo A | Equipo B | Equipo C | Equipo D | Equipo E |
|------------|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Min | 75391 | 38929 | 96800 | 52635 | - | 77874 |
| Q1 | 80454 | 41473 | 103000 | 58500 | - | 82514 |

| | | | | | | |
|-------------|--------|----------|---------|----------|---|----------|
| Mediana | 92168 | 47714 | 115000 | 69345 | - | 98041 |
| Q3 | 106530 | 55104 | 136750 | 80499 | - | 116201 |
| Máx | 115113 | 70345 | 150000 | 95755 | - | 128474 |
| Media | 93333 | 48798 | 119882 | 69945 | - | 98530 |
| σ | 13244 | 8108 | 17834 | 11982 | - | 16570 |
| Coef. R^2 | 1 | 0.8983 | 0.8454 | 0.884 | - | 0.8639 |
| Coef. Corr | 1 | 0.947803 | 0.91946 | 0.940212 | - | 0.929455 |

* σ Desviación estándar

El análisis comparativo de las concentraciones de partículas entre cuatro equipos de interés y un Equipo de Verificación durante la prueba de verificación a concentraciones medias (1_2_3) revela diferencias sustanciales en los resultados. A continuación, se detallan los hallazgos encontrados:

El análisis de los datos muestra diferencias notables en las medidas de tendencia central y distribución entre el Equipo de Verificación y los distintos equipos evaluados. El Equipo de Verificación tiene una mediana de 92168 y una media de 93333, lo que sugiere una distribución centralizada en torno a estos valores. En comparación, el Equipo A presenta una mediana de 47714 y una media de 48798, indicando valores centrales más bajos. El Equipo B, por su parte, muestra una mediana de 115000 y una media de 119882, reflejando una inclinación hacia valores superiores en comparación con el Equipo de Verificación. El Equipo C tiene una mediana de 69345 y una media de 69945, mientras que el Equipo E presenta una mediana de 98041 y una media de 98530, ambos mostrando una tendencia hacia valores más altos en comparación con el Equipo de Verificación.

Al observar la desviación estándar, se destacan diferencias en la dispersión de los datos entre el Equipo de Verificación y los otros equipos. El Equipo de Verificación presenta una desviación estándar de 13244, lo que indica una variabilidad considerable en torno a la media. El Equipo A muestra una desviación estándar de 8108, con una dispersión relativamente menor. El Equipo B tiene una desviación estándar de 17834, evidenciando una mayor dispersión en sus datos. Por otro lado, el Equipo C presenta una desviación estándar de 11982, que también muestra una dispersión considerable, aunque menor que la del Equipo B. Finalmente, el Equipo E tiene una desviación estándar de 16570, lo que sugiere una dispersión notablemente alta, similar a la del Equipo B, pero aún más significativa en comparación con el Equipo de Verificación.

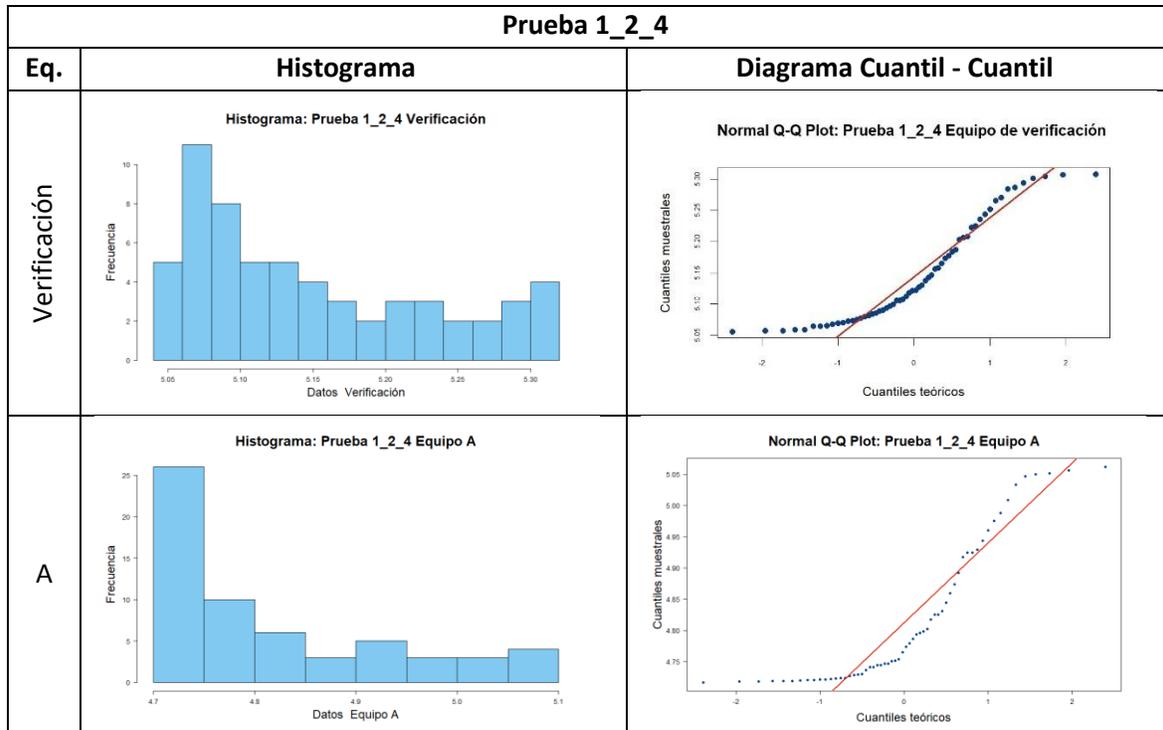
El análisis de los coeficientes de determinación (R^2) y correlación revela variaciones en la relación entre las métricas del Equipo de Verificación y los demás equipos. El Equipo A tiene un coeficiente de R^2 de 0.8983 y un coeficiente de correlación de 0.947803, lo que sugiere una fuerte relación positiva con el Equipo de Verificación. El Equipo B presenta un coeficiente de R^2 de 0.8454 y un coeficiente de correlación de 0.91946, indicando también una alta correlación, aunque ligeramente inferior a la del Equipo A. El Equipo C tiene un coeficiente de R^2 de 0.884 y un coeficiente de correlación de 0.940212, lo que denota una correlación fuerte, comparable a la del Equipo B. Finalmente, el Equipo E muestra un coeficiente de R^2 de 0.8639 y un coeficiente de correlación de 0.929455, indicando una correlación significativa pero con una ligera disminución respecto a los otros equipos.

Por otro lado, las pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk revelaron que las concentraciones de partículas de los equipos muestran evidencia significativa en contra de la hipótesis nula de normalidad, con valores p muy bajos entre 0.00015633 y 00.008218. Esto sugiere que estas variables no siguen una distribución normal.

En este contexto, se llevó a cabo un análisis comparativo entre el Equipo de Verificación y los demás equipos utilizando la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Los resultados de la prueba indican que hay diferencias estadísticamente significativas entre al menos dos de los equipos. Con un estadístico Chi-cuadrado de 227.63 y un valor p extremadamente bajo de $< 2.2E-16$ para 4 grados de libertad, se rechaza la hipótesis nula de que las medianas de todos los grupos son iguales. Este hallazgo sugiere que la concentración de partículas varía de manera significativa entre los equipos.

La variabilidad observada entre los equipos motivó la realización de un análisis comparativo múltiple mediante la prueba post hoc de Dunn con corrección de Bonferroni, utilizando tres niveles de significancia (0.05, 0.01 y 0.001). Los resultados indicaron que no existen diferencias significativas entre el Equipo de Verificación y el Equipo E para todos los niveles de significancia evaluados. El resto de las comparaciones entre equipos rechazaron la hipótesis nula en los diferentes niveles de confianza, lo que sugiere diferencias significativas entre los equipos.

Tabla A-15. Distribución de los datos para la Prueba 1_2_4



| Prueba 1_2_4 | | |
|--------------|---|--|
| Eq. | Histograma | Diagrama Cuantil - Cuantil |
| B | <p>Histograma: Prueba 1_2_4 Equipo B</p> | <p>Normal Q-Q Plot: Prueba 1_2_4 Equipo B</p> |
| C | <p>Histograma: Prueba 1_2_4 Equipo C</p> | <p>Normal Q-Q Plot: Prueba 1_2_4 Equipo C</p> |
| D | <p>Histograma: Prueba 1_2_4 Equipo D</p> | <p>Normal Q-Q Plot: Prueba 1_2_4 Equipo D</p> |
| E | <p>Histograma: Prueba 1_2_4 Equipo E</p> | <p>Normal Q-Q Plot: Prueba 1_2_4 Equipo E</p> |

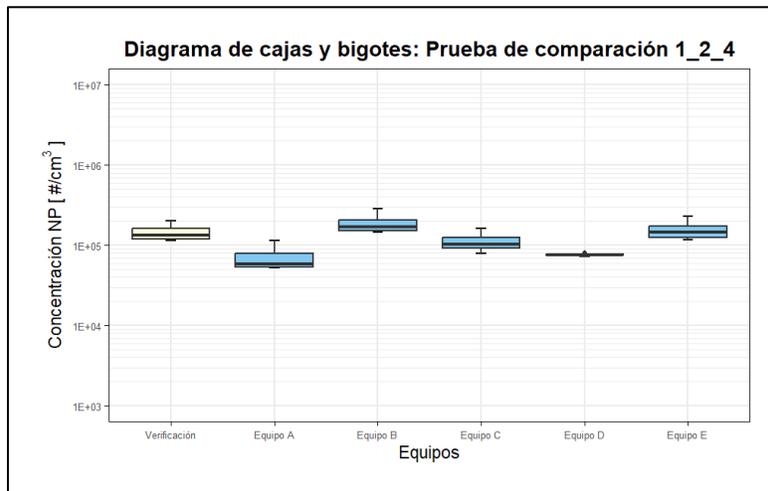
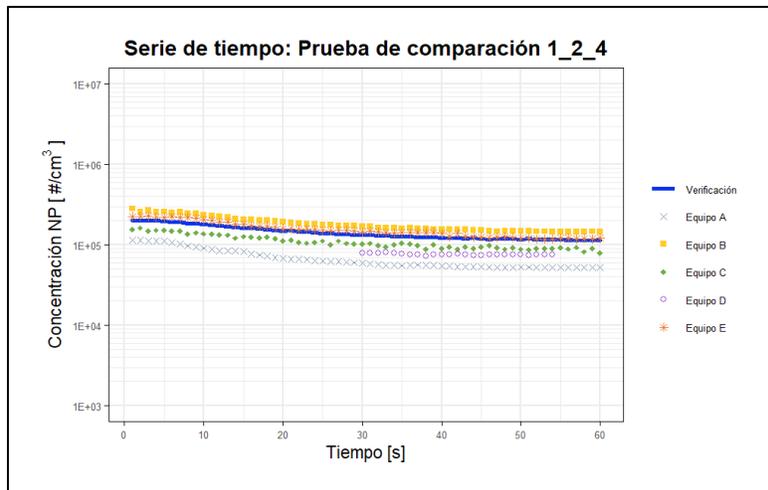


Tabla A-16. Medidas estadísticas descriptivas para la prueba 1_2_4

| Parámetros | Verificación | Equipo A | Equipo B | Equipo C | Equipo D | Equipo E |
|----------------------|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Min | 113681 | 52087 | 145000 | 79667 | 73092 | 117904 |
| Q1 | 119694 | 53034 | 149500 | 91586 | 75004 | 124316 |
| Mediana | 132427 | 58742 | 169000 | 102810 | 75586 | 145938 |
| Q3 | 161298 | 81553 | 204750 | 124503 | 76806 | 177682 |
| Máx | 203163 | 115260 | 282000 | 161277 | 80415 | 228106 |
| Media | 143152 | 68210 | 183150 | 109628 | 76218 | 156554 |
| σ | 28166 | 19723 | 39177 | 21927 | 2005 | 35015 |
| Coef. R ² | 1 | 0.9755 | 0.9911 | 0.9681 | 0.4665 | 0.9818 |
| Coef. Corr | 1 | 0.987665 | 0.995534 | 0.98392 | 0.741251 | 0.990871 |

* σ Desviación estándar

El análisis comparativo de las concentraciones de partículas entre cinco equipos de interés y un Equipo de Verificación durante la prueba de verificación a concentraciones medias (1_2_4) revela diferencias sustanciales en los resultados. A continuación, se detallan los hallazgos encontrados:

El análisis de los datos revela diferencias significativas en las medidas de tendencia central y distribución entre el Equipo de Verificación y los diferentes equipos. El Equipo de Verificación muestra una mediana de 132427 y una media de 143152, indicando una distribución general que tiende hacia valores más altos. Comparativamente, el Equipo A tiene una mediana de 58742 y una media de 68210, lo que sugiere una tendencia hacia valores más bajos que el Equipo de Verificación. El Equipo B presenta una mediana de 169000 y una media de 183150, indicando una inclinación hacia valores más altos en comparación con el Equipo de Verificación. El Equipo C muestra una mediana de 102810 y una media de 109628, lo que también indica una tendencia hacia valores menores en comparación con el Equipo B, pero mayor que el Equipo A. El Equipo D tiene una mediana de 75586 y una media de 76218, con valores que están más cercanos a los del Equipo A. Finalmente, el Equipo E presenta una mediana de 145938 y una media de 156554, mostrando una tendencia a valores más altos que el Equipo de Verificación, pero aún por debajo del Equipo B.

La desviación estándar proporciona información adicional sobre la dispersión de los datos dentro de cada equipo. El Equipo de Verificación tiene una desviación estándar de 28166, indicando una dispersión relativamente amplia en torno a la media. El Equipo A presenta una desviación estándar de 19723, lo que sugiere una menor variabilidad en comparación con el Equipo de Verificación. El Equipo B muestra una desviación estándar significativamente más alta de 39177, reflejando una mayor dispersión en sus datos. Por otro lado, el Equipo C tiene una desviación estándar de 21927, lo que también indica una variabilidad notable en torno a su media. El Equipo D presenta una desviación estándar mucho más baja de 2005, señalando una dispersión muy limitada alrededor de su media. Finalmente, el Equipo E, con una desviación estándar de 35015, muestra una dispersión considerable en comparación con los equipos A y D, pero menor que la observada en el Equipo B.

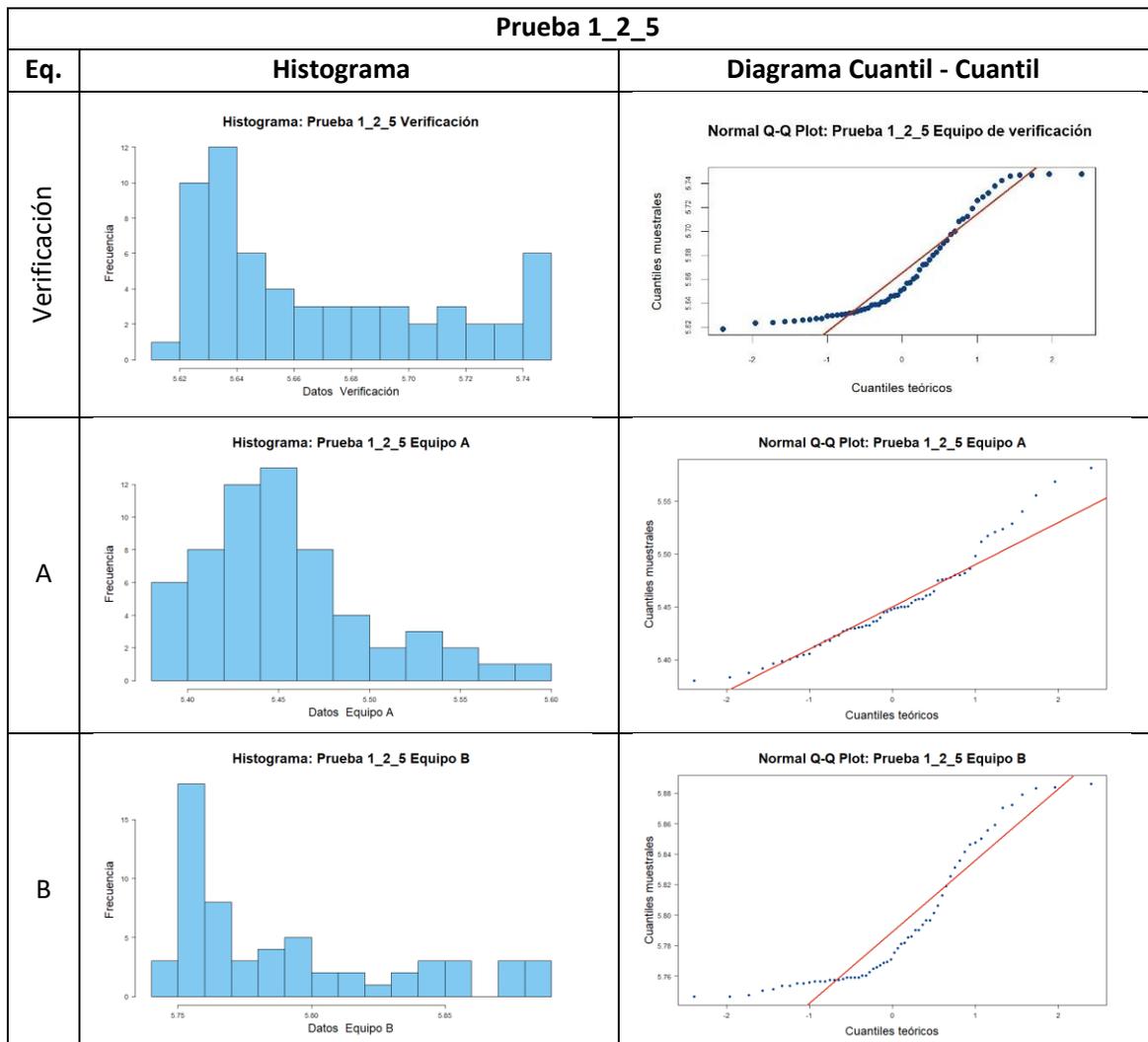
El análisis de los coeficientes de determinación (R^2) y de correlación revela diversas fortalezas en la relación entre las variables para cada equipo. El Equipo A tiene un R^2 de 0.9755 y un coeficiente de correlación de 0.987665, lo que sugiere una relación muy fuerte entre las variables. El Equipo B muestra un R^2 de 0.9911 y un coeficiente de correlación de 0.995534, indicando una excelente correlación y ajuste de los datos. El Equipo C tiene un R^2 de 0.9681 y un coeficiente de correlación de 0.98392, también reflejando una relación muy fuerte. En contraste, el Equipo D tiene un R^2 de 0.4665 y un coeficiente de correlación de 0.741251, sugiriendo una relación más débil en comparación con los otros equipos. Finalmente, el Equipo E presenta un R^2 de 0.9818 y un coeficiente de correlación de 0.990871, indicando una fuerte relación entre las variables, aunque ligeramente inferior a la de los Equipos B y C.

Por otro lado, las pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk revelaron que las concentraciones de partículas de en todos los equipos muestran evidencia significativa en contra de la hipótesis nula de normalidad, con valores p muy bajos entre 0.00000004 y 0.003188252. Esto sugiere que estas variables no siguen una distribución normal.

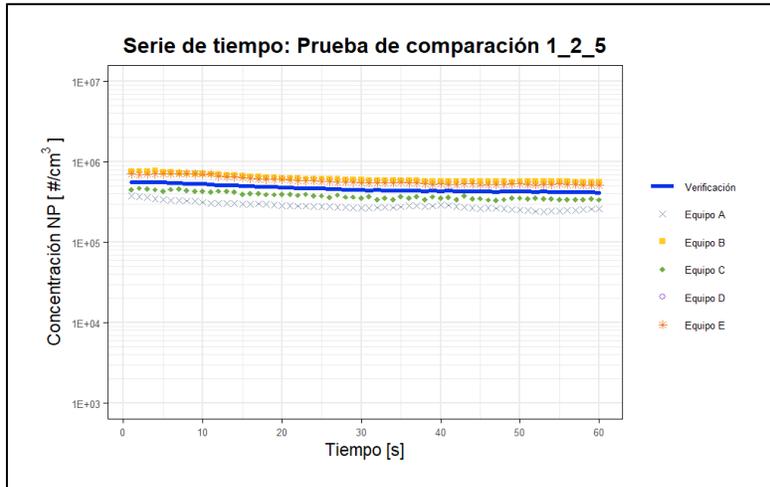
En este contexto, se llevó a cabo un análisis comparativo entre el Equipo de Verificación y los demás equipos utilizando la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Los resultados de la prueba indican que hay diferencias estadísticamente significativas entre al menos dos de los equipos. Con un estadístico Chi-cuadrado de 242.32 y un valor p extremadamente bajo de $< 2.2E-16$ para 5 grados de libertad, se rechaza la hipótesis nula de que las medianas de todos los grupos son iguales. Este hallazgo sugiere que la concentración de partículas varía de manera significativa entre los equipos.

La variabilidad observada entre los equipos motivó la realización de un análisis comparativo múltiple mediante la prueba post hoc de Dunn con corrección de Bonferroni, utilizando tres niveles de significancia (0.05, 0.01 y 0.001). Los resultados indicaron que no existen diferencias significativas entre el Equipo de Verificación y el Equipo E para los niveles de significancia de 0.01 y 0.001. En el caso de las comparaciones entre los demás equipos rechazaron la hipótesis nula en los diferentes niveles de confianza, lo que sugiere diferencias significativas entre los equipos.

Tabla A-17. Distribución de los datos para la Prueba 1_2_5



| Prueba 1_2_5 | | |
|--------------|--|---|
| Eq. | Histograma | Diagrama Cuantil - Cuantil |
| C | <p>Histograma: Prueba 1_2_5 Equipo C</p> <p>Datos Equipo C</p> | <p>Normal Q-Q Plot: Prueba 1_2_5 Equipo C</p> <p>Cuantiles muestrales</p> <p>Cuantiles teóricos</p> |
| D | No aplica | No aplica |
| E | <p>Histograma: Prueba 1_2_5 Equipo E</p> <p>Datos Equipo E</p> | <p>Normal Q-Q Plot: Prueba 1_2_5 Equipo E</p> <p>Cuantiles muestrales</p> <p>Cuantiles teóricos</p> |



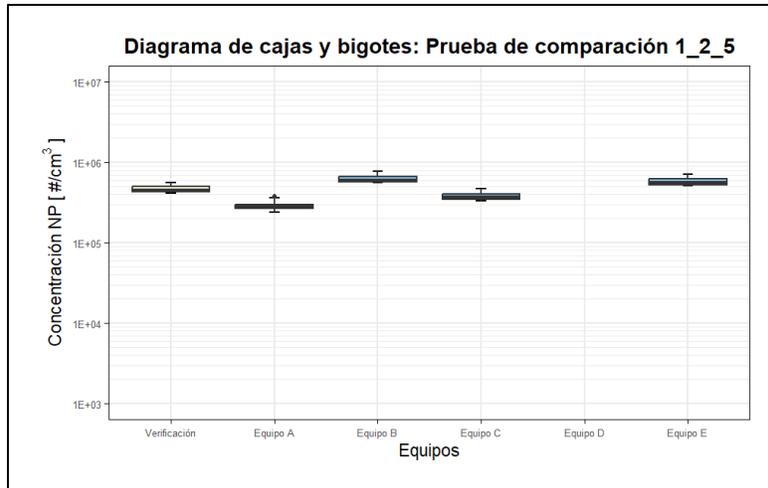


Tabla A-18. Medidas estadísticas descriptivas para la prueba 1_2_5

| Parámetros | Verificación | Equipo A | Equipo B | Equipo C | Equipo D | Equipo E |
|----------------------|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Min | 415571 | 240013 | 558000 | 330429 | - | 515177 |
| Q1 | 428739 | 264575 | 572000 | 344558 | - | 526761 |
| Mediana | 448244 | 280476 | 593000 | 366927 | - | 553538 |
| Q3 | 500722 | 300196 | 666500 | 401330 | - | 633693 |
| Máx | 559803 | 381262 | 769000 | 466195 | - | 715744 |
| Media | 467686 | 285504 | 622100 | 379829 | - | 584430 |
| σ | 46392 | 31708 | 64205 | 39867 | - | 68890 |
| Coef. R ² | 1 | 0.8593 | 0.9857 | 0.941 | - | 0.9776 |
| Coef. Corr | 1 | 0.926975 | 0.992848 | 0.970075 | - | 0.988754 |

* σ Desviación estándar

El análisis comparativo de las concentraciones de partículas entre cuatro equipos de interés y un Equipo de Verificación durante la prueba de verificación a concentraciones media altas (1_2_5) revela diferencias significativas en los resultados. A continuación, se detallan los hallazgos encontrados:

El análisis de los datos muestra variaciones significativas en las medidas de tendencia central entre el Equipo de Verificación y los diferentes equipos. El Equipo de Verificación tiene una mediana de 448244 y una media de 467686, reflejando una distribución central de datos en torno a estos valores. El Equipo A, en comparación, presenta una mediana de 280476 y una media de 285504, lo que sugiere una tendencia hacia valores más bajos. Por otro lado, el Equipo B muestra una mediana de 593000 y una media de 622100, indicando una inclinación hacia valores más altos. El Equipo C tiene una mediana de 366927 y una media de 379829, mostrando una distribución también inclinada hacia valores superiores, aunque no tanto como el Equipo B. Finalmente, el Equipo E exhibe una mediana de 553538 y una media de 584430, reflejando una tendencia a valores altos, similar a la del Equipo B, pero con una distribución ligeramente diferente.

En términos de variabilidad, el Equipo de Verificación muestra una desviación estándar de 46392, indicando una dispersión moderada de los datos en torno a la media. En comparación, el Equipo A tiene una desviación estándar de 31708, sugiriendo una menor variabilidad en los datos en comparación con el Equipo de Verificación. El Equipo B presenta una desviación estándar de 64205, lo que indica una mayor dispersión en sus datos respecto a la media. El Equipo C tiene una desviación estándar de 39867, mostrando una variabilidad intermedia entre el Equipo A y el Equipo B. Finalmente, el Equipo E tiene una desviación estándar de 68890, reflejando la mayor dispersión en sus datos en comparación con los otros equipos.

El análisis de los coeficientes de determinación (R^2) y de correlación muestra variaciones significativas en la relación entre los equipos. El Equipo A presenta un R^2 de 0.8593 y un coeficiente de correlación de 0.926975, lo que sugiere una fuerte relación entre las variables, aunque con menos precisión que el Equipo de Verificación. Por otro lado, el Equipo B muestra un R^2 de 0.9857 y un coeficiente de correlación de 0.992848, reflejando una correlación muy alta y una capacidad casi perfecta para explicar la variabilidad en los datos en relación con la media. El Equipo C tiene un R^2 de 0.941 y un coeficiente de correlación de 0.970075, indicando una fuerte relación con una capacidad significativa para explicar la variabilidad en los datos. Finalmente, el Equipo E presenta un R^2 de 0.9776 y un coeficiente de correlación de 0.988754, mostrando también una alta correlación y capacidad de explicación de los datos.

Por otro lado, las pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk indican que las concentraciones de partículas en los diferentes equipos muestran evidencias significativas en contra de la hipótesis nula de normalidad, con valores p de 0.00000407, 0.00054694, 0.00000071, 0.000045 y 0.00000050 respectivamente. Estos resultados sugieren que las concentraciones de partículas en estos equipos no siguen una distribución normal.

En este contexto, se llevó a cabo un análisis comparativo entre el Equipo de Verificación y los demás equipos utilizando la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Los resultados de la prueba indican que hay diferencias estadísticamente significativas entre al menos dos de los equipos. Con un estadístico Chi-cuadrado de 262.23 y un valor p extremadamente bajo de $< 2.2E-16$ para 4 grados de libertad, se rechaza la hipótesis nula de que las medianas de todos los grupos son iguales. Este hallazgo sugiere que la concentración de partículas varía de manera significativa entre los equipos.

Dada la variabilidad observada entre los equipos en general, se llevó a cabo un análisis comparativo múltiple utilizando la prueba post hoc de Dunn con corrección de Bonferroni, considerando tres niveles de significancia (0.05, 0.01 y 0.001). Los resultados revelaron que habían diferencias significativas entre todos los equipos, por lo que se acepta la hipótesis alternativa.

Tabla A-19. Distribución de los datos para la Prueba 1_2_6

| Prueba 1_2_6 | | |
|--------------|--|---|
| Eq. | Histograma | Diagrama Cuantil - Cuantil |
| Verificación | <p>Histograma: Prueba 1_2_6 Verificación</p> | <p>Normal Q-Q Plot: Prueba 1_2_6 Equipo de verificación</p> |
| A | No aplica | No aplica |
| B | <p>Histograma: Prueba 1_2_6 Equipo B</p> | <p>Normal Q-Q Plot: Prueba 1_2_6 Equipo B</p> |
| C | <p>Histograma: Prueba 1_2_6 Equipo C</p> | <p>Normal Q-Q Plot: Prueba 1_2_6 Equipo C</p> |
| D | No aplica | No aplica |
| E | <p>Histograma: Prueba 1_2_6 Equipo E</p> | <p>Normal Q-Q Plot: Prueba 1_2_6 Equipo E</p> |

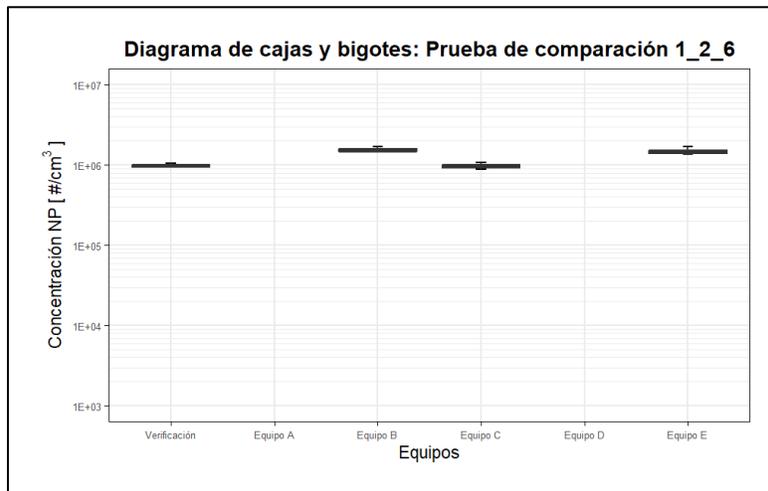
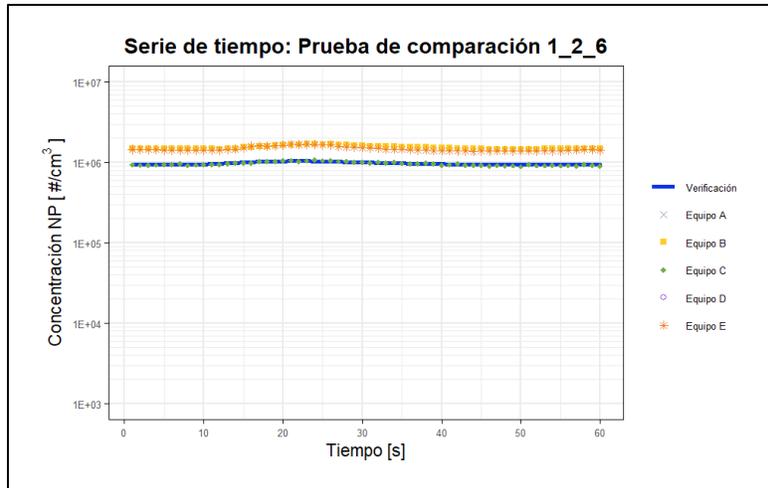


Tabla A-20. Medidas estadísticas descriptivas para la prueba 1_2_6

| Parámetros | Verificación | Equipo A | Equipo B | Equipo C | Equipo D | Equipo E |
|----------------------|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Min | 934114 | - | 1448000 | 891690 | - | 1371660 |
| Q1 | 939542 | - | 1483000 | 920011 | - | 1398443 |
| Mediana | 953161 | - | 1495500 | 943740 | - | 1431173 |
| Q3 | 1002879 | - | 1586250 | 998895 | - | 1525797 |
| Máx | 1045396 | - | 1686000 | 1068965 | - | 1687880 |
| Media | 971030 | - | 1536850 | 960992 | - | 1471186 |
| σ | 36439 | - | 72634 | 48712 | - | 93620 |
| Coef. R ² | 1 | - | 0.8618 | 0.9032 | - | 0.9023 |
| Coef. Corr | 1 | - | 0.928336 | 0.950362 | - | 0.949908 |

* σ Desviación estándar

El análisis comparativo de las concentraciones de partículas entre tres equipos de interés y un Equipo de Verificación durante la prueba de verificación a concentraciones altas (1_2_6) revela diferencias significativas en los resultados. A continuación, se detallan los hallazgos encontrados:

El análisis de los datos revela diferencias notables en las medidas de tendencia central entre el Equipo de Verificación y los otros equipos. El Equipo de Verificación tiene una mediana de 953161 y una media de 971030, lo que indica una distribución relativamente equilibrada alrededor de estos valores centrales. En contraste, el Equipo B presenta una mediana de 1495500 y una media de 1536850, mostrando una tendencia hacia valores significativamente más altos en comparación con el Equipo de Verificación. El Equipo C muestra una mediana de 943740 y una media de 960992, mientras que el Equipo E tiene una mediana de 1431173 y una media de 1471186. Estas diferencias sugieren que el Equipo B y el Equipo E tienden a presentar valores más elevados en comparación con el Equipo de Verificación y el Equipo C.

En cuanto a la dispersión de los datos, se observa que el Equipo de Verificación tiene una desviación estándar de 36439, lo que indica una variabilidad moderada en sus datos. En comparación, el Equipo B presenta una desviación estándar de 72634, que es considerablemente más alta, reflejando una mayor dispersión en torno a su media. El Equipo C tiene una desviación estándar de 48712, mientras que el Equipo E muestra una desviación estándar de 93620. La mayor desviación estándar en el Equipo E sugiere una amplia variabilidad en sus datos en comparación con el Equipo de Verificación y los otros equipos, indicando que sus valores están más dispersos alrededor de la media.

Los coeficientes de determinación (R^2) obtenidos al comparar los datos de cada equipo con el Equipo de Verificación muestran distintos niveles de ajuste del modelo a los datos. El Equipo C muestra un ajuste más sólido, con un R^2 de 0.9032 y un coeficiente de correlación de 0.950362, reflejando una relación significativa con el Equipo de Verificación. De manera similar, el Equipo E presenta un R^2 de 0.9023 y un coeficiente de correlación de 0.949908, indicando un ajuste fuerte con el Equipo de Verificación. Por último, el Equipo B muestra un R^2 de 0.8618 y un coeficiente de correlación de 0.928336, sugiriendo una relación moderada con el Equipo de Verificación. Estos resultados sugieren que, aunque todos los equipos muestran algún grado de ajuste con el Equipo de Verificación, hay diferencias en la fuerza de esta relación entre los equipos.

Por otro lado, las pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk indican que las concentraciones de partículas en los diferentes equipos muestran evidencias significativas en contra de la hipótesis nula de normalidad, con valores p de 0.00000113, 0.00000382, 0.00103542 y 0.00000045 respectivamente. Estos resultados sugieren que las concentraciones de partículas en estos equipos no siguen una distribución normal.

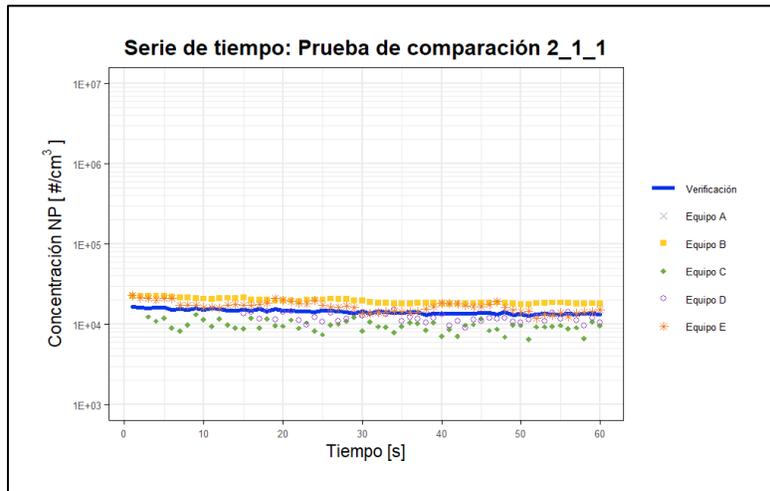
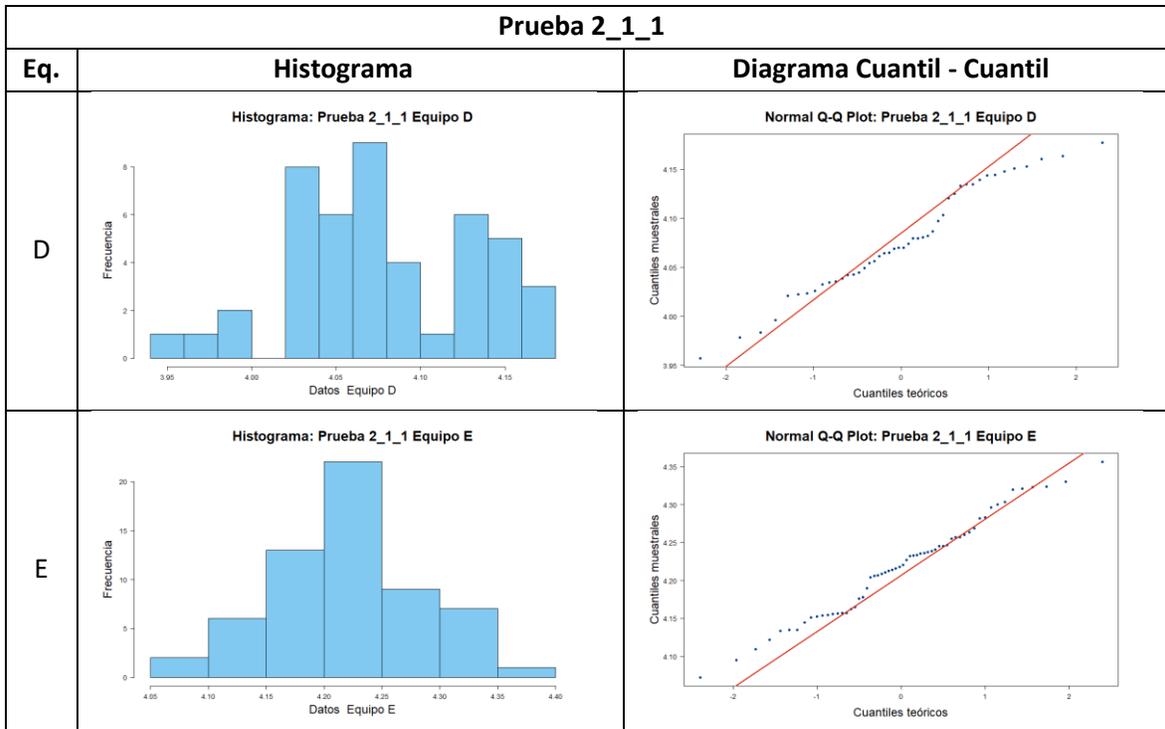
En este contexto, se llevó a cabo un análisis comparativo entre el Equipo de Verificación y los demás equipos utilizando la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Los resultados de la prueba indican que hay diferencias estadísticamente significativas entre al menos dos de los equipos. Con un estadístico Chi-cuadrado de 186.66 y un valor p extremadamente bajo de $< 2.2E-16$ para 3 grados de libertad, se rechaza la hipótesis nula de que las medianas de todos los grupos son iguales. Este hallazgo sugiere que la concentración de partículas varía de manera significativa entre los equipos.

Dada la variabilidad observada entre los equipos en general, se llevó a cabo un análisis comparativo múltiple utilizando la prueba post hoc de Dunn con corrección de Bonferroni, considerando tres niveles de significancia (0.05, 0.01 y 0.001). Los resultados revelaron que únicamente la comparaciones entre el Equipo de Verificación con el Equipo C sugieren que estadísticamente son similares los valores cuando se reduce el nivel de significancia a 0.01 y 0.001. Las demás comparaciones entre equipos rechaza la hipótesis nula por lo que estadísticamente existen diferencias significativas entre esos equipos.

Análisis de pruebas día 2 – Comparaciones equipos y sistema de referencia

Tabla A-21. Distribución de los datos para la Prueba 2_1_1

| Prueba 2_1_1 | | |
|--------------|------------|----------------------------|
| Eq. | Histograma | Diagrama Cuantil - Cuantil |
| Verificación | | |
| A | No aplica | No aplica |
| B | | |
| C | | |



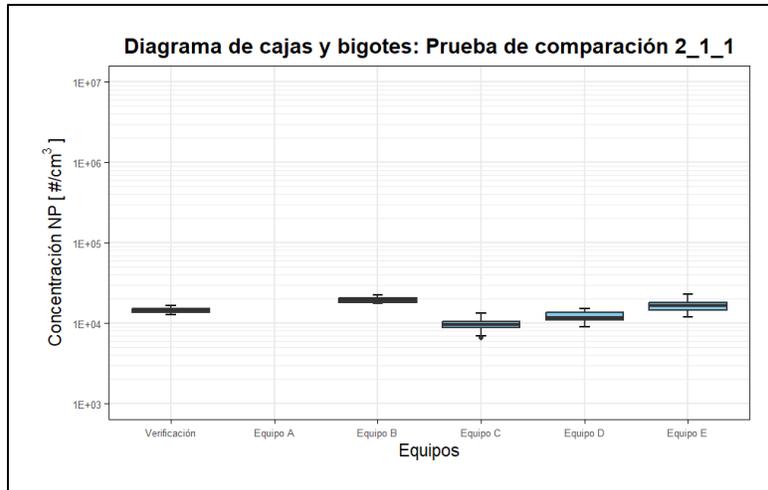


Tabla A-22. Medidas estadísticas descriptivas para la prueba 2_1_1

| Parámetros | Verificación | Equipo A | Equipo B | Equipo C | Equipo D | Equipo E |
|----------------------|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Min | 12798 | - | 17500 | 6488 | 9064 | 11815 |
| Q1 | 13643 | - | 18200 | 8799 | 10907 | 14355 |
| Mediana | 14283 | - | 19150 | 9529 | 11748 | 16567 |
| Q3 | 15035 | - | 20775 | 10556 | 13604 | 18081 |
| Máx | 16513 | - | 22600 | 13174 | 15035 | 22713 |
| Media | 14362 | - | 19517 | 9618 | 12037 | 16669 |
| σ | 932 | - | 1479 | 1482 | 1504 | 2484 |
| Coef. R ² | 1 | - | 0.803 | 0.1549 | 0.1251 | 0.4422 |
| Coef. Corr | 1 | - | 0.8961 | 0.402333 | 0.322715 | 0.665013 |

* σ Desviación estándar

El análisis comparativo de las concentraciones de partículas entre cuatro equipos de interés y un Equipo de Verificación durante la prueba de verificación a concentraciones bajas (2_1_1) revela diferencias significativas en los resultados. A continuación, se detallan los hallazgos encontrados:

El análisis de los datos muestra diferencias notables en las medidas de tendencia central entre el Equipo de Verificación y los demás equipos. El Equipo de Verificación presenta una mediana de 14283 y una media de 14362, lo que indica una distribución relativamente equilibrada en torno a estos valores. En comparación, el Equipo B tiene una mediana de 19150 y una media de 19517, sugiriendo una tendencia hacia valores más altos. El Equipo C muestra una mediana de 9529 y una media de 9618, que son inferiores a los valores del Equipo de Verificación, reflejando una inclinación hacia valores más bajos. El Equipo D tiene una mediana de 11748 y una media de 12037, situándose en un punto intermedio. Por último, el Equipo E presenta una mediana de 16567 y una media de 16669, indicando valores más altos y un rango superior en comparación con los otros equipos.

En términos de desviación estándar, el Equipo de Verificación tiene un valor de 932, indicando una variabilidad relativamente baja en sus datos. En comparación, el Equipo B muestra una desviación

estándar de 1479, lo que sugiere una mayor dispersión en torno a su media. El Equipo C tiene una desviación estándar de 1482, que es bastante similar a la del Equipo B, reflejando una dispersión considerable en sus datos. El Equipo D presenta una desviación estándar de 1504, mostrando una mayor variabilidad en comparación con el Equipo de Verificación. Finalmente, el Equipo E, con una desviación estándar de 2484, muestra la mayor dispersión de datos, indicando que sus valores están más ampliamente distribuidos en torno a la media.

El análisis de los coeficientes de determinación (R^2) y correlación muestra variaciones significativas entre los equipos. El Equipo B presenta un R^2 de 0.803 y un coeficiente de correlación de 0.8961, reflejando una relación fuerte pero no perfecta. El Equipo C tiene un R^2 de 0.1549 y un coeficiente de correlación de 0.402333, indicando una relación débil con el Equipo de Verificación. El Equipo D muestra un R^2 de 0.1251 y un coeficiente de correlación de 0.322715, lo que sugiere una relación muy baja. Finalmente, el Equipo E tiene un R^2 de 0.4422 y un coeficiente de correlación de 0.665013, evidenciando una relación moderada.

Por otro lado, las pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk indican que las concentraciones de partículas para el Equipo C, el Equipo D y el Equipo E aceptan la hipótesis nula de normalidad, indicando que siguen una distribución normal con valores p de 0.5931063, 0.1276209 y 0.2467416 respectivamente. No obstante, el Equipo de Verificación y el Equipo B aceptan la hipótesis alternativas, es decir que no siguen una distribución normal, con valores p de 0.02798835 y 0.00008423 respectivamente.

En este contexto, se llevó a cabo un análisis comparativo entre el Equipo de Verificación y los demás equipos utilizando la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Los resultados de la prueba indican que hay diferencias estadísticamente significativas entre al menos dos de los equipos. Con un estadístico Chi-cuadrado de 234.70 y un valor p extremadamente bajo de $< 2.2E-16$ para 4 grados de libertad, se rechaza la hipótesis nula de que las medianas de todos los grupos son iguales. Este hallazgo sugiere que la concentración de partículas varía de manera significativa entre los equipos.

Dada la variabilidad observada entre los equipos en general, se realizó un análisis comparativo múltiple mediante la prueba post hoc de Dunn con corrección de Bonferroni, considerando tres niveles de significancia (0.05, 0.01 y 0.001). Los resultados revelaron que todas las comparaciones entre los equipos arrojaron diferencias estadísticamente significativas, dado a que se rechazaron notablemente la hipótesis nula.

Tabla A-23. Distribución de los datos para la Prueba 2_1_2

| Prueba 2_1_2 | | |
|--------------|--|---|
| Eq. | Histograma | Diagrama Cuantil - Cuantil |
| Verificación | <p>Histograma: Prueba 2_1_2 Verificación</p> | <p>Normal Q-Q Plot: Prueba 2_1_2 Equipo de verificación</p> |
| A | No aplica | No aplica |
| B | <p>Histograma: Prueba 2_1_2 Equipo B</p> | <p>Normal Q-Q Plot: Prueba 2_1_2 Equipo B</p> |
| C | <p>Histograma: Prueba 2_1_2 Equipo C</p> | <p>Normal Q-Q Plot: Prueba 2_1_2 Equipo C</p> |
| D | <p>Histograma: Prueba 2_1_2 Equipo D</p> | <p>Normal Q-Q Plot: Prueba 2_1_2 Equipo D</p> |

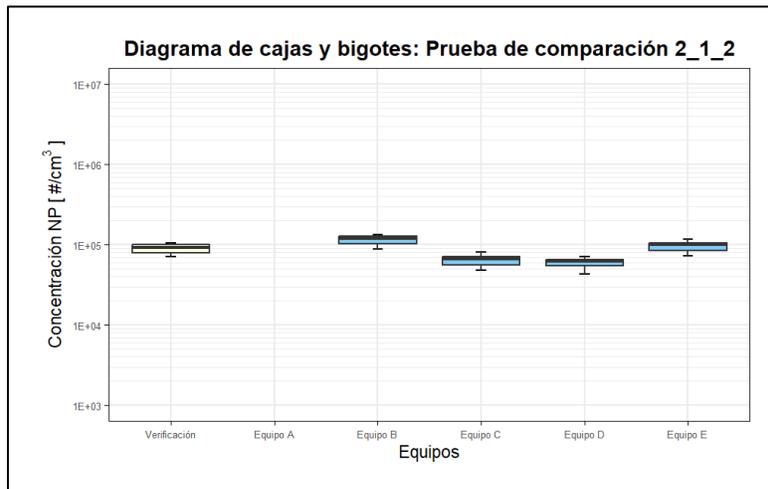
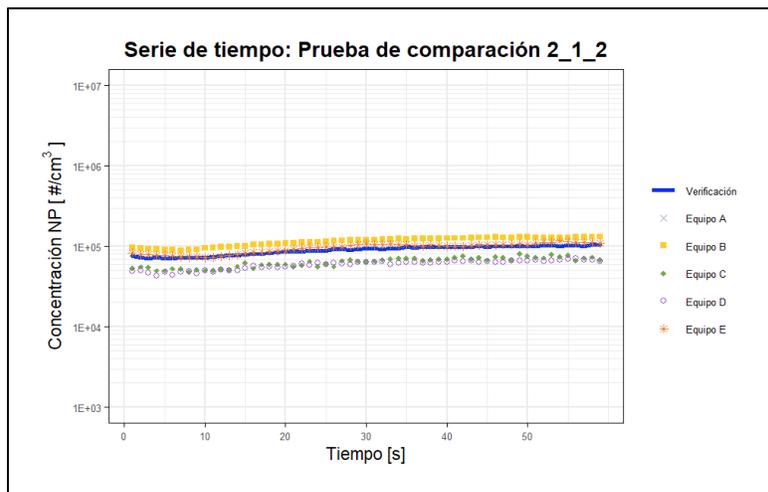
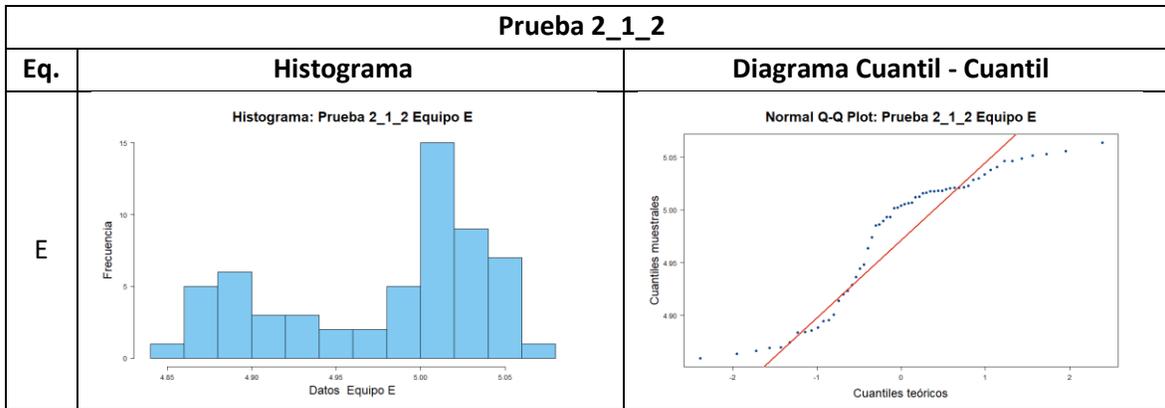


Tabla A-24. Medidas estadísticas descriptivas para la prueba 2_1_2

| Parámetros | Verificación | Equipo A | Equipo B | Equipo C | Equipo D | Equipo E |
|------------|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Min | 71259 | - | 88800 | 47901 | 43367 | 72344 |
| Q1 | 78450 | - | 101000 | 55488 | 53722 | 83173 |

| | | | | | | |
|-------------|--------|---|----------|----------|----------|----------|
| Mediana | 92988 | - | 120000 | 65800 | 62441 | 100933 |
| Q3 | 99690 | - | 128000 | 71021 | 64604 | 104974 |
| Máx | 104089 | - | 132000 | 80966 | 70631 | 115787 |
| Media | 89712 | - | 115046 | 63832 | 59412 | 95823 |
| σ | 10951 | - | 14207 | 8939 | 7351 | 13194 |
| Coef. R^2 | 1 | - | 0.9885 | 0.8483 | 0.9313 | 0.9304 |
| Coef. Corr | 1 | - | 0.994214 | 0.921023 | 0.965027 | 0.964578 |

* σ Desviación estándar

El análisis comparativo de las concentraciones de partículas entre cuatro equipos de interés y un Equipo de Verificación durante la prueba de verificación a concentraciones medias (2_1_2) revela diferencias significativas en los resultados. A continuación, se detallan los hallazgos encontrados:

El análisis de los datos revela diferencias en las medidas de tendencia central y distribución entre el Equipo de Verificación y los distintos equipos. el Equipo de Verificación tiene una mediana de 92988 y una media de 89712, indicando una distribución centrada alrededor de estos valores. En comparación, el Equipo B presenta una mediana de 120000 y una media de 115046, sugiriendo valores centrales más altos. El Equipo C muestra una mediana de 65800 y una media de 63832, reflejando una tendencia hacia valores menores que los observados en los equipos anteriores. Por su parte, el Equipo D tiene una mediana de 62441 y una media de 59412, lo que también indica valores relativamente bajos en comparación con los equipos con mediana y media más altas. Finalmente, el Equipo E presenta una mediana de 100933 y una media de 95823, mostrando una distribución de datos que se acerca a los valores centrales observados en el Equipo de Verificación pero con un promedio ligeramente mayor.

En cuanto a la desviación estándar, se observa que el Equipo de Verificación tiene una desviación estándar de 10951, lo que sugiere una variabilidad moderada en los datos en torno a la media. El Equipo B tiene una desviación estándar de 14207, indicando una mayor dispersión en comparación con el Equipo de Verificación. El Equipo C presenta una desviación estándar de 8939, lo que indica una variabilidad menor que la de los Equipos B y E. El Equipo D muestra una desviación estándar de 7351, sugiriendo la menor dispersión entre todos los equipos. Por último, el Equipo E tiene una desviación estándar de 13194, que aunque significativa, es menos que la del Equipo B, reflejando una dispersión considerable en los datos pero menos pronunciada que la observada en el Equipo B.

El coeficiente de determinación (R^2) y el coeficiente de correlación muestran distintas relaciones entre los equipos. El Equipo B tiene un R^2 de 0.9885 y un coeficiente de correlación de 0.9942, lo que refleja una fuerte relación con el Equipo de Verificación. El Equipo C muestra un R^2 de 0.8483 y un coeficiente de correlación de 0.9210, evidenciando una relación notable pero menos intensa. El Equipo D presenta un R^2 de 0.9313 y un coeficiente de correlación de 0.9650, sugiriendo una relación sólida con el Equipo de Verificación. Finalmente, el Equipo E tiene un R^2 de 0.9304 y un coeficiente de correlación de 0.9646, mostrando una relación también robusta, similar a la del Equipo D, pero con una ligera diferencia en la intensidad de la correlación.

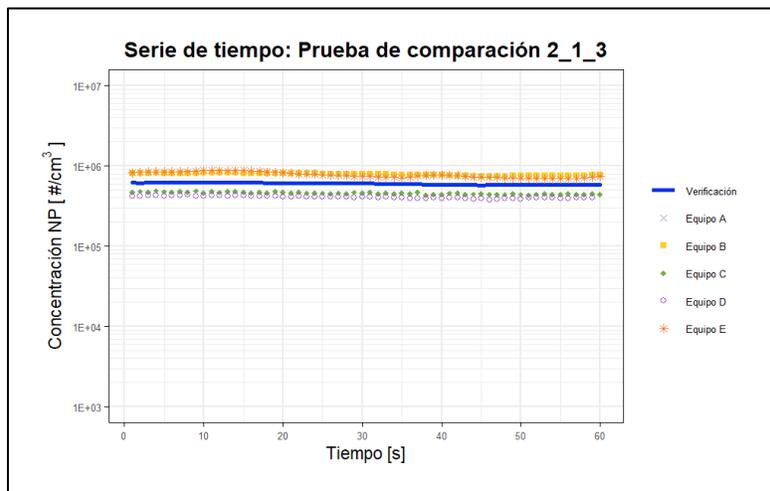
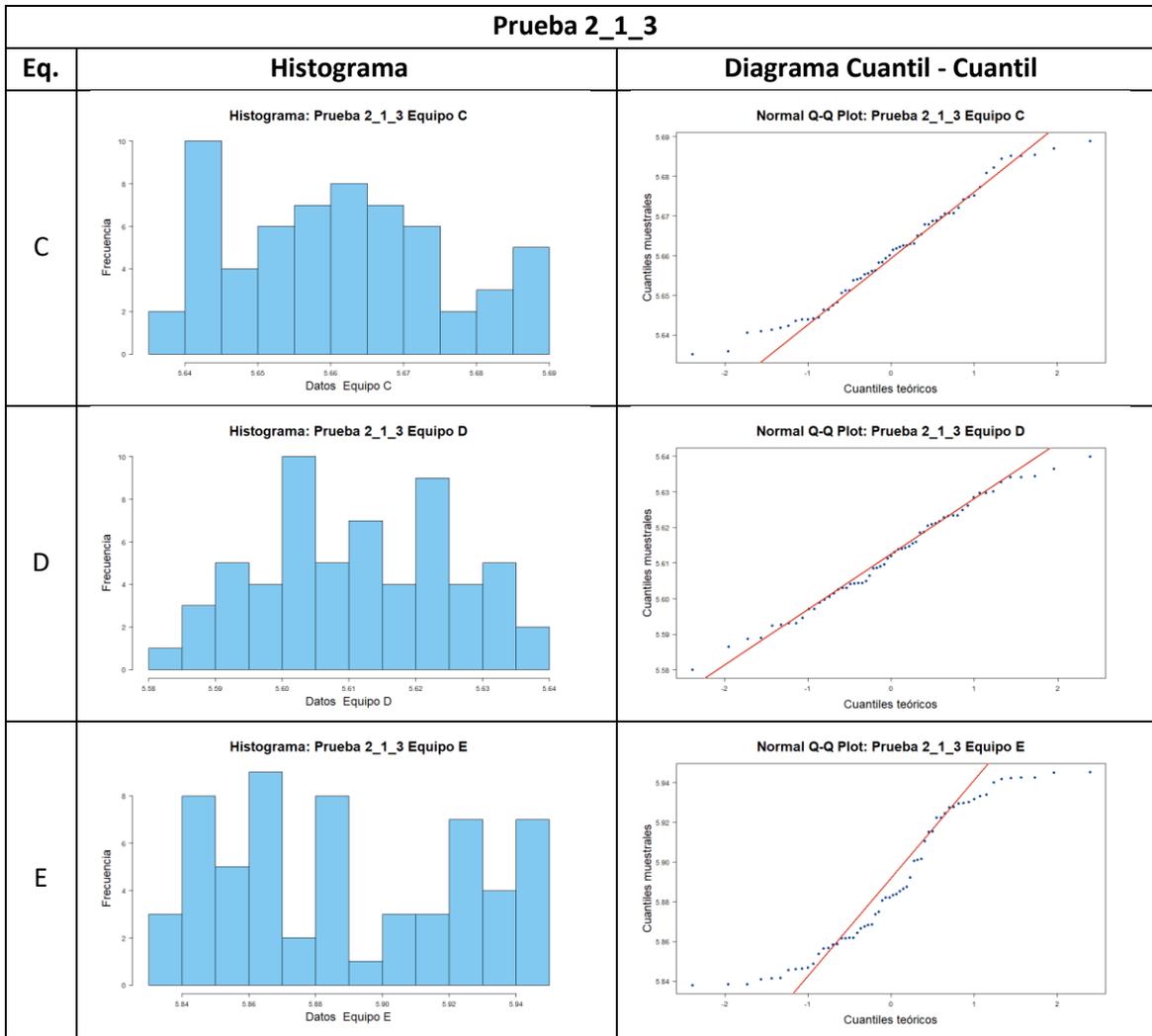
Por otro lado, las pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk indican que las concentraciones de partículas para todos los equipos rechazan la hipótesis nula de normalidad, indicando que no siguen una distribución normal dado a que los valores p son extremadamente bajos, oscilando entre 0.00002672 y 0.01187427.

En este contexto, se llevó a cabo un análisis comparativo entre el Equipo de Verificación y los demás equipos utilizando la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Los resultados de la prueba indican que hay diferencias estadísticamente significativas entre al menos dos de los equipos. Con un estadístico Chi-cuadrado de 231.25 y un valor p extremadamente bajo de $< 2.2E-16$ para 4 grados de libertad, se rechaza la hipótesis nula de que las medianas de todos los grupos son iguales. Este hallazgo sugiere que la concentración de partículas varía de manera significativa entre los equipos.

Dada la variabilidad observada entre los equipos en general, se llevó a cabo un análisis comparativo múltiple mediante la prueba post hoc de Dunn con corrección de Bonferroni, considerando tres niveles de significancia (0.05, 0.01 y 0.001). Los resultados revelaron que la comparación entre el Equipo C con el Equipo D son estadísticamente similares únicamente a un nivel de significancia de 0.001. Las demás comparaciones entre equipos rechazan notablemente la hipótesis nula, sugiriendo que son estadísticamente diferentes.

Tabla A-25. Distribución de los datos para la Prueba 2_1_3

| Prueba 2_1_3 | | | |
|--------------|------------|----------------------------|--|
| Eq. | Histograma | Diagrama Cuantil - Cuantil | |
| Verificación | | | |
| A | No aplica | No aplica | |
| B | | | |



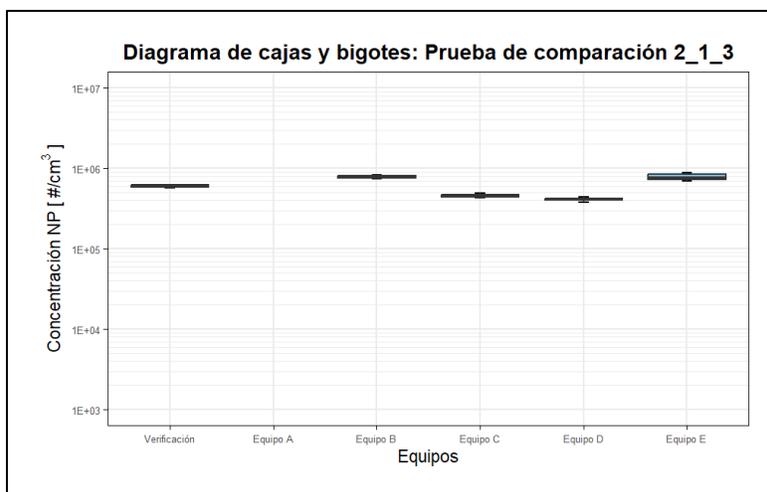


Tabla A-26. Medidas estadísticas descriptivas para la prueba 2_1_3

| Parámetros | Verificación | Equipo A | Equipo B | Equipo C | Equipo D | Equipo E |
|----------------------|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Min | 574954 | - | 744000 | 431728 | 380268 | 688783 |
| Q1 | 584231 | - | 761750 | 444367 | 399528 | 722163 |
| Mediana | 603905 | - | 789000 | 457953 | 409306 | 763469 |
| Q3 | 618235 | - | 809500 | 468495 | 420023 | 844899 |
| Máx | 629499 | - | 821000 | 488529 | 436407 | 881511 |
| Media | 601880 | - | 786200 | 457997 | 409344 | 776141 |
| σ | 17021 | - | 24510 | 15208 | 13543 | 63969 |
| Coef. R ² | 1 | - | 0.9373 | 0.6668 | 0.8206 | 0.7898 |
| Coef. Corr | 1 | - | 0.96814 | 0.816575 | 0.905891 | 0.888702 |

* σ Desviación estándar

El análisis comparativo de las concentraciones de partículas entre cuatro equipos de interés y un Equipo de Verificación durante la prueba de verificación a concentraciones media altas (2_1_3) revela diferencias significativas en los resultados. A continuación, se detallan los hallazgos encontrados:

El análisis de los datos muestra que el Equipo de Verificación tiene una mediana de 603905 y una media de 601880, lo que indica una distribución bastante equilibrada en torno a estos valores centrales. Comparativamente, el Equipo B presenta una mediana de 789000 y una media de 786200, sugiriendo una inclinación hacia valores más altos en comparación con el Equipo de Verificación. El Equipo C tiene una mediana de 457953 y una media de 457997, lo que refleja una distribución cercana y equilibrada en torno a estos valores centrales. El Equipo D muestra una mediana de 409306 y una media de 409344, indicando una distribución ajustada alrededor de estos valores centrales. Finalmente, el Equipo E tiene una mediana de 763469 y una media de 776141, lo que sugiere una tendencia hacia valores más altos en comparación con los otros equipos.

En términos de desviación estándar, el Equipo de Verificación presenta una desviación estándar de 17,021, indicando una dispersión moderada alrededor de la media. El Equipo B tiene una desviación estándar de 24510, lo que sugiere una mayor variabilidad en sus datos comparado con el Equipo de Verificación. El Equipo C, con una desviación estándar de 15208, muestra una dispersión relativamente ajustada en torno a su media. El Equipo D tiene una desviación estándar de 13543, indicando una menor variabilidad en comparación con los otros equipos. El Equipo E muestra la desviación estándar más alta de 63969, lo que indica una gran dispersión en torno a su media.

En cuanto a los coeficientes de determinación (R^2) y de correlación, el Equipo B presenta un R^2 de 0.9373 y un coeficiente de correlación de 0.96814, lo que sugiere una fuerte relación entre los datos aunque con algo de dispersión en comparación con el Equipo de Verificación. El Equipo C tiene un R^2 de 0.6668 y un coeficiente de correlación de 0.816575, lo que indica una relación más débil y una mayor variabilidad en los datos. El Equipo D muestra un R^2 de 0.8206 y un coeficiente de correlación de 0.905891, reflejando una relación moderada entre los datos y la media. Finalmente, el Equipo E, con un R^2 de 0.7898 y un coeficiente de correlación de 0.888702, también muestra una relación moderada pero más variable en comparación con el Equipo de Verificación.

Por otro lado, las pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk indican que las concentraciones de partículas para el Equipo C y el Equipo D aceptan la hipótesis nula de normalidad, es decir que siguen una distribución normal con valores p de 0.08250981 y 0.5427522 respectivamente. En contraste, el Equipo de Verificación, el Equipo B y el Equipo E indican que no siguen una distribución normal, con valores p de 0.000179, 0.0005242 y 0.000249 respectivamente.

En este contexto, se llevó a cabo un análisis comparativo entre el Equipo de Verificación y los demás equipos utilizando la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Los resultados de la prueba indican que hay diferencias estadísticamente significativas entre al menos dos de los equipos. Con un estadístico Chi-cuadrado de 271.92 y un valor p extremadamente bajo de $< 2.2E-16$ para 4 grados de libertad, se rechaza la hipótesis nula de que las medianas de todos los grupos son iguales. Este hallazgo sugiere que la concentración de partículas varía de manera significativa entre los equipos.

Dada la variabilidad observada entre los equipos en general, se llevó a cabo un análisis comparativo múltiple utilizando la prueba post hoc de Dunn con corrección de Bonferroni, considerando tres niveles de significancia (0.05, 0.01 y 0.001). Los resultados revelaron que únicamente la comparación entre el Equipo E y el Equipo B tienen evidencia significativa para aceptar la hipótesis nula, es decir que son estadísticamente similares para todos los niveles de confianza evaluados. En contraste, las demás comparaciones entre equipos rechazan notablemente la hipótesis nula, sugiriendo que son estadísticamente diferentes.

Tabla A-27. Distribución de los datos para la Prueba 2_1_4

| Prueba 2_1_4 | | |
|--------------|--|---|
| Eq. | Histograma | Diagrama Cuantil - Cuantil |
| Verificación | <p>Histograma: Prueba 2_1_4 Verificación</p> | <p>Normal Q-Q Plot: Prueba 2_1_4 Equipo de verificación</p> |
| A | No aplica | No aplica |
| B | <p>Histograma: Prueba 2_1_4 Equipo B</p> | <p>Normal Q-Q Plot: Prueba 2_1_4 Equipo B</p> |
| C | <p>Histograma: Prueba 2_1_4 Equipo C</p> | <p>Normal Q-Q Plot: Prueba 2_1_4 Equipo C</p> |
| D | <p>Histograma: Prueba 2_1_4 Equipo D</p> | <p>Normal Q-Q Plot: Prueba 2_1_4 Equipo D</p> |

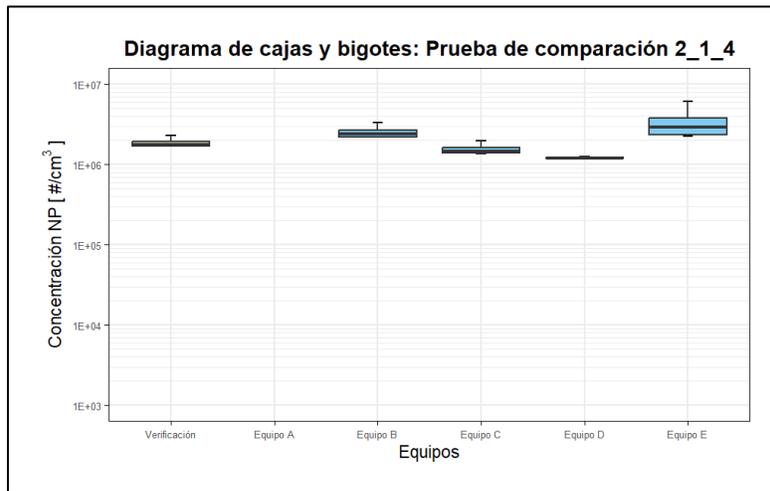
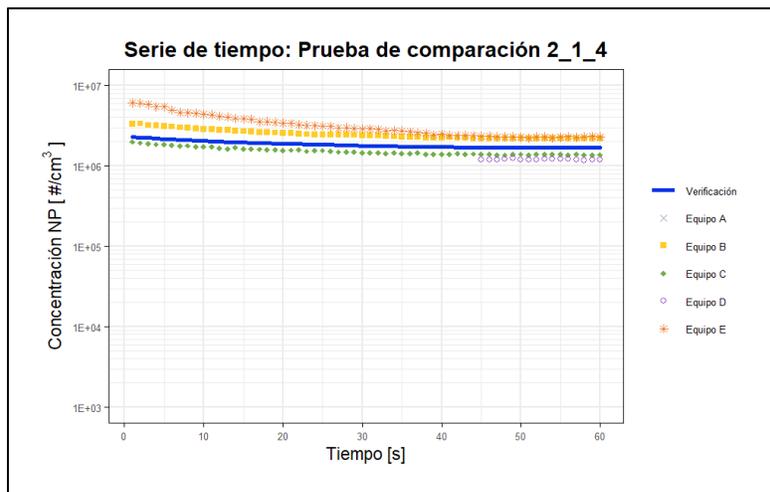
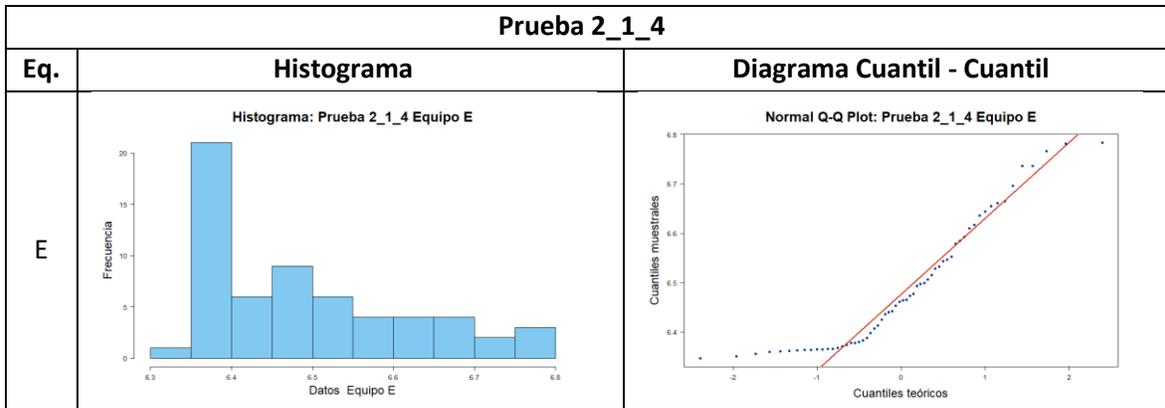


Tabla A-28. Medidas estadísticas descriptivas para la prueba 2_1_4

| Parámetros | Verificación | Equipo A | Equipo B | Equipo C | Equipo D | Equipo E |
|------------|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Min | 1678082 | - | 2189000 | 1363696 | 1173479 | 2223745 |
| Q1 | 1696089 | - | 2209750 | 1389731 | 1192528 | 2351535 |

| | | | | | | |
|-------------|---------|---|----------|----------|----------|----------|
| Mediana | 1785375 | - | 2412000 | 1460252 | 1206986 | 2901294 |
| Q3 | 1961569 | - | 2696500 | 1623147 | 1218634 | 3825934 |
| Máx | 2293543 | - | 3353000 | 1990427 | 1243164 | 6066510 |
| Media | 1847471 | - | 2499717 | 1531259 | 1205936 | 3237263 |
| σ | 174511 | - | 331740 | 169114 | 17875 | 1063094 |
| Coef. R^2 | 1 | - | 0.997 | 0.9889 | 0.0072 | 0.9919 |
| Coef. Corr | 1 | - | 0.998484 | 0.994453 | 0.309699 | 0.995941 |

* σ Desviación estándar

El análisis comparativo de las concentraciones de partículas entre cuatro equipos de interés y un Equipo de Verificación durante la prueba de verificación a concentraciones altas (2_1_4) revela diferencias significativas en los resultados. A continuación, se detallan los hallazgos encontrados:

El análisis de los datos revela notables diferencias en las medidas de tendencia central entre los equipos. El Equipo de Verificación presenta una media de 1847471 y una mediana de 1785375, indicando que los datos están centrados alrededor de estos valores. En comparación, el Equipo B muestra una media considerablemente más alta de 2499717 y una mediana de 2412000, sugiriendo una tendencia a obtener resultados más altos. El Equipo C tiene una media de 1531259 y una mediana de 1460252, lo que indica valores de tendencia central más modestos pero aún superiores a los del Equipo D, que reporta una media de 1205936 y una mediana de 1206986. Finalmente, el Equipo E muestra las cifras más altas con una media de 3237263 y una mediana de 2901294, reflejando una tendencia a obtener valores significativamente superiores en comparación con el Equipo de Verificación.

En cuanto a la dispersión de los datos, se observa que el Equipo de Verificación tiene una desviación estándar de 174511, indicando una dispersión considerable alrededor de su media. En comparación, el Equipo B presenta una desviación estándar mucho mayor de 331740, lo que sugiere una mayor variabilidad en sus datos. El Equipo C, con una desviación estándar de 169114, y el Equipo D, con 17875, muestran una dispersión menor en comparación con el Equipo de Verificación, aunque el Equipo D tiene una desviación estándar notablemente baja, lo que sugiere que sus datos están más concentrados cerca de la media. Por último, el Equipo E muestra una desviación estándar de 1063094, significativamente alta, indicando una gran variabilidad en sus datos en comparación con el Equipo de Verificación.

Al comparar los coeficientes de determinación (R^2) y los coeficientes de correlación entre los equipos, se observa que el Equipo B tiene un R^2 de 0.997 y un coeficiente de correlación de 0.998484, lo que también sugiere una relación muy fuerte pero ligeramente inferior a la del Equipo de Verificación. El Equipo C muestra un R^2 de 0.9889 y un coeficiente de correlación de 0.994453, indicando una relación muy sólida, aunque no tan perfecta como la del Equipo de Verificación. El Equipo D, con un R^2 de 0.0072 y un coeficiente de correlación de 0.309699, presenta una relación muy débil entre las variables, lo que indica que los datos del Equipo D tienen una correlación muy baja. Finalmente, el Equipo E tiene un R^2 de 0.9919 y un coeficiente de correlación de 0.995941,

reflejando una relación muy fuerte, pero aún con una ligera diferencia en comparación con el Equipo de Verificación.

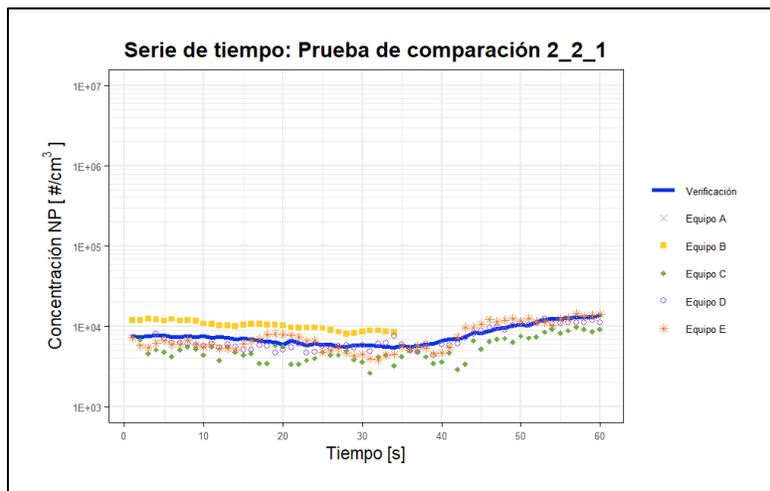
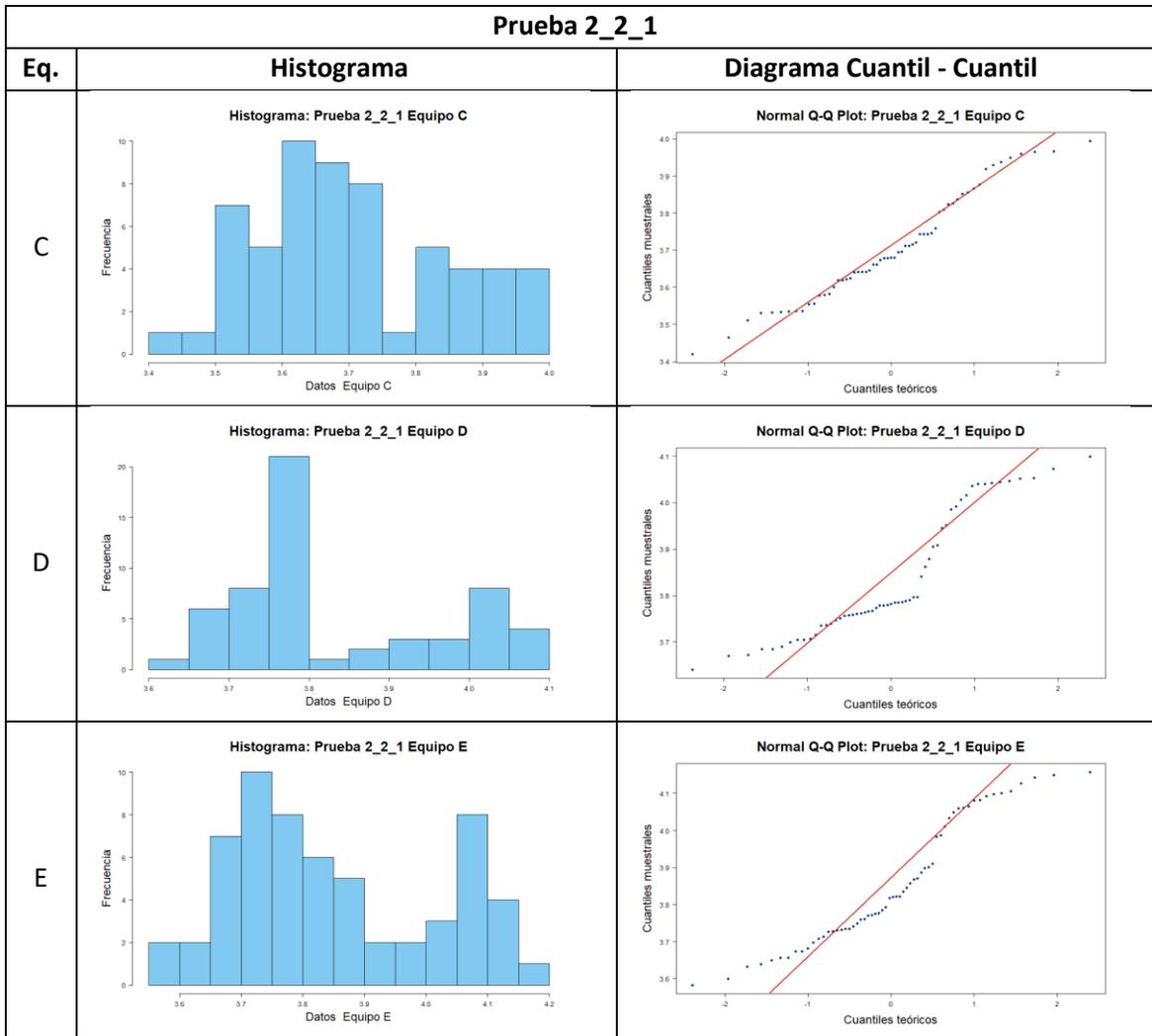
Por otro lado, las pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk indican que las concentraciones de partículas para el Equipo D aceptan la hipótesis nula de normalidad, es decir que siguen una distribución normal con un valor p de 0.9998238. No obstante, el Equipo de Verificación, el Equipo C, el Equipo E y el Equipo B revelan que no siguen una distribución normal, con valores p de 0.00000413, 0.00000462, 0.00000130 y 0.0000022 respectivamente.

En este contexto, se llevó a cabo un análisis comparativo entre el Equipo de Verificación y los demás equipos utilizando la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Los resultados de la prueba indican que hay diferencias estadísticamente significativas entre al menos dos de los equipos. Con un estadístico Chi-cuadrado de 217.27 y un valor p extremadamente bajo de $< 2.2E-16$ para 4 grados de libertad, se rechaza la hipótesis nula de que las medianas de todos los grupos son iguales. Este hallazgo sugiere que la concentración de partículas varía de manera significativa entre los equipos.

Dada la variabilidad observada entre los equipos en general, se llevó a cabo un análisis comparativo múltiple utilizando la prueba post hoc de Dunn con corrección de Bonferroni, considerando tres niveles de significancia (0.05, 0.01 y 0.001). Los resultados revelaron que las comparaciones entre equipos rechazan notablemente la hipótesis nula, sugiriendo que son estadísticamente diferentes.

Tabla A-29. Distribución de los datos para la Prueba 2_2_1

| Prueba 2_2_1 | | |
|--------------|------------|----------------------------|
| Eq. | Histograma | Diagrama Cuantil - Cuantil |
| Verificación | | |
| A | No aplica | No aplica |
| B | | |



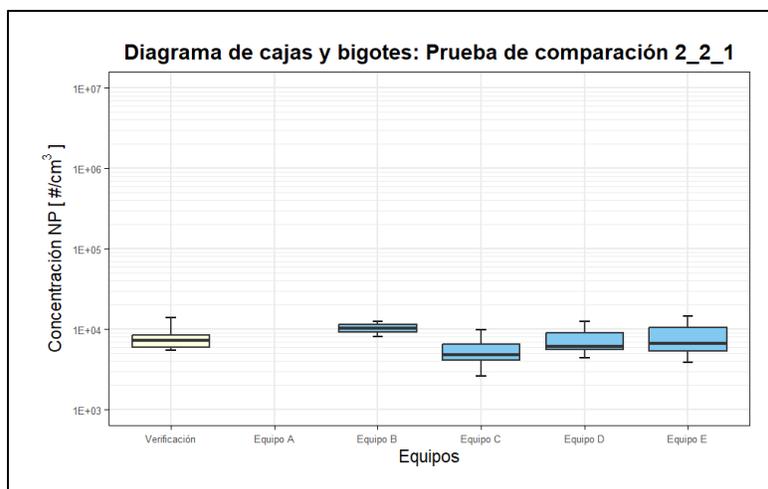


Tabla A-3010. Medidas estadísticas descriptivas para la prueba 2_2_1

| Parámetros | Verificación | Equipo A | Equipo B | Equipo C | Equipo D | Equipo E |
|----------------------|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Min | 5498 | - | 8100 | 2629 | 4372 | 3826 |
| Q1 | 5936 | - | 8975 | 3982 | 5536 | 5346 |
| Mediana | 7172 | - | 10250 | 4784 | 6048 | 6591 |
| Q3 | 8709 | - | 11650 | 6667 | 9309 | 10661 |
| Máx | 13807 | - | 12400 | 9865 | 12553 | 14352 |
| Media | 7864 | - | 10238 | 5358 | 7179 | 7679 |
| σ | 2384 | - | 1305 | 1855 | 2367 | 3111 |
| Coef. R ² | 1 | - | 0.8297 | 0.8272 | 0.7412 | 0.7961 |
| Coef. Corr | 1 | - | 0.910873 | 0.909515 | 0.928535 | 0.89226 |

* σ Desviación estándar

El análisis comparativo de las concentraciones de partículas entre cuatro equipos de interés y un Equipo de Verificación durante la prueba de verificación a concentraciones bajas (2_2_1) revela diferencias significativas en los resultados. A continuación, se detallan los hallazgos encontrados:

El análisis de las medidas de tendencia central revela diferencias en la centralización de los datos entre el Equipo de Verificación y los otros equipos. El Equipo de Verificación tiene una media de 7864, lo que indica que la mayoría de sus datos se concentran alrededor de este valor. Comparado con esto, el Equipo B tiene una media de 10238, sugiriendo una tendencia a valores más altos. El Equipo C presenta una media de 5358, lo que muestra una centralización más baja en comparación con el Equipo de Verificación. El Equipo D tiene una media de 7179, que es más cercana a la del Equipo de Verificación, mientras que el Equipo E muestra una media de 7679, también cercana pero ligeramente inferior a la del Equipo de Verificación. En cuanto a la mediana, el Equipo de Verificación tiene una mediana de 7172, que se alinea con su media, mientras que otros equipos muestran variaciones en sus medianas, reflejando diferentes distribuciones de datos en comparación con el Equipo de Verificación.

La comparación de las desviaciones estándar entre el Equipo de Verificación y los demás equipos revela variaciones significativas en la dispersión de los datos. El Equipo de Verificación tiene una desviación estándar de 2384, que indica una variabilidad considerable en torno a su media. En comparación, el Equipo B presenta una desviación estándar de 1305, lo que sugiere una menor dispersión de los datos en torno a su media. El Equipo C tiene una desviación estándar de 1855, reflejando una variabilidad moderada en sus datos. El Equipo D muestra una desviación estándar de 2367, que es algo mayor y similar a la del Equipo de Verificación. Finalmente, el Equipo E tiene una desviación estándar de 3111, la más alta entre los equipos, lo que sugiere una mayor dispersión en sus datos. Estas diferencias en la desviación estándar indican que el Equipo de Verificación y el Equipo E presentan una mayor variabilidad en sus datos en comparación con los otros equipos, especialmente en comparación con el Equipo B, que tiene una variabilidad más baja.

Los coeficientes de determinación (R^2) y correlación obtenidos al comparar el Equipo de Verificación con otros equipos muestran variaciones en el ajuste del modelo a los datos. El Equipo B, con un R^2 de 0.8297 y un coeficiente de correlación de 0.9109, indica una buena relación con el Equipo de Verificación, reflejando una asociación fuerte y positiva. El Equipo C presenta un R^2 de 0.8272 y un coeficiente de correlación de 0.9095, lo que sugiere una relación robusta y directa con el Equipo de Verificación. En contraste, el Equipo D tiene un R^2 de 0.7412 y un coeficiente de correlación de 0.9285, mostrando un ajuste más moderado pero aún significativo en comparación con el Equipo de Verificación. Por último, el Equipo E, con un R^2 de 0.7961 y un coeficiente de correlación de 0.8923, también muestra una relación positiva y directa, aunque no tan fuerte como el Equipo B y el Equipo C.

Por otro lado, las pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk muestran que las concentraciones de partículas para el Equipo B se ajustan satisfactoriamente a una distribución normal con un valor p de 0.08368222. Por su parte, el Equipo de Verificación, el Equipo C, el Equipo D y el Equipo E indican que no siguen una distribución normal, con valores p de 0.00000047, 0.000287194, 0.00000127 y 0.00001185 respectivamente.

En este contexto, se llevó a cabo un análisis comparativo entre el Equipo de Verificación y los demás equipos utilizando la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Los resultados de la prueba indican que hay diferencias estadísticamente significativas entre al menos dos de los equipos. Con un estadístico Chi-cuadrado de 81.59 y un valor p extremadamente bajo de $< 2.2E-16$ para 4 grados de libertad, se rechaza la hipótesis nula de que las medianas de todos los grupos son iguales. Este hallazgo sugiere que la concentración de partículas varía de manera significativa entre los equipos.

Dada la variabilidad observada entre los equipos en general, se llevó a cabo un análisis comparativo múltiple utilizando la prueba post hoc de Dunn con corrección de Bonferroni, considerando tres niveles de significancia (0.05, 0.01 y 0.001). Los resultados revelaron que la comparación entre el Equipo de Verificación y el Equipo D, así como, el Equipo de Verificación con el Equipo E, el Equipo de Verificación con el Equipo E y el Equipo D con el Equipo E son estadísticamente similares para todos los niveles de confianza evaluados. Sin embargo, a un nivel de significancia de 0.01 y 0.001 la

comparación entre el Equipo de Verificación y el Equipo D también acepta la hipótesis nula. Por otro lado, las demás comparaciones entre equipos rechazan notablemente la hipótesis nula, sugiriendo que son estadísticamente diferentes.

Tabla A-31. Distribución de los datos para la Prueba 2_2_2

| Prueba 2_2_2 | | |
|--------------|------------|----------------------------|
| Eq. | Histograma | Diagrama Cuantil - Cuantil |
| Verificación | | |
| A | No aplica | No aplica |
| B | No aplica | No aplica |
| C | | |
| D | No aplica | No aplica |
| E | | |

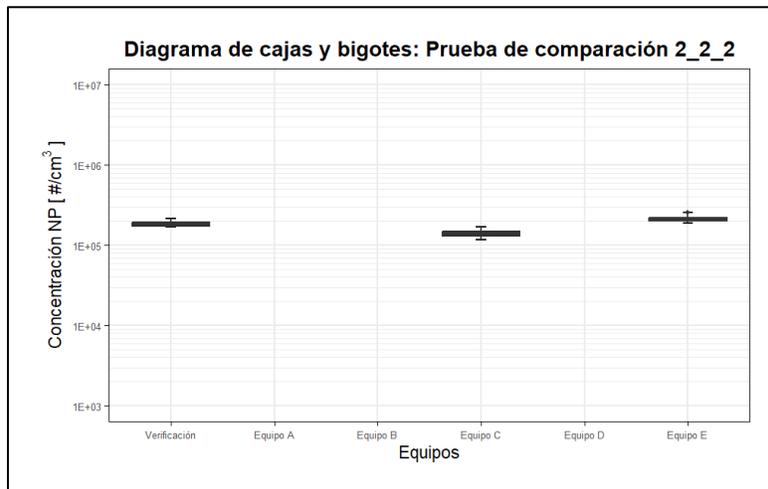
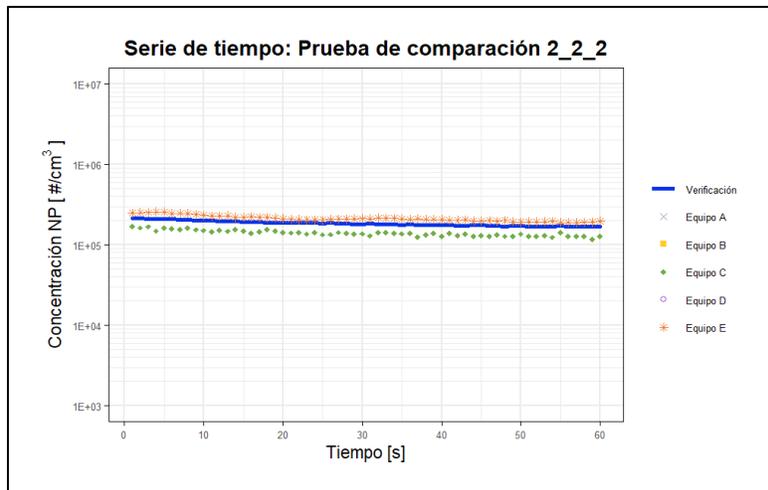


Tabla A-32. Medidas estadísticas descriptivas para la prueba 2_2_2

| Parámetros | Verificación | Equipo A | Equipo B | Equipo C | Equipo D | Equipo E |
|-------------|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Min | 167677 | - | - | 117764 | - | 188669 |
| Q1 | 173833 | - | - | 129161 | - | 199368 |
| Mediana | 181303 | - | - | 138566 | - | 208412 |
| Q3 | 193631 | - | - | 147388 | - | 220351 |
| Máx | 215039 | - | - | 168485 | - | 257967 |
| Media | 184843 | - | - | 139959 | - | 213332 |
| σ | 13552 | - | - | 11922 | - | 18707 |
| Coef. R^2 | 1 | - | - | 0.8236 | - | 0.9057 |
| Coef. Corr | 1 | - | - | 0.907543 | - | 0.95167 |

* σ Desviación estándar

El análisis comparativo de las concentraciones de partículas entre dos equipos de interés y un Equipo de Verificación durante la prueba de verificación a concentraciones medias (2_2_2) revela diferencias significativas en los resultados. A continuación, se detallan los hallazgos encontrados:

El análisis de las medidas de tendencia central revela diferencias notables entre los equipos. El Equipo de Verificación tiene una media de 184843, que refleja una centralización de los datos alrededor de este valor. Comparativamente, el Equipo C presenta una media de 139959, significativamente menor que la del Equipo de Verificación, lo que sugiere que sus resultados tienden a ser más bajos en promedio. Por otro lado, el Equipo E muestra una media de 213332, superior a la del Equipo de Verificación, indicando que sus datos tienden a ser más altos en comparación. En términos de mediana, el Equipo de Verificación tiene una mediana de 181303, mientras que el Equipo C tiene una mediana de 138566 y el Equipo E tiene una mediana de 208412, lo que refuerza la tendencia observada en las medias: el Equipo E muestra valores centrales más altos y el Equipo C valores centrales más bajos en comparación con el Equipo de Verificación.

En relación a la dispersión de los datos, se observa que el Equipo de Verificación presenta una desviación estándar de 13552, indicando una variabilidad moderada en torno a su media. En comparación, el Equipo C muestra una desviación estándar de 11922, que es menor, sugiriendo que sus datos están menos dispersos y más concentrados alrededor de la media comparado con el Equipo de Verificación. En contraste, el Equipo E tiene una desviación estándar de 18707, la más alta entre los equipos, lo que indica una mayor variabilidad en sus datos en torno a la media, reflejando una dispersión más amplia en sus resultados en comparación con el Equipo de Verificación. Esta mayor variabilidad en el Equipo E implica que los datos están más dispersos en torno a su media, mientras que los datos del Equipo C son más consistentes.

El análisis de los coeficientes de determinación (R^2) y correlación entre el Equipo de Verificación y los demás equipos revela diversas intensidades en la relación entre los conjuntos de datos. El Equipo C, con un coeficiente R^2 de 0.8236 y una correlación positiva de 0.907543, muestra una fuerte relación con el Equipo de Verificación, indicando un ajuste robusto del modelo a los datos y una asociación significativa. En comparación, el Equipo E presenta un coeficiente R^2 de 0.9057 y una correlación positiva de 0.95167, que son valores aún más altos, sugiriendo una relación aún más fuerte y un ajuste muy bueno del modelo a los datos del Equipo de Verificación. Esto sugiere que el Equipo E tiene una tendencia más alineada y coherente con los resultados del Equipo de Verificación. Ambos equipos muestran una relación significativa, aunque el Equipo E muestra una relación ligeramente más fuerte en comparación con el Equipo C, reflejando una mayor coincidencia en las tendencias observadas.

Por otro lado, las pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk indican que las concentraciones de partículas para el Equipo de Verificación, el Equipo C y el Equipo E revelan que no siguen una distribución normal, con valores p de 0.00051019, 0.02125733 y 0.00011572 respectivamente.

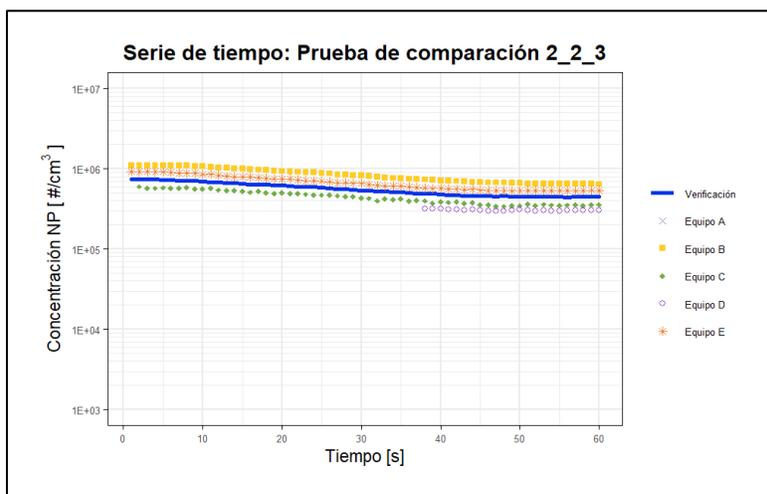
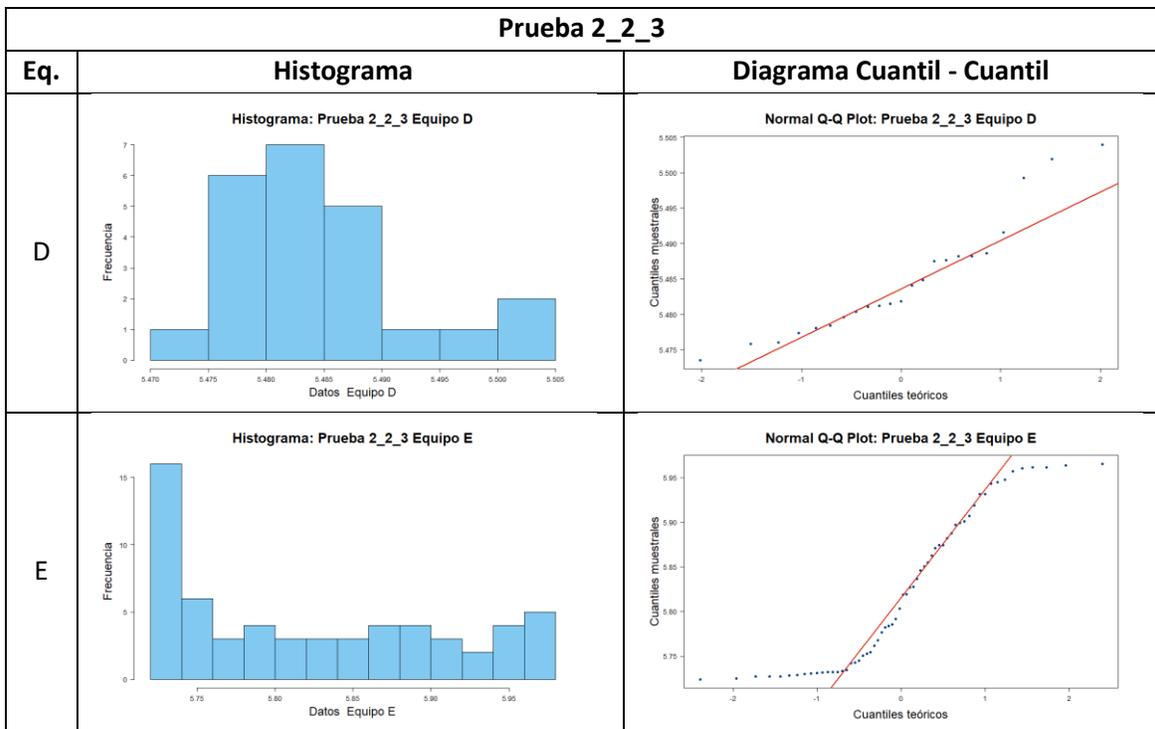
En este contexto, se llevó a cabo un análisis comparativo entre el Equipo de Verificación y los demás equipos utilizando la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Los resultados de la prueba indican que hay diferencias estadísticamente significativas entre al menos dos de los equipos. Con un estadístico Chi-cuadrado de 144.72 y un valor p extremadamente bajo de $< 2.2E-16$ para 2 grados

de libertad, se rechaza la hipótesis nula de que las medianas de todos los grupos son iguales. Este hallazgo sugiere que la concentración de partículas varía de manera significativa entre los equipos.

Dada la variabilidad observada entre los equipos en general, se realizó un análisis comparativo múltiple utilizando la prueba post hoc de Dunn con corrección de Bonferroni, considerando tres niveles de significancia (0.05, 0.01 y 0.001). Los resultados revelaron que la comparación entre los diferentes equipos son estadísticamente diferentes para todos los niveles de confianza evaluados, es decir que rechaza la hipótesis nula.

Tabla A-33. Distribución de los datos para la Prueba 2_2_3

| Prueba 2_2_3 | | |
|--------------|------------|----------------------------|
| Eq. | Histograma | Diagrama Cuantil - Cuantil |
| Verificación | | |
| A | No aplica | No aplica |
| B | | |
| C | | |



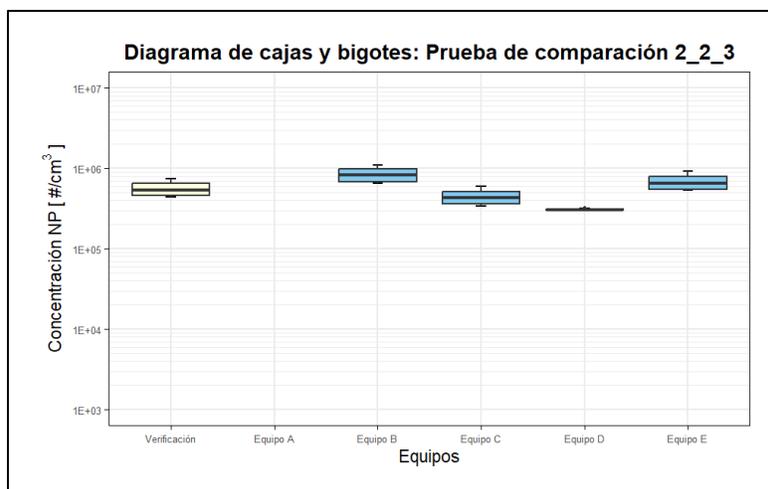


Tabla A-3411. Medidas estadísticas descriptivas para la prueba 2_2_3

| Parámetros | Verificación | Equipo A | Equipo B | Equipo C | Equipo D | Equipo E |
|----------------------|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Min | 443065 | - | 644000 | 339575 | 297536 | 529575 |
| Q1 | 456180 | - | 674750 | 358808 | 300886 | 541104 |
| Mediana | 534856 | - | 818500 | 426893 | 303264 | 646862 |
| Q3 | 649692 | - | 995000 | 522142 | 307762 | 792220 |
| Máx | 746204 | - | 1103000 | 603243 | 319106 | 922982 |
| Media | 560332 | - | 840817 | 445196 | 305415 | 676909 |
| σ | 103476 | - | 164318 | 83939 | 5838 | 135903 |
| Coef. R ² | 1 | - | 0.9932 | 0.9867 | 0.3451 | 0.9962 |
| Coef. Corr | 1 | - | 0.996577 | 0.992313 | 0.831273 | 0.998107 |

* σ Desviación estándar

El análisis comparativo de las concentraciones de partículas entre cuatro equipos de interés y un Equipo de Verificación durante la prueba de verificación a concentraciones media altas (2_2_3) revela diferencias significativas en los resultados. A continuación, se detallan los hallazgos encontrados:

El análisis de los datos revela importantes diferencias en las medidas de tendencia central entre el Equipo de Verificación y los otros equipos. El Equipo de Verificación presenta una media de 560332 y una mediana de 534856, indicando que los datos se concentran alrededor de estos valores. En comparación, el Equipo B muestra una media de 840817 y una mediana de 818500, lo que sugiere una tendencia hacia valores más altos. El Equipo C tiene una media de 445196 y una mediana de 426893, con valores centrales más modestos en comparación con el Equipo de Verificación. Por otro lado, el Equipo D presenta una media de 305415 y una mediana de 303264, lo que indica una tendencia hacia valores más bajos. Finalmente, el Equipo E tiene una media de 676909 y una mediana de 646862, situándose en un punto intermedio entre el Equipo de Verificación y los equipos con medias y medianas más altas. Estas diferencias reflejan variaciones en la centralización de los datos entre los equipos.

En relación a la dispersión de los datos, se observa que el Equipo de Verificación tiene una desviación estándar de 103476, lo que indica una dispersión moderada de los datos en torno a su media. Comparativamente, el Equipo B presenta una desviación estándar de 164318, lo que sugiere una mayor variabilidad en sus datos. El Equipo C, con una desviación estándar de 83939, muestra una dispersión menor que el Equipo de Verificación, indicando datos más agrupados en torno a su media. En contraste, el Equipo D tiene una desviación estándar muy baja de 5838, lo que indica una baja variabilidad en los datos. El Equipo E, con una desviación estándar de 135903, también muestra una dispersión notablemente alta, similar al Equipo B.

Los coeficientes de determinación (R^2) obtenidos al comparar el Equipo de Verificación con otros equipos revelan diferentes niveles de ajuste del modelo a los datos. El Equipo E muestra el coeficiente R^2 más alto de 0.9962, indicando una excelente capacidad del modelo para explicar la variabilidad en los datos en relación con el Equipo de Verificación. Este alto valor también se refleja en un coeficiente de correlación positivo de 0.998107, que sugiere una fuerte asociación directa entre las variables de ambos equipos. El Equipo B también presenta un coeficiente R^2 alto de 0.9932 y un coeficiente de correlación de 0.996577, mostrando una fuerte relación positiva con el Equipo de Verificación. En contraste, el Equipo C tiene un coeficiente R^2 de 0.9867 y una correlación de 0.992313, indicando una relación robusta pero ligeramente menos fuerte. El Equipo D, con un coeficiente R^2 de 0.3451 y una correlación de 0.831273, muestra una relación más débil y un ajuste del modelo menos efectivo en comparación con el Equipo de Verificación.

Por otro lado, las pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk demuestran que las concentraciones de partículas para todos los equipos rechazan la hipótesis nula de normalidad, es decir que no siguen una distribución normal con valores p de 0.00003735, 0.00003949, 0.00014972, 0.02555534 y 0.00001355 respectivamente.

En este contexto, se llevó a cabo un análisis comparativo entre el Equipo de Verificación y los demás equipos utilizando la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Los resultados de la prueba indican que hay diferencias estadísticamente significativas entre al menos dos de los equipos. Con un estadístico Chi-cuadrado de 182.11 y un valor p extremadamente bajo de $< 2.2E-16$ para 4 grados de libertad, se rechaza la hipótesis nula de que las medianas de todos los grupos son iguales. Este hallazgo sugiere que la concentración de partículas varía de manera significativa entre los equipos.

Dada la variabilidad observada entre los equipos en general, se llevó a cabo un análisis comparativo múltiple a través de la prueba post hoc de Dunn con corrección de Bonferroni, considerando tres niveles de significancia (0.05, 0.01 y 0.001). Los resultados revelaron que la comparación entre equipos rechazan notablemente la hipótesis nula, sugiriendo que son estadísticamente diferentes.

Tabla A-35. Distribución de los datos para la Prueba 2_2_4

| Prueba 2_2_4 | | |
|--------------|---|--|
| Eq. | Histograma | Diagrama Cuantil - Cuantil |
| Verificación | <p>Histograma: Prueba 2_2_4 Verificación</p> | <p>Normal Q-Q Plot: Prueba 2_2_4 Equipo de verificación</p> |
| A | No aplica | No aplica |
| B | <p>Histograma: Prueba 2_2_4 Equipo B</p> | <p>Normal Q-Q Plot: Prueba 2_2_4 Equipo B</p> |
| C | <p>Histograma: Prueba 2_2_4 Equipo C</p> | <p>Normal Q-Q Plot: Prueba 2_2_4 Equipo C</p> |
| D | No aplica | No aplica |
| E | <p>Histograma: Prueba 2_2_4 Equipo E</p> | <p>Normal Q-Q Plot: Prueba 2_2_4 Equipo E</p> |

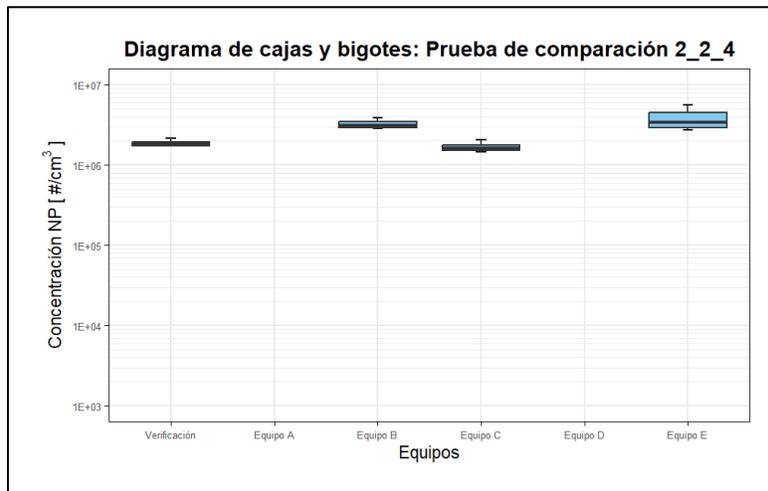
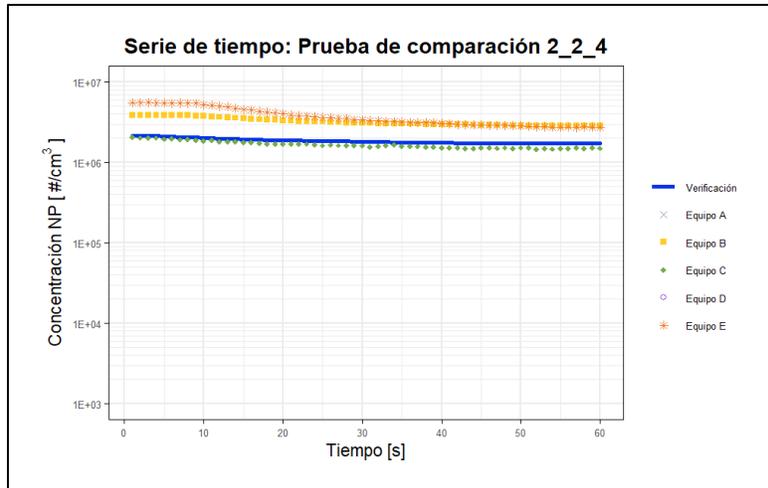


Tabla A-36. Medidas estadísticas descriptivas para la prueba 2_2_4

| Parámetros | Verificación | Equipo A | Equipo B | Equipo C | Equipo D | Equipo E |
|----------------------|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Min | 1718569 | - | 2855000 | 1463844 | - | 2725988 |
| Q1 | 1742672 | - | 2909500 | 1513317 | - | 2914236 |
| Mediana | 1811615 | - | 3080500 | 1617965 | - | 3360208 |
| Q3 | 1939402 | - | 3525250 | 1762127 | - | 4546256 |
| Máx | 2174236 | - | 3896000 | 2049765 | - | 5572284 |
| Media | 1855599 | - | 3230300 | 1658649 | - | 3755559 |
| σ | 135310 | - | 362460 | 168816 | - | 987441 |
| Coef. R ² | 1 | - | 0.9754 | 0.9827 | - | 0.9732 |
| Coef. Corr | 1 | - | 0.987611 | 0.991302 | - | 0.986512 |

* σ Desviación estándar

El análisis comparativo de las concentraciones de partículas entre tres equipos de interés y un Equipo de Verificación durante la prueba de verificación a concentraciones altas (2_2_4) revela diferencias significativas en los resultados. A continuación, se detallan los hallazgos encontrados:

El análisis de las medidas de tendencia central revela diferencias notables entre el Equipo de Verificación y los otros equipos. El Equipo de Verificación presenta una media de 1855599 y una mediana de 1811615, lo que indica una centralización relativamente alta en estos valores. En comparación, el Equipo B muestra una media significativamente más alta de 3230300 y una mediana de 3080500, sugiriendo que sus valores son en promedio más elevados que los del Equipo de Verificación. El Equipo C presenta una media de 1658649 y una mediana de 1617965, que son inferiores a las medidas del Equipo de Verificación, pero aún indican una tendencia considerablemente alta. Por otro lado, el Equipo E tiene una media de 3755559 y una mediana de 3360208, reflejando valores centrales más altos en comparación con el Equipo de Verificación.

En relación con la dispersión de los datos, se observa que la desviación estándar del Equipo de Verificación es de 135310, indicando una dispersión moderada alrededor de la media. En comparación, el Equipo B presenta una desviación estándar mucho mayor de 362460, lo que refleja una mayor variabilidad en sus datos en relación con el Equipo de Verificación. El Equipo C, con una desviación estándar de 168816, muestra una dispersión algo mayor que el Equipo de Verificación, pero no tan pronunciada como la del Equipo B. Por otro lado, el Equipo E tiene una desviación estándar considerablemente alta de 987441, sugiriendo una gran dispersión en los datos y una variabilidad mucho mayor en comparación con el Equipo de Verificación.

Los coeficientes de determinación (R^2) obtenidos al comparar el Equipo de Verificación con otros equipos muestran que, en términos de ajuste del modelo a los datos, el Equipo B presenta un R^2 de 0.9932, lo que refleja un ajuste muy alto y una relación fuerte con el Equipo de Verificación. Esto sugiere que el modelo del Equipo B se ajusta muy bien a los datos comparados con el Equipo de Verificación. El Equipo C muestra un R^2 de 0.9867, indicando también un buen ajuste y una relación robusta, aunque ligeramente inferior a la del Equipo B. El Equipo E tiene un R^2 de 0.9962, lo que indica un ajuste aún mejor que el Equipo de Verificación y una fuerte relación en comparación con los otros equipos. Los coeficientes de correlación refuerzan estos hallazgos: el Equipo B tiene una correlación de 0.9966, el Equipo C tiene una correlación de 0.9923, y el Equipo E tiene una correlación de 0.9981. Estos valores sugieren que, en términos de correlación, el Equipo E tiene la asociación más fuerte con el Equipo de Verificación, mientras que el Equipo B y el Equipo C también muestran asociaciones significativas pero con una correlación algo menor.

Por otro lado, las pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk indican que las concentraciones de partículas para todos los equipos no siguen una distribución normal por lo que rechazan la hipótesis nula de normalidad, obteniendo valores p de 0.00000639, 0.00000228, 0.00002223 y 0.00000171 respectivamente.

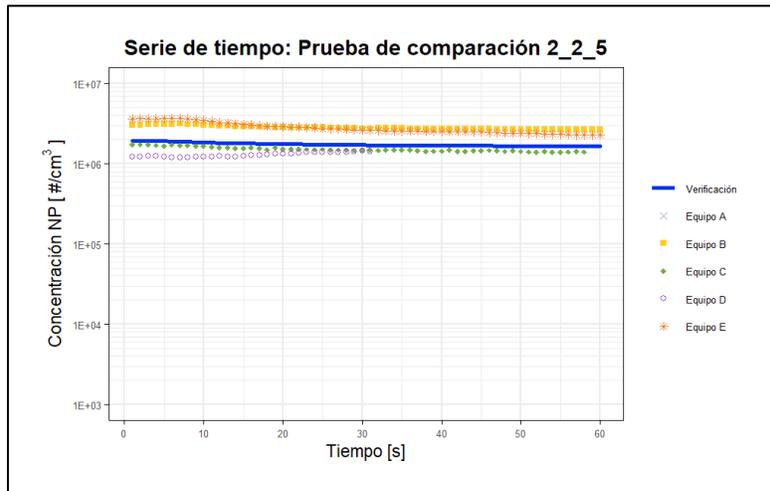
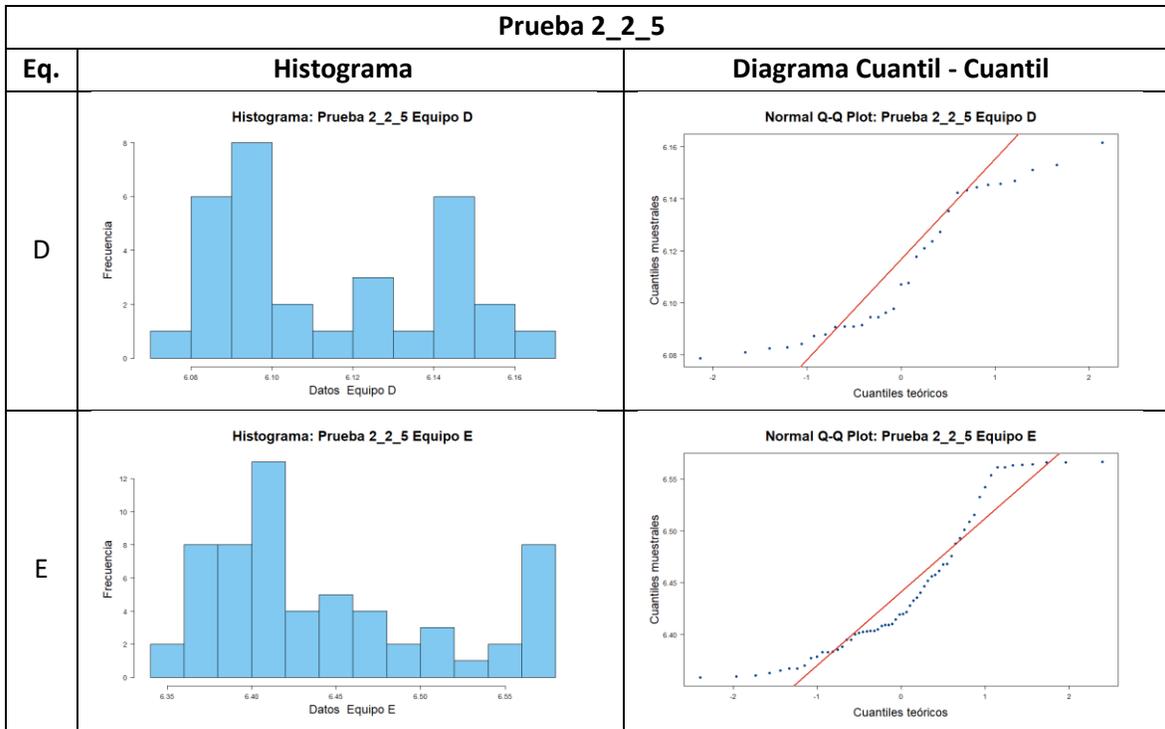
En este contexto, se llevó a cabo un análisis comparativo entre el Equipo de Verificación y los demás equipos utilizando la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Los resultados de la prueba indican que hay diferencias estadísticamente significativas entre al menos dos de los equipos. Con un estadístico Chi-cuadrado de 189.45 y un valor p extremadamente bajo de $< 2.2E-16$ para 3 grados

de libertad, se rechaza la hipótesis nula de que las medianas de todos los grupos son iguales. Este hallazgo sugiere que la concentración de partículas varía de manera significativa entre los equipos.

Dada la variabilidad observada entre los equipos en general, se realizó un análisis comparativo múltiple a través la prueba post hoc de Dunn con corrección de Bonferroni, considerando tres niveles de significancia (0.05, 0.01 y 0.001). Los resultados revelaron que la comparación entre el Equipo E con el Equipo B son estadísticamente similares para todos los niveles de confianza evaluados. No obstante, las demás comparaciones entre equipos rechazan notablemente la hipótesis nula, sugiriendo que son estadísticamente diferentes.

Tabla A-37. Distribución de los datos para la Prueba 2_2_5

| Prueba 2_2_5 | | |
|--------------|------------|----------------------------|
| Eq. | Histograma | Diagrama Cuantil - Cuantil |
| Verificación | | |
| A | No aplica | No aplica |
| B | | |
| C | | |



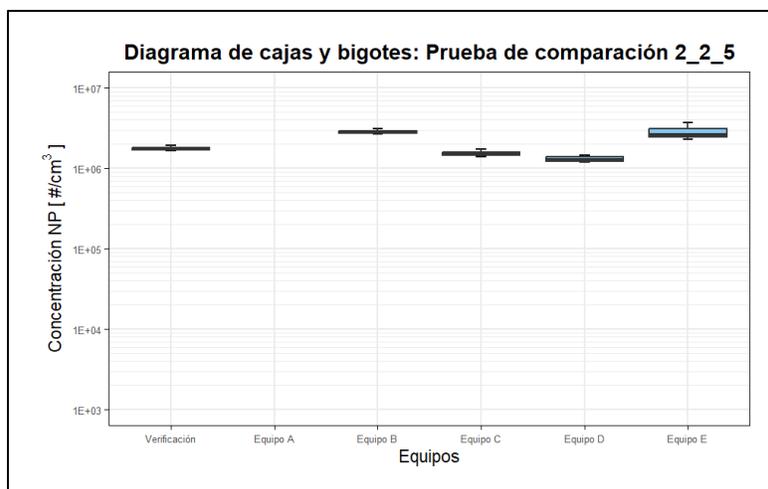


Tabla A-38. Medidas estadísticas descriptivas para la prueba 2_2_5

| Parámetros | Verificación | Equipo A | Equipo B | Equipo C | Equipo D | Equipo E |
|----------------------|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Min | 1646430 | - | 2655000 | 1385403 | 1198938 | 2283342 |
| Q1 | 1676211 | - | 2715250 | 1438842 | 1232092 | 2454072 |
| Mediana | 1714450 | - | 2782500 | 1486301 | 1279642 | 2627487 |
| Q3 | 1793653 | - | 2900500 | 1576931 | 1390582 | 3102503 |
| Máx | 1921530 | - | 3142000 | 1734400 | 1450386 | 3686621 |
| Media | 1742631 | - | 2826867 | 1516018 | 1299800 | 2807417 |
| σ | 82867 | - | 150634 | 97613 | 81170 | 457181 |
| Coef. R ² | 1 | - | 0.9602 | 0.9489 | 0.7702 | 0.9841 |
| Coef. Corr | 1 | - | 0.97992 | 0.974117 | -0.87762 | 0.992003 |

* σ Desviación estándar

El análisis comparativo de las concentraciones de partículas entre cuatro equipos de interés y un Equipo de Verificación durante la prueba de verificación a concentraciones altas (2_2_5) revela diferencias significativas en los resultados. A continuación, se detallan los hallazgos encontrados:

El análisis de los datos revela diferencias significativas en las medidas de tendencia central entre el Equipo de Verificación y los demás equipos. El Equipo de Verificación tiene una media de 1742631 y una mediana de 1714450, lo que indica una centralización de los datos alrededor de estos valores. Comparativamente, el Equipo B muestra una media de 2826867 y una mediana de 2782500, sugiriendo una tendencia a valores más altos en comparación con el Equipo de Verificación. El Equipo C tiene una media de 1516018 y una mediana de 1486301, mientras que el Equipo D presenta una media de 1299800 y una mediana de 1279642. El Equipo E, con una media de 2807417 y una mediana de 2627487, también muestra valores de tendencia central más altos en comparación con el Equipo de Verificación.

En cuanto a la desviación estándar, el Equipo de Verificación presenta una desviación estándar de 82867, lo que indica una dispersión moderada alrededor de la media. En comparación, el Equipo B

tiene una desviación estándar significativamente mayor de 150634, lo que sugiere una mayor variabilidad en sus datos. El Equipo C muestra una desviación estándar de 97613, indicando una dispersión más moderada pero aún notable en comparación con el Equipo de Verificación. Por su parte, el Equipo D tiene una desviación estándar de 81170, que es relativamente cercana a la del Equipo de Verificación, reflejando una dispersión similar en sus datos. Finalmente, el Equipo E presenta una desviación estándar mucho mayor de 457181, lo que señala una dispersión considerablemente amplia en torno a su media.

Los coeficientes de determinación (R^2) proporcionan información crucial sobre la relación entre el Equipo de Verificación y los demás equipos. En este sentido, el Equipo C, con un coeficiente R^2 de 0.9489, indica un ajuste muy alto al modelo comparado con el Equipo de Verificación, sugiriendo una fuerte relación entre las variables. Por otro lado, el Equipo B tiene un coeficiente R^2 de 0.9602, lo que también refleja un ajuste muy bueno y una relación robusta con el Equipo de Verificación. En contraste, el Equipo D, con un coeficiente R^2 de 0.7702, muestra un ajuste más modesto, indicando una relación menos fuerte en comparación con el Equipo de Verificación. El Equipo E presenta el coeficiente R^2 más alto de 0.9841, lo que sugiere una excelente correspondencia y una relación muy fuerte con el Equipo de Verificación.

Por otro lado, las pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk indican que las concentraciones de partículas para todos los equipos rechazan la hipótesis nula de normalidad, es decir que no siguen una distribución normal con valores p de 0.00004547, 0.00001901, 0.00008512, 0.00264817 y 0.00000560 y respectivamente.

En este contexto, se llevó a cabo un análisis comparativo entre el Equipo de Verificación y los demás equipos utilizando la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Los resultados de la prueba indican que hay diferencias estadísticamente significativas entre al menos dos de los equipos. Con un estadístico Chi-cuadrado de 234.84 y un valor p extremadamente bajo de $< 2.2E-16$ para 4 grados de libertad, se rechaza la hipótesis nula de que las medianas de todos los grupos son iguales. Este hallazgo sugiere que la concentración de partículas varía de manera significativa entre los equipos.

Dada la variabilidad observada entre los equipos en general, se llevó a cabo un análisis comparativo múltiple utilizando la prueba post hoc de Dunn con corrección de Bonferroni, considerando tres niveles de significancia (0.05, 0.01 y 0.001). Los resultados revelaron que la comparación entre el Equipo E y el Equipo B son estadísticamente similares únicamente para los niveles de confianza de 0.01 y 0.001. Por otro lado, las demás comparaciones entre equipos rechazan notablemente la hipótesis nula, sugiriendo que son estadísticamente diferentes.

Análisis de pruebas día 3 – Comparaciones equipos y sistema de referencia

Tabla A-39. Distribución de los datos para la Prueba 3_1_1

| Prueba 3_1_1 | | |
|--------------|---|--|
| Eq. | Histograma | Diagrama Cuantil - Cuantil |
| Verificación | <p>Histograma: Prueba 3_1_1 Verificación</p> <p>Datos Verificación</p> | <p>Normal Q-Q Plot: Prueba 3_1_1 Equipo de verificación</p> <p>Cuantiles muestrales</p> <p>Cuantiles teóricos</p> |
| A | No aplica | No aplica |
| B | <p>Histograma: Prueba 3_1_1 Equipo B</p> <p>Datos Equipo B</p> | <p>Normal Q-Q Plot: Prueba 3_1_1 Equipo B</p> <p>Cuantiles muestrales</p> <p>Cuantiles teóricos</p> |
| C | <p>Histograma: Prueba 3_1_1 Equipo C</p> <p>Datos Equipo C</p> | <p>Normal Q-Q Plot: Prueba 3_1_1 Equipo C</p> <p>Cuantiles muestrales</p> <p>Cuantiles teóricos</p> |
| D | <p>Histograma: Prueba 3_1_1 Equipo D</p> <p>Datos Equipo D</p> | <p>Normal Q-Q Plot: Prueba 3_1_1 Equipo D</p> <p>Cuantiles muestrales</p> <p>Cuantiles teóricos</p> |

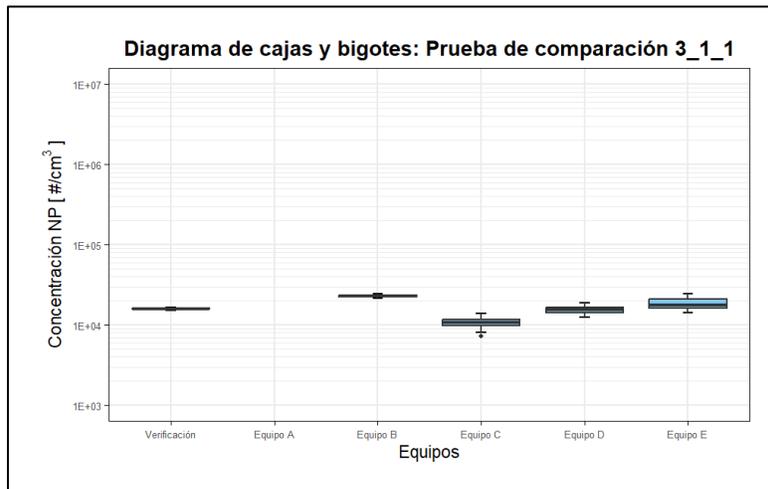
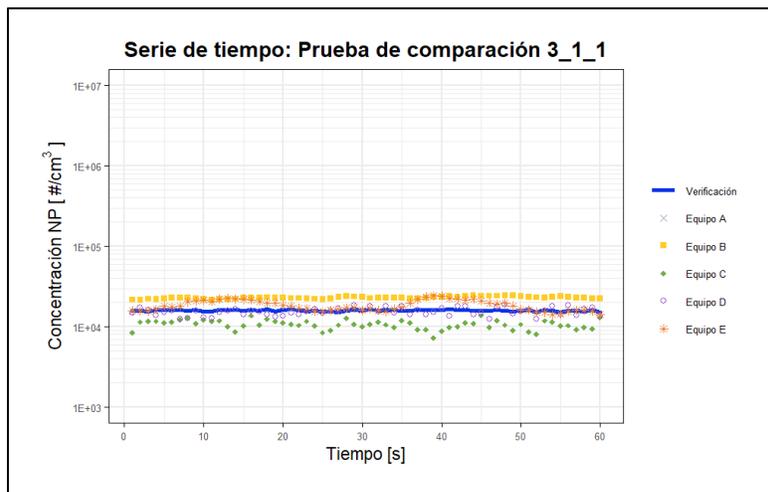
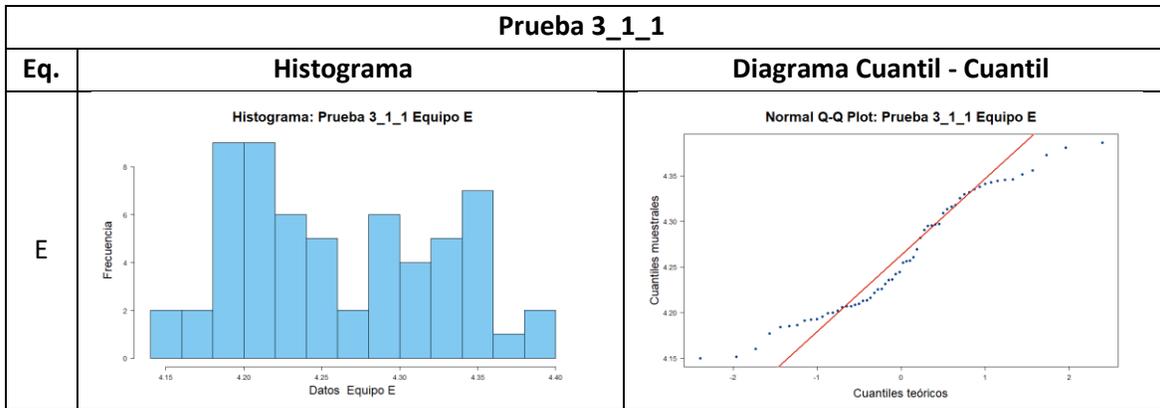


Tabla A-40. Medidas estadísticas descriptivas para la prueba 3_1_1

| Parámetros | Verificación | Equipo A | Equipo B | Equipo C | Equipo D | Equipo E |
|------------|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Min | 15195 | - | 21400 | 7261 | 12366 | 14127 |
| Q1 | 15679 | - | 22525 | 9818 | 14199 | 16077 |

| | | | | | | |
|----------------------|-------|---|----------|---------|----------|---------|
| Mediana | 15951 | - | 22900 | 10604 | 15485 | 17771 |
| Q3 | 16216 | - | 23400 | 11694 | 16595 | 21056 |
| Máx | 16577 | - | 24500 | 13770 | 18631 | 24320 |
| Media | 15929 | - | 22968 | 10659 | 15481 | 18435 |
| σ | 343 | - | 753 | 1387 | 1716 | 2816 |
| Coef. R ² | 1 | - | 0.0093 | 0.0006 | 0.0872 | 0.1178 |
| Coef. Corr | 1 | - | 0.096327 | -0.0249 | 0.295277 | 0.34317 |

* σ Desviación estándar

El análisis comparativo de las concentraciones de partículas entre cuatro equipos de interés y un Equipo de Verificación durante la prueba de verificación a concentraciones bajas (3_1_1) revela diferencias significativas en los resultados. A continuación, se detallan los hallazgos encontrados:

El análisis de las medidas de tendencia central muestra que el Equipo de Verificación tiene una mediana de 15951 y una media de 15929, indicando una centralización consistente alrededor de estos valores. El Equipo B presenta una media de 22968 y una mediana de 22900, lo que sugiere que sus datos están más dispersos y elevados en comparación con el Equipo de Verificación. Por otro lado, el Equipo C tiene una media de 10659 y una mediana de 10604, mostrando una tendencia central más baja. El Equipo D tiene una media de 15481 y una mediana de 15485, similar a la del Equipo de Verificación, pero con un rango más estrecho. Finalmente, el Equipo E muestra una media de 18435 y una mediana de 17771, indicando una tendencia central más alta en comparación con los demás equipos y con el Equipo de Verificación.

En cuanto a la dispersión de los datos, la desviación estándar del Equipo de Verificación es de 343, lo que indica una baja variabilidad en torno a la media. En contraste, el Equipo B tiene una desviación estándar de 753, lo que sugiere una mayor dispersión de los datos en relación a su media. El Equipo C presenta una desviación estándar de 1387, reflejando una alta variabilidad en los valores, mientras que el Equipo D tiene una desviación estándar de 1716, lo que indica aún mayor dispersión. Por último, el Equipo E muestra una desviación estándar de 2816, evidenciando la mayor variabilidad entre todos los equipos.

El análisis de los coeficientes de determinación (R²) y de correlación revela que el Equipo C y el Equipo B tienen R² muy bajos en comparación con el Equipo de Verificación, con valores de 0.0006 y 0.0093 respectivamente. Esto indica que tanto el Equipo C como el Equipo B muestran una relación muy débil y prácticamente nula con el Equipo de Verificación. Por otro lado, el Equipo D presenta un R² de 0.0872 y un coeficiente de correlación de 0.295277, lo que indica una relación débil pero positiva con el Equipo de Verificación. El Equipo E tiene un R² de 0.1178 y un coeficiente de correlación de 0.34317, mostrando una relación débil pero relativamente más fuerte en comparación con el Equipo C, el Equipo B, y el Equipo D.

Por otro lado, las pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk indican que las concentraciones de partículas en los diferentes equipos muestran distintos niveles de conformidad con una distribución normal. Para el Equipo E, se encontró evidencia significativa en contra de la hipótesis nula de

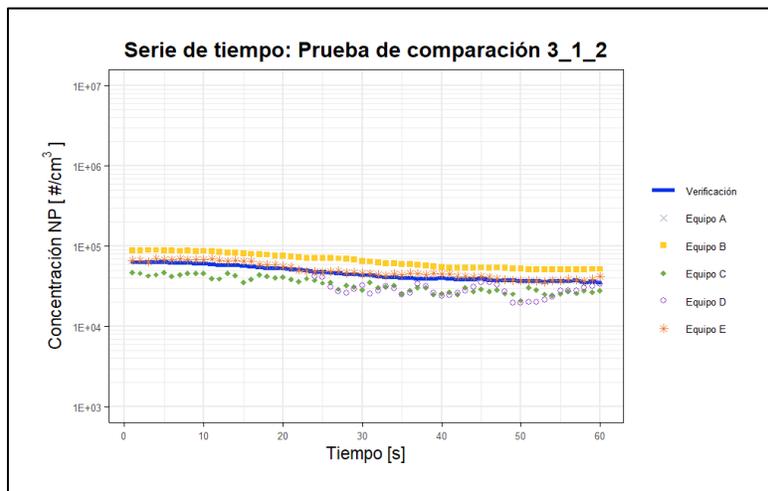
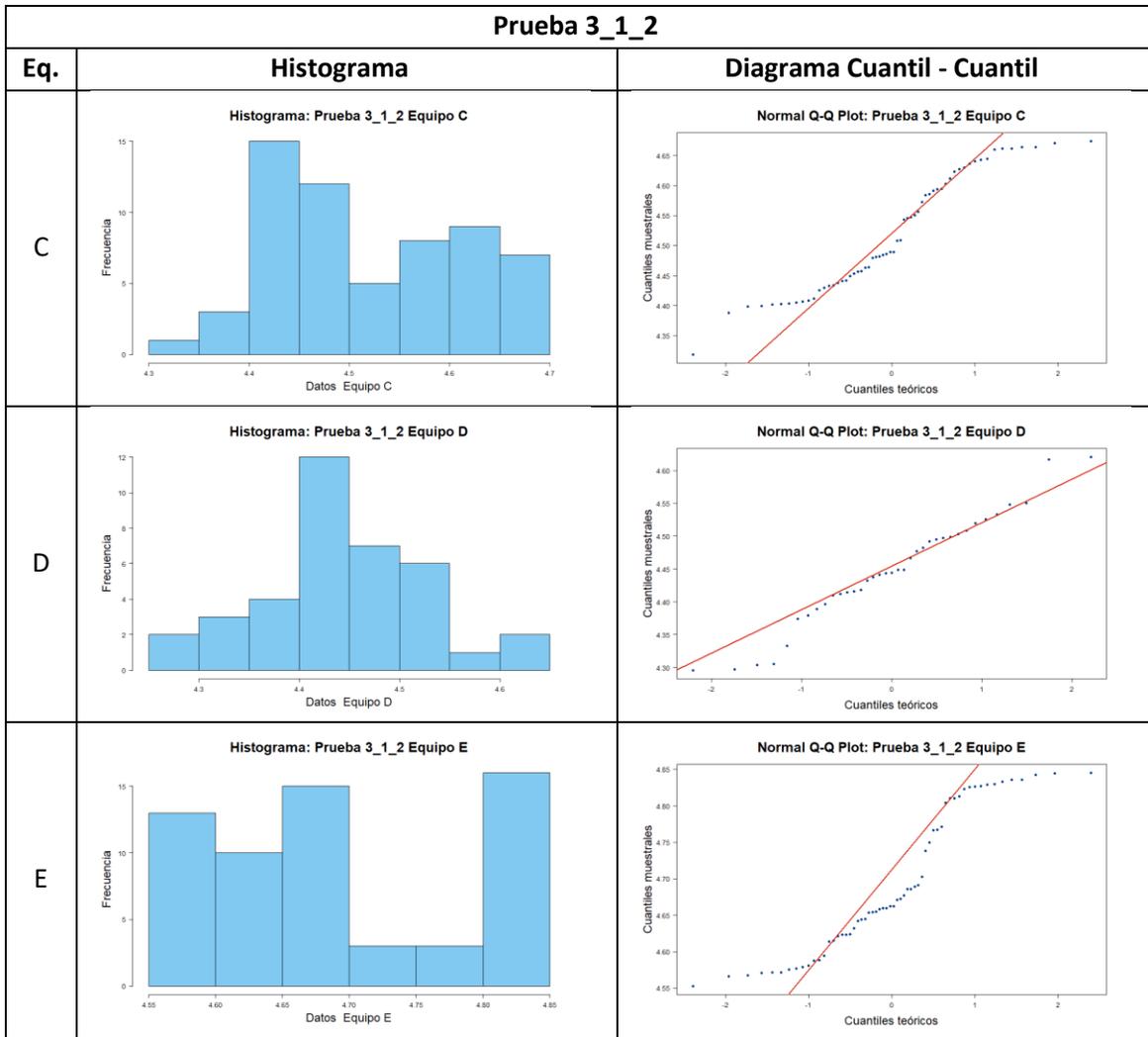
normalidad, con un valores p de 0.002499, indicando que no sigue una distribución normal. En cuanto al Equipo de Verificación, el Equipo B , el Equipo C y el Equipo D, los valores p son de 0.21367610, 0.5035770, 0.97082190 y 0.11847610 respectivamente sugiriendo que no hay suficiente evidencia para concluir que las concentraciones de partículas en estos equipos no siguen una distribución normal.

En este contexto, se llevó a cabo un análisis comparativo entre el Equipo de Verificación y los demás equipos utilizando la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Los resultados de la prueba indican que hay diferencias estadísticamente significativas entre al menos dos de los equipos. Con un estadístico Chi-cuadrado de 238.85 y un valor p extremadamente bajo de $< 2.2E-16$ para 4 grados de libertad, se rechaza la hipótesis nula de que las medianas de todos los grupos son iguales. Este hallazgo sugiere que la concentración de partículas varía de manera significativa entre los equipos.

Dada la variabilidad observada entre los equipos en general, se llevó a cabo un análisis comparativo múltiple utilizando la prueba post hoc de Dunn con corrección de Bonferroni, considerando tres niveles de significancia (0.05, 0.01 y 0.001). Los resultados revelaron que la comparación entre el Equipo de Verificación y el Equipo D son estadísticamente similares para todos los niveles de confianza evaluados. Por su parte, las demás comparaciones entre equipos rechazan notablemente la hipótesis nula, sugiriendo que son estadísticamente diferentes.

Tabla A-41. Distribución de los datos para la Prueba 3_1_2

| Prueba 3_1_2 | | |
|--------------|------------|----------------------------|
| Eq. | Histograma | Diagrama Cuantil - Cuantil |
| Verificación | | |
| A | No aplica | No aplica |
| B | | |



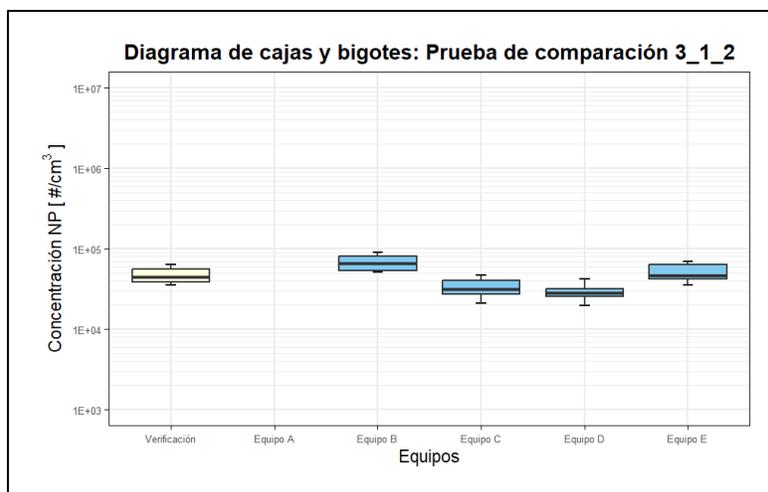


Tabla A-42. Medidas estadísticas descriptivas para la prueba 3_1_2

| Parámetros | Verificación | Equipo A | Equipo B | Equipo C | Equipo D | Equipo E |
|----------------------|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Min | 35572 | - | 50900 | 20839 | 19762 | 35711 |
| Q1 | 38143 | - | 53500 | 27224 | 25289 | 41352 |
| Mediana | 43826 | - | 64800 | 30845 | 27833 | 45941 |
| Q3 | 56574 | - | 80900 | 40697 | 31692 | 64354 |
| Máx | 63977 | - | 89100 | 47173 | 41721 | 69994 |
| Media | 47003 | - | 67208 | 33828 | 28539 | 50456 |
| σ | 9833 | - | 13995 | 7580 | 5348 | 11518 |
| Coef. R ² | 1 | - | 0.9818 | 0.8929 | 0.0882 | 0.9569 |
| Coef. Corr | 1 | - | 0.990853 | 0.944937 | 0.406678 | 0.97818 |

* σ Desviación estándar

El análisis comparativo de las concentraciones de partículas entre cuatro equipos de interés y un Equipo de Verificación durante la prueba de verificación a concentraciones medias (3_1_2) revela diferencias significativas en los resultados. A continuación, se detallan los hallazgos encontrados:

El análisis de los datos muestra diferencias significativas en las medidas de tendencia central entre el Equipo de Verificación y los otros equipos. El Equipo de Verificación tiene una media de 47003, que es notablemente más alta que la del Equipo B, con 67208, y el Equipo C, con 33828. La mediana del Equipo de Verificación, que es 43826, también supera a la mediana de los Equipos B y C, con 64800 y 30845 respectivamente. Mientras tanto, el Equipo D presenta una media de 28539 y una mediana de 27833, ambas cifras inferiores a las del Equipo de Verificación, aunque con una tendencia similar. El Equipo E, con una media de 50456 y una mediana de 45941, se aproxima más a los valores del Equipo de Verificación, pero aún muestra diferencias en comparación con la media y mediana del Equipo de Verificación.

En relación a la dispersión de los datos, se observa que se observa que el Equipo de Verificación tiene una desviación estándar de 9833, lo que indica una dispersión moderada en torno a la media.

Por el contrario, el Equipo B muestra una desviación estándar más alta de 13995, sugiriendo una dispersión más amplia en sus resultados. Similarmente, el Equipo C tiene una desviación estándar de 7580, indicando una dispersión más moderada en comparación con el Equipo de Verificación. En cuanto al Equipo D, su desviación estándar es de 5348, reflejando también una dispersión moderada en sus datos. En contraste, el Equipo E presenta una desviación estándar de 11518, lo que indica una dispersión considerable en torno a la media.

Los coeficientes de determinación (R^2) obtenidos al comparar el Equipo de Verificación con otros equipos revelan que El Equipo C exhibe un coeficiente R^2 de 0.8929, indicando un ajuste bastante bueno y una relación robusta con el Equipo de Verificación. Además, su coeficiente de correlación de 0.944937 sugiere una fuerte asociación positiva. Por otro lado, el Equipo B tiene un R^2 de 0.9818, lo que también refleja un excelente ajuste con el Equipo de Verificación, y una correlación positiva de 0.990853, indicando una relación muy estrecha. El Equipo D presenta un R^2 de 0.0882, lo que indica un ajuste muy débil con el Equipo de Verificación, acompañado de una correlación moderada de 0.406678. Finalmente, el Equipo E muestra un R^2 de 0.9569, sugiriendo un ajuste fuerte con el Equipo de Verificación, y una correlación positiva de 0.97818, lo que refleja una asociación significativa.

Por otro lado, las pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk indican que las concentraciones de partículas en los diferentes equipos muestran distintos niveles de conformidad con una distribución normal. Para el Equipo D el valor p es de 0.26495810 demostrando que no hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nulas, es decir que siguen una distribución normal. Por su parte, el Equipo de Verificación, el Equipo B, el Equipo C y el Equipo E, presentan valores p extremadamente bajos de 0.00000774, 0.00001208, 0.00039585 y 0.00001122 respectivamente, concluyendo que los datos para estos equipos no siguen una distribución normal.

En este contexto, se llevó a cabo un análisis comparativo entre el Equipo de Verificación y los demás equipos utilizando la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Los resultados de la prueba indican que hay diferencias estadísticamente significativas entre al menos dos de los equipos. Con un estadístico Chi-cuadrado de 180.74 y un valor p extremadamente bajo de $< 2.2E-16$ para 4 grados de libertad, se rechaza la hipótesis nula de que las medianas de todos los grupos son iguales. Este hallazgo sugiere que la concentración de partículas varía de manera significativa entre los equipos.

Dada la variabilidad observada entre los equipos en general, se realizó un análisis comparativo múltiple mediante la prueba post hoc de Dunn con corrección de Bonferroni, considerando tres niveles de significancia (0.05, 0.01 y 0.001). Los resultados revelaron que la comparación entre el Equipo de Verificación y el Equipo E son estadísticamente similares para todos los niveles de confianza evaluados. Por su parte, las demás comparaciones entre equipos rechazan notablemente la hipótesis nula, sugiriendo que son estadísticamente diferentes.

Tabla A-43. Distribución de los datos para la Prueba 3_1_3

| Prueba 3_1_3 | | |
|--------------|---|--|
| Eq. | Histograma | Diagrama Cuantil - Cuantil |
| Verificación | <p>Histograma: Prueba 3_1_3 Verificación</p> | <p>Normal Q-Q Plot: Prueba 3_1_3 Equipo de verificación</p> |
| A | No aplica | No aplica |
| B | <p>Histograma: Prueba 3_1_3 Equipo B</p> | <p>Normal Q-Q Plot: Prueba 3_1_3 Equipo B</p> |
| C | <p>Histograma: Prueba 3_1_3 Equipo C</p> | <p>Normal Q-Q Plot: Prueba 3_1_3 Equipo C</p> |
| D | <p>Histograma: Prueba 3_1_3 Equipo D</p> | <p>Normal Q-Q Plot: Prueba 3_1_3 Equipo D</p> |

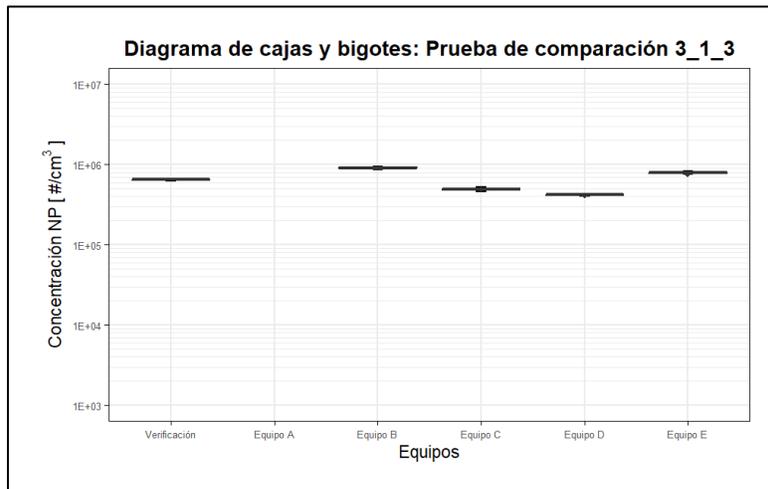
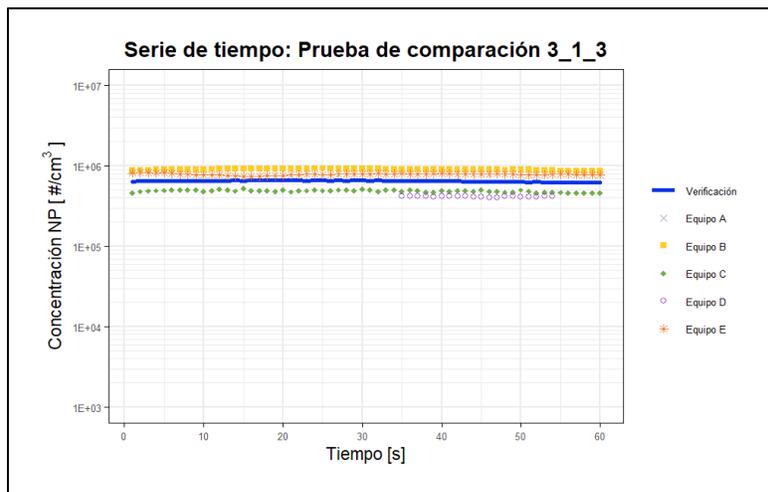
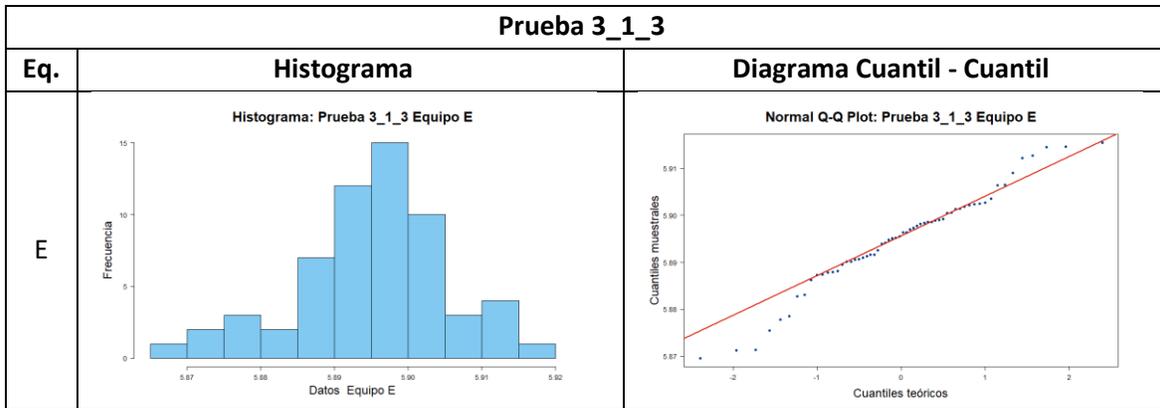


Tabla A-44. Medidas estadísticas descriptivas para la prueba 3_1_3

| Parámetros | Verificación | Equipo A | Equipo B | Equipo C | Equipo D | Equipo E |
|------------|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Min | 623261 | - | 863000 | 456454 | 404305 | 740576 |
| Q1 | 637841 | - | 895000 | 475661 | 414731 | 775634 |

| | | | | | | |
|-------------|--------|---|----------|---------|----------|----------|
| Mediana | 653186 | - | 904500 | 489794 | 418612 | 786956 |
| Q3 | 657433 | - | 921500 | 500198 | 421882 | 796833 |
| Máx | 665118 | - | 932000 | 520470 | 425758 | 823052 |
| Media | 647874 | - | 904417 | 487072 | 417722 | 785391 |
| σ | 12464 | - | 18537 | 15141 | 5790 | 18749 |
| Coef. R^2 | 1 | - | 0.7608 | 0.4676 | 0.1422 | 0.0182 |
| Coef. Corr | 1 | - | 0.872262 | 0.68381 | 0.365343 | -0.13498 |

* σ Desviación estándar

El análisis comparativo de las concentraciones de partículas entre cuatro equipos de interés y un Equipo de Verificación durante la prueba de verificación a concentraciones media altas (3_1_3) revela diferencias significativas en los resultados. A continuación, se detallan los hallazgos encontrados:

El análisis de los datos revela diferencias notables en las medidas de tendencia central entre los equipos. El Equipo de Verificación presenta una media de 647874 y una mediana de 653186, indicando una centralización de los datos alrededor de estos valores. En comparación, el Equipo B muestra una media de 904417 y una mediana de 904500, sugiriendo una tendencia a valores más altos en sus resultados. El Equipo C tiene una media de 487072 y una mediana de 489794, reflejando valores centrales inferiores a los del Equipo de Verificación. El Equipo D presenta una media de 417722 y una mediana de 418612, indicando una tendencia a valores más bajos en comparación con el Equipo de Verificación. Finalmente, el Equipo E tiene una media de 785391 y una mediana de 786956, mostrando valores centrales relativamente altos en comparación con el Equipo de Verificación, aunque no tan elevados como los del Equipo B.

En relación con la dispersión de los datos, se observa que el Equipo de Verificación muestra una desviación estándar de 12464, indicando una dispersión moderada en torno a la media. Por otro lado, el Equipo B tiene una desviación estándar de 18537, lo que sugiere una dispersión más amplia en sus resultados. El Equipo C presenta una desviación estándar de 15141, reflejando una dispersión también moderada, pero ligeramente mayor en comparación con el Equipo de Verificación. El Equipo D tiene una desviación estándar de 5790, que indica una dispersión más contenida en torno a la media, mientras que el Equipo E, con una desviación estándar de 18749, muestra una dispersión considerablemente más amplia en sus datos.

Los coeficientes de determinación (R^2) obtenidos al comparar el Equipo de Verificación con los demás equipos muestran una variedad de relaciones entre los modelos y los datos. En particular, el Equipo C presenta un coeficiente R^2 de 0.4676, lo que sugiere un ajuste moderado del modelo a los datos en comparación con el Equipo de Verificación. Además, el coeficiente de correlación de 0.68381 indica una relación positiva y significativa, aunque no tan fuerte como la del Equipo B, que tiene un coeficiente R^2 de 0.7608 y una correlación positiva de 0.872262, reflejando una asociación bastante robusta con el Equipo de Verificación. En contraste, el Equipo D y el Equipo E muestran coeficientes R^2 más bajos, con 0.1422 y 0.0182 respectivamente, y coeficientes de correlación negativos o muy bajos, lo que indica una relación débil o casi inexistente con el Equipo de

Verificación. Estos valores sugieren que los modelos para el Equipo D y el Equipo E tienen un ajuste significativamente menos efectivo en comparación con el Equipo de Verificación.

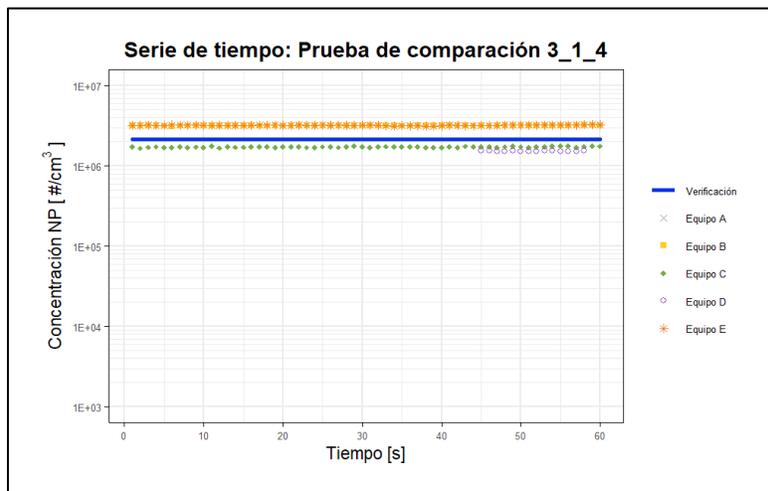
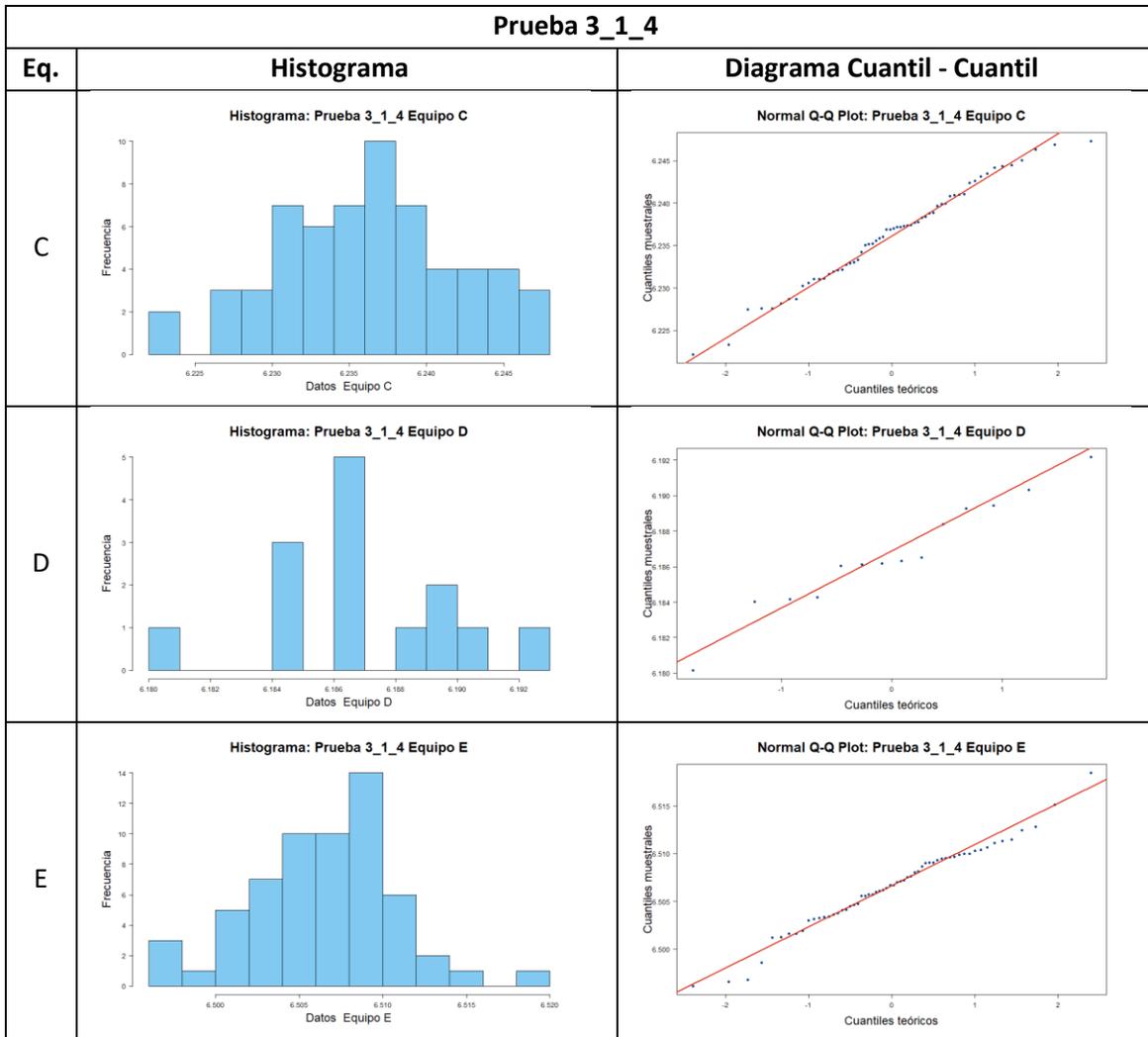
Por otro lado, las pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk indican que las concentraciones de partículas para el Equipo C, el Equipo D y el Equipo E siguen una distribución normal con valores p de 0.11742960, 0.18235750 y 0.19495 respectivamente. Por otro lado el Equipo de Verificación y el Equipo B rechazan la hipótesis nula de normalidad por presentando valores p extremadamente bajos de 0.00001394 y 0.00902860 respectivamente; es decir que no siguen una distribución normal.

En este contexto, se llevó a cabo un análisis comparativo entre el Equipo de Verificación y los demás equipos utilizando la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Los resultados de la prueba indican que hay diferencias estadísticamente significativas entre al menos dos de los equipos. Con un estadístico Chi-cuadrado de 246.16 y un valor p extremadamente bajo de $< 2.2E-16$ para 4 grados de libertad, se rechaza la hipótesis nula de que las medianas de todos los grupos son iguales. Este hallazgo sugiere que la concentración de partículas varía de manera significativa entre los equipos.

Dada la variabilidad observada entre los equipos en general, se llevó a cabo un análisis comparativo múltiple a través de la prueba post hoc de Dunn con corrección de Bonferroni, considerando tres niveles de significancia (0.05, 0.01 y 0.001). Los resultados revelaron que la comparación entre equipos rechazan notablemente la hipótesis nula, sugiriendo que son estadísticamente diferentes.

Tabla A-45. Distribución de los datos para la Prueba 3_1_4

| Prueba 3_1_4 | | |
|--------------|------------|----------------------------|
| Eq. | Histograma | Diagrama Cuantil - Cuantil |
| Verificación | | |
| A | No aplica | No aplica |
| B | | |



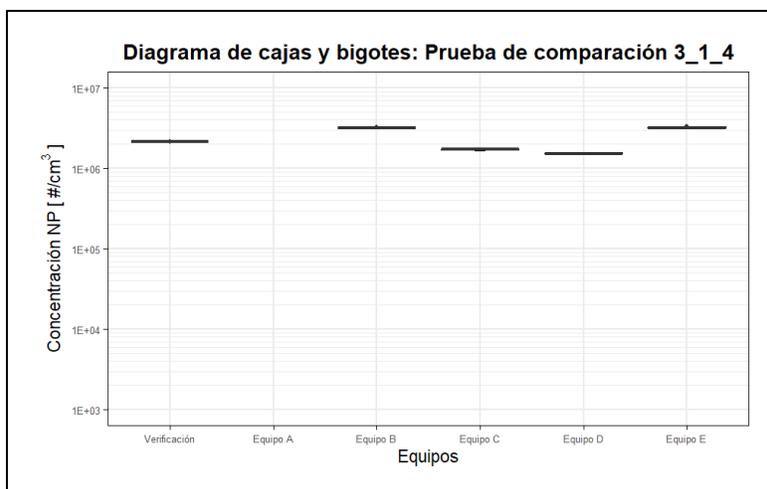


Tabla A-46. Medidas estadísticas descriptivas para la prueba 3_1_4

| Parámetros | Verificación | Equipo A | Equipo B | Equipo C | Equipo D | Equipo E |
|----------------------|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Min | 2128807 | - | 3140000 | 1667910 | 1514149 | 3134198 |
| Q1 | 2139623 | - | 3158250 | 1705882 | 1528448 | 3189035 |
| Mediana | 2142429 | - | 3167000 | 1725646 | 1535502 | 3211513 |
| Q3 | 2150013 | - | 3184750 | 1740217 | 1546416 | 3233031 |
| Máx | 2169822 | - | 3239000 | 1767130 | 1556574 | 3299660 |
| Media | 2145775 | - | 3171417 | 1722997 | 1537040 | 3210406 |
| σ | 9572 | - | 20742 | 23019 | 10901 | 31998 |
| Coef. R ² | 1 | - | 0.3097 | 0.1285 | 0.0159 | 0.2789 |
| Coef. Corr | 1 | - | 0.556517 | 0.358492 | -0.10262 | 0.52809 |

* σ Desviación estándar

El análisis comparativo de las concentraciones de partículas entre cuatro equipos de interés y un Equipo de Verificación durante la prueba de verificación a concentraciones altas (3_1_4) revela diferencias significativas en los resultados. A continuación, se detallan los hallazgos encontrados:

El análisis de los datos revela que el Equipo de Verificación presenta medidas de tendencia central consistentes, con una mediana de 2142429 y una media de 2145775. En contraste, el Equipo B muestra una mediana significativamente más alta de 3167000 y una media de 3171417, lo que sugiere una distribución sesgada hacia valores más altos en comparación con el Equipo de Verificación. Por otro lado, el Equipo C exhibe una mediana de 1725646 y una media de 1722997, indicando una distribución más uniforme de los datos. Similarmente, el Equipo D tiene una mediana de 1535502 y una media de 1537040, mostrando una distribución relativamente consistente. El Equipo E presenta una mediana de 3211513 y una media de 3210406, reflejando también una distribución sesgada hacia valores más altos.

En términos de dispersión de los datos, el Equipo de Verificación presenta una desviación estándar de 9572, lo que indica una dispersión moderada en torno a la media. En contraste, el Equipo B

muestra una desviación estándar más alta de 20742, sugiriendo una dispersión más amplia en sus resultados. Similarmente, el Equipo C tiene una desviación estándar de 23019, lo que refleja una dispersión más notable en comparación con el Equipo de Verificación. El Equipo D, con una desviación estándar de 10901, muestra una dispersión moderada en sus datos. Finalmente, el Equipo E presenta una desviación estándar de 31998, lo que indica una dispersión considerable en torno a la media, similar a la del Equipo B, pero aún mayor.

Los coeficientes de determinación (R^2) reflejan el grado en que el modelo se ajusta a los datos en comparación con el Equipo de Verificación. El Equipo C tiene un coeficiente R^2 de 0.1285, lo que indica una relación débil con el Equipo de Verificación. En contraste, el Equipo B muestra un coeficiente R^2 de 0.3097, sugiriendo una relación moderada. El Equipo E tiene un coeficiente R^2 de 0.2789, también reflejando una relación moderada, aunque menos robusta que la del Equipo B. Por otro lado, el Equipo D presenta un coeficiente R^2 muy bajo de 0.0159, indicando una relación casi nula con el Equipo de Verificación. Los coeficientes de correlación respaldan estos hallazgos: el Equipo C muestra una correlación positiva moderada de 0.358492, mientras que el Equipo B tiene una correlación de 0.556517, indicando una relación más significativa. El Equipo E presenta una correlación de 0.52809, similar a la del Equipo B, mientras que el Equipo D tiene una correlación negativa de -0.10262, sugiriendo una relación inversa muy débil con el Equipo de Verificación.

Por otro lado, las pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk indican que las concentraciones de partículas para el Equipo C, el Equipo D y el Equipo E aceptan la hipótesis nula de normalidad, es decir que siguen una distribución normal con valores p de 0.72675650, 0.80927220 y 0.4523565 respectivamente. Por su parte, el Equipo de Verificación y el Equipo B indican que no siguen una distribución normal, con valores p de 0.00014195 y 0.00252059 respectivamente.

En este contexto, se llevó a cabo un análisis comparativo entre el Equipo de Verificación y los demás equipos utilizando la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Los resultados de la prueba indican que hay diferencias estadísticamente significativas entre al menos dos de los equipos. Con un estadístico Chi-cuadrado de 229.31 y un valor p extremadamente bajo de $< 2.2E-16$ para 4 grados de libertad, se rechaza la hipótesis nula de que las medianas de todos los grupos son iguales. Este hallazgo sugiere que la concentración de partículas varía de manera significativa entre los equipos.

Dada la variabilidad observada entre los equipos en general, se realizó un análisis comparativo múltiple mediante la prueba post hoc de Dunn con corrección de Bonferroni, considerando tres niveles de significancia (0.05, 0.01 y 0.001). Los resultados revelaron que la comparación entre equipos rechazan notablemente la hipótesis nula, sugiriendo que son estadísticamente diferentes en todos los niveles de significancia.

Tabla A-47. Distribución de los datos para la Prueba 3_2_1

| Prueba 3_2_1 | | |
|--------------|--|---|
| Eq. | Histograma | Diagrama Cuantil - Cuantil |
| Verificación | <p>Histograma: Prueba 3_2_1 Verificación</p> | <p>Normal Q-Q Plot: Prueba 3_2_1 Equipo de verificación</p> |
| A | No aplica | No aplica |
| B | No aplica | No aplica |
| C | <p>Histograma: Prueba 3_2_1 Equipo C</p> | <p>Normal Q-Q Plot: Prueba 3_2_1 Equipo C</p> |
| D | <p>Histograma: Prueba 3_2_1 Equipo D</p> | <p>Normal Q-Q Plot: Prueba 3_2_1 Equipo D</p> |
| E | <p>Histograma: Prueba 3_2_1 Equipo E</p> | <p>Normal Q-Q Plot: Prueba 3_2_1 Equipo E</p> |

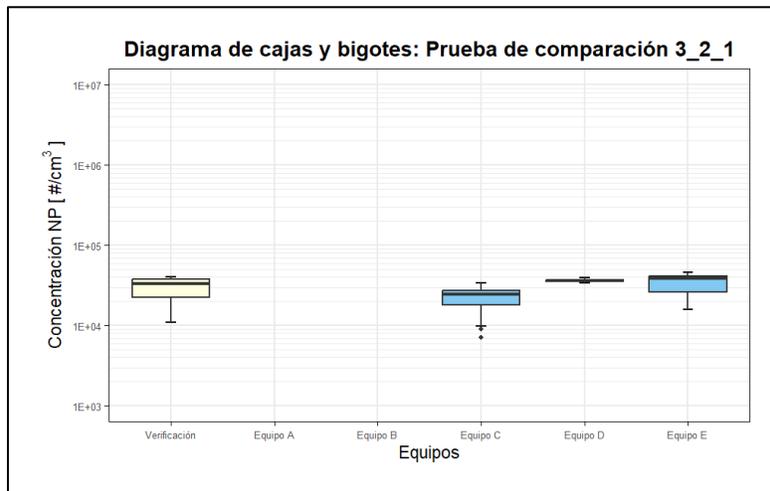
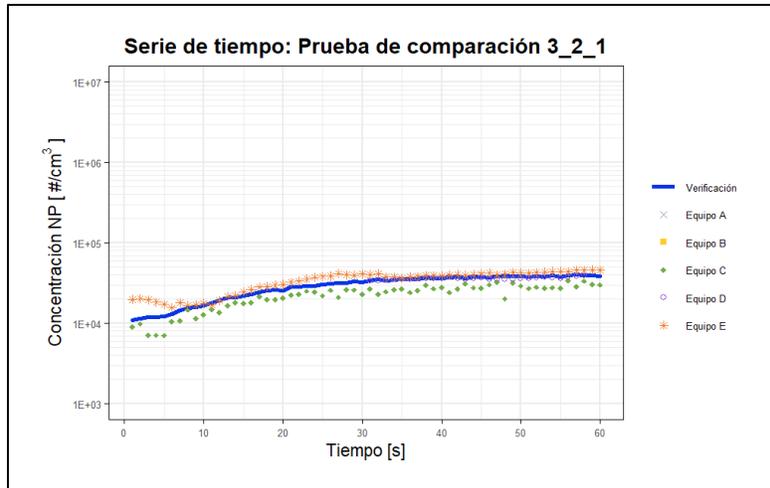


Tabla A-48. Medidas estadísticas descriptivas para la prueba 3_2_1

| Parámetros | Verificación | Equipo A | Equipo B | Equipo C | Equipo D | Equipo E |
|-------------|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Min | 10844 | - | - | 7016 | 33802 | 15684 |
| Q1 | 22102 | - | - | 17958 | 35165 | 25023 |
| Mediana | 33277 | - | - | 24509 | 35930 | 38526 |
| Q3 | 37629 | - | - | 27538 | 36971 | 41555 |
| Máx | 39901 | - | - | 33690 | 39302 | 46279 |
| Media | 29647 | - | - | 22542 | 36069 | 34118 |
| σ | 9298 | - | - | 7187 | 1294 | 9828 |
| Coef. R^2 | 1 | - | - | 0.9018 | 0.4668 | 0.9391 |
| Coef. Corr | 1 | - | - | 0.949645 | 0.719437 | 0.969063 |

* σ Desviación estándar

El análisis comparativo de las concentraciones de partículas entre tres equipos de interés y un Equipo de Verificación durante la prueba de verificación a concentraciones bajas (3_2_1) revela diferencias significativas en los resultados. A continuación, se detallan los hallazgos encontrados:

El análisis de los datos muestra que el Equipo de Verificación tiene una mediana de 33277 y una media de 29647, indicando una distribución relativamente alta y centrada en torno a estos valores. En comparación, el Equipo C presenta una mediana de 24509 y una media de 22542, sugiriendo una tendencia central más baja en comparación con el Equipo de Verificación. Por otro lado, el Equipo D tiene una mediana de 35930 y una media de 36069, reflejando una tendencia central más alta, pero con valores más cercanos a los del Equipo de Verificación en comparación con el Equipo C. Finalmente, el Equipo E muestra una mediana de 38526 y una media de 34118, con una tendencia central significativamente más alta que la del Equipo de Verificación, pero menos dispersa que el Equipo D.

El análisis de la dispersión de los datos revela que el Equipo de Verificación tiene una desviación estándar de 9298, lo que indica una dispersión moderada alrededor de la media. El Equipo C, con una desviación estándar de 7187, muestra una menor dispersión en comparación con el Equipo de Verificación, lo que sugiere que sus datos están más agrupados alrededor de la media. El Equipo D presenta una desviación estándar de 1294, lo que indica una dispersión muy baja en torno a la media, reflejando una alta consistencia en sus resultados. Por otro lado, el Equipo E tiene una desviación estándar de 9828, indicando una dispersión más amplia en sus datos en comparación con el Equipo de Verificación. La variabilidad en el Equipo E es mayor, lo que sugiere una mayor heterogeneidad en los resultados.

Los coeficientes de determinación (R^2) y los coeficientes de correlación entre el Equipo de Verificación y los demás equipos revelan diferentes niveles de ajuste y asociación. El Equipo C, con un coeficiente R^2 de 0.9018 y un coeficiente de correlación de 0.949645, muestra una fuerte relación positiva con el Equipo de Verificación, indicando un buen ajuste del modelo a los datos y una alta asociación entre las variables. El Equipo E, con un coeficiente R^2 de 0.9391 y un coeficiente de correlación de 0.969063, también exhibe una excelente relación positiva con el Equipo de Verificación, sugiriendo una relación significativa y fuerte. En contraste, el Equipo D, con un coeficiente R^2 de 0.4668 y un coeficiente de correlación de 0.719437, presenta una relación más débil con el Equipo de Verificación, lo que indica un ajuste más moderado y una asociación menos pronunciada.

Por otro lado, las pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk indican que las concentraciones de partículas para el Equipo de Verificación, el Equipo C y el Equipo E rechazan la hipótesis nula de normalidad, es decir que no siguen una distribución normal con valores p de 0.00000595, 0.00177449 y 0.000002962 respectivamente. En contraste, el Equipo D sigue una distribución normal con un valor p de 0.2356361, aceptando la hipótesis nula.

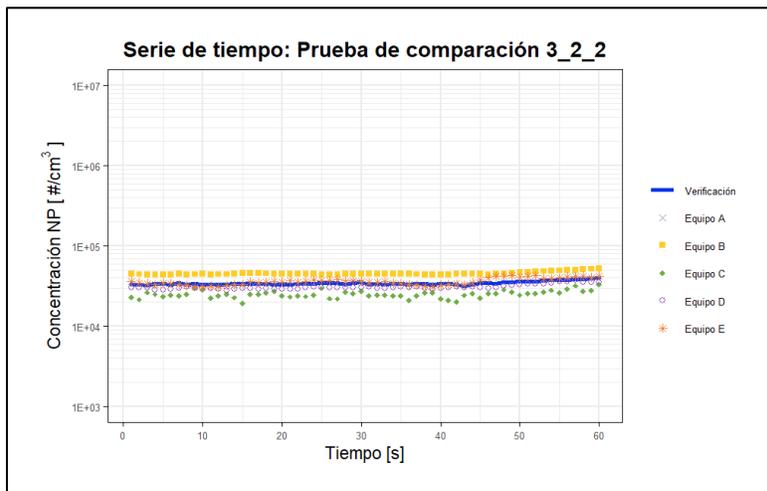
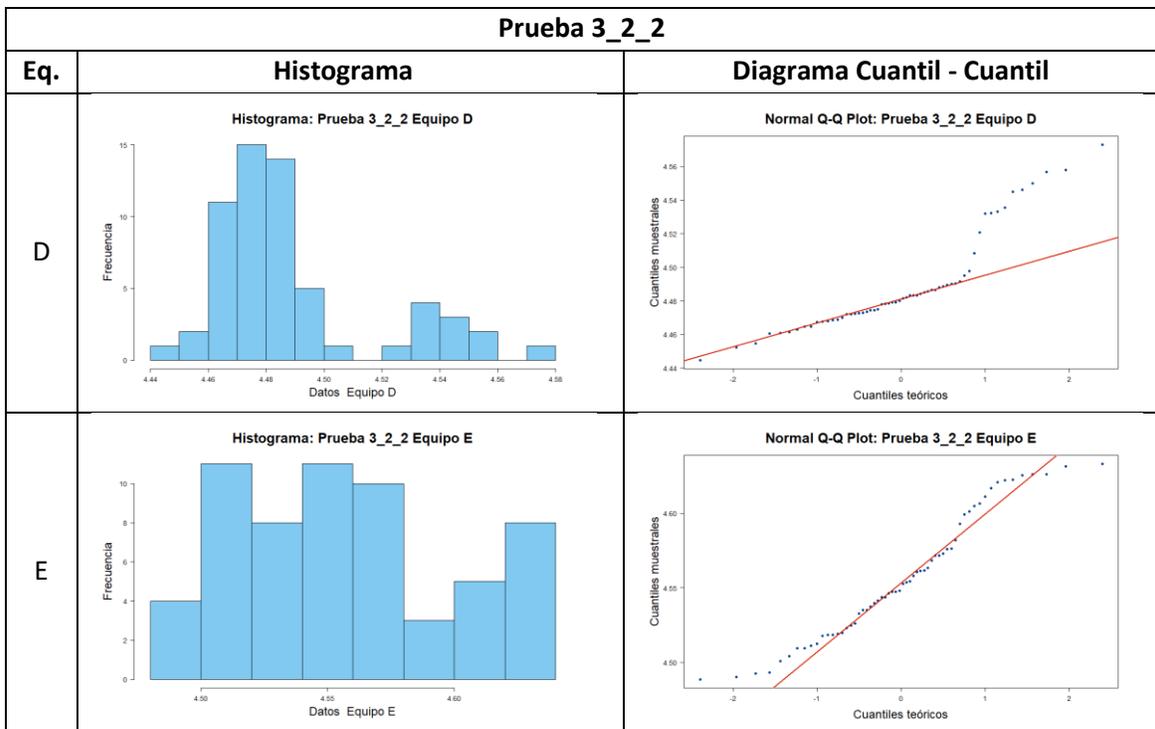
En este contexto, se llevó a cabo un análisis comparativo entre el Equipo de Verificación y los demás equipos utilizando la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Los resultados de la prueba indican que hay diferencias estadísticamente significativas entre al menos dos de los equipos. Con un estadístico Chi-cuadrado de 62.12 y un valor p extremadamente bajo de $< 2.2E-16$ para 3 grados de

libertad, se rechaza la hipótesis nula de que las medianas de todos los grupos son iguales. Este hallazgo sugiere que la concentración de partículas varía de manera significativa entre los equipos.

Dada la variabilidad observada entre los equipos en general, se llevó a cabo un análisis comparativo múltiple utilizando la prueba post hoc de Dunn con corrección de Bonferroni, considerando tres niveles de significancia (0.05, 0.01 y 0.001). Los resultados revelaron que la comparación entre el Equipo de Verificación y el Equipo D, así como, la comparación entre el Equipo D y el Equipo E tienen evidencia significativa para aceptar que son estadísticamente similares para todos los niveles de confianza evaluados. No obstante, la comparación entre el Equipo de Verificación y el Equipo D, presenta evidencia para aceptar la hipótesis nula únicamente a niveles de significancia de 0.01 y 0.001. Por su parte, las demás comparaciones entre equipos rechazan notablemente la hipótesis nula, sugiriendo que son estadísticamente diferentes.

Tabla A-49. Distribución de los datos para la Prueba 3_2_2

| Prueba 3_2_2 | | |
|--------------|------------|----------------------------|
| Eq. | Histograma | Diagrama Cuantil - Cuantil |
| Verificación | | |
| A | No aplica | No aplica |
| B | | |
| C | | |



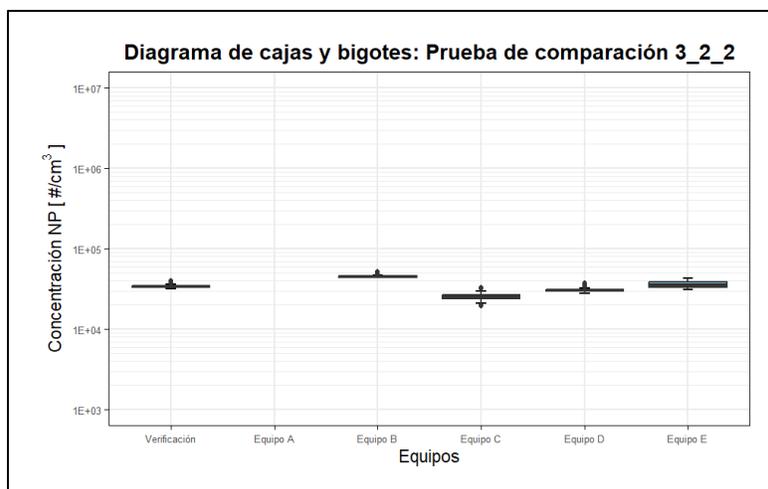


Tabla A-50. Medidas estadísticas descriptivas para la prueba 3_2_2

| Parámetros | Verificación | Equipo A | Equipo B | Equipo C | Equipo D | Equipo E |
|----------------------|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Min | 32019 | - | 43800 | 19136 | 27842 | 30817 |
| Q1 | 33386 | - | 44400 | 23658 | 29547 | 33171 |
| Mediana | 33831 | - | 44850 | 24822 | 30257 | 35512 |
| Q3 | 34700 | - | 45550 | 26539 | 30995 | 38922 |
| Máx | 39927 | - | 52500 | 33157 | 37400 | 42954 |
| Media | 34431 | - | 45585 | 25064 | 30892 | 36205 |
| σ | 1752 | - | 2078 | 2677 | 2165 | 3516 |
| Coef. R ² | 1 | - | 0.8481 | 0.3685 | 0.7915 | 0.5573 |
| Coef. Corr | 1 | - | 0.920933 | 0.607055 | 0.889664 | 0.74651 |

* σ Desviación estándar

El análisis comparativo de las concentraciones de partículas entre cuatro equipos de interés y un Equipo de Verificación durante la prueba de verificación a concentraciones bajas (3_2_2) revela diferencias significativas en los resultados. A continuación, se detallan los hallazgos encontrados:

El análisis de las medidas de tendencia central revela que el Equipo de Verificación presenta una mediana de 33831 y una media de 34431. En contraste, el Equipo B muestra una mediana de 44850 y una media de 45585, indicando una tendencia central más alta en comparación con el Equipo de Verificación. El Equipo C, con una mediana de 24822 y una media de 25064, exhibe valores de tendencia central más bajos en comparación con el Equipo de Verificación. El Equipo D presenta una mediana de 30257 y una media de 30892, mostrando una distribución de datos más cercana a la del Equipo de Verificación. Finalmente, el Equipo E tiene una mediana de 35512 y una media de 36205, reflejando una tendencia central que es más alta que la del Equipo de Verificación, aunque no tan pronunciada como en el Equipo B.

En cuanto a la dispersión de los datos se observa que el Equipo de Verificación muestra una desviación estándar de 1752, lo que indica una dispersión relativamente baja en torno a la media.

Por otro lado, el Equipo B presenta una desviación estándar de 2078, sugiriendo una dispersión algo mayor en sus resultados. El Equipo C, con una desviación estándar de 2677, muestra una dispersión notablemente mayor en comparación con el Equipo de Verificación, lo que indica una variabilidad más amplia en sus datos. El Equipo D tiene una desviación estándar de 2165, lo que sugiere una dispersión moderada en sus resultados, similar a la del Equipo B. Finalmente, el Equipo E presenta una desviación estándar de 3516, lo que indica una dispersión considerablemente mayor en torno a la media, reflejando una variabilidad alta en sus datos.

Los coeficientes de determinación (R^2) obtenidos al comparar el Equipo de Verificación con otros equipos, muestran que, en términos de ajuste del modelo a los datos, el Equipo C presenta un coeficiente R^2 de 0.4668, lo que indica un ajuste moderado del modelo a los datos del Equipo de Verificación. Este valor es respaldado por un coeficiente de correlación de 0.719437, sugiriendo una asociación positiva significativa entre ambos equipos. El Equipo B muestra un coeficiente R^2 de 0.8481, indicando una relación bastante sólida con el Equipo de Verificación, corroborado por un coeficiente de correlación de 0.920933, que refleja una fuerte asociación positiva. El Equipo D tiene un coeficiente R^2 de 0.7915 y un coeficiente de correlación de 0.889664, mostrando una relación significativa, aunque algo menos robusta en comparación con el Equipo B. Por último, el Equipo E presenta un coeficiente R^2 de 0.5573, con una correlación positiva de 0.74651, sugiriendo una relación moderada con el Equipo de Verificación.

Por otro lado, las pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk indican que las concentraciones de partículas en los diferentes equipos muestran distintos niveles de conformidad con una distribución normal. Para el Equipo de Verificación, así como para el Equipo B, el Equipo D y el Equipo E, se encontró evidencia significativa en contra de la hipótesis nula de normalidad, con valores p de 0.00000016, 1.56E-09, 0.00000062 y 0.00496716 respectivamente. Estos resultados sugieren que las concentraciones de partículas en estos equipos no siguen una distribución normal. Por otro lado, el Equipo C presenta valor p de 0.3160649, lo cual indica que no hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula de normalidad, es decir que siguen una distribución normal.

En este contexto, se llevó a cabo un análisis comparativo entre el Equipo de Verificación y los demás equipos utilizando la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Los resultados de la prueba indican que hay diferencias estadísticamente significativas entre al menos dos de los equipos. Con un estadístico Chi-cuadrado de 253.96 y un valor p extremadamente bajo de $< 2.2E-16$ para 4 grados de libertad, se rechaza la hipótesis nula de que las medianas de todos los grupos son iguales. Este hallazgo sugiere que la concentración de partículas varía de manera significativa entre los equipos.

La variabilidad observada entre los equipos motivó la realización de un análisis comparativo múltiple por medio de la prueba post hoc de Dunn con corrección de Bonferroni, utilizando tres niveles de significancia (0.05, 0.01 y 0.001). Los resultados indicaron que no existen diferencias significativas entre el Equipo de Verificación y el Equipo E al reducir el nivel de significancia a 0.001. El resto de las comparaciones entre equipos rechazaron la hipótesis nula en los diferentes niveles de confianza, es decir que se sugiere que son estadísticamente diferentes.

Tabla A-51. Distribución de los datos para la Prueba 3_2_3

| Prueba 3_2_3 | | |
|--------------|--|---|
| Eq. | Histograma | Diagrama Cuantil - Cuantil |
| Verificación | <p>Histograma: Prueba 3_2_3 Verificación</p> | <p>Normal Q-Q Plot: Prueba 3_2_3 Equipo de verificación</p> |
| A | No aplica | No aplica |
| B | No aplica | No aplica |
| C | <p>Histograma: Prueba 3_2_3 Equipo C</p> | <p>Normal Q-Q Plot: Prueba 3_2_3 Equipo C</p> |
| D | <p>Histograma: Prueba 3_2_3 Equipo D</p> | <p>Normal Q-Q Plot: Prueba 3_2_3 Equipo D</p> |
| E | <p>Histograma: Prueba 3_2_3 Equipo E</p> | <p>Normal Q-Q Plot: Prueba 3_2_3 Equipo E</p> |

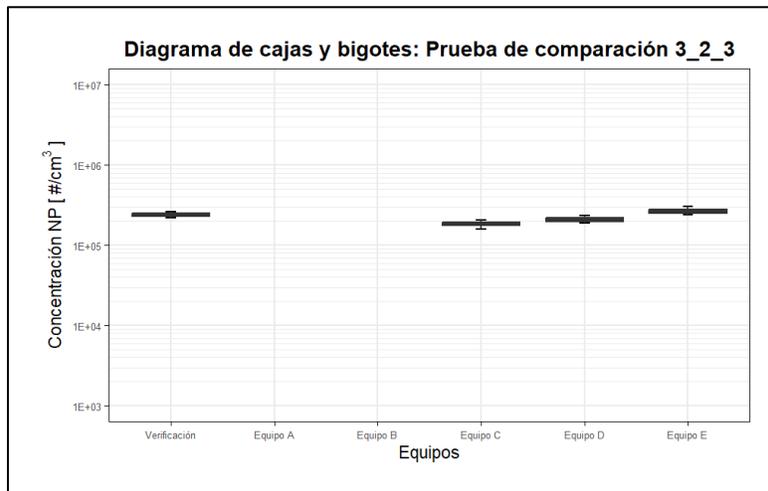
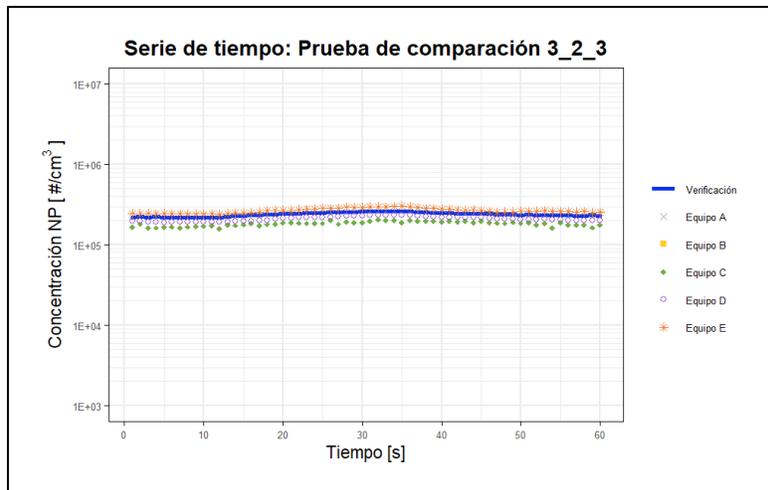


Tabla A-5212. Medidas estadísticas descriptivas para la prueba 3_2_3

| Parámetros | Verificación | Equipo A | Equipo B | Equipo C | Equipo D | Equipo E |
|----------------------|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Min | 218461 | - | - | 159429 | 189202 | 240770 |
| Q1 | 229280 | - | - | 174736 | 197253 | 251224 |
| Mediana | 238839 | - | - | 184514 | 208808 | 262224 |
| Q3 | 251199 | - | - | 191088 | 220845 | 283049 |
| Máx | 263739 | - | - | 204208 | 235500 | 305808 |
| Media | 239858 | - | - | 182841 | 210647 | 266759 |
| σ | 13652 | - | - | 11994 | 14045 | 18678 |
| Coef. R ² | 1 | - | - | 0.71 | 0.9604 | 0.9338 |
| Coef. Corr | 1 | - | - | 0.842616 | 0.980009 | 0.966337 |

* σ Desviación estándar

El análisis comparativo de las concentraciones de partículas entre tres equipos de interés y un Equipo de Verificación durante la prueba de verificación a concentraciones medias (3_2_3) revela diferencias significativas en los resultados. A continuación, se detallan los hallazgos encontrados:

El análisis de las medidas de tendencia central revela que el Equipo de Verificación presenta una mediana de 238839 y una media de 239858, indicando una distribución relativamente centrada alrededor de estos valores. En contraste, el Equipo C muestra una mediana de 184514 y una media de 182841, reflejando una tendencia general a valores más bajos en comparación con el Equipo de Verificación. Por otro lado, el Equipo D tiene una mediana de 208808 y una media de 210647, sugiriendo valores de tendencia central ligeramente más altos pero aún cercanos al Equipo de Verificación. Finalmente, el Equipo E exhibe una mediana de 262224 y una media de 266759, mostrando una tendencia notablemente más alta en comparación con el Equipo de Verificación, lo que indica una distribución sesgada hacia valores superiores.

El análisis de la dispersión de los datos revela variaciones significativas entre los equipos. Para el Equipo de Verificación tiene una desviación estándar de 13652, lo que sugiere una dispersión moderada en torno a la media. En contraste, el Equipo C muestra una desviación estándar más baja de 11994, indicando una dispersión ligeramente menor en comparación con el Equipo de Verificación. El Equipo D presenta una desviación estándar de 14045, reflejando una dispersión más amplia alrededor de su media. Por su parte, el Equipo E muestra una desviación estándar de 18678, lo que indica una dispersión considerablemente mayor en comparación con el Equipo de Verificación, sugiriendo una mayor variabilidad en sus resultados.

El análisis de los coeficientes de determinación (R^2) y de correlación revela cómo se ajustan los modelos a los datos comparados con el Equipo de Verificación. El Equipo C tiene un R^2 de 0.71 y un coeficiente de correlación de 0.8426, lo que indica una relación moderada y un ajuste razonable con respecto al Equipo de Verificación. En contraste, el Equipo D muestra un R^2 alto de 0.9604 y un coeficiente de correlación de 0.9800, sugiriendo una fuerte relación positiva y un excelente ajuste con el Equipo de Verificación. El Equipo E presenta un R^2 de 0.9338 y un coeficiente de correlación de 0.9663, lo que también indica una relación fuerte y un buen ajuste en comparación con el Equipo de Verificación.

Por otro lado, las pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk indican que las concentraciones de partículas en los diferentes equipos muestran distintos niveles de conformidad con una distribución normal. Para el Equipo de Verificación, así como para el Equipo D y el Equipo E, se encontró evidencia en contra de la hipótesis nula de normalidad, con valores p de 0.01035600, 0.00313744 y 0.0039886 respectivamente. Estos resultados sugieren que las concentraciones de partículas en estos equipos no siguen una distribución normal. Por su parte, el Equipo C presentan valor p de 0.11569650, lo cual indica que no hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula de normalidad, es decir que siguen una distribución normal.

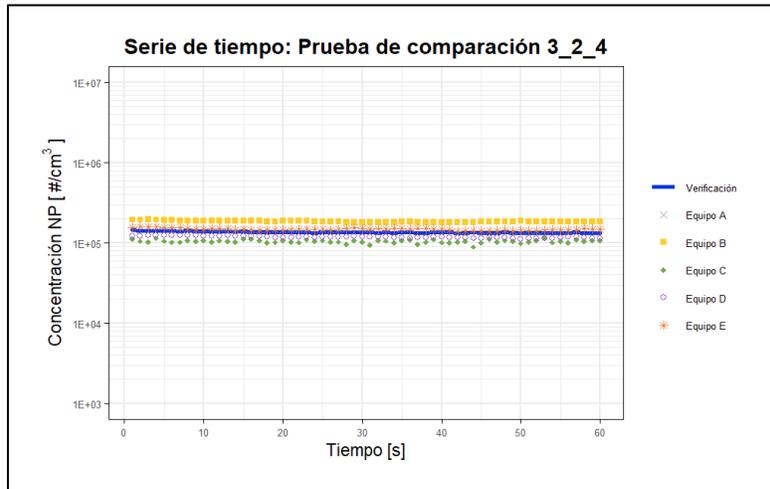
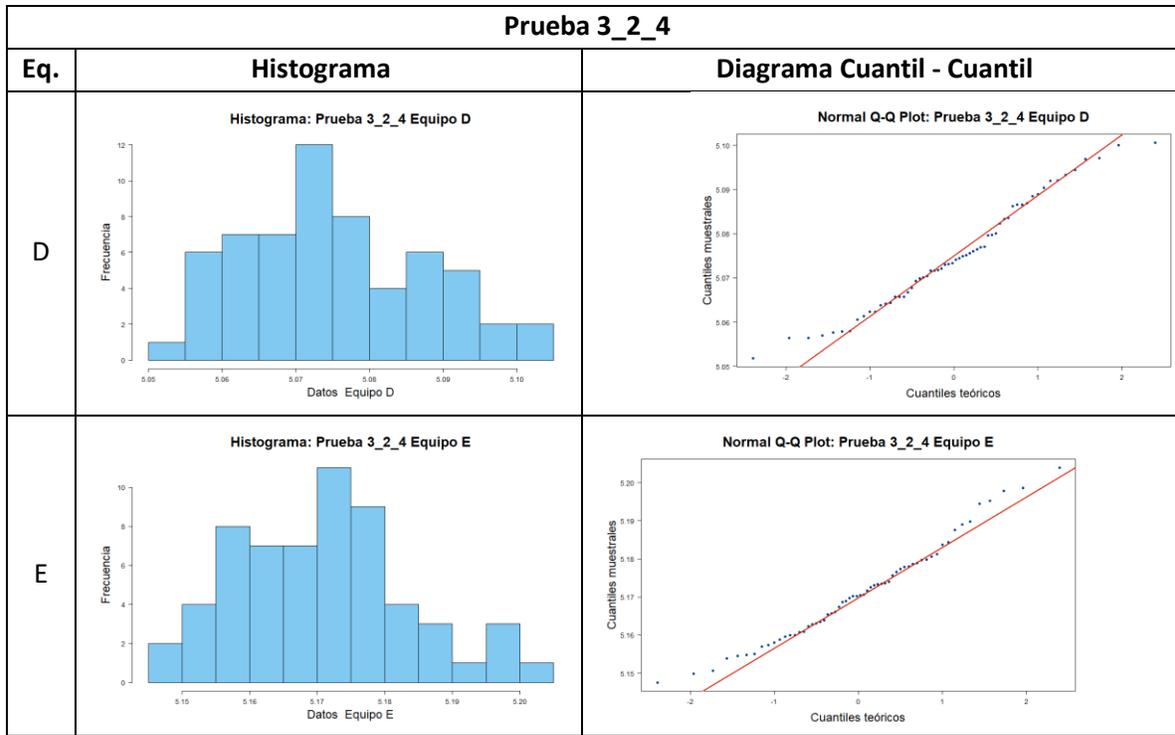
En este contexto, se llevó a cabo un análisis comparativo entre el Equipo de Verificación y los demás equipos utilizando la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Los resultados de la prueba indican que hay diferencias estadísticamente significativas entre al menos dos de los equipos. Con un

estadístico Chi-cuadrado de 201.78 y un valor p extremadamente bajo de $< 2.2E-16$ para 3 grados de libertad, se rechaza la hipótesis nula de que las medianas de todos los grupos son iguales. Este hallazgo sugiere que la concentración de partículas varía de manera significativa entre los equipos.

Dada la variabilidad observada entre los equipos en general, se realizó un análisis comparativo múltiple a través de la prueba post hoc de Dunn con corrección de Bonferroni, considerando tres niveles de significancia (0.05, 0.01 y 0.001). Los resultados revelaron que las comparaciones entre equipos rechazan notablemente la hipótesis nula, sugiriendo que son estadísticamente diferentes.

Tabla A-53. Distribución de los datos para la Prueba 3_2_4

| Prueba 3_2_4 | | |
|--------------|------------|----------------------------|
| Eq. | Histograma | Diagrama Cuantil - Cuantil |
| Verificación | | |
| A | No aplica | No aplica |
| B | | |
| C | | |



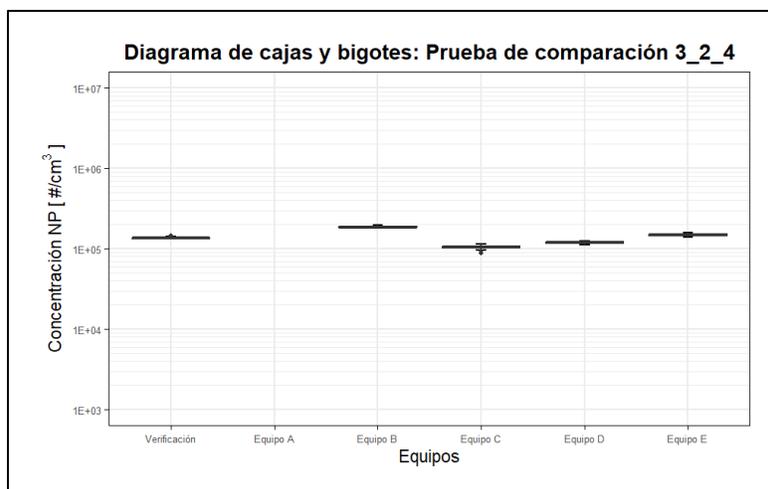


Tabla A-54. Medidas estadísticas descriptivas para la prueba 3_2_4

| Parámetros | Verificación | Equipo A | Equipo B | Equipo C | Equipo D | Equipo E |
|----------------------|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Min | 132800 | - | 179000 | 89089 | 112688 | 140477 |
| Q1 | 134120 | - | 182250 | 101642 | 116335 | 144820 |
| Mediana | 135473 | - | 185000 | 104522 | 118501 | 148040 |
| Q3 | 138005 | - | 188000 | 107411 | 121776 | 150944 |
| Máx | 143973 | - | 196000 | 115280 | 126055 | 159904 |
| Media | 136354 | - | 185600 | 104499 | 118909 | 148367 |
| σ | 2787 | - | 4138 | 4841 | 3394 | 4449 |
| Coef. R ² | 1 | - | 0.5103 | 0.0354 | 0.7093 | 0.4998 |
| Coef. Corr | 1 | - | 0.828329 | 0.188055 | 0.842192 | 0.70696 |

* σ Desviación estándar

El análisis comparativo de las concentraciones de partículas entre cuatro equipos de interés y un Equipo de Verificación durante la prueba de verificación a concentraciones medias (3_2_4) revela diferencias significativas en los resultados. A continuación, se detallan los hallazgos encontrados:

El análisis de los datos reveló diferencias sustanciales en las medidas de tendencia central y distribución de datos entre los equipos de verificación y los diferentes equipos. Se observó que el Equipo de Verificación presenta una mediana de 135473 y una media de 136354, indicando una tendencia central bastante consistente. En contraste, el Equipo B tiene una mediana de 185000 y una media de 185600, lo que sugiere una distribución de los datos notablemente más alta en comparación con el Equipo de Verificación. El Equipo C, con una mediana de 104522 y una media de 104499, refleja una distribución más baja y más cercana a los valores del Equipo de Verificación. El Equipo D muestra una mediana de 118501 y una media de 118909, indicando también una distribución más alta en comparación con el Equipo de Verificación, aunque no tan marcada como la del Equipo B. Finalmente, el Equipo E tiene una mediana de 148040 y una media de 148367, evidenciando una tendencia central más alta, similar al Equipo B, pero ligeramente inferior.

En cuanto a la dispersión de los datos, se observa que la desviación estándar para el Equipo de Verificación tiene una desviación estándar de 2787, lo que indica una dispersión moderada en torno a la media. El Equipo B, con una desviación estándar de 4138, muestra una mayor dispersión en sus datos en comparación con el Equipo de Verificación. El Equipo C tiene una desviación estándar de 4841, reflejando una dispersión considerablemente mayor, que sugiere una variabilidad más alta en sus resultados. Por su parte, el Equipo D presenta una desviación estándar de 3394, indicando una dispersión moderada similar al Equipo de Verificación, aunque algo más amplia. Finalmente, el Equipo E tiene una desviación estándar de 4449, lo que también sugiere una dispersión considerable en torno a la media, aunque no tan alta como la del Equipo C.

Los coeficientes de determinación (R^2) obtenidos al comparar el Equipo de Verificación con otros equipos muestran variaciones en el ajuste del modelo a los datos. El Equipo B presenta un R^2 de 0.5103 y un coeficiente de correlación de 0.828329, lo que sugiere una relación moderada con el Equipo de Verificación. En contraste, el Equipo C muestra coeficientes de 0.0354 y 0.188055, indicando una relación mucho más débil. Por otro lado, el Equipo D exhibe valores más altos, con un R^2 de 0.7093 y una correlación de 0.842192, reflejando una relación más fuerte con el Equipo de Verificación. El Equipo E presenta un R^2 de 0.4998 y una correlación de 0.70696, mostrando una relación moderada también, pero ligeramente menos fuerte en comparación con el Equipo D.

Por otro lado, las pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk indican que las concentraciones de partículas para el Equipo C, el Equipo D y el Equipo E presentan evidencia significativa para aceptar la hipótesis nula de normalidad, con valores p de 0.22759420, 0.15010220 y 0.1600624 respectivamente. Estos resultados sugieren que las concentraciones de partículas en estos equipos siguen una distribución normal. Por su parte, el Equipo de verificación y el Equipo B presentan valores p de 0.00006318 y 0.00153928 respectivamente, lo cual indica que hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula de normalidad, es decir que no siguen una distribución normal.

En este contexto, se llevó a cabo un análisis comparativo entre el Equipo de Verificación y los demás equipos utilizando la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Los resultados de la prueba indican que hay diferencias estadísticamente significativas entre al menos dos de los equipos. Con un estadístico Chi-cuadrado de 286.43 y un valor p extremadamente bajo de $< 2.2E-16$ para 4 grados de libertad, se rechaza la hipótesis nula de que las medianas de todos los grupos son iguales. Este hallazgo sugiere que la concentración de partículas varía de manera significativa entre los equipos.

Dada la variabilidad observada entre los equipos en general, se llevó a cabo un análisis comparativo múltiple a través de la prueba post hoc de Dunn con corrección de Bonferroni, considerando tres niveles de significancia (0.05, 0.01 y 0.001). Los resultados revelaron que se presentan diferencias significativas entre los equipos, ya que se presenta evidencia significativa para aceptar la hipótesis alternativa.

Tabla A-55. Distribución de los datos para la Prueba 3_2_5

| Prueba 3_2_5 | | |
|--------------|---|--|
| Eq. | Histograma | Diagrama Cuantil - Cuantil |
| Verificación | <p>Histograma: Prueba 3_2_5 Verificación</p> | <p>Normal Q-Q Plot: Prueba 3_2_5 Equipo de verificación</p> |
| A | No aplica | No aplica |
| B | <p>Histograma: Prueba 3_2_5 Equipo B</p> | <p>Normal Q-Q Plot: Prueba 3_2_5 Equipo B</p> |
| C | <p>Histograma: Prueba 3_2_5 Equipo C</p> | <p>Normal Q-Q Plot: Prueba 3_2_5 Equipo C</p> |
| D | <p>Histograma: Prueba 3_2_5 Equipo D</p> | <p>Normal Q-Q Plot: Prueba 3_2_5 Equipo D</p> |

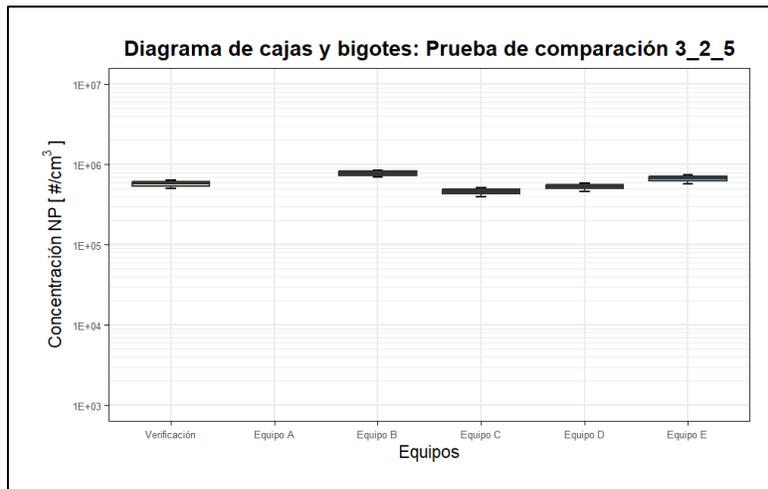
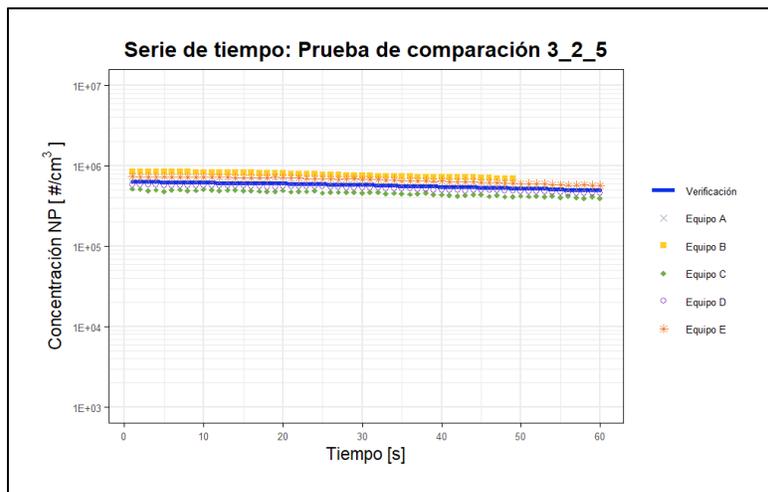
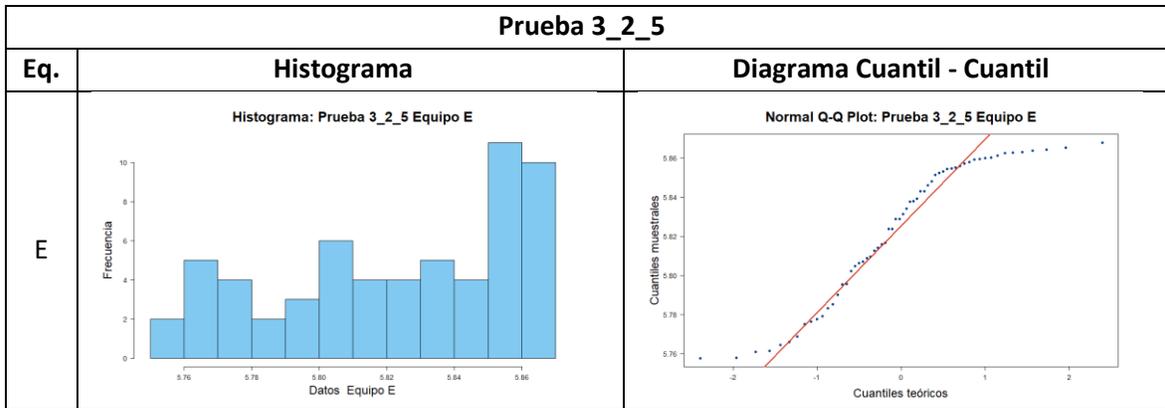


Tabla A-56. Medidas estadísticas descriptivas para la prueba 3_2_5

| Parámetros | Verificación | Equipo A | Equipo B | Equipo C | Equipo D | Equipo E |
|------------|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Min | 500427 | - | 694000 | 393093 | 456036 | 572360 |
| Q1 | 538255 | - | 730500 | 426000 | 496552 | 624241 |

| | | | | | | |
|----------------------|--------|---|----------|----------|----------|----------|
| Mediana | 578149 | - | 781000 | 464695 | 535591 | 676144 |
| Q3 | 611508 | - | 829500 | 489857 | 565196 | 717445 |
| Máx | 639453 | - | 850000 | 517950 | 582618 | 737451 |
| Media | 573778 | - | 779918 | 458466 | 528256 | 667859 |
| σ | 41411 | - | 49976 | 34522 | 39177 | 52877 |
| Coef. R ² | 1 | - | 0.9767 | 0.947 | 0.9853 | 0.986 |
| Coef. Corr | 1 | - | 0.988294 | 0.973149 | 0.992644 | 0.992966 |

* σ Desviación estándar

El análisis comparativo de las concentraciones de partículas entre cuatro equipos de interés y un Equipo de Verificación durante la prueba de verificación a concentraciones media altas (3_2_5) revela diferencias significativas en los resultados. A continuación, se detallan los hallazgos encontrados:

El análisis de los datos revela diferencias notables en las medidas de tendencia central y la distribución de datos entre el Equipo de Verificación y los diversos equipos. Para el Equipo de Verificación tiene una mediana de 578149 y una media de 573778, lo que sugiere una distribución central relativamente estable alrededor de estos valores. En contraste, el Equipo B muestra una mediana de 781000 y una media de 779918, indicando una tendencia hacia valores más altos en comparación con el Equipo de Verificación. Por otro lado, el Equipo C presenta una mediana de 464695 y una media de 458466, lo que indica valores más bajos y una distribución menos centrada en comparación con el Equipo de Verificación. Similarmente, el Equipo D tiene una mediana de 535591 y una media de 528256, reflejando una distribución relativamente cercana pero aún un poco más baja en comparación con el Equipo de Verificación. El Equipo E muestra una mediana de 676144 y una media de 667859, lo que también sugiere una tendencia hacia valores más altos.

En términos de dispersión de los datos, el Equipo de Verificación tiene una desviación estándar de 41411, indicando una dispersión moderada alrededor de la media. El Equipo B presenta una desviación estándar de 49976, sugiriendo una dispersión algo mayor en comparación con el Equipo de Verificación. Por otro lado, el Equipo C muestra una desviación estándar de 34522, reflejando una dispersión menor en torno a la media, lo que indica una mayor uniformidad en sus datos. El Equipo D tiene una desviación estándar de 39177, similar a la del Equipo de Verificación, sugiriendo una dispersión moderada y cercana a la media del Equipo de referencia. Finalmente, el Equipo E exhibe una desviación estándar de 52877, que indica una dispersión considerablemente mayor en comparación con el Equipo de Verificación, sugiriendo una mayor variabilidad en sus resultados.

Los coeficientes de determinación (R²) y los coeficientes de correlación muestran diferentes grados de ajuste y relación entre el Equipo de Verificación y los otros equipos. El Equipo C presenta un R² de 0.947 y un coeficiente de correlación de 0.973149, indicando una relación fuerte y un ajuste bastante bueno con el Equipo de Verificación. El Equipo D también muestra un alto R² de 0.9853 y un coeficiente de correlación de 0.992644, sugiriendo una relación aún más fuerte y un ajuste excelente con el Equipo de Verificación. Por otro lado, el Equipo E, con un R² de 0.986 y un coeficiente de correlación de 0.992966, también muestra una relación muy fuerte y un excelente

ajuste con el Equipo de Verificación. En contraste, el Equipo B tiene un R^2 de 0.9767 y un coeficiente de correlación de 0.988294, reflejando una relación sólida pero ligeramente menor en comparación con el Equipo D y el Equipo E.

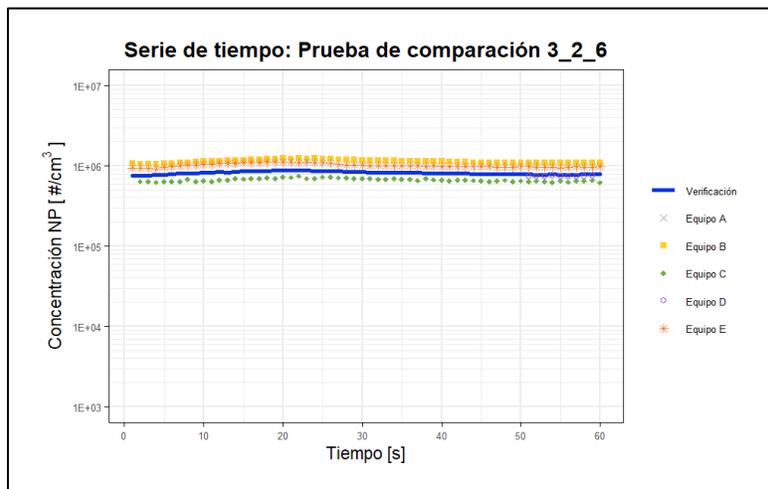
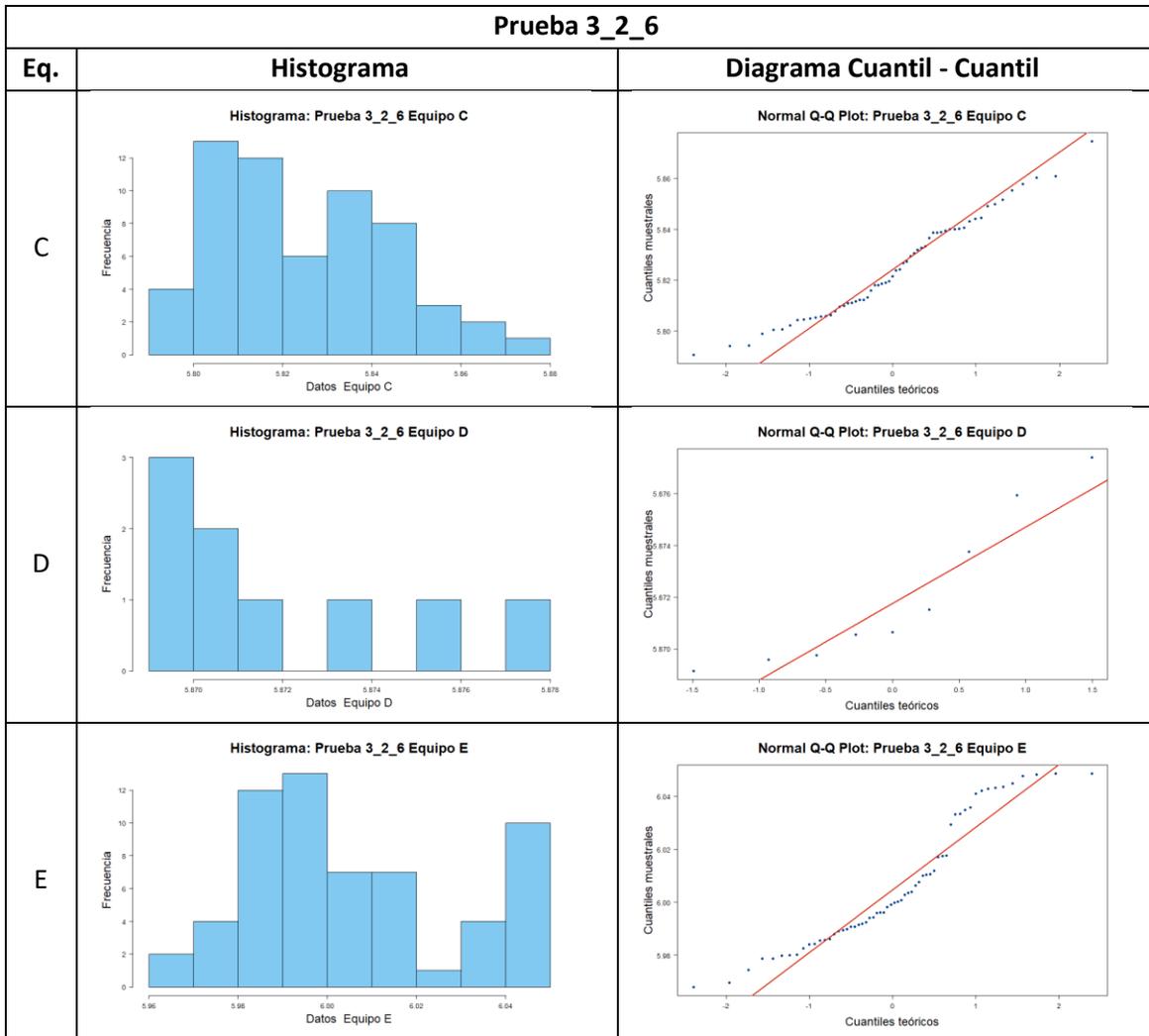
Por otro lado, las pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk indican que las concentraciones de partículas para el Equipo de verificación, el Equipo B, el Equipo C, el Equipo D y el Equipo E presentan valores p de 0.00547373, 0.00302294, 0.01413261 0.00091295 y 0.00028251 respectivamente, lo cual indica que hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula de normalidad, es decir que no siguen una distribución normal.

En este contexto, se llevó a cabo un análisis comparativo entre el Equipo de Verificación y los demás equipos utilizando la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Los resultados de la prueba indican que hay diferencias estadísticamente significativas entre al menos dos de los equipos. Con un estadístico Chi-cuadrado de 246.95 y un valor p extremadamente bajo de $< 2.2E-16$ para 4 grados de libertad, se rechaza la hipótesis nula de que las medianas de todos los grupos son iguales. Este hallazgo sugiere que la concentración de partículas varía de manera significativa entre los equipos.

La variabilidad observada entre los equipos motivó la realización de un análisis comparativo múltiple por medio de la prueba post hoc de Dunn con corrección de Bonferroni, utilizando tres niveles de significancia (0.05, 0.01 y 0.001). Los resultados indicaron que existen diferencias significativas entre los equipos, dado a que se rechazaron la hipótesis nula en los diferentes niveles de confianza.

Tabla A-57. Distribución de los datos para la Prueba 3_2_6

| Prueba 3_2_6 | | |
|--------------|------------|----------------------------|
| Eq. | Histograma | Diagrama Cuantil - Cuantil |
| Verificación | | |
| A | No aplica | No aplica |
| B | | |



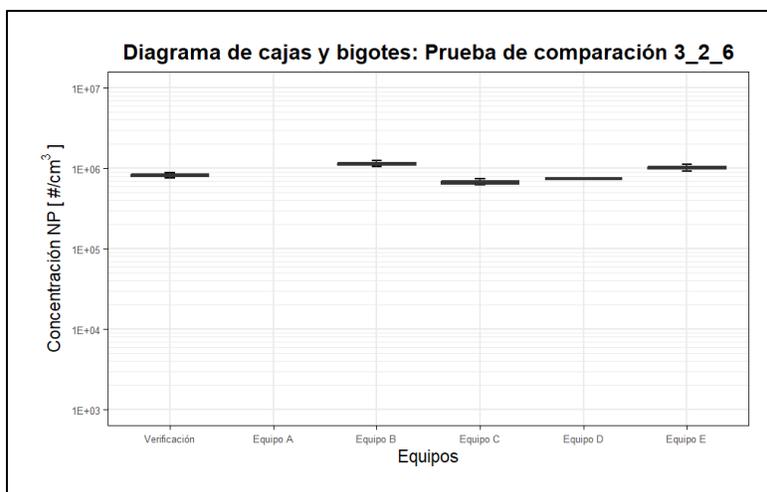


Tabla A-58. Medidas estadísticas descriptivas para la prueba 3_2_6

| Parámetros | Verificación | Equipo A | Equipo B | Equipo C | Equipo D | Equipo E |
|----------------------|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Min | 760121 | - | 1057000 | 617519 | 739859 | 929040 |
| Q1 | 787801 | - | 1100000 | 642328 | 740738 | 973312 |
| Mediana | 812057 | - | 1140000 | 662978 | 742422 | 998859 |
| Q3 | 846360 | - | 1184000 | 691826 | 749633 | 1063121 |
| Máx | 887044 | - | 1254000 | 749223 | 754040 | 1118574 |
| Media | 818269 | - | 1144767 | 668426 | 744800 | 1014865 |
| σ | 35864 | - | 54466 | 30476 | 5121 | 55773 |
| Coef. R ² | 1 | - | 0.9499 | 0.7965 | 0.1233 | 0.9087 |
| Coef. Corr | 1 | - | 0.974645 | 0.858091 | 0.48607 | 0.953261 |

* σ Desviación estándar

El análisis comparativo de las concentraciones de partículas entre cuatro equipos de interés y un Equipo de Verificación durante la prueba de verificación a concentraciones altas (3_2_6) revela diferencias significativas en los resultados. A continuación, se detallan los hallazgos encontrados:

El análisis de los datos revela diferencias notables en las medidas de tendencia central y distribución entre el Equipo de Verificación y los Equipos B, C, D y E. El Equipo de Verificación muestra una mediana de 812057 y una media de 818269, indicando una distribución equilibrada de los datos en torno a estos valores. En comparación, el Equipo B presenta una mediana considerablemente más alta de 1140000 y una media de 1144767, sugiriendo una tendencia hacia valores más altos. El Equipo C exhibe una mediana de 662978 y una media de 668426, mientras que el Equipo D muestra una mediana de 742422 y una media de 744800, ambos con distribuciones centradas en torno a sus valores medianos. Por otro lado, el Equipo E tiene una mediana de 998859 y una media de 1014865, indicando también una inclinación hacia valores superiores en comparación con el Equipo de Verificación.

En términos de la variabilidad de los datos, el Equipo de Verificación presenta una desviación estándar de 35864, lo que sugiere una dispersión moderada alrededor de la media. El equipo B muestra una mayor variabilidad con una desviación estándar de 54466, reflejando una dispersión más amplia en comparación con el Equipo de Verificación. El equipo C, con una desviación estándar de 30476, y el equipo D, con 5121, exhiben menores variabilidades, indicando distribuciones más concentradas alrededor de sus medias respectivas. Por su parte, el equipo E muestra una desviación estándar de 55773, que es la más alta entre todos los equipos, señalando una mayor dispersión en sus datos.

El análisis de los coeficientes de determinación (R^2) y los coeficientes de correlación revela diferentes grados de ajuste y correlación de los datos para cada equipo en comparación con los valores de verificación. El Equipo B tiene un coeficiente de determinación de 0.9499 y un coeficiente de correlación de 0.974645, lo que sugiere un ajuste muy fuerte y una correlación muy alta con los datos de verificación. El Equipo C presenta un coeficiente de determinación de 0.7965 y un coeficiente de correlación de 0.858091, indicando un ajuste y una correlación moderadamente altos. En contraste, el Equipo D tiene un coeficiente de determinación de 0.1233 y un coeficiente de correlación de 0.48607, mostrando un ajuste débil y una correlación baja. Por último, el Equipo E muestra un coeficiente de determinación de 0.9087 y un coeficiente de correlación de 0.953261, lo que refleja un ajuste fuerte y una correlación alta con los datos de verificación.

Por otro lado, las pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk indican que las concentraciones de partículas para el Equipo C así como para el Equipo D presentan evidencia significativa para aceptar la hipótesis nula de normalidad, con valores p de 0.06674003 y 0.09021369 respectivamente. Estos resultados sugieren que las concentraciones de partículas en estos equipos siguen una distribución normal. Por otro lado, el Equipo de verificación, el Equipo B y el Equipo E presentan valores p de 0.00933093, 0.00790754 y 0.0001834499 respectivamente, lo cual indica que hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula de normalidad, es decir que no siguen una distribución normal.

En este contexto, se llevó a cabo un análisis comparativo entre el Equipo de Verificación y los demás equipos utilizando la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Los resultados de la prueba indican que hay diferencias estadísticamente significativas entre al menos dos de los equipos. Con un estadístico Chi-cuadrado de 227.70 y un valor p extremadamente bajo de $< 2.2E-16$ para 4 grados de libertad, se rechaza la hipótesis nula de que las medianas de todos los grupos son iguales. Este hallazgo sugiere que la concentración de partículas varía de manera significativa entre los equipos.

Dada la variabilidad observada entre los equipos en general, se realizó un análisis comparativo múltiple mediante la prueba post hoc de Dunn con corrección de Bonferroni, considerando tres niveles de significancia (0.05, 0.01 y 0.001). Los resultados revelaron que la comparación entre los equipos son estadísticamente diferentes para todos los niveles de confianza evaluados, ya que se rechazan notablemente la hipótesis nula.

Análisis de pruebas día 4 – Comparaciones equipos y sistema de referencia

Tabla A-59. Distribución de los datos para la Prueba 4_2_1

| Prueba 4_2_1 | | |
|--------------|---|--|
| Eq. | Histograma | Diagrama Cuantil - Cuantil |
| Verificación | <p>Histograma: Prueba 4_2_1 Verificación</p> <p>Datos Verificación</p> | <p>Normal Q-Q Plot: Prueba 4_2_1 Equipo de verificación</p> <p>Cuantiles muestrales</p> <p>Cuantiles teóricos</p> |
| A | No aplica | No aplica |
| B | No aplica | No aplica |
| C | <p>Histograma: Prueba 4_2_1 Equipo C</p> <p>Datos Equipo C</p> | <p>Normal Q-Q Plot: Prueba 4_2_1 Equipo C</p> <p>Cuantiles muestrales</p> <p>Cuantiles teóricos</p> |
| D | No aplica | No aplica |
| E | <p>Histograma: Prueba 4_2_1 Equipo E</p> <p>Datos Equipo E</p> | <p>Normal Q-Q Plot: Prueba 4_2_1 Equipo E</p> <p>Cuantiles muestrales</p> <p>Cuantiles teóricos</p> |

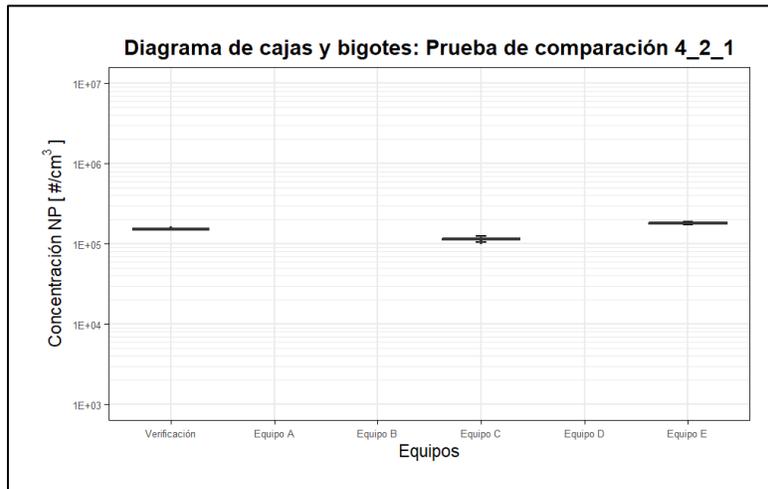
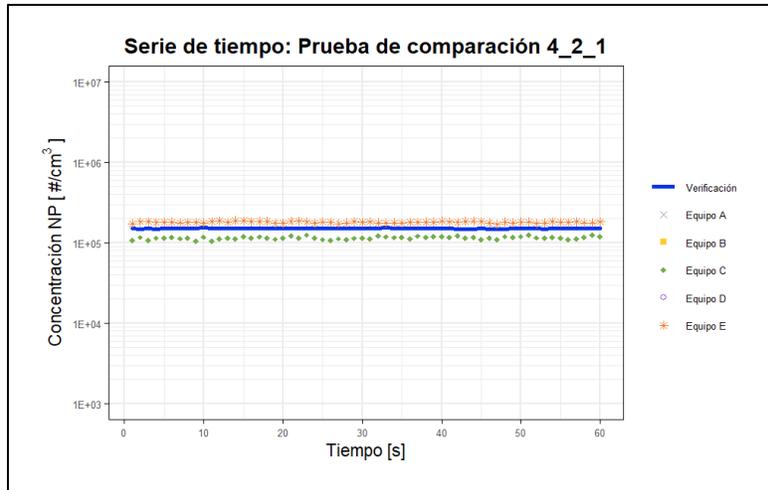


Tabla A-60. Medidas estadísticas descriptivas para la prueba 4_2_1

| Parámetros | Verificación | Equipo A | Equipo B | Equipo C | Equipo D | Equipo E |
|----------------------|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Min | 148462 | - | - | 105020 | - | 171051 |
| Q1 | 150221 | - | - | 112472 | - | 177742 |
| Mediana | 151024 | - | - | 115012 | - | 180479 |
| Q3 | 151712 | - | - | 118282 | - | 183571 |
| Máx | 154235 | - | - | 125853 | - | 189366 |
| Media | 151099 | - | - | 115077 | - | 180721 |
| σ | 1098 | - | - | 4682 | - | 3894 |
| Coef. R ² | 1 | - | - | 0.0028 | - | 0.0001 |
| Coef. Corr | 1 | - | - | 0.000534 | - | 0.00994 |

* σ Desviación estándar

El análisis comparativo de las concentraciones de partículas entre dos equipos de interés y un Equipo de Verificación durante la prueba de verificación a concentraciones medias (4_2_1) revela diferencias significativas en los resultados. A continuación, se detallan los hallazgos encontrados:

El análisis de los datos revela diferencias notables en las medidas de tendencia central y distribución de datos entre los resultados de verificación y los distintos equipos. El Equipo de Verificación muestra una mediana de 151024 y una media de 151099, lo que indica una distribución equilibrada de los datos en torno a estos valores centrales. Por su parte, el equipo C presenta una mediana más baja de 115012 y una media de 115077, sugiriendo una inclinación hacia valores más bajos en comparación con los datos del Equipo de Verificación. De manera similar, el equipo E exhibe una mediana de 180479 y una media de 180721, mostrando también una tendencia hacia valores más altos en comparación con los datos de verificación.

En términos de la dispersión de los datos, el Equipo de Verificación presenta una desviación estándar de 1098, indicando una variabilidad relativamente baja en comparación con los Equipos C y E. El Equipo C muestra una desviación estándar considerablemente mayor de 4682, lo que sugiere una mayor dispersión de los datos. Por otro lado, el Equipo E exhibe una desviación estándar de 3894, también indicando una dispersión significativa, aunque menor que la del Equipo C. Esto demuestra que los datos del Equipo de Verificación son más consistentes en comparación con los otros equipos.

El análisis de los coeficientes de determinación (R^2) y los coeficientes de correlación ofrece información adicional sobre la relación entre los datos. Para el Equipo C presenta un coeficiente de determinación extremadamente bajo de 0.0028 y un coeficiente de correlación de 0.000534, sugiriendo una relación casi inexistente entre los valores. Similarmente, el equipo E muestra un coeficiente de determinación de 0.0001 y un coeficiente de correlación de 0.00994, indicando también una relación muy débil. Estos resultados sugieren que, a diferencia del Equipo de Verificación, los Equipos C y E tienen datos con muy poca relación consistente, lo que podría implicar variaciones significativas en sus mediciones o procesos.

Por otro lado, las pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk indican que las concentraciones de partículas en los diferentes equipos muestran evidencias significativas para aceptar la hipótesis nula de normalidad, con valores p de 0.2442227, 0.7832333 y 0.9614542 respectivamente para el Equipo de Verificación, Equipo C y Equipo E. Estos resultados sugieren que las concentraciones de partículas en estos equipos siguen una distribución normal.

En este contexto, se llevó a cabo un análisis comparativo entre el Equipo de Verificación y los demás equipos utilizando la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Los resultados de la prueba indican que hay diferencias estadísticamente significativas entre al menos dos de los equipos. Con un estadístico Chi-cuadrado de 159.12 y un valor p extremadamente bajo de $< 2.2E-16$ para 2 grados de libertad, se rechaza la hipótesis nula de que las medianas de todos los grupos son iguales. Este hallazgo sugiere que la concentración de partículas varía de manera significativa entre los equipos.

Dada la variabilidad observada entre los equipos en general, se llevó a cabo un análisis comparativo múltiple utilizando la prueba post hoc de Dunn con corrección de Bonferroni, considerando tres niveles de significancia (0.05, 0.01 y 0.001). Los resultados revelaron que las comparaciones entre equipos rechaza la hipótesis nula por lo que estadísticamente existen diferencias significativas entre esos equipos.

Tabla A-61. Distribución de los datos para la Prueba 4_2_2

| Prueba 4_2_2 | | |
|--------------|------------|----------------------------|
| Eq. | Histograma | Diagrama Cuantil - Cuantil |
| Verificación | | |
| A | No aplica | No aplica |
| B | No aplica | No aplica |
| C | | |
| D | | |

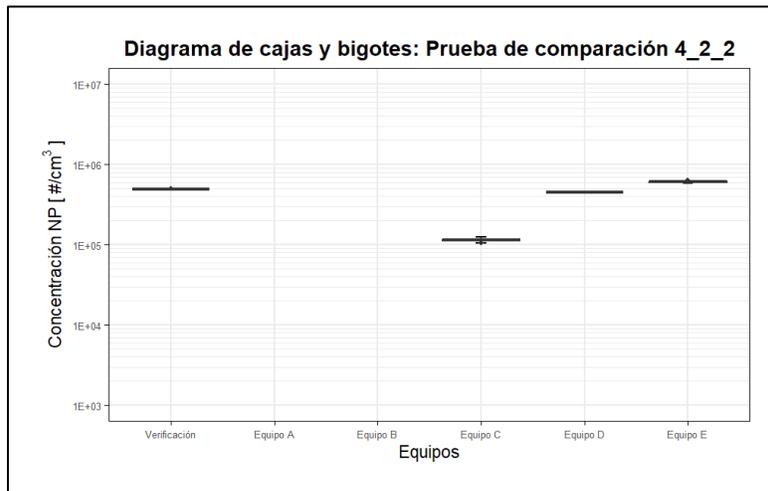
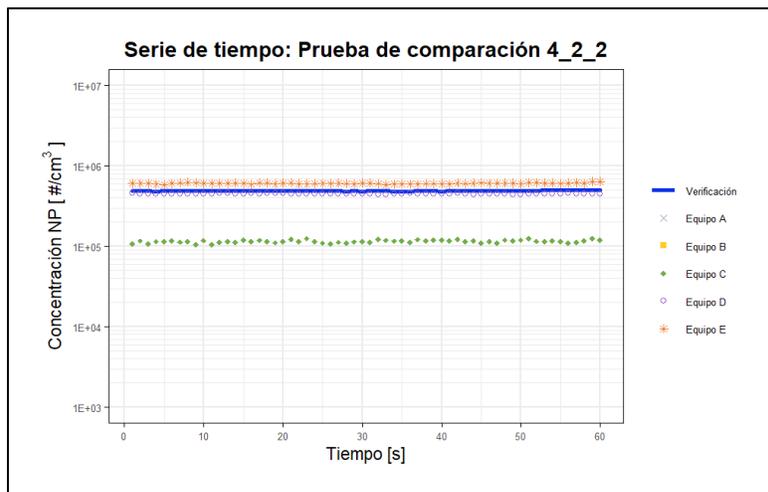
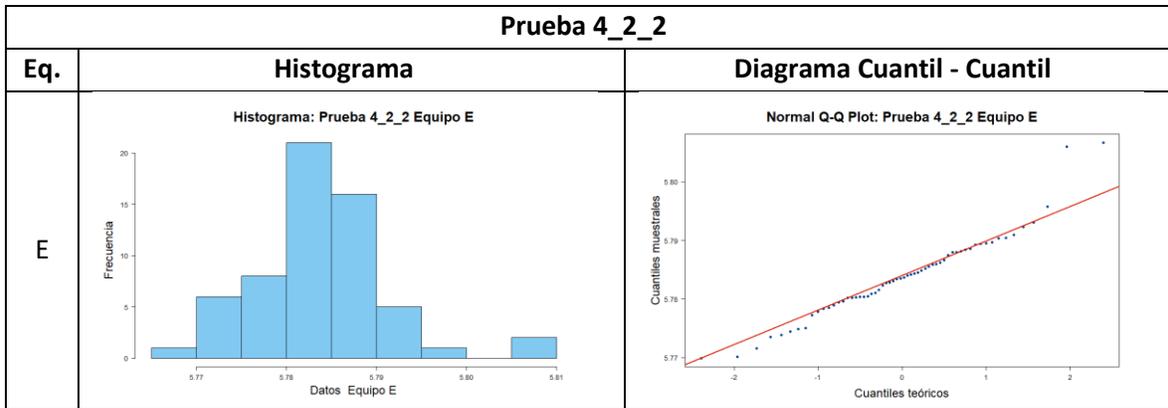


Tabla A-62. Medidas estadísticas descriptivas para la prueba 4_2_2

| Parámetros | Verificación | Equipo A | Equipo B | Equipo C | Equipo D | Equipo E |
|------------|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Min | 482644 | - | - | 105020 | 437790 | 588706 |
| Q1 | 487181 | - | - | 112472 | 447365 | 602196 |

| | | | | | | |
|----------------------|--------|---|---|----------|----------|---------|
| Mediana | 489295 | - | - | 115012 | 449618 | 607544 |
| Q3 | 492194 | - | - | 118282 | 454232 | 613929 |
| Máx | 501319 | - | - | 125853 | 458813 | 640673 |
| Media | 490117 | - | - | 115077 | 450305 | 607959 |
| σ | 4277 | - | - | 4682 | 4530 | 10030 |
| Coef. R ² | 1 | - | - | 0.0314 | 0.0165 | 0.3167 |
| Coef. Corr | 1 | - | - | 0.177158 | 0.128439 | 0.56272 |

* σ Desviación estándar

El análisis comparativo de las concentraciones de partículas entre tres equipos de interés y un Equipo de Verificación durante la prueba de verificación a concentraciones media altas (4_2_2) revela diferencias significativas en los resultados. A continuación, se detallan los hallazgos encontrados:

El análisis de los datos reveló diferencias sustanciales en las medidas de tendencia central y distribución de datos entre los equipos de verificación y los diferentes equipos. Se observó que el Equipo de Verificación tiene una mediana de 489295 y una media de 490117, lo que indica una distribución equilibrada de los datos en torno a estos valores centrales. Por su parte, el Equipo C muestra una mediana de 115012 y una media de 115077, sugiriendo una inclinación hacia valores más altos en comparación con los datos de verificación. El Equipo D presenta una mediana de 449618 y una media de 450305, indicando una tendencia hacia valores ligeramente más altos en comparación con los datos de verificación. Finalmente, el Equipo E muestra una mediana de 607544 y una media de 607959, destacando una tendencia hacia valores significativamente más altos que los datos de verificación.

En cuanto a la dispersión de los datos, se observa que el Equipo de Verificación tiene una desviación estándar de 4277, lo que indica una dispersión relativamente baja en torno a la media. Por otro lado, el Equipo C muestra una desviación estándar de 4682, reflejando también una dispersión considerable en sus datos en comparación con el Equipo de Verificación. Respecto al Equipo D, su desviación estándar es de 4530, lo que indica una dispersión moderada en relación con el Equipo de Verificación; y el Equipo E presenta una desviación de 10030 lo que sugiere una dispersión mucho mayor en comparación con los otros equipos.

En cuanto a la relación entre los datos, los coeficientes de determinación y correlación proporcionan una visión clara de cómo se alinean los datos de cada equipo con los de verificación. El Equipo C muestra un coeficiente de determinación de 0.0314 y un coeficiente de correlación de 0.177158, lo que sugiere una relación muy débil con los datos de verificación. El equipo D tiene un coeficiente de determinación de 0.0165 y un coeficiente de correlación de 0.128439, evidenciando una relación aún menos significativa. Por otro lado, el Equipo E muestra un coeficiente de determinación de 0.3167 y un coeficiente de correlación de 0.56272, indicando una relación más fuerte, aunque todavía no perfecta, con los datos de verificación. Estos resultados subrayan que, mientras el equipo E tiene una mejor correlación con los datos de verificación comparado con los otros equipos, ninguno logra una alineación fuerte similar a la del Equipo de Verificación consigo mismo.

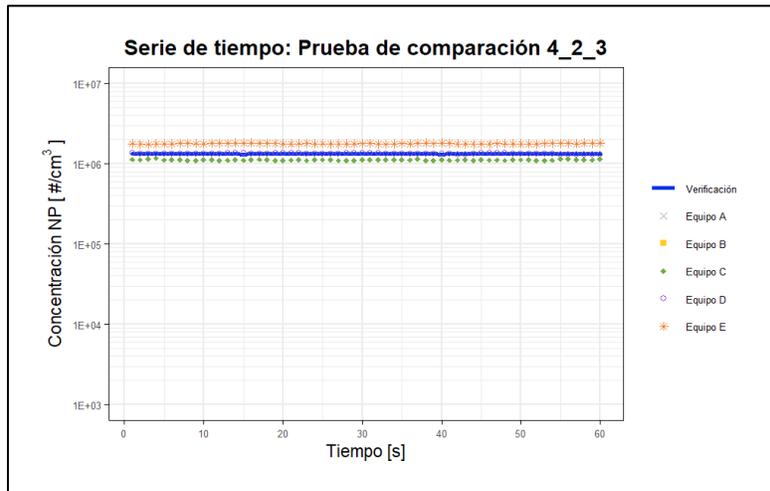
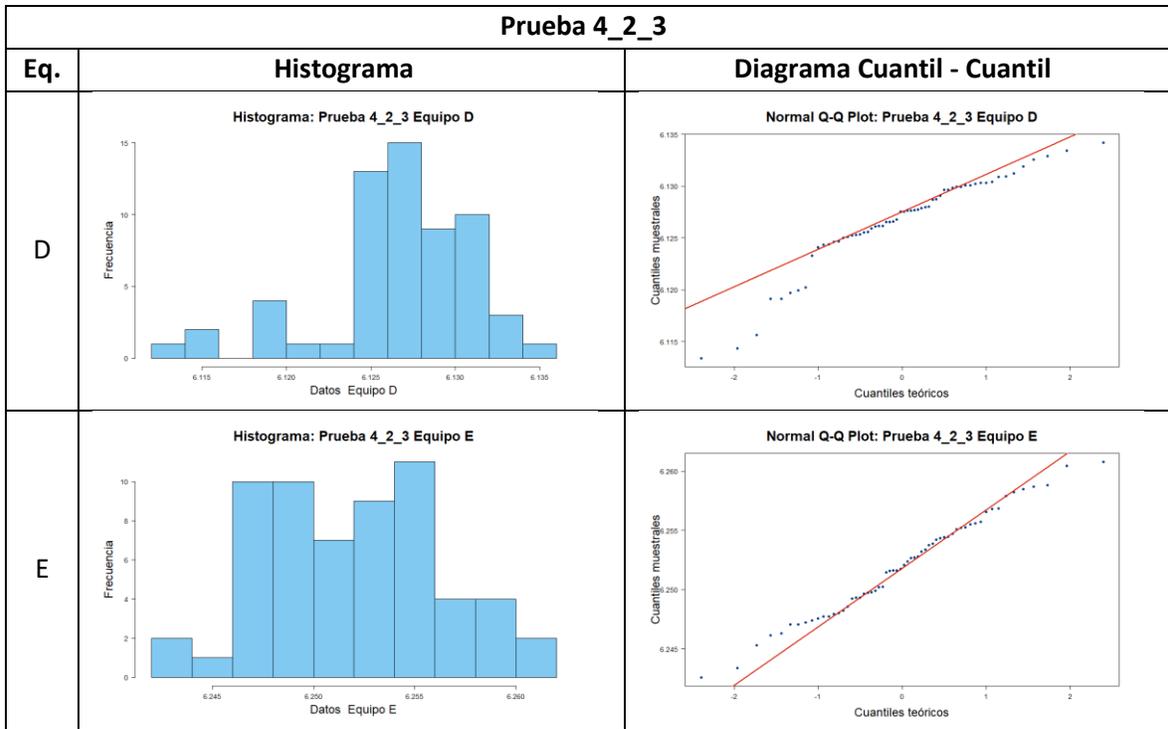
Por otro lado, las pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk indican que las concentraciones de partículas en el Equipo de Verificación así como para el Equipo E rechazan la hipótesis nula, sugiriendo que siguen una distribución no normal con valores p de 0.0087157 y 0.01004048 respectivamente. En el caso del Equipo C y el Equipo D los resultados demuestran que las concentraciones de partículas en estos equipos siguen una distribución normal, con valores p de 0.7832333 y 0.1901775 respectivamente.

En este contexto, se llevó a cabo un análisis comparativo entre el Equipo de Verificación y los demás equipos utilizando la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Los resultados de la prueba indican que hay diferencias estadísticamente significativas entre al menos dos de los equipos. Con un estadístico Chi-cuadrado de 224.07 y un valor p extremadamente bajo de $< 2.2E-16$ para 3 grados de libertad, se rechaza la hipótesis nula de que las medianas de todos los grupos son iguales. Este hallazgo sugiere que la concentración de partículas varía de manera significativa entre los equipos.

Dada la variabilidad observada entre los equipos en general, se llevó a cabo un análisis comparativo múltiple utilizando la prueba post hoc de Dunn con corrección de Bonferroni, considerando tres niveles de significancia (0.05, 0.01 y 0.001). Los resultados revelaron que todos los equipos son estadísticamente diferentes con valores p < 0.0001 para todos los niveles de confianza evaluados.

Tabla A-63. Distribución de los datos para la Prueba 4_2_3

| Prueba 4_2_3 | | |
|--------------|------------|----------------------------|
| Eq. | Histograma | Diagrama Cuantil - Cuantil |
| Verificación | | |
| A | No aplica | No aplica |
| B | No aplica | No aplica |
| C | | |



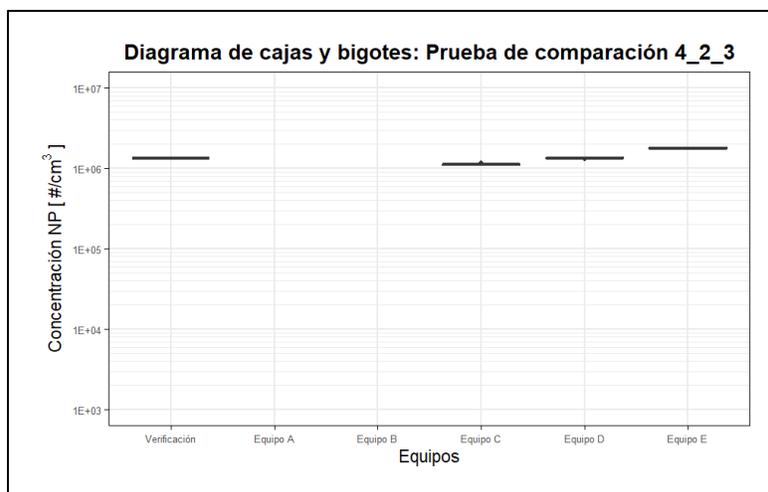


Tabla A-64. Medidas estadísticas descriptivas para la prueba 4_2_3

| Parámetros | Verificación | Equipo A | Equipo B | Equipo C | Equipo D | Equipo E |
|----------------------|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Min | 1317408 | - | - | 1091375 | 1298363 | 1748231 |
| Q1 | 1322972 | - | - | 1107220 | 1333588 | 1771333 |
| Mediana | 1325056 | - | - | 1113336 | 1341390 | 1786082 |
| Q3 | 1328729 | - | - | 1122649 | 1348812 | 1799639 |
| Máx | 1335969 | - | - | 1171267 | 1362005 | 1822902 |
| Media | 1325849 | - | - | 1115984 | 1338682 | 1786464 |
| σ | 4086 | - | - | 15082 | 13598 | 17471 |
| Coef. R ² | 1 | - | - | 0.0128 | 0.3035 | 0.0023 |
| Coef. Corr | 1 | - | - | 0.112981 | -0.55092 | 0.04828 |

* σ Desviación estándar

El análisis comparativo de las concentraciones de partículas entre tres equipos de interés y un Equipo de Verificación durante la prueba de verificación a concentraciones altas (4_2_3) revela diferencias significativas en los resultados. A continuación, se detallan los hallazgos encontrados:

El análisis de los datos reveló diferencias sustanciales en las medidas de tendencia central y distribución de datos entre los equipos de verificación y los diferentes equipos. El Equipo de Verificación muestra una mediana de 1325056 y una media de 1325849, lo que indica una distribución relativamente concentrada en torno a estos valores. En contraste, el Equipo C exhibe una mediana de 1113336 y una media de 1115984, reflejando una distribución también concentrada, pero con valores más bajos en comparación con el Equipo de Verificación. Por otro lado, el Equipo D muestra una mediana de 1341390 y una media de 1338682, indicando una distribución concentrada, pero con una leve tendencia a valores más bajos en comparación con el Equipo de Verificación. Finalmente, el Equipo E presenta una mediana de 1787999 y una media de 1776284, mostrando una distribución sesgada hacia valores más altos en comparación con el Equipo de Verificación, aunque con una concentración menos marcada.

En cuanto a la dispersión de los datos, se observa que el Equipo de Verificación tiene una desviación estándar de 4086, lo que indica una dispersión relativamente baja en torno a la media. Por otro lado, el Equipo C tiene una desviación estándar de 15082, indicando una dispersión moderada en comparación con el Equipo de Verificación. En contraste, el Equipo D exhibe una desviación estándar de 13598, sugiriendo una dispersión algo más amplia que la del Equipo de Verificación. Finalmente, el Equipo E presenta una desviación estándar de 62605, reflejando una dispersión considerable en sus datos.

Los coeficientes de determinación (R^2) obtenidos al comparar el Equipo de Verificación con otros equipos muestran variaciones significativas en la capacidad de los modelos para explicar la variabilidad de los datos. El Equipo D presenta un coeficiente R^2 de 0.3035, lo que sugiere una relación moderada con el Equipo de Verificación, aunque se observa una correlación negativa de -0.55092, indicando una tendencia inversa en los resultados entre ambos equipos. Por otro lado, el Equipo E exhibe un coeficiente R^2 de 0.1492, mostrando una relación más débil con el Equipo de Verificación, acompañada de una correlación negativa de -0.38622. Estos resultados sugieren que los modelos de ambos equipos tienen dificultades para explicar la variabilidad en los datos del Equipo de Verificación y muestran una tendencia a producir resultados que difieren en dirección o magnitud. En contraste, los Equipos 1 y 2 muestran coeficientes R^2 aún más bajos de 0.0146 y 0.0128 respectivamente, lo que indica una relación mucho más débil con el Equipo de Verificación. Además, se observa una correlación positiva muy baja en ambos casos de 0.120699 y 0.112981 respectivamente, sugiriendo una falta de consistencia en los resultados entre estos equipos y el Equipo de Verificación.

Por otro lado, las pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk indican que las concentraciones de partículas para el Equipo C y el Equipo D aceptan la hipótesis nula de normalidad, sugiriendo que siguen una distribución normal con un valor p de 0.007548084 y 0.001165262 respectivamente. En el caso del Equipo de Verificación y el Equipo E los resultados demuestran que las concentraciones de partículas en estos equipos siguen una distribución normal, con valores p de 0.6140977 y 0.6678379 respectivamente.

En este contexto, se llevó a cabo un análisis comparativo entre el Equipo de Verificación y los demás equipos utilizando la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Los resultados de la prueba indican que hay diferencias estadísticamente significativas entre al menos dos de los equipos. Con un estadístico Chi-cuadrado de 212.78 y un valor p extremadamente bajo de $< 2.2E-16$ para 3 grados de libertad, se rechaza la hipótesis nula de que las medianas de todos los grupos son iguales. Este hallazgo sugiere que la concentración de partículas varía de manera significativa entre los equipos.

Dada la variabilidad observada entre los equipos en general, se llevó a cabo un análisis comparativo múltiple utilizando la prueba post hoc de Dunn con corrección de Bonferroni, considerando tres niveles de significancia (0.05, 0.01 y 0.001). Los resultados revelaron que la comparación entre los equipos rechaza fuertemente la similitud entre ellos.

Tabla A-65. Distribución de los datos para la Prueba 4_2_4

| Prueba 4_2_4 | | |
|--------------|--|---|
| Eq. | Histograma | Diagrama Cuantil - Cuantil |
| Verificación | <p>Histograma: Prueba 4_2_4 Verificación</p> | <p>Normal Q-Q Plot: Prueba 4_2_4 Equipo de verificación</p> |
| A | No aplica | No aplica |
| B | No aplica | No aplica |
| C | <p>Histograma: Prueba 4_2_4 Equipo C</p> | <p>Normal Q-Q Plot: Prueba 4_2_4 Equipo C</p> |
| D | <p>Histograma: Prueba 4_2_4 Equipo D</p> | <p>Normal Q-Q Plot: Prueba 4_2_4 Equipo D</p> |
| E | <p>Histograma: Prueba 4_2_4 Equipo E</p> | <p>Normal Q-Q Plot: Prueba 4_2_4 Equipo E</p> |

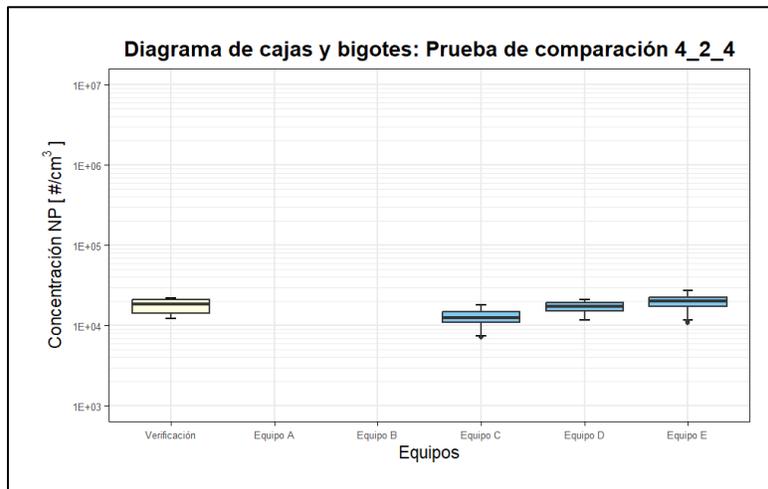
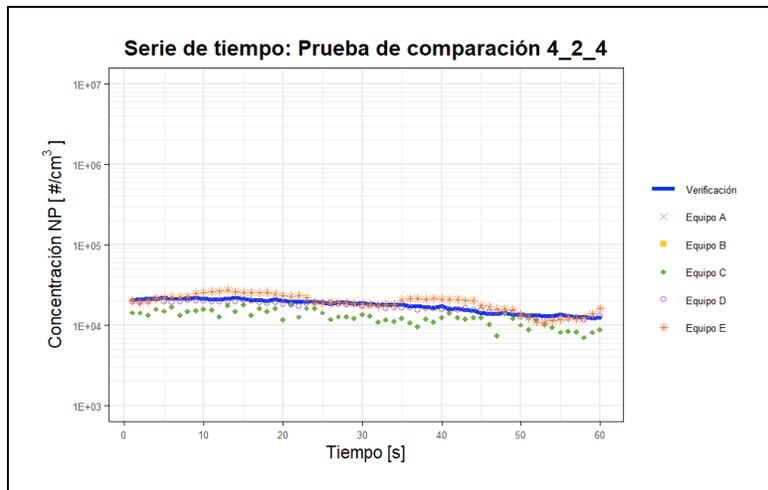


Tabla A-66. Medidas estadísticas descriptivas para la prueba 4_2_4

| Parámetros | Verificación | Equipo A | Equipo B | Equipo C | Equipo D | Equipo E |
|----------------------|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Min | 12232 | - | - | 7006 | 11710 | 10703 |
| Q1 | 14138 | - | - | 11002 | 14882 | 17119 |
| Mediana | 18311 | - | - | 12578 | 17380 | 20112 |
| Q3 | 20839 | - | - | 14804 | 19388 | 22731 |
| Máx | 21974 | - | - | 18105 | 20790 | 27283 |
| Media | 17752 | - | - | 12664 | 16892 | 19630 |
| σ | 3196 | - | - | 2732 | 2790 | 4451 |
| Coef. R ² | 1 | - | - | 0.6465 | 0.9364 | 0.7187 |
| Coef. Corr | 1 | - | - | 0.80406 | 0.967698 | 0.84774 |

* σ Desviación estándar

El análisis comparativo de las concentraciones de partículas entre tres equipos de interés y un Equipo de Verificación durante la prueba de verificación a concentraciones bajas (4_2_4) revela diferencias significativas en los resultados. A continuación, se detallan los hallazgos encontrados:

El análisis de los datos muestra variaciones notables en las medidas de tendencia central y dispersión entre el Equipo de Verificación y los otros equipos. El Equipo de Verificación presenta una mediana de 18311 y una media de 17752, indicando una distribución relativamente equilibrada en torno a estos valores centrales. En comparación, el Equipo C tiene una mediana de 12578 y una media de 12664, lo que sugiere una distribución notablemente más baja que la del Equipo de Verificación. El Equipo D, por su parte, muestra una mediana de 17380 y una media de 16892, indicando una tendencia hacia valores más cercanos a los del Equipo de Verificación, aunque aún con una ligera inclinación hacia valores menores. Finalmente, el Equipo E presenta una mediana de 20112 y una media de 19630, lo que sugiere una distribución que se desplaza hacia valores superiores en comparación con el Equipo de Verificación, destacando una tendencia hacia valores más altos.

El análisis de la dispersión de los datos revela diferencias significativas en la variabilidad entre los equipos. El Equipo de Verificación muestra una desviación estándar de 3196, indicando una dispersión moderada en torno a la media. En contraste, el Equipo C tiene una desviación estándar de 2732, sugiriendo una menor variabilidad en comparación con el Equipo de Verificación. Por otro lado, el Equipo D presenta una desviación estándar de 2790, que es ligeramente menor que la del Equipo de Verificación, indicando una distribución más concentrada en torno a la media. El Equipo E, sin embargo, exhibe la mayor desviación estándar de 4451, lo que refleja una mayor dispersión en los datos y una distribución más amplia alrededor de la media.

En términos de los coeficientes de determinación (R^2) y los coeficientes de correlación, los datos muestran diferencias notables en la relación entre los conjuntos de datos. El Equipo C, con un coeficiente de determinación de 0.6465 y un coeficiente de correlación de 0.80406, muestra una relación fuerte y significativa con los datos, aunque no tan precisa como la del Equipo de Verificación. El Equipo D presenta un coeficiente de determinación de 0.9364 y un coeficiente de correlación de 0.967698, lo que indica una muy alta correlación y un buen ajuste de los datos en comparación con el Equipo de Verificación. Por último, el Equipo E tiene un coeficiente de determinación de 0.7187 y un coeficiente de correlación de 0.84774, sugiriendo una correlación fuerte pero menos precisa que en los equipos con R^2 más altos.

Por otro lado, las pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk indican que las concentraciones de partículas para el Equipo C aceptan la hipótesis nula de normalidad, es decir que sigue una distribución normal con un valor p de 0.5329878. Por otro lado, el Equipo de Verificación, así como, el Equipo D y el Equipo E indican que no siguen una distribución normal, con valores p de 0.00010336, 0.0002191563 y 0.0396005 respectivamente.

En este contexto, se llevó a cabo un análisis comparativo entre el Equipo de Verificación y los demás equipos utilizando la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Los resultados de la prueba indican que hay diferencias estadísticamente significativas entre al menos dos de los equipos. Con un estadístico Chi-cuadrado de 85.00 y un valor p extremadamente bajo de $< 2.2E-16$ para 3 grados de

libertad, se rechaza la hipótesis nula de que las medianas de todos los grupos son iguales. Este hallazgo sugiere que la concentración de partículas varía de manera significativa entre los equipos.

Dada la variabilidad observada entre los equipos en general, se llevó a cabo un análisis comparativo múltiple utilizando la prueba post hoc de Dunn con corrección de Bonferroni, considerando tres niveles de significancia (0.05, 0.01 y 0.001). Los resultados revelaron que la comparación entre el Equipo de Verificación y el Equipo D son estadísticamente similares para todos los niveles de confianza evaluados; así mismo para el Equipo E comparado con el Equipo de Verificación a niveles de 0.01 y 0.001 se acepta la hipótesis nula, es decir que son estadísticamente similares. No obstante, las demás comparaciones entre equipos rechazan notablemente la hipótesis nula, sugiriendo que son estadísticamente diferentes.

Anexo 2. Detalles de pruebas estadísticas inferenciales

Resultados estadística inferencial - Día 1

Tabla B-1. Prueba Kruskal-Wallis Día 1 - Pruebas de verificación

| Kruskal-Wallis Día 1 | | | | | |
|----------------------|------|--------------|----|-----------|-----------|
| Día | Ref. | Chi-cuadrado | GL | Valor P | Resultado |
| 1 | 1-1 | 153.56 | 3 | < 2.2E-16 | Ha |
| 1 | 1-2 | 273.49 | 4 | < 2.2E-16 | Ha |
| 1 | 1-3 | 325.22 | 5 | < 2.2E-16 | Ha |
| 1 | 1-4 | 314.07 | 5 | < 2.2E-16 | Ha |
| 1 | 2-1 | 138.69 | 3 | < 2.2E-16 | Ha |
| 1 | 2-2 | 176.38 | 4 | < 2.2E-16 | Ha |
| 1 | 2-3 | 227.63 | 4 | < 2.2E-16 | Ha |
| 1 | 2-4 | 242.32 | 5 | < 2.2E-16 | Ha |
| 1 | 2-5 | 262.23 | 4 | < 2.2E-16 | Ha |
| 1 | 2-6 | 186.66 | 3 | < 2.2E-16 | Ha |

*GL= grados de libertad

Tabla B-213. Prueba Dunn Día 1 - Pruebas de verificación

| Prueba Dunn con corrección de Bonferroni Día 1 | | | | | | | |
|--|------|-------------------------|---------|----------|------------------------|------|-------|
| Día | Ref. | Comparación | Z | Valor P | Nivel de significancia | | |
| | | | | | 0.05 | 0.01 | 0.001 |
| 1 | 1-1 | Verificación - Equipo C | -8.2142 | 2.14E-16 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 1-1 | Verificación - Equipo E | -2.9183 | 3.52E-03 | Ha | Ha | Ho |
| 1 | 1-1 | Verificación - Equipo B | 6.1499 | 7.75E-10 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 1-1 | Equipo C - Equipo E | -7.7575 | 8.66E-15 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 1-1 | Equipo C - Equipo B | -8.9551 | 3.39E-19 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 1-1 | Equipo E - Equipo B | -8.6323 | 6.01E-18 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 1-2 | Verificación - Equipo C | -9.4476 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 1-2 | Verificación - Equipo D | -9.4476 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 1-2 | Verificación - Equipo E | 9.4476 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 1-2 | Verificación - Equipo B | 9.4730 | 2.72E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 1-2 | Equipo C - Equipo D | 9.2114 | 3.22E-20 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 1-2 | Equipo C - Equipo E | -9.4476 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 1-2 | Equipo C - Equipo B | -9.4730 | 2.72E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 1-2 | Equipo D - Equipo E | -9.4476 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 1-2 | Equipo D - Equipo B | -9.4730 | 2.72E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 1-2 | Equipo E - Equipo B | -2.9735 | 2.94E-03 | Ha | Ha | Ho |
| 1 | 1-3 | Verificación - Equipo C | -8.3873 | 4.97E-17 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 1-3 | Verificación - Equipo D | -9.4475 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 1-3 | Verificación - Equipo E | 9.4475 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 1-3 | Verificación - Equipo A | 3.9942 | 6.49E-05 | Ha | Ha | Ha |

| Prueba Dunn con corrección de Bonferroni Día 1 | | | | | | | |
|--|------|-------------------------|---------|----------|------------------------|------|-------|
| Día | Ref. | Comparación | Z | Valor P | Nivel de significancia | | |
| | | | | | 0.05 | 0.01 | 0.001 |
| 1 | 1-3 | Verificación - Equipo B | 9.4490 | 3.42E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 1-3 | Equipo C - Equipo D | 7.0069 | 2.44E-12 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 1-3 | Equipo C - Equipo E | -9.4475 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 1-3 | Equipo C - Equipo A | -9.4056 | 5.18E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 1-3 | Equipo C - Equipo B | -9.4490 | 3.42E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 1-3 | Equipo D - Equipo E | -9.4475 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 1-3 | Equipo D - Equipo A | -9.4475 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 1-3 | Equipo D - Equipo B | -9.4490 | 3.42E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 1-3 | Equipo E - Equipo A | 9.3951 | 5.72E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 1-3 | Equipo E - Equipo B | -4.4463 | 8.74E-06 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 1-3 | Equipo A - Equipo B | -9.4490 | 3.42E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 1-4 | Verificación - Equipo C | -4.2461 | 2.17E-05 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 1-4 | Verificación - Equipo D | -6.2564 | 3.94E-10 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 1-4 | Verificación - Equipo E | 9.4475 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 1-4 | Verificación - Equipo A | -9.4475 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 1-4 | Verificación - Equipo B | 9.4481 | 3.45E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 1-4 | Equipo C - Equipo D | 4.6870 | 2.77E-06 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 1-4 | Equipo C - Equipo E | -9.4475 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 1-4 | Equipo C - Equipo A | 9.4475 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 1-4 | Equipo C - Equipo B | -9.4481 | 3.45E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 1-4 | Equipo D - Equipo E | -9.4475 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 1-4 | Equipo D - Equipo A | 8.8335 | 1.01E-18 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 1-4 | Equipo D - Equipo B | -9.4481 | 3.45E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 1-4 | Equipo E - Equipo A | 9.4475 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 1-4 | Equipo E - Equipo B | -5.8630 | 4.54E-09 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 1-4 | Equipo A - Equipo B | -9.4481 | 3.45E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 2-1 | Verificación - Equipo C | -9.3584 | 8.10E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 2-1 | Verificación - Equipo D | -7.7034 | 1.33E-14 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 2-1 | Verificación - Equipo E | -2.0785 | 3.77E-02 | Ha | Ho | Ho |
| 1 | 2-1 | Equipo C - Equipo D | 7.2582 | 3.92E-13 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 2-1 | Equipo C - Equipo E | -6.1331 | 8.62E-10 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 2-1 | Equipo D - Equipo E | -7.7033 | 1.33E-14 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 2-2 | Verificación - Equipo C | -8.0976 | 5.61E-16 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 2-2 | Verificación - Equipo D | -3.6935 | 2.21E-04 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 2-2 | Verificación - Equipo A | 7.6291 | 2.36E-14 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 2-2 | Verificación - Equipo B | 7.1212 | 1.07E-12 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 2-2 | Equipo C - Equipo D | 1.5886 | 1.12E-01 | Ho | Ho | Ho |
| 1 | 2-2 | Equipo C - Equipo A | -9.4075 | 5.08E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 2-2 | Equipo C - Equipo B | -9.3506 | 8.71E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 2-2 | Equipo D - Equipo A | -3.6927 | 2.22E-04 | Ha | Ha | Ha |

| Prueba Dunn con corrección de Bonferroni Día 1 | | | | | | | |
|--|------|-------------------------|---------|----------|------------------------|------|-------|
| Día | Ref. | Comparación | Z | Valor P | Nivel de significancia | | |
| | | | | | 0.05 | 0.01 | 0.001 |
| 1 | 2-2 | Equipo D - Equipo B | -3.6967 | 2.18E-04 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 2-2 | Equipo A - Equipo B | 3.2600 | 1.11E-03 | Ha | Ha | Ho |
| 1 | 2-3 | Verificación - Equipo C | -7.4373 | 1.03E-13 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 2-3 | Verificación - Equipo E | 1.7950 | 7.26E-02 | Ho | Ho | Ho |
| 1 | 2-3 | Verificación - Equipo A | -9.4475 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 2-3 | Verificación - Equipo B | 6.9022 | 5.12E-12 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 2-3 | Equipo C - Equipo E | -7.7785 | 7.34E-15 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 2-3 | Equipo C - Equipo A | 8.1249 | 4.48E-16 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 2-3 | Equipo C - Equipo B | -9.4479 | 3.46E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 2-3 | Equipo E - Equipo A | 9.4476 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 2-3 | Equipo E - Equipo B | -5.4588 | 4.79E-08 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 2-3 | Equipo A - Equipo B | -9.4479 | 3.46E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 2-4 | Verificación - Equipo C | -6.2669 | 3.68E-10 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 2-4 | Verificación - Equipo D | -7.2336 | 4.70E-13 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 2-4 | Verificación - Equipo E | 2.4144 | 1.58E-02 | Ha | Ho | Ho |
| 1 | 2-4 | Verificación - Equipo A | -9.4161 | 4.68E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 2-4 | Verificación - Equipo B | 5.9000 | 3.64E-09 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 2-4 | Equipo C - Equipo D | 7.2047 | 5.82E-13 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 2-4 | Equipo C - Equipo E | -7.1959 | 6.20E-13 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 2-4 | Equipo C - Equipo A | 7.6840 | 1.54E-14 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 2-4 | Equipo C - Equipo B | -8.8395 | 9.62E-19 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 2-4 | Equipo D - Equipo E | -7.2337 | 4.70E-13 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 2-4 | Equipo D - Equipo A | 3.3950 | 6.86E-04 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 2-4 | Equipo D - Equipo B | -7.2354 | 4.64E-13 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 2-4 | Equipo E - Equipo A | 9.4476 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 2-4 | Equipo E - Equipo B | -4.2570 | 2.07E-05 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 2-4 | Equipo A - Equipo B | -9.4484 | 3.44E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 2-5 | Verificación - Equipo C | -7.7312 | 1.06E-14 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 2-5 | Verificación - Equipo E | 7.9307 | 2.18E-15 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 2-5 | Verificación - Equipo A | -9.4475 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 2-5 | Verificación - Equipo B | 9.3955 | 5.70E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 2-5 | Equipo C - Equipo E | -9.4476 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 2-5 | Equipo C - Equipo A | 8.8440 | 9.24E-19 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 2-5 | Equipo C - Equipo B | -9.4479 | 3.46E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 2-5 | Equipo E - Equipo A | 9.4476 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 2-5 | Equipo E - Equipo B | -3.9366 | 8.26E-05 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 2-5 | Equipo A - Equipo B | -9.4479 | 3.46E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 2-6 | Verificación - Equipo C | -2.0575 | 3.96E-02 | Ha | Ho | Ho |
| 1 | 2-6 | Verificación - Equipo E | 9.4476 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 2-6 | Verificación - Equipo B | 9.4478 | 3.46E-21 | Ha | Ha | Ha |

| Prueba Dunn con corrección de Bonferroni Día 1 | | | | | | | |
|--|------|---------------------|---------|----------|------------------------|------|-------|
| Día | Ref. | Comparación | Z | Valor P | Nivel de significancia | | |
| | | | | | 0.05 | 0.01 | 0.001 |
| 1 | 2-6 | Equipo C - Equipo E | -9.4476 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 2-6 | Equipo C - Equipo B | -9.4478 | 3.46E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 1 | 2-6 | Equipo E - Equipo B | -5.0283 | 4.95E-07 | Ha | Ha | Ha |

Resultados estadística inferencial - Día 2

Tabla B-3. Prueba Kruskal-Wallis Día 2 - Pruebas de verificación

| Kruskal-Wallis Día 2 | | | | | |
|----------------------|------|--------------|----|-----------|-----------|
| Día | Ref. | Chi-cuadrado | GL | Valor P | Resultado |
| 2 | 1-1 | 234.70 | 4 | < 2.2E-16 | Ha |
| 2 | 1-2 | 231.25 | 4 | < 2.2E-16 | Ha |
| 2 | 1-3 | 271.92 | 4 | < 2.2E-16 | Ha |
| 2 | 1-4 | 217.27 | 4 | < 2.2E-16 | Ha |
| 2 | 2-1 | 81.59 | 4 | < 2.2E-16 | Ha |
| 2 | 2-2 | 144.72 | 2 | < 2.2E-16 | Ha |
| 2 | 2-3 | 182.11 | 4 | < 2.2E-16 | Ha |
| 2 | 2-4 | 189.45 | 3 | < 2.2E-16 | Ha |
| 2 | 2-5 | 234.84 | 4 | < 2.2E-16 | Ha |

*GL= grados de libertad

Tabla B-4. Prueba Dunn Día 2 - Pruebas de verificación

| Prueba Dunn con corrección de Bonferroni Día 2 | | | | | | | |
|--|------|-------------------------|---------|----------|------------------------|------|-------|
| Día | Ref. | Comparación | Z | Valor P | Nivel de significancia | | |
| | | | | | 0.05 | 0.01 | 0.001 |
| 2 | 1-1 | Verificación - Equipo C | -9.3396 | 9.67E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 1-1 | Verificación - Equipo D | -6.6996 | 2.09E-11 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 1-1 | Verificación - Equipo E | 5.5295 | 3.21E-08 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 1-1 | Verificación - Equipo B | 9.4492 | 3.41E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 1-1 | Equipo C - Equipo D | -6.5253 | 6.79E-11 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 1-1 | Equipo C - Equipo E | -9.3288 | 1.07E-20 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 1-1 | Equipo C - Equipo B | -9.3681 | 7.38E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 1-1 | Equipo D - Equipo E | -7.9490 | 1.88E-15 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 1-1 | Equipo D - Equipo B | -8.7989 | 1.38E-18 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 1-1 | Equipo E - Equipo B | -6.5251 | 6.79E-11 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 1-2 | Verificación - Equipo C | -8.6897 | 3.64E-18 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 1-2 | Verificación - Equipo D | -9.3678 | 7.40E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 1-2 | Verificación - Equipo E | 3.3612 | 7.76E-04 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 1-2 | Verificación - Equipo B | 7.2910 | 3.08E-13 | Ha | Ha | Ha |

| Prueba Dunn con corrección de Bonferroni Día 2 | | | | | | | |
|--|------|-------------------------|---------|----------|------------------------|------|-------|
| Día | Ref. | Comparación | Z | Valor P | Nivel de significancia | | |
| | | | | | 0.05 | 0.01 | 0.001 |
| 2 | 1-2 | Equipo C - Equipo D | 3.0060 | 2.65E-03 | Ha | Ha | Ho |
| 2 | 1-2 | Equipo C - Equipo E | -9.0503 | 1.43E-19 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 1-2 | Equipo C - Equipo B | -9.3688 | 7.34E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 1-2 | Equipo D - Equipo E | -9.3678 | 7.40E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 1-2 | Equipo D - Equipo B | -9.3688 | 7.34E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 1-2 | Equipo E - Equipo B | -5.9345 | 2.95E-09 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 1-3 | Verificación - Equipo C | -9.4476 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 1-3 | Verificación - Equipo D | -9.4075 | 5.08E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 1-3 | Verificación - Equipo E | 9.4476 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 1-3 | Verificación - Equipo B | 9.4481 | 3.45E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 1-3 | Equipo C - Equipo D | 9.3862 | 6.22E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 1-3 | Equipo C - Equipo E | -9.4476 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 1-3 | Equipo C - Equipo B | -9.4481 | 3.45E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 1-3 | Equipo D - Equipo E | -9.4075 | 5.08E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 1-3 | Equipo D - Equipo B | -9.4080 | 5.06E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 1-3 | Equipo E - Equipo B | -1.4592 | 1.45E-01 | Ho | Ho | Ho |
| 2 | 1-4 | Verificación - Equipo C | -7.4216 | 1.16E-13 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 1-4 | Verificación - Equipo D | -6.1158 | 9.61E-10 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 1-4 | Verificación - Equipo E | 9.4108 | 4.92E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 1-4 | Verificación - Equipo B | 9.1013 | 8.93E-20 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 1-4 | Equipo C - Equipo D | 6.1158 | 9.61E-10 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 1-4 | Equipo C - Equipo E | -9.4475 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 1-4 | Equipo C - Equipo B | -9.4477 | 3.46E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 1-4 | Equipo D - Equipo E | -6.1158 | 9.61E-10 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 1-4 | Equipo D - Equipo B | -6.1161 | 9.59E-10 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 1-4 | Equipo E - Equipo B | 4.7186 | 2.37E-06 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 2-1 | Verificación - Equipo C | -6.1176 | 9.50E-10 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 2-1 | Verificación - Equipo D | -2.4239 | 1.54E-02 | Ha | Ho | Ho |
| 2 | 2-1 | Verificación - Equipo E | -1.6481 | 9.93E-02 | Ho | Ho | Ho |
| 2 | 2-1 | Verificación - Equipo B | 5.0169 | 5.25E-07 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 2-1 | Equipo C - Equipo D | -4.7632 | 1.91E-06 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 2-1 | Equipo C - Equipo E | -4.6214 | 3.81E-06 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 2-1 | Equipo C - Equipo B | -7.5312 | 5.03E-14 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 2-1 | Equipo D - Equipo E | -0.4090 | 6.83E-01 | Ho | Ho | Ho |
| 2 | 2-1 | Equipo D - Equipo B | -5.2099 | 1.89E-07 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 2-1 | Equipo E - Equipo B | -4.1078 | 3.99E-05 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 2-2 | Verificación - Equipo C | -9.4318 | 4.03E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 2-2 | Verificación - Equipo E | 7.5685 | 3.77E-14 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 2-2 | Equipo C - Equipo E | -9.4475 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 2-3 | Verificación - Equipo C | -5.3734 | 7.73E-08 | Ha | Ha | Ha |

| Prueba Dunn con corrección de Bonferroni Día 2 | | | | | | | |
|--|------|-------------------------|---------|----------|------------------------|------|-------|
| Día | Ref. | Comparación | Z | Valor P | Nivel de significancia | | |
| | | | | | 0.05 | 0.01 | 0.001 |
| 2 | 2-3 | Verificación - Equipo D | -7.0204 | 2.21E-12 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 2-3 | Verificación - Equipo E | 4.7290 | 2.26E-06 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 2-3 | Verificación - Equipo B | 7.9833 | 1.42E-15 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 2-3 | Equipo C - Equipo D | 7.0034 | 2.50E-12 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 2-3 | Equipo C - Equipo E | -8.0787 | 6.54E-16 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 2-3 | Equipo C - Equipo B | -9.4076 | 5.07E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 2-3 | Equipo D - Equipo E | -7.0204 | 2.21E-12 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 2-3 | Equipo D - Equipo B | -7.0208 | 2.21E-12 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 2-3 | Equipo E - Equipo B | -5.1595 | 2.48E-07 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 2-4 | Verificación - Equipo C | -6.0727 | 1.26E-09 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 2-4 | Verificación - Equipo E | 9.4475 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 2-4 | Verificación - Equipo B | 9.4477 | 3.46E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 2-4 | Equipo C - Equipo E | -9.4475 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 2-4 | Equipo C - Equipo B | -9.4477 | 3.46E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 2-4 | Equipo E - Equipo B | 1.9368 | 5.28E-02 | Ho | Ho | Ho |
| 2 | 2-5 | Verificación - Equipo C | -8.2737 | 1.30E-16 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 2-5 | Verificación - Equipo D | -7.7880 | 6.81E-15 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 2-5 | Verificación - Equipo E | 9.4475 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 2-5 | Verificación - Equipo B | 9.4477 | 3.46E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 2-5 | Equipo C - Equipo D | 7.3886 | 1.48E-13 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 2-5 | Equipo C - Equipo E | -9.3665 | 7.50E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 2-5 | Equipo C - Equipo B | -9.3666 | 7.49E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 2-5 | Equipo D - Equipo E | -7.7880 | 6.81E-15 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 2-5 | Equipo D - Equipo B | -7.7882 | 6.80E-15 | Ha | Ha | Ha |
| 2 | 2-5 | Equipo E - Equipo B | -2.3094 | 2.09E-02 | Ha | Ho | Ho |

Resultados estadística inferencial - Día 3

Tabla B-5. Prueba Kruskal-Wallis Día 3 - Pruebas de verificación

| Kruskal-Wallis Día 3 | | | | | |
|----------------------|------|--------------|----|-----------|-----------|
| Día | Ref. | Chi-cuadrado | GL | Valor P | Resultado |
| 3 | 1-1 | 238.85 | 4 | < 2.2E-16 | Ha |
| 3 | 1-2 | 180.74 | 4 | < 2.2E-16 | Ha |
| 3 | 1-3 | 246.16 | 4 | < 2.2E-16 | Ha |
| 3 | 1-4 | 229.31 | 4 | < 2.2E-16 | Ha |
| 3 | 2-1 | 62.12 | 3 | < 2.2E-16 | Ha |
| 3 | 2-2 | 253.96 | 4 | < 2.2E-16 | Ha |
| 3 | 2-3 | 201.78 | 3 | < 2.2E-16 | Ha |
| 3 | 2-4 | 286.43 | 4 | < 2.2E-16 | Ha |

| | | | | | |
|---|-----|--------|---|-----------|----|
| 3 | 2-5 | 246.95 | 4 | < 2.2E-16 | Ha |
| 3 | 2-6 | 227.70 | 4 | < 2.2E-16 | Ha |

*GL= grados de libertad

Tabla B-6. Prueba Dunn Día 3 - Pruebas de verificación

| Prueba Dunn con corrección de Bonferroni Día 3 | | | | | | | |
|--|------|-------------------------|---------|----------|------------------------|------|-------|
| Día | Ref. | Comparación | Z | Valor P | Nivel de significancia | | |
| | | | | | 0.05 | 0.01 | 0.001 |
| 3 | 1-1 | Verificación - Equipo C | -9.4477 | 3.46E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 1-1 | Verificación - Equipo D | -2.3462 | 1.90E-02 | Ha | Ho | Ho |
| 3 | 1-1 | Verificación - Equipo E | 5.1227 | 3.01E-07 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 1-1 | Verificación - Equipo B | 9.4493 | 3.41E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 1-1 | Equipo C - Equipo D | -9.2534 | 2.18E-20 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 1-1 | Equipo C - Equipo E | -9.4475 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 1-1 | Equipo C - Equipo B | -9.4492 | 3.41E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 1-1 | Equipo D - Equipo E | -5.6922 | 1.25E-08 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 1-1 | Equipo D - Equipo B | -9.4492 | 3.41E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 1-1 | Equipo E - Equipo B | -8.2208 | 2.02E-16 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 1-2 | Verificación - Equipo C | -6.3325 | 2.41E-10 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 1-2 | Verificación - Equipo D | -7.8427 | 4.41E-15 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 1-2 | Verificación - Equipo E | 1.9682 | 4.90E-02 | Ha | Ho | Ho |
| 3 | 1-2 | Verificación - Equipo B | 6.9073 | 4.94E-12 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 1-2 | Equipo C - Equipo D | 3.0227 | 2.51E-03 | Ha | Ha | Ho |
| 3 | 1-2 | Equipo C - Equipo E | -7.1434 | 9.11E-13 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 1-2 | Equipo C - Equipo B | -9.4477 | 3.46E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 1-2 | Equipo D - Equipo E | -8.0209 | 1.05E-15 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 1-2 | Equipo D - Equipo B | -8.2440 | 1.66E-16 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 1-2 | Equipo E - Equipo B | -6.2198 | 4.98E-10 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 1-3 | Verificación - Equipo C | -9.4475 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 1-3 | Verificación - Equipo D | -6.6667 | 2.62E-11 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 1-3 | Verificación - Equipo E | 9.4475 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 1-3 | Verificación - Equipo B | 9.4483 | 3.44E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 1-3 | Equipo C - Equipo D | 6.6667 | 2.62E-11 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 1-3 | Equipo C - Equipo E | -9.4475 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 1-3 | Equipo C - Equipo B | -9.4483 | 3.44E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 1-3 | Equipo D - Equipo E | -6.6667 | 2.62E-11 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 1-3 | Equipo D - Equipo B | -6.6685 | 2.58E-11 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 1-3 | Equipo E - Equipo B | -9.4483 | 3.44E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 1-4 | Verificación - Equipo C | -9.4475 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 1-4 | Verificación - Equipo D | -5.7966 | 6.77E-09 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 1-4 | Verificación - Equipo E | 9.4476 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 1-4 | Verificación - Equipo B | 9.4484 | 3.44E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 1-4 | Equipo C - Equipo D | 5.7966 | 6.77E-09 | Ha | Ha | Ha |

| Prueba Dunn con corrección de Bonferroni Día 3 | | | | | | | |
|--|------|-------------------------|---------|----------|------------------------|------|-------|
| Día | Ref. | Comparación | Z | Valor P | Nivel de significancia | | |
| | | | | | 0.05 | 0.01 | 0.001 |
| 3 | 1-4 | Equipo C - Equipo E | -9.4476 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 1-4 | Equipo C - Equipo B | -9.4484 | 3.44E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 1-4 | Equipo D - Equipo E | -5.7966 | 6.77E-09 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 1-4 | Equipo D - Equipo B | -5.7987 | 6.68E-09 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 1-4 | Equipo E - Equipo B | 6.5771 | 4.80E-11 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 2-1 | Verificación - Equipo C | -4.6188 | 3.86E-06 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 2-1 | Verificación - Equipo D | 2.2889 | 2.21E-02 | Ha | Ho | Ho |
| 3 | 2-1 | Verificación - Equipo E | 3.5743 | 3.51E-04 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 2-1 | Equipo C - Equipo D | -7.5252 | 5.26E-14 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 2-1 | Equipo C - Equipo E | -5.7210 | 1.06E-08 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 2-1 | Equipo D - Equipo E | -1.5946 | 1.11E-01 | Ho | Ho | Ho |
| 3 | 2-2 | Verificación - Equipo C | -9.3846 | 6.32E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 2-2 | Verificación - Equipo D | -7.0122 | 2.35E-12 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 2-2 | Verificación - Equipo E | 2.6689 | 7.61E-03 | Ha | Ha | Ho |
| 3 | 2-2 | Verificación - Equipo B | 9.4495 | 3.41E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 2-2 | Equipo C - Equipo D | -8.6917 | 3.57E-18 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 2-2 | Equipo C - Equipo E | -9.3373 | 9.88E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 2-2 | Equipo C - Equipo B | -9.4495 | 3.41E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 2-2 | Equipo D - Equipo E | -7.8730 | 3.46E-15 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 2-2 | Equipo D - Equipo B | -9.4495 | 3.41E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 2-2 | Equipo E - Equipo B | -9.4495 | 3.41E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 2-3 | Verificación - Equipo C | -9.4475 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 2-3 | Verificación - Equipo D | -8.1144 | 4.88E-16 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 2-3 | Verificación - Equipo E | 7.0174 | 2.26E-12 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 2-3 | Equipo C - Equipo D | -8.2876 | 1.16E-16 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 2-3 | Equipo C - Equipo E | -9.4475 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 2-3 | Equipo D - Equipo E | -9.4475 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 2-4 | Verificación - Equipo C | -9.4476 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 2-4 | Verificación - Equipo D | -9.4476 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 2-4 | Verificación - Equipo E | 9.3059 | 1.33E-20 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 2-4 | Verificación - Equipo B | 9.4522 | 3.32E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 2-4 | Equipo C - Equipo D | -9.3793 | 6.64E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 2-4 | Equipo C - Equipo E | -9.4475 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 2-4 | Equipo C - Equipo B | -9.4522 | 3.32E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 2-4 | Equipo D - Equipo E | -9.4475 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 2-4 | Equipo D - Equipo B | -9.4522 | 3.32E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 2-4 | Equipo E - Equipo B | -9.4522 | 3.32E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 2-5 | Verificación - Equipo C | -9.3216 | 1.15E-20 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 2-5 | Verificación - Equipo D | -5.2382 | 1.62E-07 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 2-5 | Verificación - Equipo E | 7.5738 | 3.63E-14 | Ha | Ha | Ha |

| Prueba Dunn con corrección de Bonferroni Día 3 | | | | | | | |
|--|------|-------------------------|---------|----------|------------------------|------|-------|
| Día | Ref. | Comparación | Z | Valor P | Nivel de significancia | | |
| | | | | | 0.05 | 0.01 | 0.001 |
| 3 | 2-5 | Verificación - Equipo B | 8.9545 | 3.41E-19 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 2-5 | Equipo C - Equipo D | -7.4793 | 7.47E-14 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 2-5 | Equipo C - Equipo E | -9.4475 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 2-5 | Equipo C - Equipo B | -8.9545 | 3.41E-19 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 2-5 | Equipo D - Equipo E | -9.3164 | 1.20E-20 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 2-5 | Equipo D - Equipo B | -8.9546 | 3.41E-19 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 2-5 | Equipo E - Equipo B | -7.8276 | 4.97E-15 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 2-6 | Verificación - Equipo C | -9.4074 | 5.08E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 2-6 | Verificación - Equipo D | -4.8107 | 1.50E-06 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 2-6 | Verificación - Equipo E | 9.4475 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 2-6 | Verificación - Equipo B | 9.4479 | 3.46E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 2-6 | Equipo C - Equipo D | -4.6782 | 2.89E-06 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 2-6 | Equipo C - Equipo E | -9.4074 | 5.08E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 2-6 | Equipo C - Equipo B | -9.4078 | 5.07E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 2-6 | Equipo D - Equipo E | -4.8107 | 1.50E-06 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 2-6 | Equipo D - Equipo B | -4.8115 | 1.50E-06 | Ha | Ha | Ha |
| 3 | 2-6 | Equipo E - Equipo B | -8.1462 | 3.76E-16 | Ha | Ha | Ha |

Resultados estadística inferencial - Día 4

Tabla B-7. Prueba Kruskal-Wallis Día 4 - Pruebas de verificación

| Kruskal-Wallis Día 4 | | | | | |
|----------------------|------|--------------|----|-----------|-----------|
| Día | Ref. | Chi-cuadrado | GL | Valor P | Resultado |
| 4 | 2-1 | 159.12 | 2 | < 2.2E-16 | Ha |
| 4 | 2-2 | 224.07 | 3 | < 2.2E-16 | Ha |
| 4 | 2-3 | 212.78 | 3 | < 2.2E-16 | Ha |
| 4 | 2-4 | 85.00 | 3 | < 2.2E-16 | Ha |

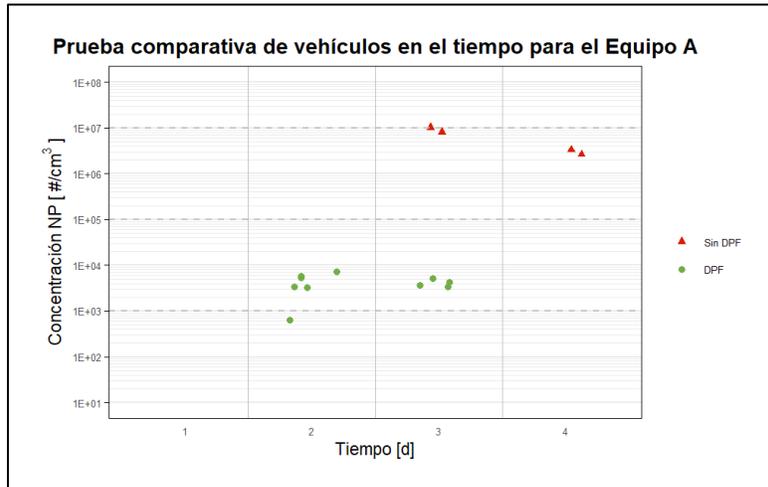
*GL= grados de libertad

Tabla B-8. Prueba Dunn Día 4 - Pruebas de verificación

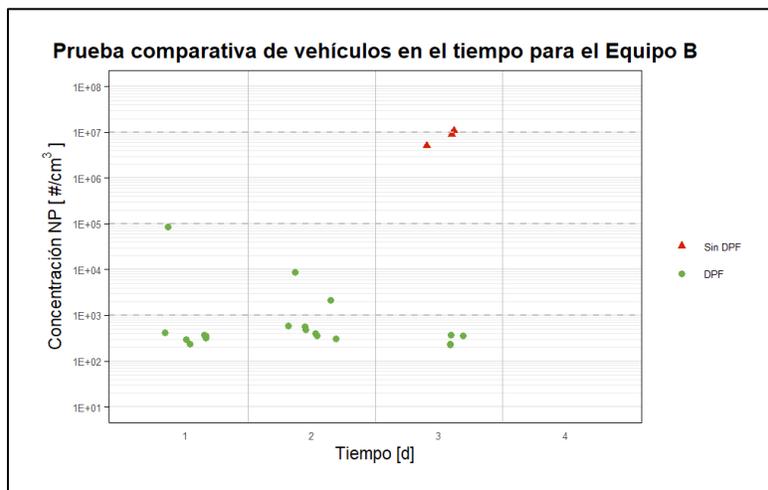
| Prueba Dunn con corrección de Bonferroni Día 4 | | | | | | | |
|--|------|-------------------------|---------|----------|------------------------|------|-------|
| Día | Ref. | Comparación | Z | Valor P | Nivel de significancia | | |
| | | | | | 0.05 | 0.01 | 0.001 |
| 4 | 2-1 | Verificación - Equipo C | -9.4475 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 4 | 2-1 | Verificación - Equipo E | 9.4475 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 4 | 2-1 | Equipo C - Equipo E | -9.4475 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 4 | 2-2 | Verificación - Equipo C | -9.4475 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 4 | 2-2 | Verificación - Equipo D | -9.4476 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |

| Prueba Dunn con corrección de Bonferroni Día 4 | | | | | | | |
|--|------|-------------------------|---------|----------|------------------------|------|-------|
| Día | Ref. | Comparación | Z | Valor P | Nivel de significancia | | |
| | | | | | 0.05 | 0.01 | 0.001 |
| 4 | 2-2 | Verificación - Equipo E | 9.4476 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 4 | 2-2 | Equipo C - Equipo D | -9.4476 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 4 | 2-2 | Equipo C - Equipo E | -9.4476 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 4 | 2-2 | Equipo D - Equipo E | -9.4476 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 4 | 2-3 | Verificación - Equipo C | -9.4475 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 4 | 2-3 | Verificación - Equipo D | 6.6553 | 2.83E-11 | Ha | Ha | Ha |
| 4 | 2-3 | Verificación - Equipo E | 9.4475 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 4 | 2-3 | Equipo C - Equipo D | -9.4476 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 4 | 2-3 | Equipo C - Equipo E | -9.4475 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 4 | 2-3 | Equipo D - Equipo E | -9.4476 | 3.47E-21 | Ha | Ha | Ha |
| 4 | 2-4 | Verificación - Equipo C | -7.1119 | 1.14E-12 | Ha | Ha | Ha |
| 4 | 2-4 | Verificación - Equipo D | -1.9368 | 5.28E-02 | Ho | Ho | Ho |
| 4 | 2-4 | Verificación - Equipo E | 2.5141 | 1.19E-02 | Ha | Ho | Ho |
| 4 | 2-4 | Equipo C - Equipo D | -6.6080 | 3.89E-11 | Ha | Ha | Ha |
| 4 | 2-4 | Equipo C - Equipo E | -7.3901 | 1.47E-13 | Ha | Ha | Ha |
| 4 | 2-4 | Equipo D - Equipo E | -3.8105 | 1.39E-04 | Ha | Ha | Ha |

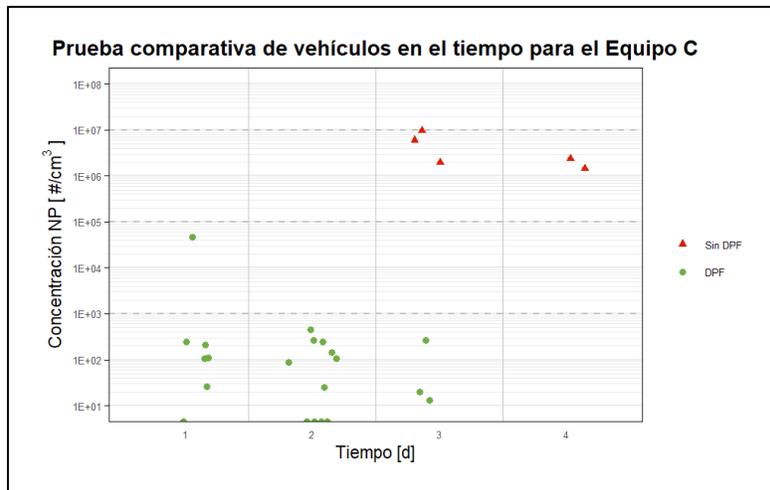
Anexo 3. Comparación de pruebas en vehículos: Análisis por equipo en el tiempo



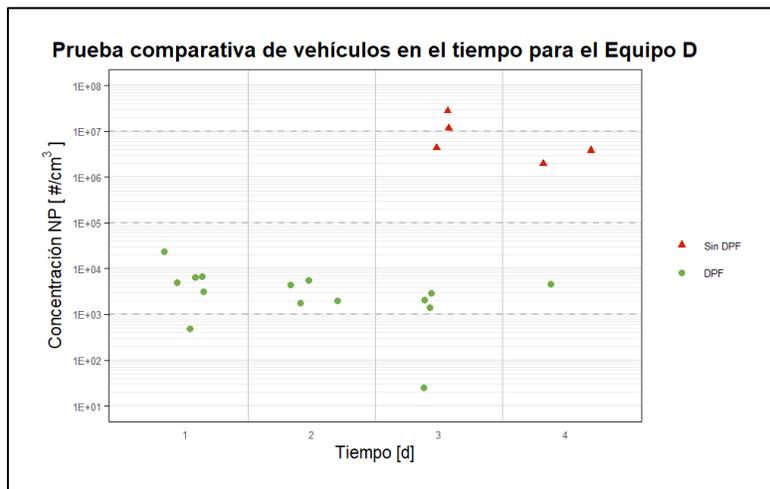
La grafica presenta la comparación del comportamiento de vehículos con y sin DPF en pruebas de emisiones realizadas durante cuatro días, centrándose en el Equipo A. Se observa que las concentraciones de los vehículos equipados con DPF es notablemente menor que los vehículos sin DPF, registrando niveles inferiores a $1.0E+04 \text{ \#/cm}^3$. Por su parte, los vehículos sin DPF presentan concentraciones superiores a $1.0E+04 \text{ \#/cm}^3$, siendo los vehículos nuevos los que mayor generan llegando a concentraciones superiores de a $1.0E+07 \text{ \#/cm}^3$.



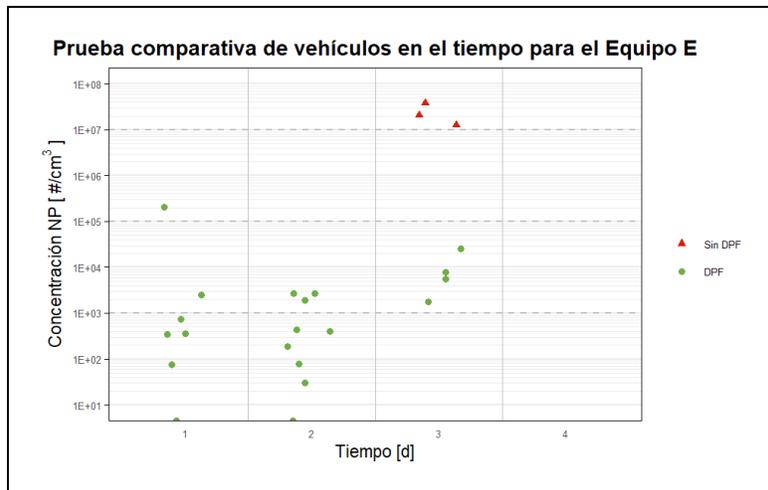
La grafica presenta la comparación del comportamiento de vehículos con y sin DPF en pruebas de emisiones realizadas durante cuatro días con el Equipo B exhiben que las concentraciones de los vehículos sin DPF es significativamente mayor que los vehículos con DPF, presentando concentraciones superiores a $1.0E+06 \text{ \#/cm}^3$. En contraste, los vehículos con DPF en promedio generan niveles de emisión inferior a $1.0E+05 \text{ \#/cm}^3$.



La grafica presenta la comparación del comportamiento de vehículos con y sin DPF en pruebas de emisiones realizadas durante cuatro días con el Equipo C. Los resultados muestran que las concentraciones de los vehículos sin DPF son significativamente mayores que las de los vehículos con DPF, alcanzando niveles superiores a $1.0E+06 \text{ \#/cm}^3$. Además, se observa una diferencia entre los vehículos usados y nuevos equipados con DPF: los usados muestran concentraciones más altas que los vehículos nuevos, registrando estos últimos concentraciones inferiores de $1.0E+03 \text{ \#/cm}^3$. Por otro lado, los vehículos usados y nuevos sin DPF muestran comportamientos similares en cuanto a concentraciones de partículas, manteniendo niveles elevados de emisión.

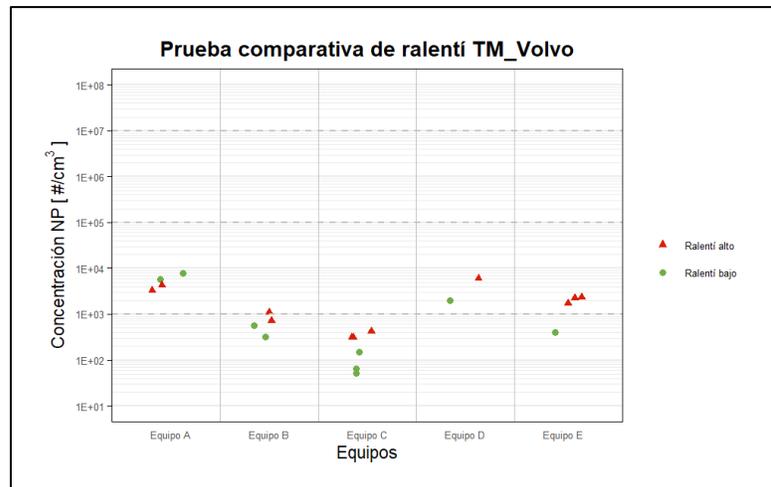


La grafica presenta la comparación del comportamiento de vehículos con y sin DPF en pruebas de emisiones realizadas durante cuatro días con el Equipo D demuestran que las concentraciones de los vehículos sin DPF es notablemente mayor que los vehículos con DPF, evidenciando concentraciones superiores a $1.0E+06 \text{ \#/cm}^3$. Adicionalmente, se observa que los vehículos usados con DPF tienen concentraciones más altas que los vehículos nuevos equipados con DPF, indicando concentraciones inferiores a $2.0E+04 \text{ \#/cm}^3$.



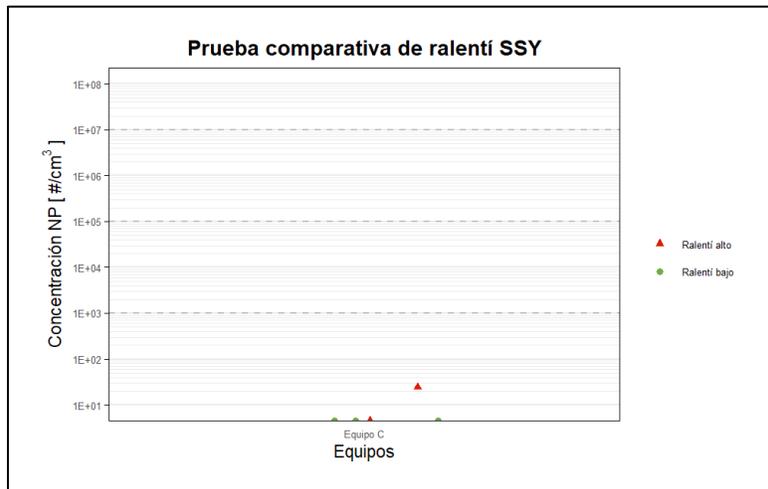
La grafica presenta la comparación del comportamiento de vehículos con y sin DPF en pruebas de emisiones realizadas durante cuatro días con el Equipo E evidencian que las concentraciones de los vehículos sin DPF es ligeramente mayor que los vehículos con DPF, exhibiendo concentraciones superiores a $1.0E+04 \text{ \#/cm}^3$. En contraste, se observa que los vehículos con DPF Registran concentraciones entre $1.0E+01 \text{ \#/cm}^3$. y $7.0E+05 \text{ \#/cm}^3$, debido a que se presenta variabilidad en los niveles de emisión.

Anexo 4. Comparación de equipos por vehículos en ralentí alto y bajo

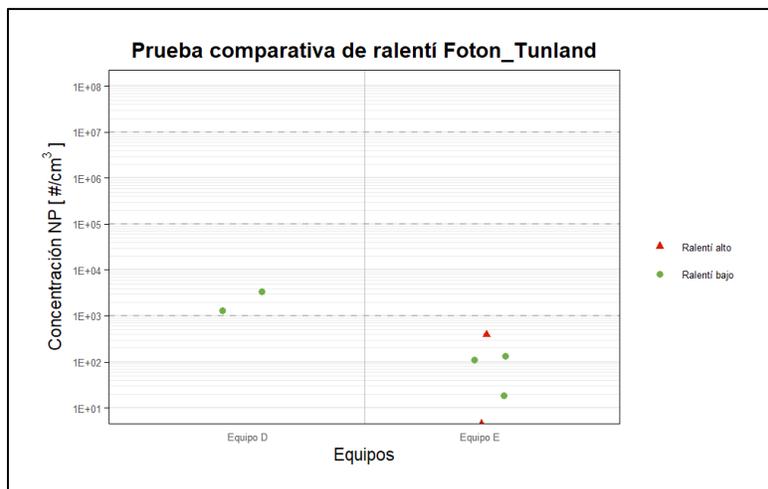


Se realizaron pruebas con un vehículo de transporte público (Transmilenio) Euro V de la marca Volvo con DPF para comparar la concentración de partículas en cinco equipos diferentes bajo dos condiciones: ralentí alto (2000 rpm) y ralentí bajo (1600 rpm). La grafica ilustra que la concentración de NP es mayor en ralentí alto para la mayoría de los equipos. Adicionalmente, se evidencia que el Equipo C y el Equipo B exhiben las concentraciones más bajas, aproximadamente por debajo de $1.0+03 \text{ \#/cm}^3$. Este análisis sugiere de manera contundente que el estado de ralentí ejerce un impacto notable en la emisión de partículas del vehículo bajo estudio. Además, se observa una variabilidad considerable en los niveles de emisión entre los diferentes equipos. Por último, se

puede afirmar que las emisiones de partículas de este vehículo se mantienen por debajo de $1.0E+04$ $\#/cm^3$. Sin embargo, es crucial considerar medidas para mitigar las emisiones, especialmente durante el ralentí alto, donde se evidencia una mayor liberación de partículas.

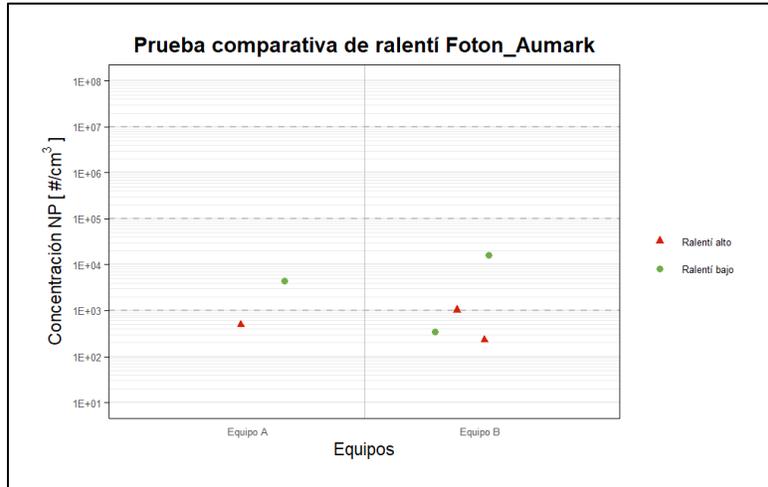


Se llevaron a cabo pruebas utilizando un vehículo Euro 6 de la marca Ssangyong equipado con DPF, con el fin de revisar las concentraciones de NP en un equipo bajo dos condiciones de funcionamiento: ralentí alto (2000 rpm) y ralentí bajo (1600 rpm). Los resultados, representados en la gráfica, muestran claramente que la concentración de partículas es mayor durante el ralentí alto exhibiendo concentraciones superiores a $1.0E+01$ $\#/cm^3$ en ambos estados de ralentí e inferiores a $1.0E+02$ $\#/cm^3$. Este contraste evidencia el impacto significativo del estado de ralentí en la emisión de partículas del vehículo en estudio.



Se realizaron pruebas con un vehículo Euro 6 de la marca Foton, específicamente el modelo Tunland equipado con DPF para comparar la concentración de partículas en dos equipos diferentes bajo dos condiciones: ralentí alto (2000 rpm) y ralentí bajo (1600 rpm). La grafica ilustra que, para el Equipo D, la concentración de partículas en ralentí bajo es de alrededor de $1.0E+04$ $\#/cm^3$, mientras que,

en ralentí alto no se cuenta con mediciones asociadas. En contraste, el Equipo E muestra concentraciones ligeramente más bajas durante el ralentí bajo en comparación con el Equipo D, con valores inferiores a $1.0E+03 \text{ \#/cm}^3$. Sin embargo, se observa un ligero aumento en la concentración de partículas durante el ralentí alto para el Equipo E.

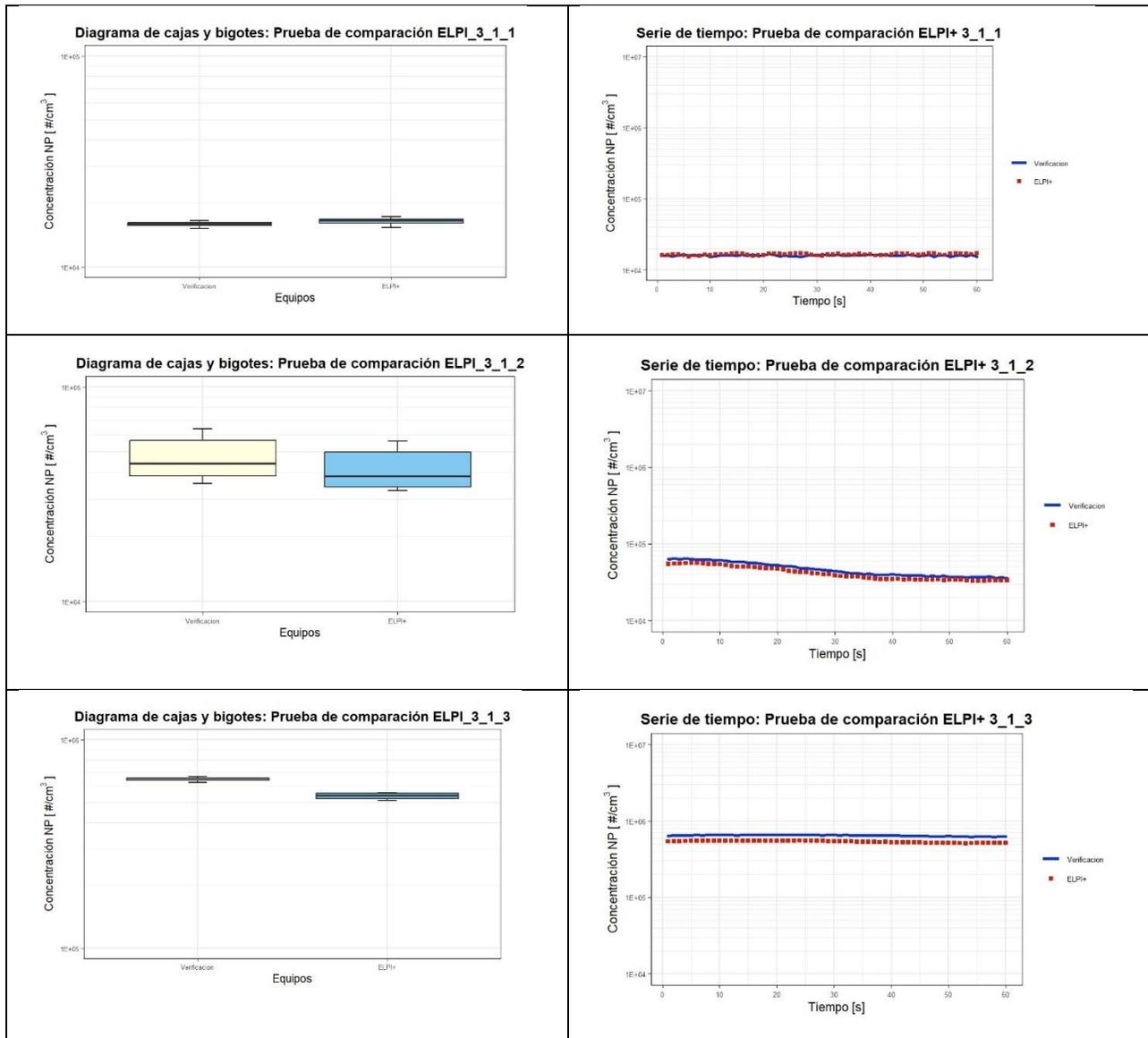


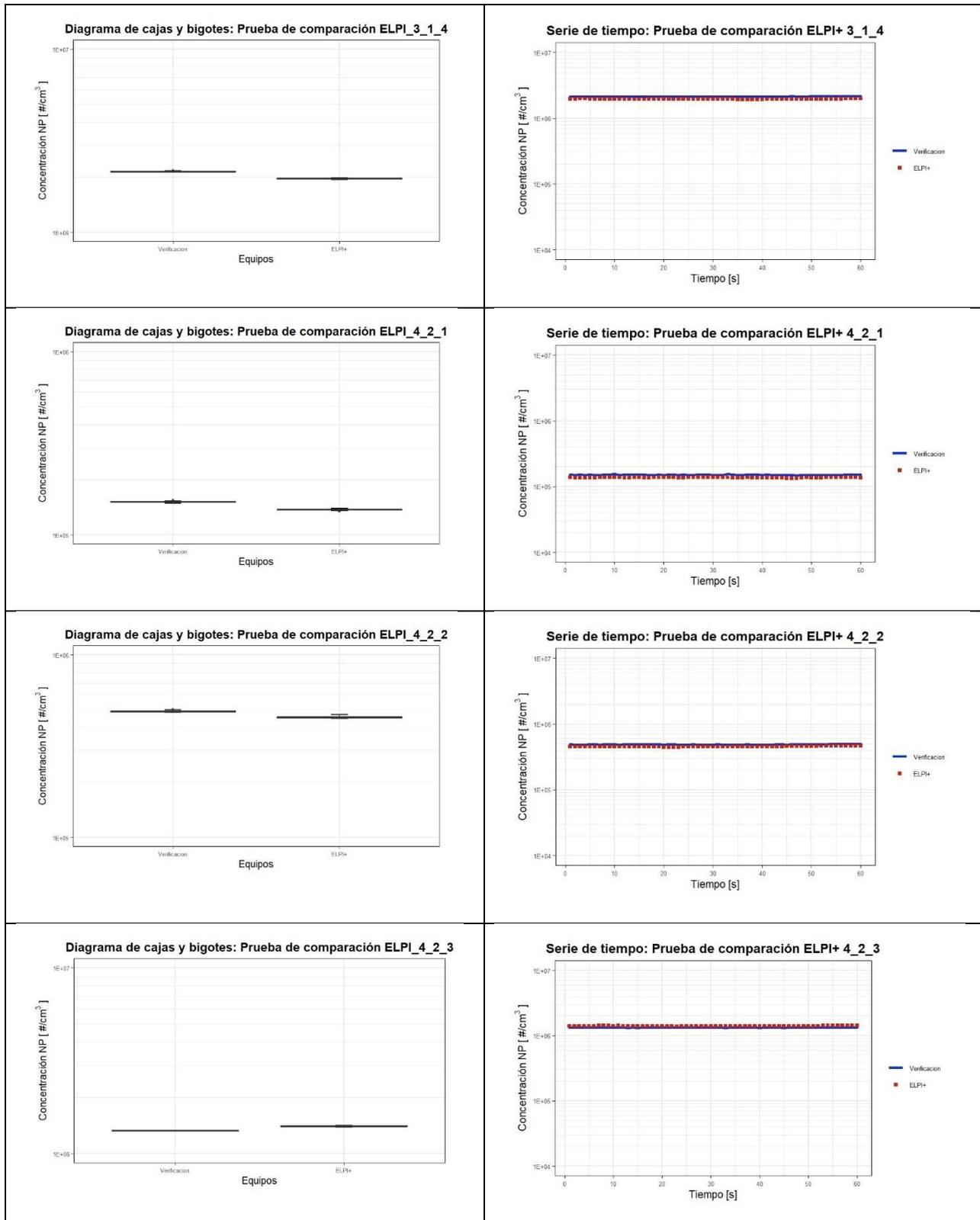
Se llevaron a cabo pruebas utilizando un vehículo Euro VI de la marca Foton, específicamente de la línea Alumark FPR equipado con DPF, con el propósito de comparar las concentraciones de partículas en dos equipos diferentes bajo dos condiciones de funcionamiento: ralentí alto (2000 rpm) y ralentí bajo (1600 rpm). Los resultados, representados en la gráfica, muestran claramente que la concentración de partículas es menor durante el ralentí alto para ambos equipos. A ralentí alto se registran concentraciones inferiores a $1.0E+03 \text{ \#/cm}^3$ para ambos equipos, mientras que a ralentí bajo se registra concentraciones superiores a $1.0E+03 \text{ \#/cm}^3$. Este contraste evidencia el impacto significativo del estado de ralentí en la emisión de partículas del vehículo en estudio. No obstante, los niveles de emisión entre los diferentes equipos demuestran similitud en los órdenes de magnitud para el vehículo en estudio.

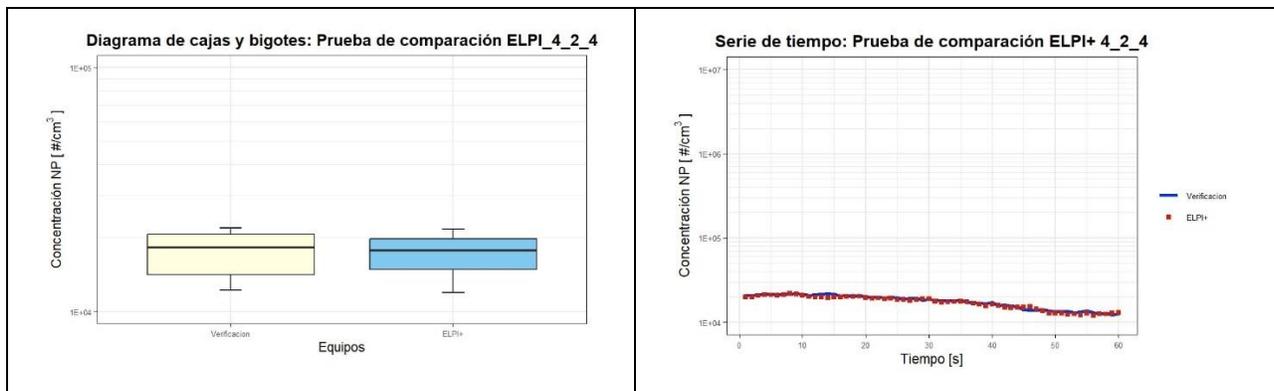
Anexo 5. Detalles de resultados del clasificador de aerosoles

Resultados comparativos con equipo de referencia por prueba

Los resultados comparativos entre el equipo clasificador de aerosoles Dekati ELPI+ y el contador de partículas de referencia TSI, se realizan de forma gráfica mediante diagramas de cajas y bigotes, junto a series de tiempo para cada prueba realizada:







Resultados de distribución de tamaño por prueba

