



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA UNIDAD XOCHIMILCO

División: Ciencias Biológicas De La Salud.

Departamento de Sistemas Biológicos.

Licenciatura: Química Farmacéutica Biológica

PROYECTO DE SERVICIO SOCIAL

Título:

Comparación de la calidad de agua purificada entre el centro de producción de agua Xochimilco (CEPAX) y marcas comerciales.

Alumna:

Guzmán Martínez Viridiana

Matrícula:

2212030050

Asesores:

M en CF. José Eduardo Hernández Torres 43814

Dra. Luz María Melgoza Contreras 19683

Lugar de realización:

Centro de producción de agua Xochimilco (CEPAX), edificio N (UIDIS)
Universidad Autónoma Metropolitana
Unidad Xochimilco

Fecha de inicio y terminación:

16 de octubre del 2025 - 16 de abril del 2026

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	4
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
JUSTIFICACIÓN.....	5
OBJETIVO GENERAL	5
Objetivos particulares.....	5
ANTECEDENTES.....	6
MARCO TEÓRICO	6
El agua	6
El agua y su importancia sanitaria	6
Tipos de agua según su grado de purificación	6
Propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del agua purificada.....	7
Normatividad oficial aplicable.....	8
Pruebas fisicoquímicas	8
pH	8
Sólidos disueltos totales (SDT)	9
Conductividad	9
Cloro residual libre	9
Dureza	10
Amoníaco.....	10
Pruebas organolépticas	10
Pruebas microbiológicas	11
METODOLOGÍA.....	13
Muestreo.....	13
Pruebas fisicoquímicas	13
Pruebas microbiológicas	14
Análisis estadístico	14
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	14
Pruebas fisicoquímicas	14
pH	14
Conductividad	19
Sólidos totales Disueltos (STD).....	25
Dureza	31

Cloro residual libre	36
Amoniaco	37
Propiedades organolépticas: color, olor y sabor.....	38
Pruebas microbiológicas	40
CONCLUSIÓN.....	41
REFERENCIAS	42

INTRODUCCIÓN

El agua purificada es uno de los productos de consumo humano más regulados y esenciales para la salud pública. En México, el consumo de agua purificada ha aumentado considerablemente como respuesta a la preocupación por la contaminación en redes públicas de distribución y la presencia de agentes patógenos o compuestos químicos no deseados. Para garantizar su seguridad, el agua destinada al consumo humano debe cumplir con las especificaciones establecidas por dos normas oficiales mexicanas: la NOM-127-SSA1-2021, que regula los límites permisibles de calidad para agua de uso y consumo humano, y la NOM-201-SSA1-2015, que establece los criterios sanitarios para agua envasada y a granel.

A pesar de la existencia de estas regulaciones, diversos estudios han señalado deficiencias en la calidad del agua distribuida en varias zonas urbanas, como la Ciudad de México, donde más del 40% del agua se pierde en fugas y además presenta variaciones importantes en la calidad (Tapia *et al.*, 2016). Esta situación ha generado desconfianza entre los consumidores y ha impulsado el desarrollo de centros de purificación locales como alternativa a las marcas comerciales.

Dentro de los centros locales de purificación, podemos destacar el CEPAX, ubicado dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Xochimilco. Este centro tiene la función de suministrar agua purificada, agua desionizada y agua grado HPLC a las distintas áreas académicas y de investigación de la universidad. A través de procesos de purificación, el CEPAX busca garantizar un suministro continuo y seguro de agua, cumpliendo con criterios de calidad. No obstante, se desconoce si la calidad del agua purificada producida en este centro es comparable con la que ofrecen marcas comerciales ampliamente distribuidas en el mercado.

Por ello, el presente proyecto tiene como objetivo comparar las propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y organolépticas del agua purificada producida por el “CEPAX” con las de marcas comerciales, a fin de determinar el cumplimiento con los estándares establecidos en la NOM-127-SSA1-2021. Esta comparación permitirá evaluar si el agua del centro universitario cumple con los requisitos de potabilidad y sanidad definidos por la normatividad vigente.

Para lograr este objetivo, se aplicarán pruebas fisicoquímicas, como la medición de pH, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales (TDS), cloro residual libre y amoníaco. Además de pruebas microbiológicas, incluyendo la detección de coliformes totales y *Escherichia coli*, y pruebas organolépticas, que abarcan la evaluación de olor, sabor y apariencia. La evaluación de estos parámetros permitirá obtener una visión del estado sanitario del agua analizada, identificando áreas de mejora en el centro de producción de agua.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A pesar de que el agua purificada destinada al consumo humano debe cumplir con los criterios establecidos en la NOM-127-SSA1-2021, no siempre se verifica que todas las

fuentes cumplan con estos estándares. En particular, se desconoce si el agua producida por el CEPAX, que abastece a la comunidad de la UAM-X, mantiene una calidad comparable con la de marcas comerciales reconocidas. Esta incertidumbre plantea la necesidad de evaluar y comparar ambas fuentes para determinar si el agua del CEPAX cumple con los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y organolépticos requeridos por la normatividad vigente.

JUSTIFICACIÓN

Este estudio resulta relevante tanto para la protección de la salud pública como para la promoción de buenas prácticas en la industria del agua purificada. Evaluar la calidad del agua producida por el CEPAX y compararla con marcas comerciales permitirá identificar posibles deficiencias en el proceso y brindar recomendaciones para su mejora. Además, este análisis puede generar confianza entre los consumidores al demostrar el cumplimiento (o incumplimiento) de las normas oficiales. Asimismo, los resultados podrán ser útiles para la toma de decisiones respecto a la vigilancia sanitaria y la mejora continua en el acceso a agua segura dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Xochimilco.

OBJETIVO GENERAL

Comparar las propiedades fisicoquímicas, organolépticas y microbiológicas del agua purificada para consumo humano producida por el Centro de Producción de Agua "Xochimilco (CEPAX)" contra la de marcas comerciales del mercado, con el fin de determinar su cumplimiento establecido por la NOM-127 SSA1-2021.

Objetivos particulares

- Analizar el marco normativo aplicable, revisando los criterios establecidos en la NOM-127-SSA1-2021 para agua destinada a uso y consumo humano.
- Diseñar un plan de muestreo representativo, que incluya la recolección de muestras del Centro de Purificación "Xochimilco" y de marcas comerciales reconocidas.
- Realizar análisis fisicoquímicos de las muestras, evaluando parámetros como pH, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, características organolépticas, la presencia de cloro residual y amoníaco.
- Ejecutar análisis microbiológicos enfocados en indicadores de contaminación, como coliformes totales y *Escherichia coli*.
- Comparar los resultados obtenidos con los límites máximos permisibles establecidos en ambas normas, identificando el grado de cumplimiento de cada muestra analizada.
- Interpretar los resultados mediante análisis estadístico entre el agua purificada Aguam y las marcas comerciales.

ANTECEDENTES

La calidad del agua potable en la Ciudad de México ha sido motivo de preocupación constante debido a diversos factores como el deterioro de la infraestructura hidráulica, la sobreexplotación de mantos acuíferos, la contaminación de cuerpos de agua superficiales y subterráneos, así como la deficiente vigilancia sanitaria en algunos puntos de distribución (Gispert *et al.*, 2018). Diversos estudios recientes realizados por instituciones académicas han documentado la presencia de contaminantes físicos, químicos y microbiológicos en el agua que llega a los hogares, lo cual representa un riesgo potencial para la salud pública, especialmente en zonas con altos niveles de urbanización y escasos controles de calidad (Mazari-Hiriart *et al.*, 2019).

Ante este panorama, muchas personas recurren al consumo de agua purificada proveniente de plantas locales o centros de purificación, los cuales han servido como una alternativa accesible frente a las marcas comerciales envasadas. Sin embargo, algunos de estos centros operan con prácticas deficientes, sin cumplir plenamente con las especificaciones técnicas ni con las condiciones sanitarias requeridas por las normas oficiales mexicanas, en particular la NOM-127 SSA1-202. Problemas como la falta de mantenimiento adecuado de los equipos, procedimientos inadecuados de limpieza y desinfección, la utilización incorrecta de envases y una escasa capacitación del personal son causas frecuentes de la contaminación del agua purificada ofrecida en estos establecimientos.

MARCO TEÓRICO

El agua

El agua es un compuesto químico esencial para la vida en la Tierra, formado por dos átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno, unidos por enlaces covalentes polares (H_2O). Es conocida como el "solvente universal" debido a su alta capacidad para disolver una amplia variedad de sustancias, propiedad derivada de su polaridad y de su capacidad para formar puentes de hidrógeno (Stumm & Morgan, 1996).

El agua y su importancia sanitaria

El agua es un recurso vital para todas las formas de vida. No sólo cumple funciones biológicas fundamentales como la hidratación, regulación de la temperatura corporal y eliminación de desechos, sino que también es un componente esencial en la preparación de alimentos, higiene personal y procesos industriales. La disponibilidad de agua limpia y segura es uno de los principales determinantes de salud pública, ya que su contaminación puede causar diversas enfermedades (Miranda *et al.*, 2013).

Tipos de agua según su grado de purificación

Existen distintos tipos de agua utilizados según su finalidad y nivel de tratamiento. Entre los más relevantes se encuentran:

- Agua purificada: Es agua que ha sido sometida a procesos físicos o químicos como filtración, ósmosis inversa, desinfección o destilación para eliminar impurezas,

microorganismos y minerales (Miranda *et al.*, 2013). Está destinada principalmente al consumo humano directo.

- Agua desionizada: Se obtiene mediante intercambio iónico, eliminando casi por completo los iones disueltos (como calcio, sodio, cloruros y sulfatos). Aunque no necesariamente está libre de microorganismos, se utiliza en laboratorios y procesos industriales donde se requiere una conductividad mínima (Miranda *et al.*, 2013).
- Agua grado HPLC: Es agua de alta pureza, libre de partículas, contaminantes orgánicos, iones y microorganismos. Se emplea en técnicas analíticas como la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), por lo que debe cumplir especificaciones estrictas de resistividad, TOC (carbono orgánico total) y ausencia de interferentes.

Propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del agua purificada.

La evaluación de la calidad del agua requiere el análisis sistemático de sus propiedades fisicoquímicas, que incluyen parámetros organolépticos, químicos generales y sustancias específicas y sus propiedades microbiológicas (Tabla 1). Estas características están reguladas por estándares para la calidad del agua potable, que establecen límites y valores guía para proteger la salud pública.

Tabla 1. Propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del agua purificada (World Health Organization, 2017)

Propiedades fisicoquímicas	
Parámetro	Rango/Directriz
pH	6.5–8.5 (rango aceptable)
Turbidez	< 5 NTU (ideal < 1 NTU)
Dureza (como CaCO ₃)	>100–500 mg/L puede causar incrustaciones
Sólidos Disueltos Totales (TDS)	< 600 mg/L (óptimo)
Conductividad	Relacionada con TDS
Color	< 15 TCU (unidades de color verdadero)
Olor y sabor	Sin olor/sabor objetable
Temperatura	No hay GV*, pero se prefiere fría
Cloro residual libre	0.2-5 mg/L
Propiedades microbiológicas	
Indicador	Directriz
<i>E. coli</i> o coliformes termotolerantes	0 por cada 100 mL (en cualquier muestra)
Bacterias heterótrofas (recuento de placas)	No hay GV, pero niveles altos pueden indicar problemas en tratamiento o distribución

*GV: Valores guía

Cuando el agua está destinada al consumo humano, debe cumplir con las normativas sanitarias correspondientes.

Normatividad oficial aplicable

En México, la calidad del agua purificada y potable se encuentra regulada principalmente por dos normas oficiales:

La NOM-201-SSA1-2015, titulada “Productos y servicios. Agua y hielo para consumo humano, envasados y a granel. Especificaciones sanitarias”, es de aplicación obligatoria para los centros de purificación, plantas envasadoras, expendios y distribuidores, y establece los requisitos sanitarios que deben cumplirse durante los procesos de tratamiento, envasado, almacenamiento y transporte del agua. Dentro de esta norma se incluyen criterios microbiológicos, como la ausencia total de *Escherichia coli* y coliformes totales, así como límites permisibles para bacterias heterotróficas, las cuales funcionan como indicadores de la calidad higiénica del proceso de purificación. Además, la NOM-201 contempla parámetros fisicoquímicos como pH, turbidez y sólidos disueltos, los cuales influyen directamente en la estabilidad, apariencia y aceptabilidad del agua. Asimismo, la norma enfatiza la implementación de buenas prácticas de higiene, mantenimiento de equipos, limpieza y desinfección de instalaciones, así como el control del personal que manipula el producto, con el fin de prevenir la recontaminación del agua purificada.

Por otro lado, la NOM-127-SSA1-2021, denominada “Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua”, establece los parámetros que debe cumplir el agua potable suministrada a través de redes públicas de distribución o proveniente de fuentes naturales como pozos, manantiales y presas. Esta norma tiene un enfoque más amplio, ya que regula tanto la calidad microbiológica como la fisicoquímica del agua, considerando riesgos agudos y crónicos para la salud. En ella se incluyen límites permisibles para microorganismos indicadores de contaminación fecal. También, establece valores máximos para metales pesados como arsénico, plomo y mercurio, los cuales pueden acumularse en el organismo y generar efectos tóxicos a largo plazo. Además, la NOM-127-SSA1-2021 contempla parámetros organolépticos y operativos que permiten evaluar la aceptabilidad por parte del consumidor y la eficiencia de los procesos de tratamiento y desinfección.

Ambas normas se complementan cuando se analiza la calidad del agua purificada, ya que una regula la calidad final del producto y otra el agua de origen o fuente.

Pruebas fisicoquímicas

Las pruebas fisicoquímicas permiten determinar las características del agua en términos de composición, pureza y estabilidad. Entre las más relevantes se encuentran las siguientes:

pH

El pH constituye una medida logarítmica fundamental que cuantifica la concentración de iones hidrógeno en solución acuosa, determinando así su carácter ácido, neutro o alcalino. Esta propiedad influye de manera decisiva en múltiples aspectos de la calidad del agua, incluyendo la eficacia de los procesos de desinfección, la corrosividad hacia materiales de

conducción y almacenamiento, y la aceptabilidad organoléptica además de su seguridad para el consumo humano. La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos recomienda mantener el pH del agua potable dentro del rango de 6.5 a 8.5, ya que valores inferiores a 6.5 incrementan significativamente la capacidad del agua para disolver metales como plomo, cobre y zinc de las tuberías y conexiones, mientras que valores superiores a 8.5 reducen la efectividad biocida del cloro y pueden promover la formación de incrustaciones calcáreas en sistemas de distribución (Environmental Protection Agency, 2021).

Sólidos disueltos totales (SDT)

Otro parámetro son sólidos disueltos totales que engloban la masa conjunta de todas las sustancias inorgánicas y orgánicas que permanecen en solución después de la filtración del agua, incluyendo iones mayores como calcio, magnesio, sodio, potasio, bicarbonato, cloruro y sulfato, así como sílice y compuestos orgánicos de bajo peso molecular. Esta propiedad afecta las características organolépticas del agua, sobre todo su sabor y sensación bucal, siendo un factor importante en la aceptabilidad por los consumidores. La Asociación Americana de Obras Hidráulicas documenta que concentraciones inferiores a 500 mg/L son generalmente bien aceptadas por la mayoría de la población, mientras que niveles entre 500 y 1000 miligramos por litro pueden impartir un sabor salino o mineral, y valores superiores a 1000 miligramos por litro resultan frecuentemente objetables para el consumo directo, aunque no necesariamente representen un riesgo sanitario inmediato (American Water Works Association, 2017).

Conductividad

Por otro lado, la conductividad eléctrica representa un parámetro analítico fundamental que expresa la capacidad del agua para transportar corriente eléctrica, propiedad directamente proporcional a la concentración total de iones disueltos. Esta medida proporciona una estimación rápida y confiable del contenido mineral del agua, funcionando como indicador sensible de cambios en la composición química y de posibles eventos de contaminación. Los valores típicos en aguas potables varían ampliamente según el origen geológico de la fuente, oscilando generalmente entre 50 microsiemens por centímetro para aguas de baja mineralización y 1500 microsiemens por centímetro para aguas provenientes de formaciones geológicas ricas en sales solubles (International Organization for Standardization, 1985).

Cloro residual libre

El cloro residual libre comprende las especies químicas de cloro disponibles para acción desinfectante que permanecen en el agua después del proceso de tratamiento, principalmente en forma de ácido hipocloroso (HOCl) e ion hipoclorito (OCl^-), cuyo equilibrio depende del pH y temperatura del agua. Este parámetro opera como barrera contra la recontaminación microbiológica durante el almacenamiento y distribución, inhibiendo el crecimiento de bacterias. Los métodos estandarizados de análisis establecen que concentraciones entre 0.2 y 4.0 miligramos por litro mantienen adecuadamente la seguridad microbiológica del agua distribuida, aunque niveles superiores a 0.6 miligramos por litro pueden comenzar a afectar negativamente las características organolépticas, generando

lores y sabores característicos que reducen la aceptabilidad por parte de los consumidores (American Public Health Association *et al.*, 2017).

Dureza

La dureza del agua representa la concentración combinada de iones de calcio y magnesio, expresada en equivalentes de carbonato de calcio, que determina significativamente su comportamiento en sistemas de distribución y su interacción con productos de higiene personal y limpieza. Este parámetro se clasifica en cuatro categorías principales: aguas blandas con menos de 60 miligramos por litro, moderadamente duras entre 60 y 120 miligramos por litro, aguas duras entre 120 y 180 miligramos por litro, y aguas muy duras con concentraciones superiores a 180 miligramos por litro. Aguas con dureza elevada tienden a formar depósitos calcáreos en sistemas de calentamiento y tuberías, reduciendo la eficiencia energética y la vida útil de la infraestructura, mientras que aguas excesivamente blandas presentan mayor capacidad corrosiva y pueden lixiviar metales de las instalaciones domiciliarias (Instituto Geológico y Minero de España, 2019). Estas pruebas ayudan a asegurar que el agua no sólo es apta para beber, sino que también es agradable de manera sensorial.

Amoníaco

Por último, el amoníaco constituye un compuesto nitrogenado que puede estar presente en fuentes de agua como resultado de procesos naturales de descomposición de materia orgánica, contaminación por descargas de aguas residuales, escurrimiento agrícola de fertilizantes o como subproducto intencional en procesos de cloración. Su presencia en sistemas de distribución genera importantes implicaciones operativas, ya que consume rápidamente el cloro libre disponible para formar cloraminas, reduce significativamente el potencial redox del agua y puede servir como sustrato para comunidades bacterianas nitrificantes que producen nitritos como metabolito intermedio. La Agencia Europea de Medio Ambiente destaca que, aunque el amoníaco en sí mismo no representa un riesgo toxicológico agudo en las concentraciones típicamente encontradas en agua potable, su detección sirve como valioso indicador de contaminación reciente y su control es esencial para garantizar la estabilidad microbiológica en sistemas de distribución extensos (European Environment Agency, 2020).

Pruebas organolépticas

Otro factor importante para considerar son las pruebas organolépticas del agua, estas son evaluaciones sensoriales que se realizan para detectar características perceptibles por los sentidos humanos, éstas son principalmente vista, olfato, gusto y apariencia.

El color del agua purificada es una propiedad organoléptica que se evalúa mediante unidades de color verdadero (TCU) y constituye un indicador visual de la presencia de sustancias disueltas o suspendidas. Este parámetro puede originarse por compuestos orgánicos naturales provenientes de la descomposición vegetal, metales disueltos como hierro y manganeso que dan tonalidades rojizas o negras, o partículas en suspensión como arcillas y algas. Aunque el color no representa necesariamente un riesgo directo para la salud, la Organización Mundial de la Salud establece que concentraciones superiores a 15

TCU son perceptibles para los consumidores y pueden generar rechazo, además de indicar posibles problemas en el tratamiento o contaminación. El control del color es particularmente importante porque puede enmascarar la detección de contaminación microbiológica, interferir con procesos de desinfección al reaccionar con el cloro, y mostrar la presencia de subproductos de desinfección potencialmente nocivos (World Health Organization, 2017).

El olor del agua es una propiedad sensorial determinada por la percepción humana y se mide mediante ensayos de umbral de olor (OTO) que diluyen progresivamente la muestra hasta que el olor deja de ser detectable. Los olores objetables pueden clasificarse en olores terrosos/mohosos asociados con metabolitos de algas y actinomicetos, olores químicos provenientes de desinfectantes residuales (como el cloro, cloraminas) o contaminantes industriales (como el benceno o solventes), y por último olores sulfurosos resultantes de la reducción bacteriana de sulfatos a sulfuro de hidrógeno. La presencia de olores no deseados en el agua es importante, ya que puede indicar contaminación química o biológica. Además, puede afectar su aceptación por parte de los consumidores y evidenciar problemas operativos, como el crecimiento de biopelículas en los sistemas de distribución o la degradación de materiales en contacto con el agua. La OMS enfatiza que cualquier olor perceptible debe investigarse, ya que, aunque muchos compuestos tienen umbrales de detección muy por debajo de los niveles de preocupación sanitaria, su presencia puede señalar fallas en el sistema que permiten la entrada de contaminantes más peligrosos (American Water Works Association, 2017).

Por último, el sabor del agua es una percepción sensorial compleja resultante de la interacción entre el gusto básico (dulce, salado, ácido, amargo, umami) y los componentes aromáticos retronasales. Los sabores no deseados frecuentemente se asocian con iones inorgánicos como cloruro (salino), sulfato (amargo), hierro (metálico) y manganeso (astringente), compuestos orgánicos como fenoles (medicinal) y clorofenoles (antiséptico); y productos de actividad biológica como cianotoxinas (terroso) y compuestos de descomposición algal. La importancia del control del sabor también impacta la aceptabilidad, ya que puede servir como alerta para detectar contaminación por metales pesados (plomo, cobre), fallas en el tratamiento que permiten el paso de compuestos orgánicos, o crecimiento microbiano excesivo (European Environment Agency, 2020).

Pruebas microbiológicas

Las pruebas microbiológicas para agua purificada son puntos críticos para determinar la calidad del agua, éstos son análisis de laboratorio diseñados para detectar y cuantificar la presencia de microorganismos viables que pueden comprometer la calidad sanitaria del agua para consumo humano. Estas pruebas incluyen la determinación de bacterias indicadoras de contaminación fecal (como *Escherichia coli* y coliformes totales), recuentos de bacterias heterótrofas (HPC), y en casos específicos, la búsqueda de patógenos oportunistas como *Pseudomonas aeruginosa*, *Legionella spp.* y micobacterias no tuberculosas. Los métodos emplean técnicas de filtración por membrana, siembra en medios selectivos y diferenciales, e incubación en condiciones controladas para determinar la concentración microbiana en unidades formadoras de colonias por mililitro (UFC/mL) o

presencia/ausencia en volúmenes específicos (American Public Health Association *et al.*, 2017).

De acuerdo con la Organización Mundial de la salud en 2017, estas pruebas sirven como alerta temprana para detectar fallas en los procesos de purificación, deficiencias en sistemas de distribución, o contaminación post-tratamiento. Las pruebas cumplen tres funciones principales:

- Verificación de la eficacia del tratamiento: demostrando que procesos como ósmosis inversa, destilación o desinfección UV han eliminado eficientemente los microorganismos.
- Monitoreo de la calidad en sistemas de almacenamiento y distribución: identificando puntos de recontaminación o crecimiento bacteriano.
- Cumplimiento de regulaciones sanitarias que exigen agua purificada estéril o con recuentos microbianos extremadamente bajos para usos específicos como la fabricación de productos farmacéuticos o procesos industriales.

Las bacterias pueden introducirse en agua purificada a través de múltiples vías, siendo las más comunes la contaminación fecal proveniente de aguas residuales, escorrentía agrícola con estiércol, o filtración de pozos sépticos, que introduce patógenos entéricos como *E. coli* y coliformes. Además, materia orgánica en descomposición en fuentes de agua (como hojas, algas o restos animales en descomposición) promueve el crecimiento de bacterias heterótrofas como *Pseudomonas spp.* También, durante el proceso de purificación, algunas fallas en membranas de ósmosis inversa, filtros de carbón activado colonizados, o equipos de envasado no estériles permiten la persistencia de microorganismos. Una vez en el sistema, bacterias como *Pseudomonas aeruginosa* y *Legionella* forman biopelículas en tuberías y tanques que las protegen de desinfectantes y actúan como reservorios de contaminación. Factores como temperaturas altas, estancamiento del agua, y nutrientes residuales lixiviados de materiales plásticos facilitan la proliferación bacteriana, incluso en agua técnicamente purificada, lo que explica la necesidad de monitoreo microbiológico constante y barreras múltiples de protección (World Health Organization, 2017; American Public Health Association *et al.*, 2017).

Estas bacterias son de suma importancia ya que los efectos negativos para la salud humana varían según el patógeno, la vía de exposición y el estado inmunológico de la persona. Se ha observado en infecciones nosocomiales algunas consecuencias graves, incluyendo bacteriemias por *Pseudomonas aeruginosa*, neumonía por *Legionella* e infecciones diseminadas por micobacterias no tuberculosas en personas con inmunosupresión. En la población general, la exposición puede causar dermatitis, otitis externa e infecciones oculares por *P. aeruginosa*, especialmente cuando el agua purificada se usa para higiene personal o en lentes de contacto. En instalaciones industriales, la contaminación microbiana puede provocar deterioro de productos farmacéuticos o biotecnológicos, fallas en procesos de manufactura de semiconductores, y formación de endotoxinas bacterianas (pirógenos) que causan reacciones febriles cuando se administran por vía parenteral. Adicionalmente, la presencia de cualquier microorganismo en agua destinada a diálisis renal puede

desencadenar reacciones inflamatorias sistémicas y sepsis en pacientes con enfermedad renal terminal (Collier *et al.*, 2021).

METODOLOGÍA

Muestreo

Para el presente estudio se evaluaron cuatro marcas de agua comercializadas en garrafón y botella: Aguam (producida por el CEPAX), Bonafont, Pascual y Ciel.

Para garantizar la representatividad estadística de los resultados, de cada marca se seleccionaron 20 lotes de producción distintos, considerando como lote el conjunto de garrafones o botellas elaborados en la misma fecha. Las botellas de las marcas comerciales (Bonafont, Pascual y Ciel) se adquirieron en establecimientos ubicados en sitios cercanos a la UAM-Xochimilco. En el caso de Aguam, la selección se realizó directamente en el CEPAX, tomando garrafones correspondientes a 20 lotes consecutivos diferentes.

Las muestras fueron tomadas de acuerdo con el PNO-PRD-005 "Procedimiento Normalizado de Operación para la toma de muestra". Igualmente, todos los procedimientos realizados se llevaron a cabo conforme a los PNO's establecidos por el CEPAX, garantizando la estandarización y confiabilidad de los resultados.

Pruebas fisicoquímicas

- Las determinaciones de pH, conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos (STD) se realizaron utilizando un medidor portátil HI98129 (Hanna Instruments) previamente calibrado con soluciones estándar de acuerdo con el PNO-FQ-002 "Procedimiento Normalizado de Operación para el uso adecuado del medidor de bolsillo combo de pH/ Conductividad/ TDS (rango bajo)" del CEPAX. Para cada lote de las cuatro marcas, se analizó una réplica a partir de un mismo garrafón o botella, registrándose el valor posteriormente.
- La medición de cloro residual libre se llevó a cabo mediante un método colorimétrico con ortotolidina (OTO) de acuerdo con el PNO-FQ-004 "Procedimiento Normalizado de Operación para el uso adecuado del test kit analizador de cloro y pH", donde 10 mL de muestra reaccionan con el reactivo para desarrollar una coloración amarilla proporcional a la concentración de cloro.
- La dureza total se determinó mediante un kit de titulación colorimétrica por EDTA, diseñado para la cuantificación de calcio y magnesio expresados como equivalente de carbonato de calcio (CaCO_3) de acuerdo con el PNO-FQ-003 "Procedimiento Normalizado de Operación para el uso adecuado del test de dureza". Se tomaron 10 mL de muestra para cada determinación.
- La concentración de amoníaco se evaluó mediante el método de Nessler, basado en la formación de un complejo amarillo-ámbar entre el amoníaco y el reactivo alcalino de Nessler, se tomaron 10 mL de cada muestra y se realizó la comparación visual con un cubo medidor colorimétrico de acuerdo con el PNO-FQ-001

“Procedimiento Normalizado de Operación para el uso adecuado del test kit de amoníaco para agua dulce”.

- Las evaluaciones organolépticas de olor, color y sabor se realizaron mediante la percepción sensorial directa de un analista, aplicando métodos cualitativos basados en la observación, olfacción y gustación. Para la determinación del color, se observó cada muestra contra un fondo blanco con buena iluminación, en la evaluación del olor, se empleó la técnica de olfacción directa de muestras contenidas en vasos limpios y registrando la presencia o ausencia de olores. Para la prueba de sabor, se tomaron pequeños volúmenes de cada muestra para que posteriormente el analista las bebiera y se registrara cualquier sabor atípico.

Pruebas microbiológicas

La detección de coliformes totales se realizó mediante el método de filtración al vacío, utilizando membranas estériles. De cada garrafón o botella, se filtraron 100 mL de muestra a través del sistema de filtración estéril, transfiriendo posteriormente la membrana a placas de Petri que contenían agar cromogénico selectivo para coliformes (ChromoCult®). Las placas se incubaron a $36 \pm 0.5^\circ\text{C}$ durante 24 ± 2 horas, permitiendo la diferenciación cromogénica de colonias de coliformes totales. Los resultados se expresaron como unidades formadoras de colonias por 100 mL (UFC/100 mL), con un límite de detección de 5 UFC/100 mL.

Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó para comparar las diferentes marcas, utilizando el software Minitab 19. Se aplicó un análisis de varianza de un solo factor (ANOVA), considerando la marca como factor fijo y un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$. Cuando se detectaron diferencias significativas ($p < 0.05$), se realizó una prueba de comparaciones múltiples de Tukey con un nivel de confianza del 95%. Adicionalmente, se elaboraron gráficos de control de individuos y rango móvil (I-MR) para evaluar la estabilidad y variabilidad de cada marca.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Pruebas fisicoquímicas

pH

La primera característica fisicoquímica analizada fue el pH, para la cual se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla 2.

Tabla 2. Resultados de pH para todas las marcas evaluadas.

No.	LOTE AGUAM	Agum	LOTE Bonafont	Bonafont	LOTE PASCUAL	Pascual	LOTE Ciel	Ciel
1	07102025	7.95	L058	7.64	L1137329	7.30	686RE	6.40
2	08102025	8.04	L245	7.83	L1136096	7.40	709LT	6.46
3	09102025	7.96	L200	7.54	L1131974	7.00	717RFL	6.20
4	13102025	8.12	L227	7.78	L1131975	7.14	717RPL	6.20
5	10102015	8.06	L261	7.76	L1138264	7.24	717RI	6.13

6	15102025	8.07	L137	7.36	L1136095	7.47	687RE	6.42
7	16102025	8.08	L246	7.73	L1138270	7.46	679RE	6.33
8	20102025	8.38	L205	7.32	L1138273	7.37	717RE	6.60
9	21102025	8.29	L257	7.16	L1138785	7.35	717RPI	6.66
10	22102025	8.11	L249	7.83	L1138265	7.25	678RE	6.62
11	27102025	7.82	L235	7.83	L1138786	7.42	677RE	6.48
12	28102025	8.32	L017	7.15	L1139182	7.14	718RPL	6.37
13	29102025	7.85	L228	7.75	L1139185	7.16	676RE	6.51
14	30102025	8.07	L247	7.80	L1139401	6.94	716RPL	6.39
15	03112025	8.15	L229	7.76	L1139402	7.51	718RI	6.24
16	04112025	8.24	L248	7.77	L1139531	7.34	718RPI	6.30
17	05112025	8.22	L233	7.57	L1139781	7.42	677RE	6.75
18	06112025	7.92	L234	7.64	L1140310	7.37	719RPI	6.45
19	10112025	8.15	L277	7.05	L1191305	7.09	719RPL	6.14
20	11112025	8.08	L279	7.22	L1131904	7.47	687RE	6.48

Para este parámetro, el análisis de varianza (Tabla 2) mostró diferencias estadísticamente significativas entre las medias de pH de las marcas evaluadas. El valor del estadístico F fue de 267.13, con un valor $p=0.000$, lo que indica que la variabilidad observada entre las marcas es considerablemente mayor que la variabilidad dentro de cada marca. Por lo que se rechazó la hipótesis nula de igualdad de medias, confirmando que el pH difiere de manera significativa entre las marcas analizadas. Aguam presentó el pH promedio más alto (8.09), seguido de Bonafont (7.57), Pascual (7.29) y Ciel (6.40).

Tabla 3. Análisis de Varianza para cada parámetro evaluado

Parámetro	Marca	Media	Desv. Est.	Valor F	Valor P
pH	Aguam	8.0940	0.1495	267.13	0.000
	Bonafont	7.5745	0.2640		
	Pascual	7.2920	0.1918		
	Ciel	6.4065	0.1734		
Conductividad	Aguam	463.2	72.3	49.55	0.000
	Bonafont	359.6	124.9		
	Pascual	189.65	29.93		
	Ciel	212.7	71.3		
Sólidos totales disueltos	Aguam	218.80	8.48	59.63	0.000
	Bonafont	169.8	55.1		
	Pascual	93.50	14.68		
	Ciel	106.10	35.52		
Dureza	Aguam	2.57	6.26	88.10	0.000
	Bonafont	117.14	31.52		
	Pascual	22.23	8.04		
	Ciel	71.82	36.21		

El gráfico de intervalos de confianza simultáneos de Tukey (95%) muestra las diferencias entre las medias de pH de cada par de marcas de agua (Gráfico 1). Todos los intervalos se encuentran completamente a la izquierda del cero (en valores negativos), lo que indica que, en cada comparación, la segunda marca de cada par tiene un pH significativamente menor que la primera. Además, dado que ningún intervalo cruza el cero, se confirma que todas las diferencias son estadísticamente significativas.

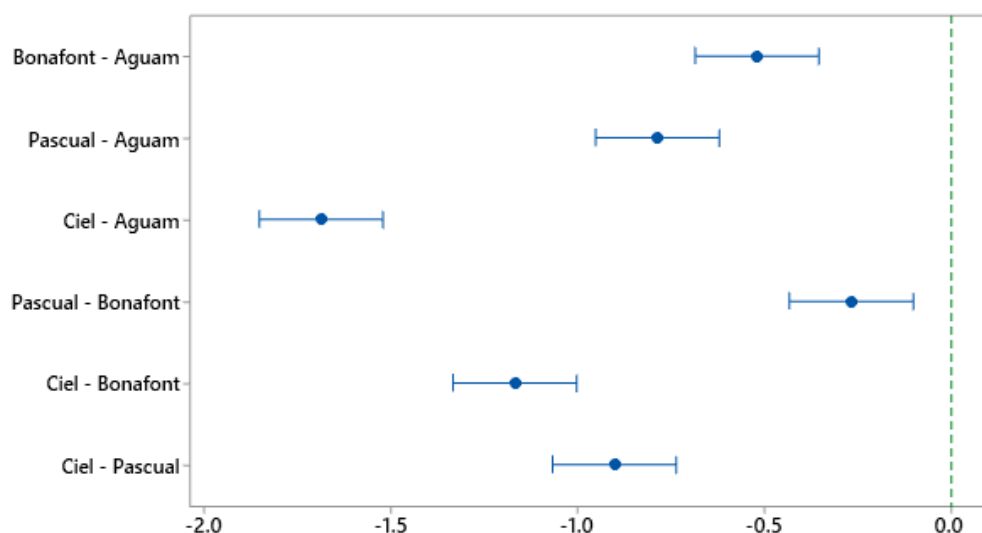


Gráfico 1. intervalos de confianza simultáneos de Tukey (95%) de pH

La gráfica de cajas (Gráfico 2) muestra la distribución de los valores de pH para cada marca. Aguam la cual presenta una mediana elevada y una dispersión relativamente baja, lo que indica consistencia entre lotes. Bonafont y Pascual muestran valores intermedios con una variabilidad moderada, mientras que Ciel presenta los valores más bajos de pH con una distribución más compacta. La ausencia de valores atípicos relevantes sugiere que los datos son homogéneos.

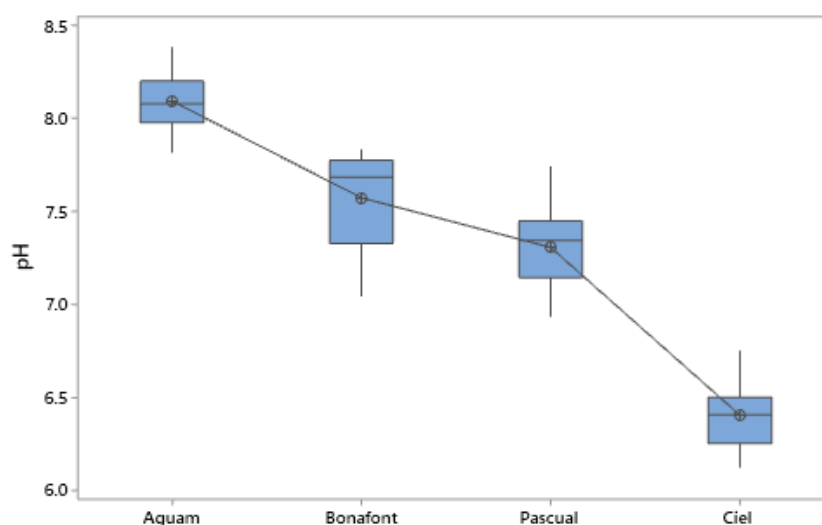


Gráfico 2. Gráfica de cajas de pH

Desde el punto de vista estadístico, Aguam presentó el pH promedio más alto (8.09), mientras que Ciel mostró el valor más bajo (6.40). Todas las marcas evaluadas se encuentran dentro del intervalo de pH permitido por la normatividad vigente para agua potable (NOM-127-SSA1-2021: 6.5 a 8.5), a excepción de la marca Ciel, cuyo valor medio de 6.40 se encuentra ligeramente por debajo del límite inferior.

Si bien una desviación mínima del estándar podría ser irrelevante, la literatura advierte sobre los riesgos asociados al consumo de agua ácida ($\text{pH} < 6.5$). Un pH ligeramente ácido,

como el de Ciel, incrementa el potencial corrosivo del agua, lo que puede provocar la lixiviación de metales pesados (como plomo, cobre y hierro) desde las tuberías y sistemas de distribución hasta el agua del producto terminado (Arhin et al., 2023; Culligan of Houston, 2025). Esto plantea riesgos para la salud pública, que van desde problemas gastrointestinales hasta posibles daños neurológicos por exposición crónica a metales que podrían estar presentes en el agua para consumo.

Por lo tanto, el resultado de Ciel, aunque cercano al límite establecido por la norma, no debería subestimarse desde una perspectiva de salud, ya que su condición ácida podría indicar otros riesgos que no son medidos en este estudio.

Gráficos de control de pH

Para la evaluación de la estabilidad de los parámetros fisicoquímicos analizados en las distintas marcas de agua, se emplearon gráficos de control de individuales y rango móvil (I-MR). Este tipo de gráfico fue seleccionado debido a que se contó con una sola medición por lote para cada parámetro evaluado, lo que impide la conformación de subgrupos. Los gráficos I-MR permitieron evaluar simultáneamente el comportamiento de los valores individuales y la variabilidad entre observaciones consecutivas.

Los gráficos de control I-MR correspondientes al pH (Gráfico 3 al 6) de las cuatro marcas de agua evaluadas muestran el comportamiento del proceso a lo largo de los 20 lotes analizados para cada marca. De manera general, los valores individuales de pH se mantienen dentro de los límites de control establecidos, no muestran puntos fuera de control ni patrones sistemáticos que indiquen causas especiales de variación. Del mismo modo, los rangos móviles reflejan una variabilidad consistente entre lotes consecutivos, lo que sugiere que los procesos de producción y purificación de cada marca presentan estabilidad estadística. Aunque existen diferencias en los niveles promedio de pH entre marcas, cada una mantiene un comportamiento estable dentro de su propio proceso.

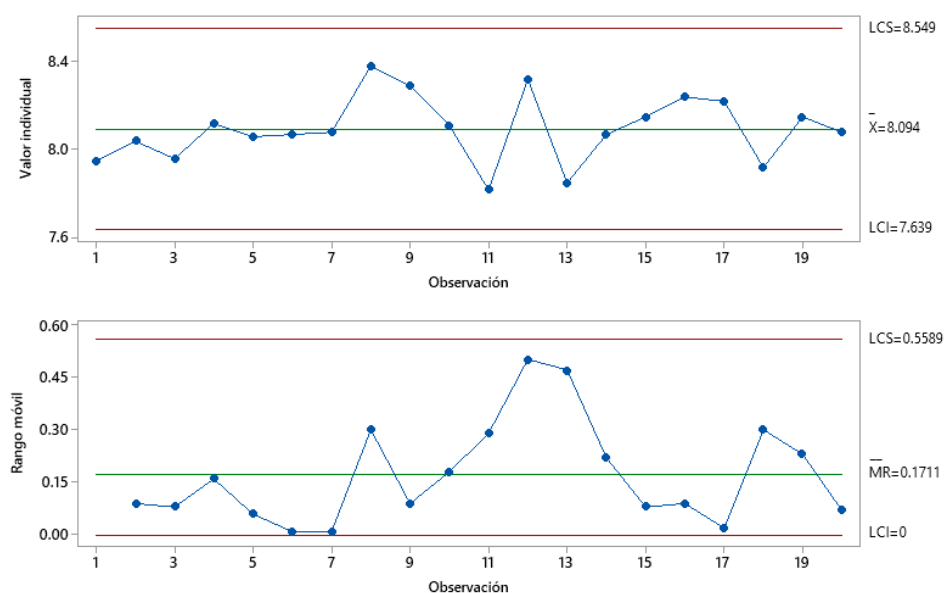


Gráfico 3. Gráfico de control para pH de la marca Aguam

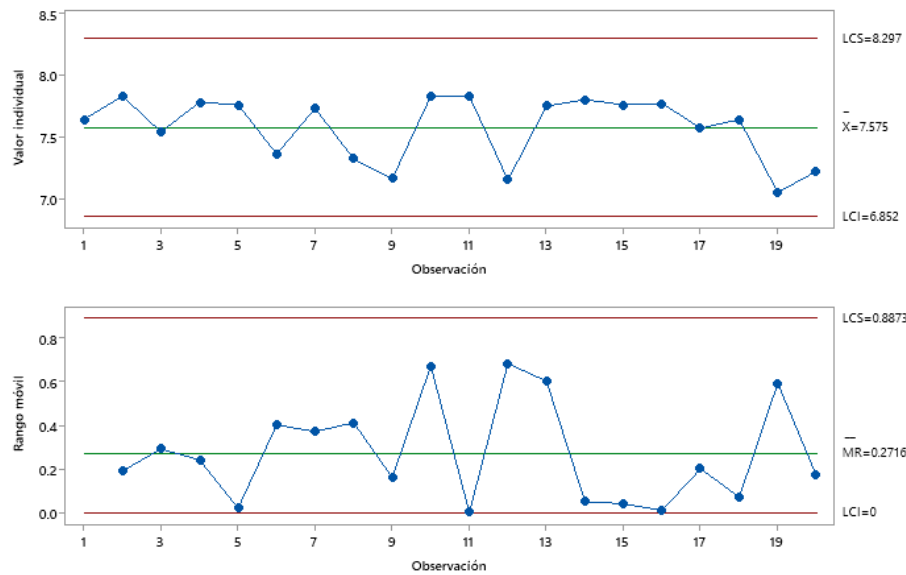


Gráfico 4. Gráfico de control para pH de la marca Bonafont

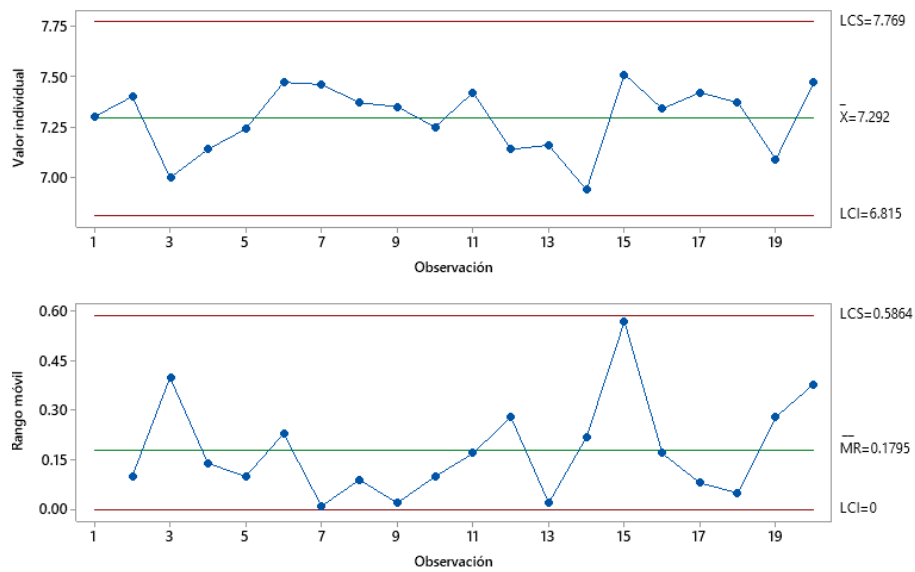


Gráfico 5. Gráfico de control para pH de la marca Pascual

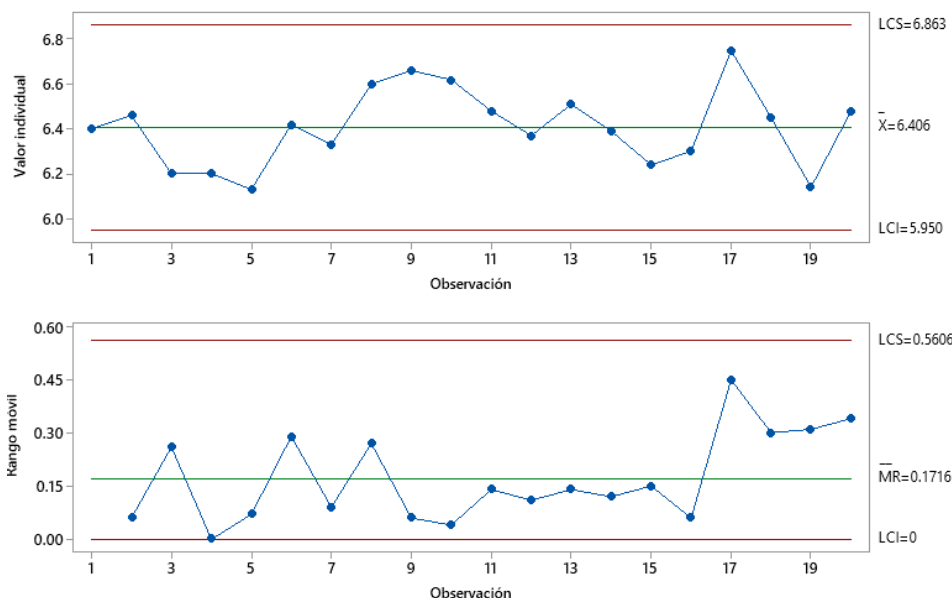


Gráfico 6. Gráfico de control para pH de la marca Ciel

Conductividad

El siguiente parámetro evaluado corresponde a la conductividad, los resultados se encuentran en la tabla 4.

Tabla 4. Resultados de conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) para todas las marcas evaluadas.

No.	LOTE AGUAM	Aguam	LOTE Bonafont	Bonafont	LOTE PASCUAL	Pascual	LOTE Ciel	Ciel
1	07102025	443	L058	680	L1137329	203	686RE	87
2	08102025	441	L245	340	L1136096	223	709LT	180
3	09102025	437	L200	709	L1131974	221	717RFL	272
4	13102025	445	L227	422	L1131975	293	717RPL	271
5	10102015	443	L261	295	L1138264	195	717RI	266
6	15102025	627	L137	416	L1136095	195	687RE	99
7	16102025	592	L246	270	L1138270	191	679RE	164
8	20102025	564	L205	380	L1138273	199	717RE	332
9	21102025	474	L257	375	L1138785	168	717RPI	273
10	22102025	449	L249	279	L1138265	192	678RE	171
11	27102025	433	L235	297	L1138786	174	677RE	155
12	28102025	598	L017	294	L1139182	176	718RPL	263
13	29102025	443	L228	285	L1139185	173	676RE	159
14	30102025	465	L247	276	L1139401	168	716RPL	271
15	03112025	424	L229	287	L1139402	168	718RI	254
16	04112025	406	L248	274	L1139531	168	718RPI	270
17	05112025	409	L233	280	L1139781	171	677RE	168
18	06112025	395	L234	289	L1140310	174	719RPI	249
19	10112025	389	L277	373	L1191305	169	719RPL	251
20	11112025	387	L279	372	L1131904	172	687RE	98

Los resultados del análisis de varianza para la conductividad (Tabla 3) muestran un valor de $F = 49.55$ y un valor de $p = 0.000$, lo que indica la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre al menos dos de las marcas evaluadas. En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medias. En cuanto a los valores promedio, Aguam presentó la media más alta de conductividad ($463.2 \mu\text{S/cm}$), seguida de Bonafont ($359.6 \mu\text{S/cm}$). Ciel mostró un valor intermedio ($212.7 \mu\text{S/cm}$), mientras que Pascual registró la media más baja ($189.65 \mu\text{S/cm}$), evidenciando variaciones en el contenido de sales disueltas entre las marcas analizadas.

El Gráfico 7 presenta los intervalos de confianza simultáneos de Tukey para las comparaciones por pares entre los diferentes factores. Se observa que varios intervalos no cruzan la línea de referencia en cero, lo que indica diferencias estadísticamente significativas entre esos pares. Aguam muestra diferencias significativas con Pascual y Ciel, así como Bonafont con Pascual. Por otro lado, la comparación entre Ciel y Pascual presenta un intervalo que cruza el cero, lo que sugiere que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre estos dos grupos.

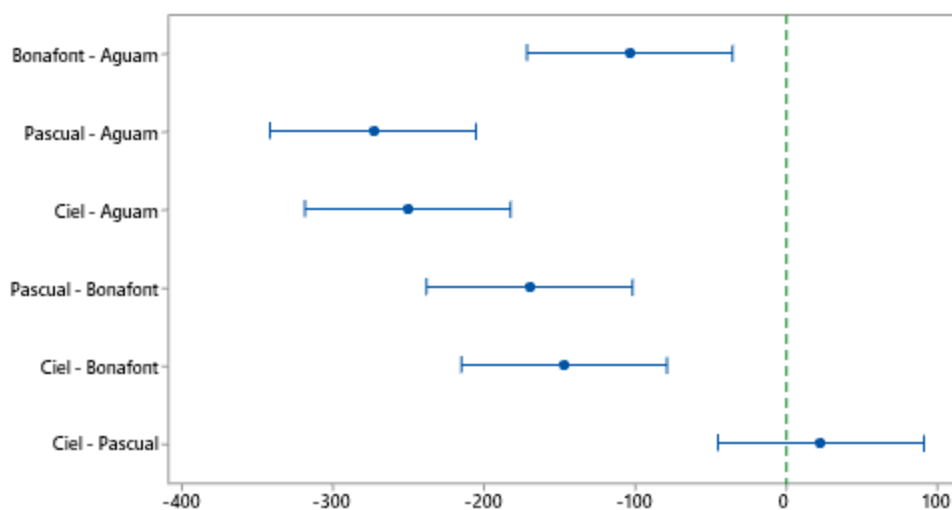


Gráfico 7. intervalos de confianza simultáneos de Tukey (95%) de conductividad

El Gráfico 8 muestra la distribución de los datos de conductividad mediante diagramas de caja para cada factor. Se observa que Aguam presenta los valores más altos y una dispersión moderada, además de algunos valores atípicos. Bonafont muestra una variabilidad más grande, mientras que Pascual presenta la distribución más compacta y valores más bajos de conductividad, sin embargo, ambos tienen valores atípicos. Ciel muestra una dispersión intermedia con algunos valores extremos. Pascual y Ciel tienen cajas ligeramente traslapadas, lo que explicaría la prueba de Tukey que sugiere que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre estos dos grupos.

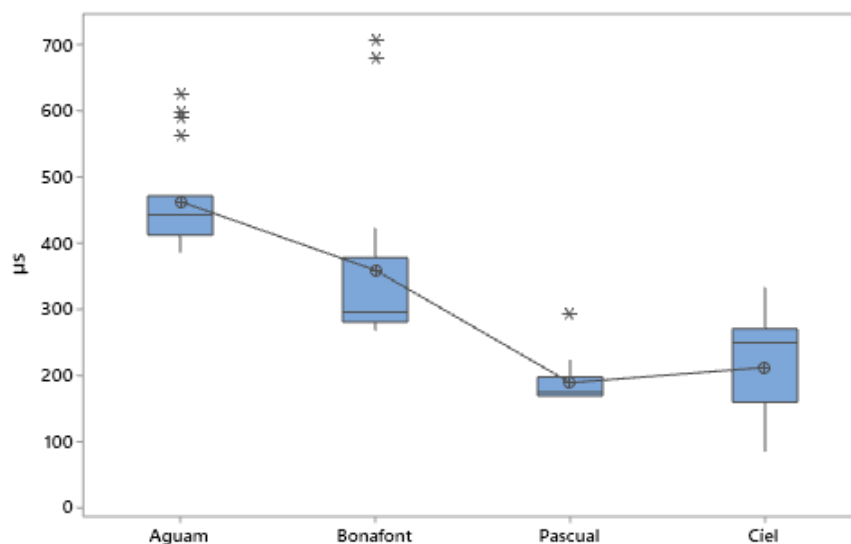


Gráfico 8. Gráfica de cajas de conductividad

Como se mencionó anteriormente, la conductividad eléctrica es un parámetro fisicoquímico que refleja la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica, la cual depende directamente de la concentración de iones disueltos, como calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), sodio (Na^+), cloruros (Cl^-), sulfatos (SO_4^{2-}) y bicarbonatos (HCO_3^-). Por lo tanto, valores más altos de conductividad indican una mayor concentración de sólidos disueltos totales (STD) y en consecuencia, un mayor contenido mineral (Belessiotis & Delyannis, 2016).

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (2017), aunque la conductividad no representa por sí misma un riesgo directo para la salud, sí constituye un indicador importante de la calidad fisicoquímica del agua y puede influir en sus características organolépticas, particularmente en el sabor. Valores elevados pueden conferir un sabor más mineralizado o ligeramente salino, mientras que valores bajos suelen asociarse con aguas más ligeras y de sabor neutro.

De acuerdo con los resultados, Aguam presentó la conductividad más alta ($463.2 \mu\text{S}/\text{cm}$), lo que sugiere un mayor contenido de minerales disueltos en comparación con las demás marcas. Pascual y Ciel mostraron valores significativamente menores, lo que indica un menor grado de mineralización. Visto desde el ámbito de la calidad, un valor alto no implica necesariamente menor seguridad para su consumo, sin embargo, puede asociarse con mayor dureza del agua y potencial formación de incrustaciones en equipos o envases, además de modificar las características sensoriales. Por otro lado, valores demasiado bajos pueden indicar procesos de purificación más intensivos.

La ausencia de diferencias significativas entre Ciel y Pascual, evidenciada en la prueba de Tukey y respaldada por el traslape en los diagramas de caja, sugiere que ambas marcas presentan un nivel de mineralización comparable, lo que podría traducirse en perfiles sensoriales similares y equivalencia en propiedades como la dureza o el sabor.

Graficos de control de conductividad

Los resultados de la gráfica de control de valores individuales (Gráfico 9) para la conductividad de la marca Aguam indican la presencia de causas especiales de variación. En la Prueba 1, se identificaron los puntos 6, 7 y 12 fuera de los límites de control, al

encontrarse más allá de tres desviaciones estándar de la línea central, lo que constituye una señal clara de comportamiento anómalo del proceso en dichos lotes. La Prueba 5 señala que los puntos 7 y 8 presentan un patrón en el cual dos de tres observaciones consecutivas se encuentran a más de dos desviaciones estándar de la línea central y del mismo lado, lo que sugiere un incremento sostenido en la conductividad. También, la Prueba 6 muestra que los puntos 18, 19 y 20 forman parte de una secuencia en la que cuatro de cinco observaciones consecutivas se ubican a más de una desviación estándar por encima de la línea central, indicando un posible desplazamiento del proceso hacia valores más bajos de conductividad. En conjunto todos estos resultados muestran que el proceso no se mantiene bajo control estadístico en la gráfica I, reflejando variaciones no atribuibles únicamente a causas comunes.

En la gráfica de control de rango móvil MR (Gráfico 9), la Prueba 1 identifica los puntos 6, 12 y 13 como valores que exceden el límite superior de control, al encontrarse más allá de tres desviaciones estándar de la línea central. Esto señala incrementos abruptos en la diferencia de conductividad entre lotes consecutivos, lo cual indica cambios repentinos en la variabilidad del proceso.

La presencia de puntos fuera de control en las gráficas I y MR de conductividad para la marca Aguam sugiere la existencia de causas especiales, estas desviaciones podrían atribuirse a desgaste de filtros o fluctuaciones en la operación de la ósmosis inversa o también ajustes operativos. Además, el muestreo podría haber influido en incrementos de la conductividad. Los resultados indican la necesidad de un monitoreo del proceso para identificar y controlar las fuentes específicas de variación anormal.

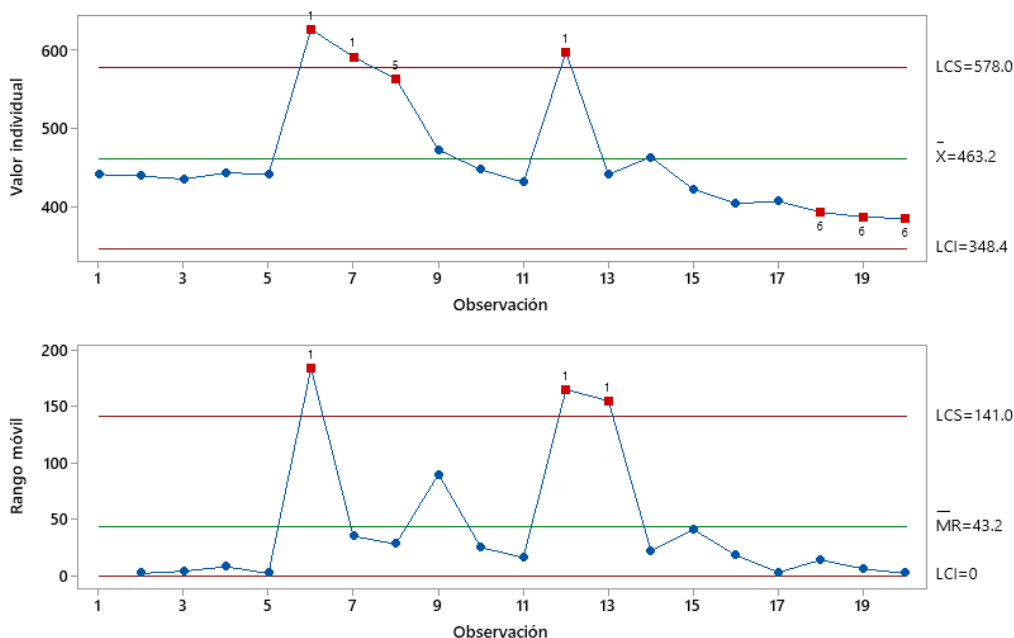


Gráfico 9. Gráfico de control para conductividad de la marca Aguam

La gráfica de control de valores individuales (Gráfico 10) identificó en la Prueba 1, que los puntos 1 y 3 se encuentran fuera de los límites de control, al superar tres desviaciones estándar de la línea central. La Prueba 2 mostró un patrón de nueve puntos consecutivos

en el mismo lado de la línea central, observado hasta el punto 18, lo que sugiere un desplazamiento sostenido del proceso. Adicionalmente, la Prueba 5 indicó que el punto 3 forma parte de un patrón donde dos de tres observaciones consecutivas se encuentran a más de dos desviaciones estándar del mismo lado de la línea central.

En la gráfica de rango móvil (Gráfico 10) de la conductividad para la marca Bonafont también se detectan señales de inestabilidad. La Prueba 1 señaló los puntos 2 y 3 como valores fuera de control, indicando incrementos en la variabilidad entre lotes consecutivos. La Prueba 2 identificó la presencia de nueve puntos consecutivos del mismo lado de la línea central, observados en los puntos 19 y 20, lo que sugiere un cambio sostenido en el patrón de variabilidad del proceso. Estos resultados confirman la existencia de causas especiales que afectan la consistencia de la conductividad entre lotes.

Los resultados obtenidos en los gráficos de control I-MR indican que el proceso de producción de la marca Bonafont no se encuentra completamente bajo control estadístico en términos de conductividad. La presencia de puntos fuera de los límites de control y patrones sistemáticos, como la secuencia de observaciones consecutivas en un mismo lado de la línea central, sugieren la existencia de causas especiales de variación, distintas a la variabilidad natural del proceso. Estas señales pueden estar asociadas a cambios en la fuente de abastecimiento, ajustes en el tratamiento del agua o variaciones en la dosificación de minerales durante el proceso de purificación.

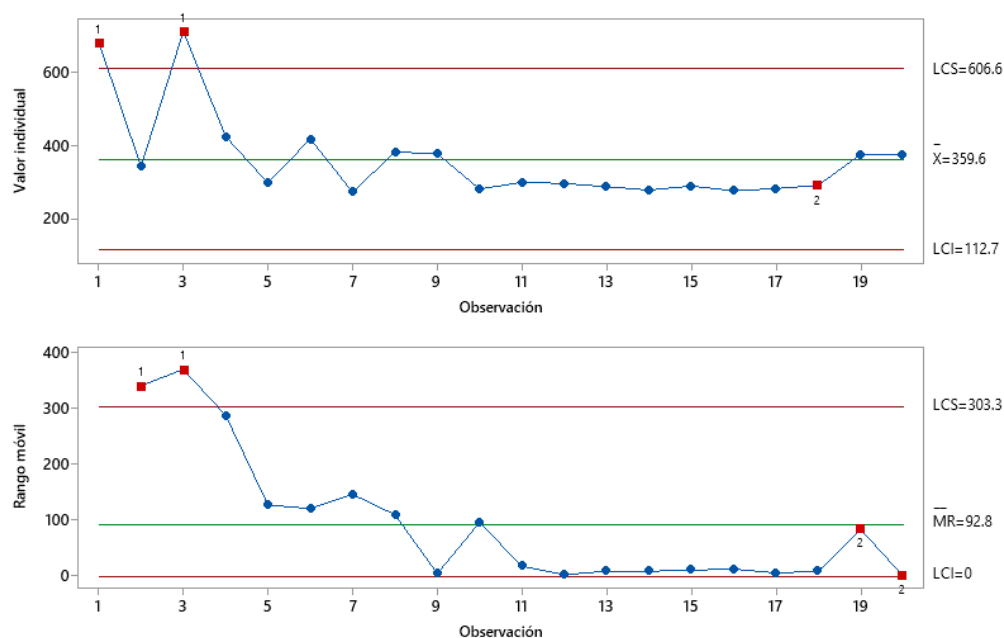


Gráfico 10. Gráfico de control para conductividad de la marca Bonafont

La gráfica de control de valores individuales (Gráfico 11) muestra la presencia de causas especiales de variación, la Prueba 1 identificó el punto 4 fuera de los límites de control al superar tres desviaciones estándar de la línea central, la Prueba 2 detectó un patrón de nueve puntos consecutivos en el mismo lado de la línea central, observado en los puntos 19 y 20, lo que sugiere un desplazamiento del proceso cerca del límite inferior. La Prueba 5 indicó que los puntos 3 y 4 forman parte de un patrón donde dos de tres observaciones consecutivas se encuentran a más de dos desviaciones estándar del mismo lado de la línea

central. La Prueba 6 mostró que los puntos 15 a 20 conforman una secuencia de cuatro de cinco observaciones por encima de una desviación estándar de la línea central, mientras que la Prueba 8 identificó la presencia de ocho puntos consecutivos a más de una desviación estándar respecto a la línea central.

En la gráfica de control de rango móvil (Gráfico 11), la Prueba 1 identificó los puntos 4 y 5 fuera de los límites de control, lo que indica incrementos en la variabilidad entre lotes consecutivos. La Prueba 2 detectó un patrón de nueve puntos consecutivos en el mismo lado de la línea central, observado hasta el punto 20, lo que sugiere un cambio sostenido en la variabilidad del proceso. Gracias a estos resultados se observa que hay causas especiales que afectan la estabilidad del proceso afectando la consistencia de la variabilidad.

Los resultados observados en los gráficos de control I-MR evidencian que el proceso asociado a esta marca presenta una clara falta de estabilidad estadística. La presencia de múltiples pruebas activadas, incluyendo puntos fuera de los límites de control y patrones prolongados por encima o por debajo de la línea central, indica la existencia de causas especiales de variación y no únicamente fluctuaciones aleatorias propias del proceso. El desplazamiento sostenido hacia el límite inferior y los incrementos en el rango móvil pueden deberse a posibles cambios en las condiciones de operación.

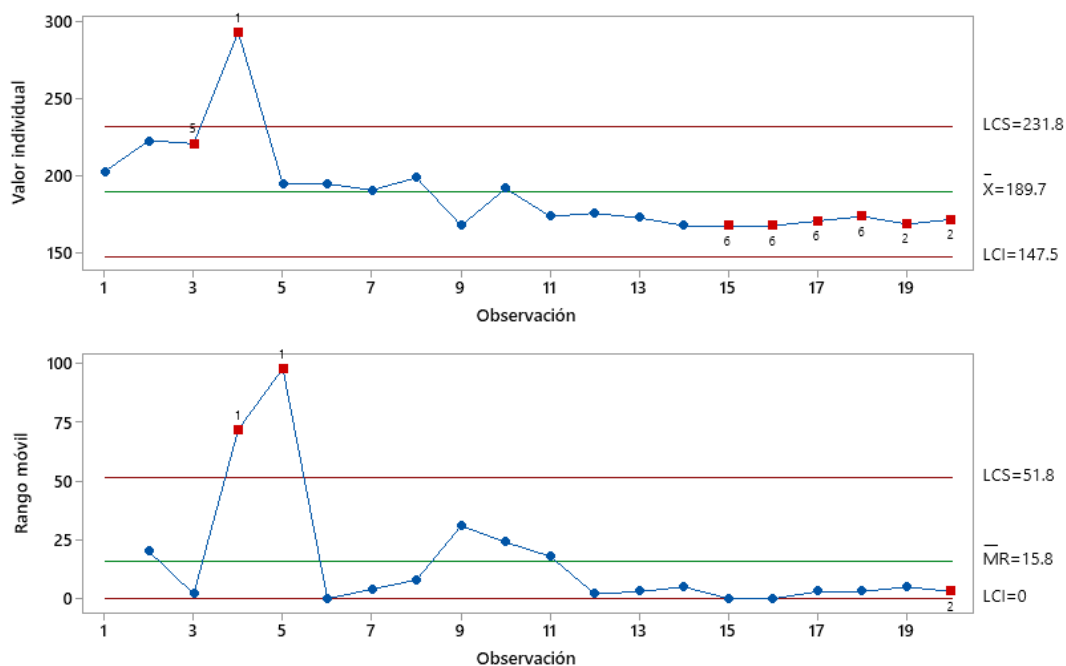


Gráfico 11. Gráfico de control para conductividad de la marca Pascual

El gráfico de control I-MR (Gráfico 12) para la conductividad de la marca Ciel muestra que todos los valores individuales se mantienen dentro de los límites de control. No se observan puntos fuera de los límites ni patrones no aleatorios, como tendencias o desplazamientos del proceso, lo que indica que el nivel de conductividad se mantiene estable a lo largo de los lotes analizados. La gráfica de rango móvil no presenta valores fuera de control, lo que evidencia que la variabilidad entre lotes consecutivos es consistente.

La estabilidad observada tanto en los valores individuales como en el rango móvil refleja que la conductividad se mantiene consistente entre lotes consecutivos, lo que sugiere un proceso de tratamiento y envasado bien estandarizado. Desde el punto de vista del control de calidad, esta estabilidad implica una adecuada uniformidad en el contenido de sales disueltas, garantizando consistencia en las características fisicoquímicas del producto final.

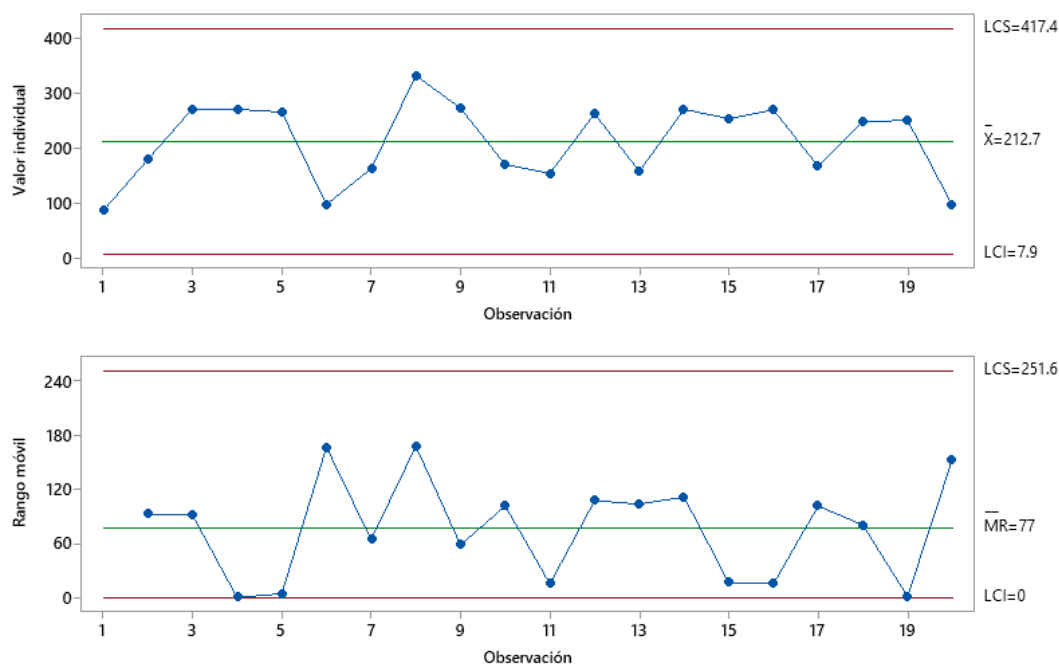


Gráfico 12. Gráfico de control para conductividad de la marca Ciel

El caso de Ciel resulta interesante desde el punto de vista fisicoquímico: presenta la conductividad más baja (212.7 $\mu\text{S}/\text{cm}$), indicando una concentración mínima de sales disueltas, pero simultáneamente exhibe el pH más ácido (6.4), siendo que el nivel bajo de pH este asociado con un incremento en su potencial corrosivos, por lo tanto, debería tener una concentración iónica más elevado. Esta aparente contradicción se podría deber a la baja capacidad amortiguadora del agua con escaso contenido iónico (Belessiotis & Delyannis, 2016). Al carecer de suficientes iones que estabilicen el pH, el agua purificada es susceptible de absorber dióxido de carbono atmosférico, formando ácido carbónico y reduciendo su pH hasta valores cercanos a 6.2 (Atlas Scientific, 2023). Así, el pH ácido de Ciel no refleja necesariamente una mayor concentración de iones ácidos, sino la vulnerabilidad de un agua altamente purificada frente a la contaminación gaseosa ambiental, lo que explica simultáneamente su baja conductividad y su pH fuera de norma. Cabe señalar que este fenómeno de acidificación por CO_2 es particularmente pronunciado en aguas de baja mineralización, ya que la presencia de iones como calcio y magnesio contribuye a amortiguar las variaciones de pH (Lennotech, s.f.).

Sólidos totales Disueltos (STD)

Como siguiente parámetro evaluado, están los sólidos totales disueltos, la tabla 5 muestra los resultados para cada marca de agua.

Tabla 5. Resultados de STD (ppm) para todas las marcas evaluadas.

No.	LOTE AGUAM	Aguam	LOTE Bonafont	Bonafont	LOTE PASCUAL	Pascual	LOTE Ciel	Ciel
1	07102025	220	L058	340	L1137329	88	686RE	42
2	08102025	218	L245	180	L1136096	101	709LT	91
3	09102025	219	L200	270	L1131974	109	717RFL	137
4	13102025	224	L227	199	L1131975	146	717RPL	136
5	10102015	222	L261	148	L1138264	96	717RI	130
6	15102025	217	L137	208	L1136095	97	687RE	50
7	16102025	237	L246	136	L1138270	95	679RE	80
8	20102025	216	L205	191	L1138273	99	717RE	166
9	21102025	227	L257	188	L1138785	86	717RPI	134
10	22102025	202	L249	137	L1138265	96	678RE	87
11	27102025	209	L235	123	L1138786	88	677RE	78
12	28102025	222	L017	120	L1139182	88	718RPL	132
13	29102025	217	L228	125	L1139185	87	676RE	80
14	30102025	235	L247	118	L1139401	84	716RPL	134
15	03112025	212	L229	144	L1139402	84	718RI	127
16	04112025	224	L248	137	L1139531	84	718RPI	135
17	05112025	217	L233	140	L1139781	85	677RE	84
18	06112025	206	L234	144	L1140310	87	719RPI	125
19	10112025	218	L277	174	L1191305	85	719RPL	125
20	11112025	214	L279	174	L1131904	85	687RE	49

La Tabla 3 presenta los resultados del análisis de varianza para los sólidos totales disueltos (STD). El valor de F obtenido (59.63) y el valor de $p=0.000$ indican que existen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos evaluados.

El Gráfico 13 muestra la prueba de Tukey para las comparaciones por pares entre los diferentes factores. Se observa que la mayoría de los intervalos no cruzan la línea de referencia en cero, lo que indica diferencias estadísticamente significativas entre varios pares de muestras. En particular, Aguam presenta diferencias significativas con Pascual y Ciel, así como Bonafont con Pascual. Sin embargo, la comparación entre Ciel y Pascual presenta un intervalo que cruza el cero, lo que sugiere que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre estos dos grupos, similar a lo ocurrido en el gráfico 7.

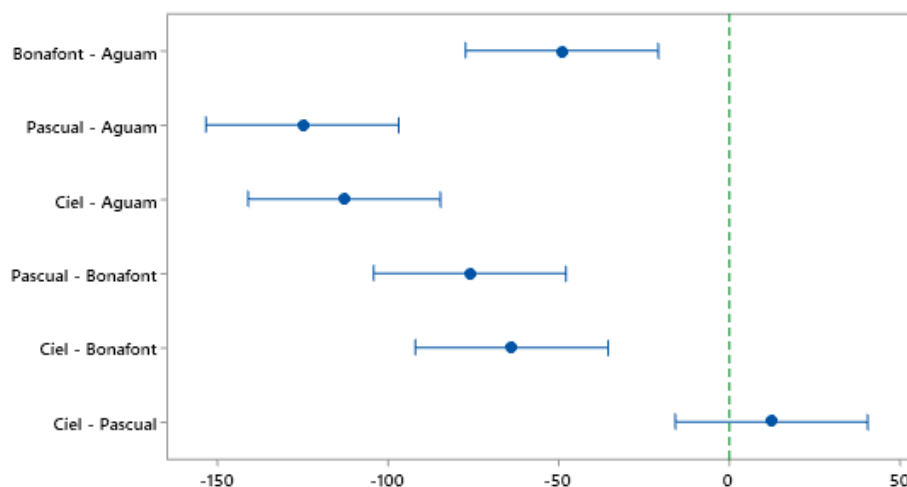


Gráfico 13. Intervalos de confianza simultáneos de Tukey (95%) de STD

En el gráfico 14 se observa que Aguam posee la mediana más alta, con una caja estrecha y bigotes cortos, lo que indica una concentración elevada y consistente de sólidos totales disueltos (STD). Bonafont presenta una mediana intermedia, pero con una caja más amplia, bigotes extendidos y valores atípicos, reflejando una mayor variabilidad y dispersión en sus valores. Pascual muestra la mediana más baja de todas, con una caja muy compacta y bigotes muy cortos, lo que sugiere una baja concentración de STD y una uniformidad notable entre lotes, aunque con dos valores atípicos identificables. Por último, Ciel presenta una caja de tamaño intermedio, pero con bigotes largos, lo que indica una dispersión significativa en algunos lotes y cierta inconsistencia en su contenido mineral, sin embargo, muestra la concentración de STD más baja.

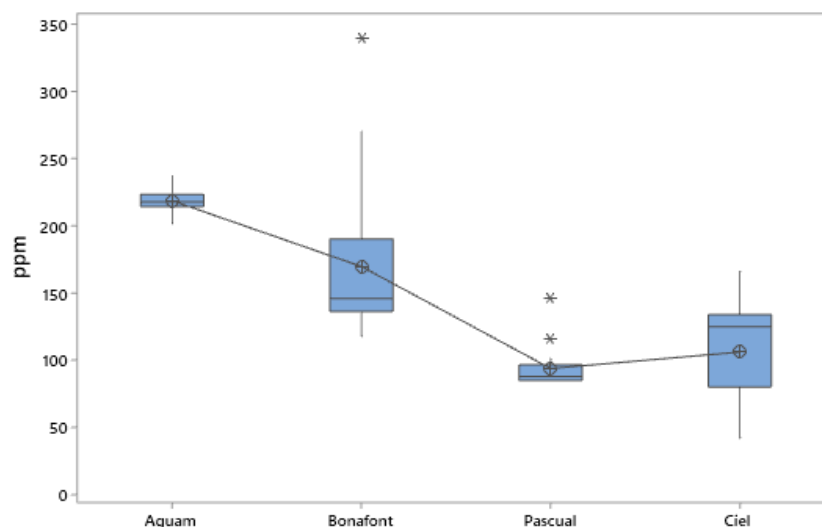


Gráfico 14. Gráfica de cajas de STD

El análisis de los resultados muestra una relación estrecha entre los valores de Sólidos Totales Disueltos (STD) y conductividad eléctrica en todas las marcas de agua analizadas, lo cual es consistente con la naturaleza fisicoquímica de ambos parámetros. La conductividad eléctrica mide directamente la capacidad del agua para conducir corriente, la cual depende de la presencia, concentración y movilidad de iones disueltos como Na^+ , Cl^- , Ca^{2+} y Mg^{2+} (Belessiotis & Delyannis, 2016). Por su parte, los STD representan la cantidad total de sustancias disueltas en el agua, incluyendo principalmente sales minerales. Debido a que la mayor parte de los sólidos disueltos en agua purificada corresponde a compuestos iónicos, existe una relación proporcional entre ambos parámetros, por lo que un incremento en la concentración de STD generalmente se traduce en un aumento de la conductividad eléctrica.

Por lo que los resultados obtenidos son coherentes con lo observado previamente en la conductividad de las marcas analizadas. Aquellas muestras que presentaron valores más altos de conductividad también mostraron mayores concentraciones de STD, lo que sugiere una mayor presencia de sales minerales disueltas. Por el contrario, las muestras con conductividad más baja presentaron menores valores de STD, indicando un menor grado de mineralización del agua. Este comportamiento explica el caso de Ciel, que al presentar

una baja conductividad también refleja una menor concentración de sólidos disueltos, lo cual coincide con la alta purificación del agua y su baja carga iónica.

Además, un contenido reducido de sólidos disueltos implica una menor capacidad amortiguadora del agua frente a cambios en el pH. Como se discutió anteriormente, el agua con baja mineralización puede absorber dióxido de carbono atmosférico con mayor facilidad, formando ácido carbónico y generando una disminución del pH. De esta manera, los resultados de STD no sólo respaldan las diferencias observadas en conductividad, sino que también ayudan a explicar el comportamiento del pH en aguas altamente purificadas, donde la escasa presencia de iones limita la estabilidad química del sistema.

Para ambos parámetros (Conductividad y STD), todas las marcas analizadas se encuentran dentro de los límites establecidos por la NOM-127-SSA1-2021 (0-1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 50-1000 ppm respectivamente).

Gráficos de control de sólidos totales disueltos (STD)

El gráfico de control I-MR (gráfico 15) correspondiente a los sólidos totales disueltos (STD) de la marca Aguam muestra que todos los valores analizados se mantienen dentro de los límites de control establecidos. No se identifican señales de inestabilidad como tendencias, corridas prolongadas o patrones no aleatorios en los datos. La ausencia de puntos fuera de control y de activación de pruebas estadísticas indica que las variaciones observadas entre los lotes se deben únicamente a causas comunes en el proceso.

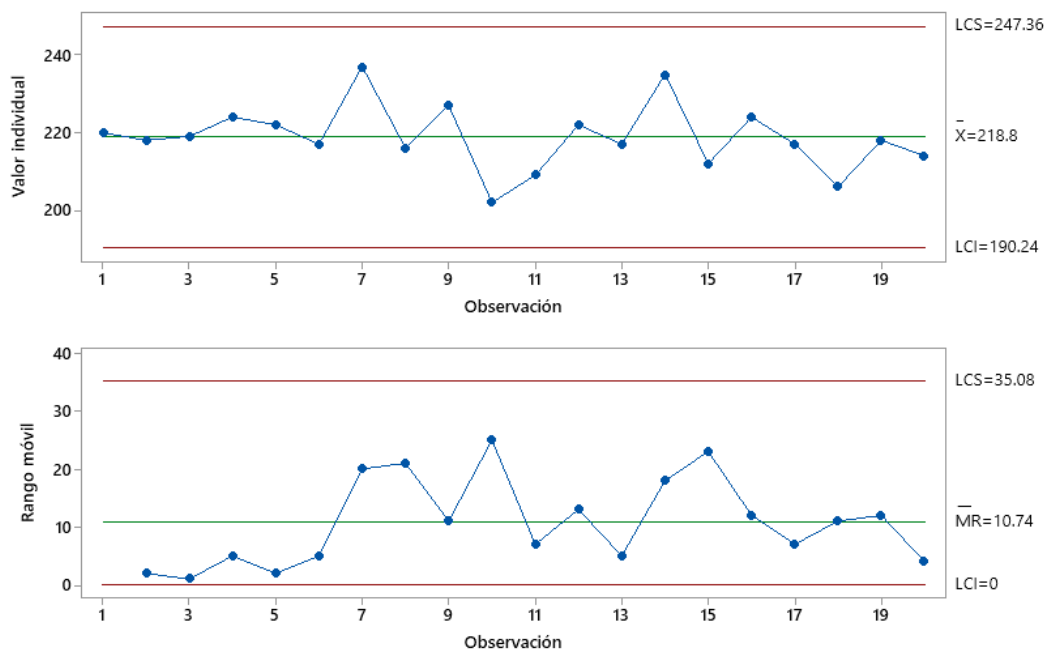


Gráfico 15. Gráfico de control para STD de la marca Aguam

El gráfico 16 de control de valores individuales (I) para los sólidos totales disueltos (STD) de la marca Bonafont muestra señales de causas especiales de variación. La Prueba 1 identificó los puntos 1 y 3 fuera de los límites de control al superar tres desviaciones estándar de la línea central. La Prueba 2 detectó nueve puntos consecutivos en el mismo

lado de la línea central hasta el punto 18, lo que sugiere un desplazamiento del proceso, la Prueba 5 señaló el punto 3 como parte de un patrón donde dos de tres observaciones superan dos desviaciones estándar, mientras que la Prueba 6 indicó que el punto 14 forma parte de una secuencia donde cuatro de cinco observaciones se encuentran a más de una desviación estándar del mismo lado de la línea central.

En la gráfica de rango móvil (MR) también se observan señales de variación no aleatoria. La Prueba 1 identificó el punto 2 fuera del límite superior de control, lo que indica un cambio abrupto entre lotes consecutivos. Además, la Prueba 2 detectó nueve puntos consecutivos en el mismo lado de la línea central, evidenciado en los puntos 19 y 20, lo que sugiere un cambio sostenido en la variabilidad del proceso. Estos resultados indican la presencia de causas especiales que afectan la estabilidad del parámetro analizado.

Las señales de inestabilidad observadas en las gráficas de control de STD para la marca Bonafont pueden interpretarse de manera similar a lo observado en sus gráficos de control de conductividad, parámetros que se encuentran estrechamente relacionados debido a que ambos dependen de la concentración de sales disueltas presentes en el agua. Estas variaciones podrían estar asociadas a cambios en la fuente de abastecimiento, ajustes en el tratamiento del agua o variaciones en la dosificación de minerales durante el proceso de purificación, factores que ya se habían señalado previamente para explicar el comportamiento observado en la conductividad.

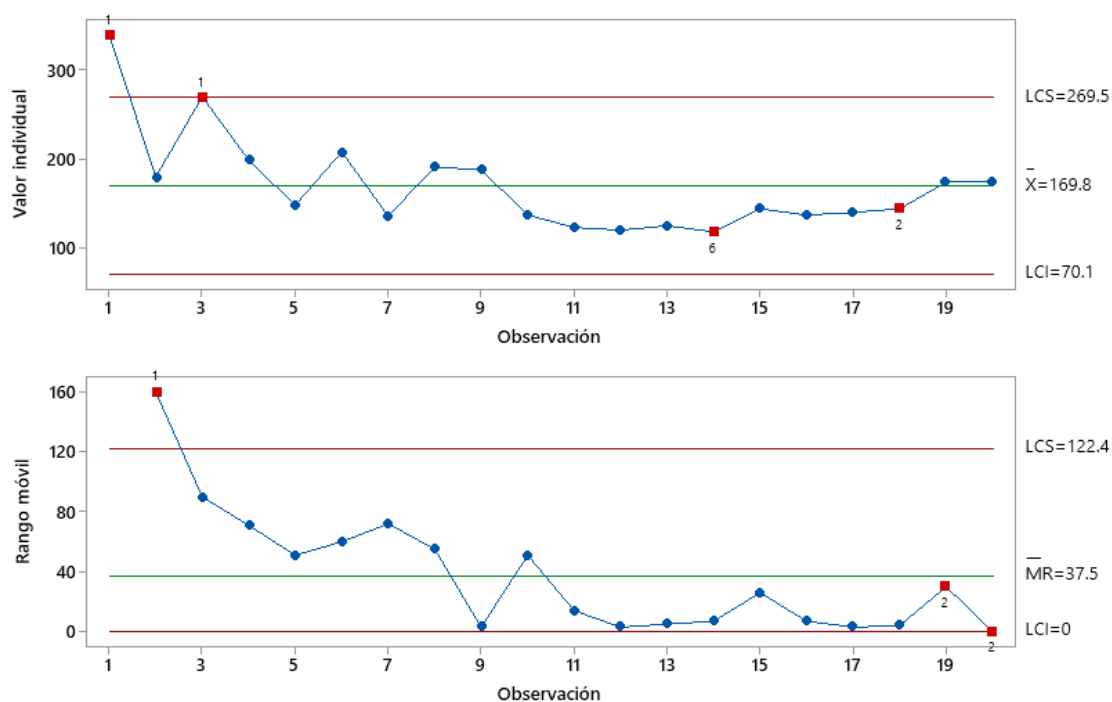


Gráfico 16. Gráfico de control para STD de la marca Bonafont

La gráfica de control de valores individuales (I) para los sólidos totales disueltos (STD) de la marca Pascual (Gráfico 17) muestra señales de causas especiales de variación. La Prueba 1 identificó el punto 4 fuera de los límites de control al superar tres desviaciones estándar de la línea central. La Prueba 2 detectó nueve puntos consecutivos en el mismo lado de la línea central, observados en los puntos 19 y 20, lo que sugiere un desplazamiento

del proceso. Además, la Prueba 5 indicó que el punto 4 forma parte de un patrón donde dos de tres observaciones consecutivas se encuentran a más de dos desviaciones estándar del mismo lado de la línea central, mientras que la Prueba 6 mostró que los puntos 17, 19 y 20 participan en una secuencia donde cuatro de cinco observaciones se ubican a más de una desviación estándar del mismo lado de la línea central.

En la gráfica de rango móvil (MR) se observa que la Prueba 1 identificó los puntos 4 y 5 fuera del límite superior de control, lo que indica cambios abruptos en la variabilidad entre lotes consecutivos. También, la Prueba 2 detectó nueve puntos consecutivos en el mismo lado de la línea central, observados en los puntos 19 y 20, lo que sugiere un cambio sostenido en la variabilidad del proceso.

Los resultados obtenidos en los gráficos de control I-MR para los sólidos totales disueltos en la marca Pascual muestran un comportamiento similar al observado previamente en el análisis de conductividad para esta misma marca. La activación de diversas pruebas, incluyendo puntos fuera de los límites de control y patrones prolongados en un mismo lado de la línea central, sugiere que el proceso no se mantiene bajo control estadístico y que las variaciones observadas no se deben únicamente a fluctuaciones aleatorias. Este comportamiento refuerza la presencia de causas especiales de variación, posiblemente asociadas a cambios en las condiciones de operación.

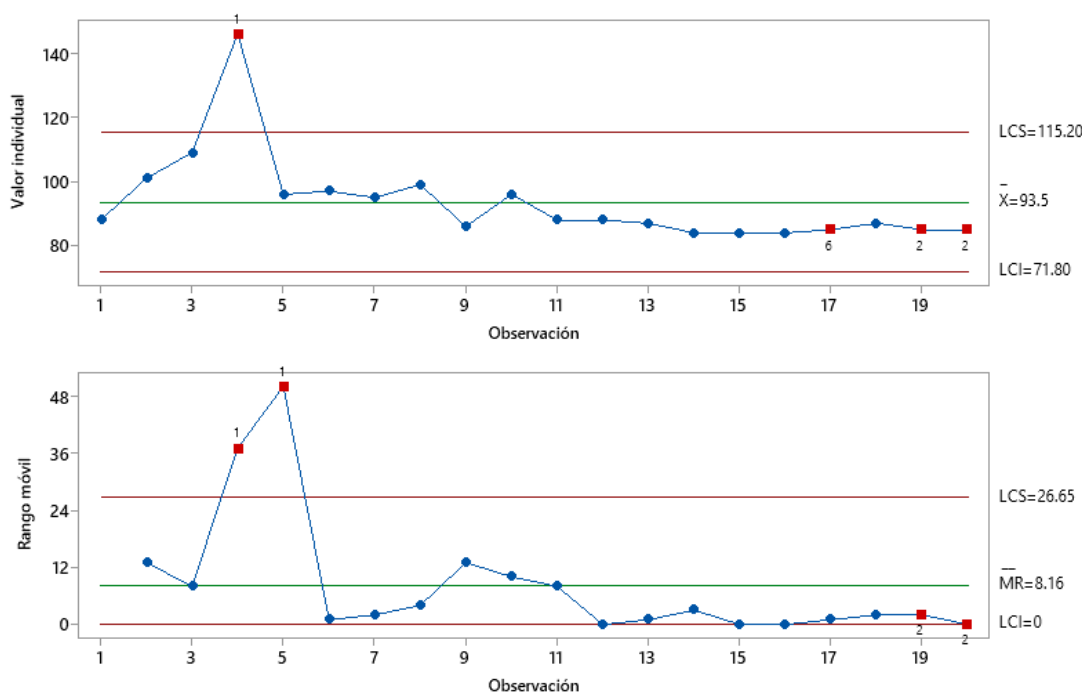
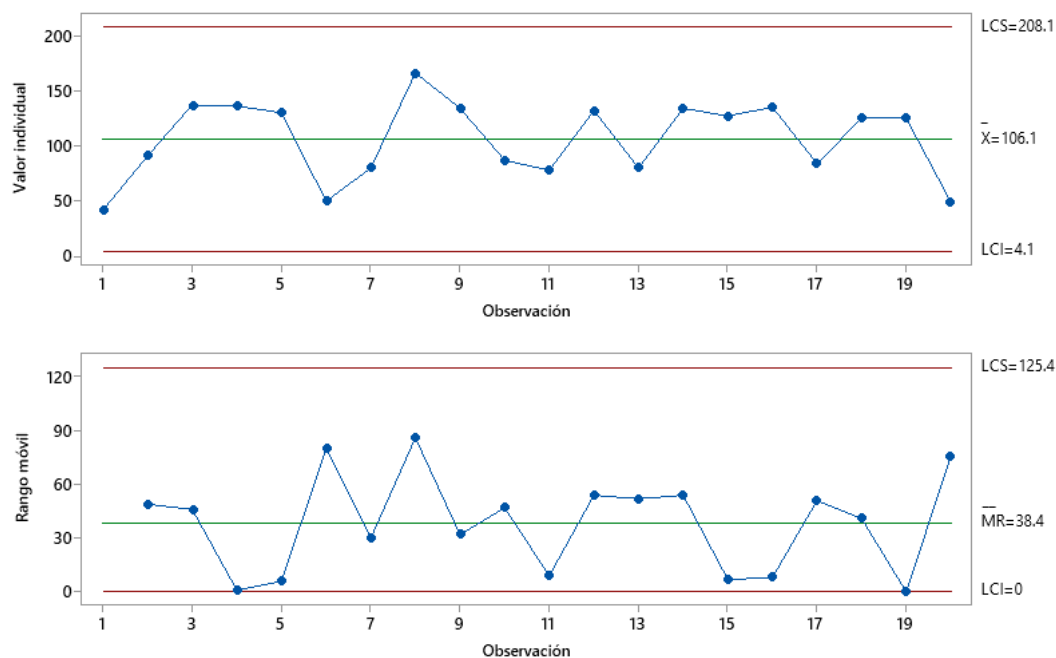


Gráfico 17. Gráfico de control para STD de la marca Pascual.

En el caso de la marca Ciel, los gráficos de control I-MR para los sólidos totales disueltos (Gráfico 18) no muestran señales que indiquen que el proceso se encuentre fuera de control estadístico. Todos los valores analizados se mantienen dentro de los límites de control y no se activaron pruebas que evidencien patrones no aleatorios, tendencias o corridas prolongadas en un mismo lado de la línea central. Este comportamiento es similar al observado en la marca Aguam, la cual tampoco presentó puntos fuera de control para este parámetro. En ambos casos, la variabilidad observada entre los lotes se atribuye a causas

comunes del proceso, lo que indica un comportamiento estable y consistente durante el periodo evaluado.



Dureza

Posteriormente se evaluó el parámetro de dureza, cuyos resultados se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Resultados de dureza (mg/L de CaCO_3) para todas las marcas evaluadas.

No.	LOTE AGUAM	Aguam	LOTE Bonafont	Bonafont	LOTE PASCUAL	Pascual	LOTE Ciel	Ciel
1	07102025	0.0	L058	153.9	L1137329	17.1	686RE	34.2
2	08102025	0.0	L245	85.5	L1136096	17.1	709LT	51.3
3	09102025	0.0	L200	153.9	L1131974	17.1	717RFL	119.7
4	13102025	0.0	L227	102.6	L1131975	17.1	717RPL	119.7
5	10102015	0.0	L261	102.6	L1138264	17.1	717RI	85.5
6	15102025	17.1	L137	153.9	L1136095	34.2	687RE	34.2
7	16102025	0.0	L246	102.6	L1138270	34.2	679RE	34.2
8	20102025	0.0	L205	153.9	L1138273	34.2	717RE	102.6
9	21102025	0.0	L257	171.0	L1138785	17.1	717RPI	102.6
10	22102025	17.1	L249	102.6	L1138265	34.2	678RE	17.1
11	27102025	0.0	L235	119.7	L1138786	34.2	677RE	34.2
12	28102025	17.1	L017	34.2	L1139182	34.2	718RPL	68.4
13	29102025	0.0	L228	102.6	L1139185	17.1	676RE	34.2
14	30102025	0.0	L247	102.6	L1139401	17.1	716RPL	102.6
15	03112025	0.0	L229	102.6	L1139402	17.1	718RI	119.7
16	04112025	0.0	L248	102.6	L1139531	17.1	718RPI	85.5
17	05112025	0.0	L233	119.7	L1139781	17.1	677RE	34.2

18	06112025	0.0	L234	102.6	L1140310	17.1	719RPI	85.5
19	10112025	0.0	L277	136.8	L1191305	17.1	719RPL	119.7
20	11112025	0.0	L279	136.8	L1131904	17.1	687RE	51.3

El análisis de varianza (Tabla 3) realizado para la dureza del agua, expresada como concentración de CaCO_3 , mostró diferencias estadísticamente significativas entre las marcas evaluadas ($F = 88.10$, $p = 0.000$). Este resultado indica que no todas las marcas presentan la misma dureza promedio. Al analizar las medias, se observa que Aguam presenta la menor dureza (2.57), seguida de Pascual (22.23), mientras que Ciel y Bonafont muestran valores progresivamente mayores (71.82 y 117.14), siendo esta última la marca con la mayor concentración de CaCO_3 .

El gráfico 19 para la dureza del agua (CaCO_3) indica que existen diferencias estadísticamente significativas entre la mayoría de las parejas de marcas, dado que sus intervalos de confianza no incluyen el valor cero. Sin embargo, la comparación entre Pascual y Aguam presenta un intervalo que cruza el cero, lo que indica que no existe una diferencia significativa en la dureza entre estas dos marcas. En el resto de las comparaciones se observan diferencias significativas, destacando a Bonafont como la marca con mayor dureza y a Aguam como una de las marcas con menor concentración de CaCO_3 .

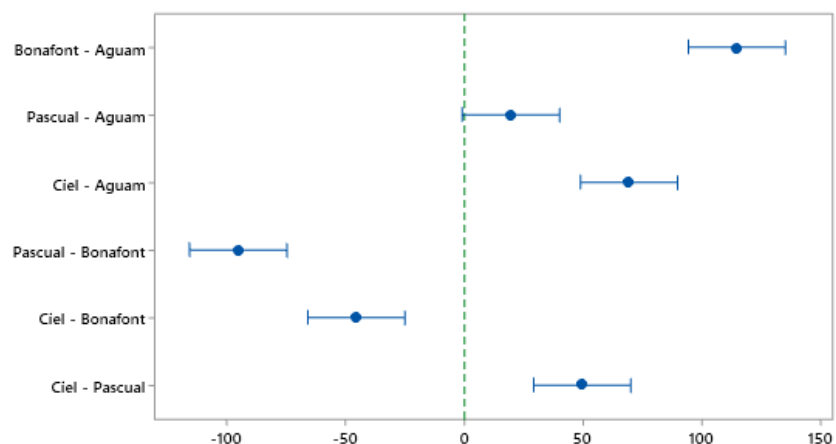


Gráfico 19. Intervalos de confianza simultáneos de Tukey (95%) de dureza

La gráfica 20 correspondiente a la dureza del agua muestra diferencias claras en la concentración de CaCO_3 entre las marcas analizadas. Aguam presenta valores muy bajos y una dispersión reducida, indicando que el agua es muy blanda, aunque con algunos valores atípicos. Pascual muestra una dureza baja y una distribución compacta, indicando consistencia entre lotes. Ciel presenta valores intermedios con variabilidad moderada, mientras que Bonafont muestra la mayor dureza y dispersión de los datos, lo que refleja una concentración elevada de sales minerales y una mayor variabilidad entre lotes.

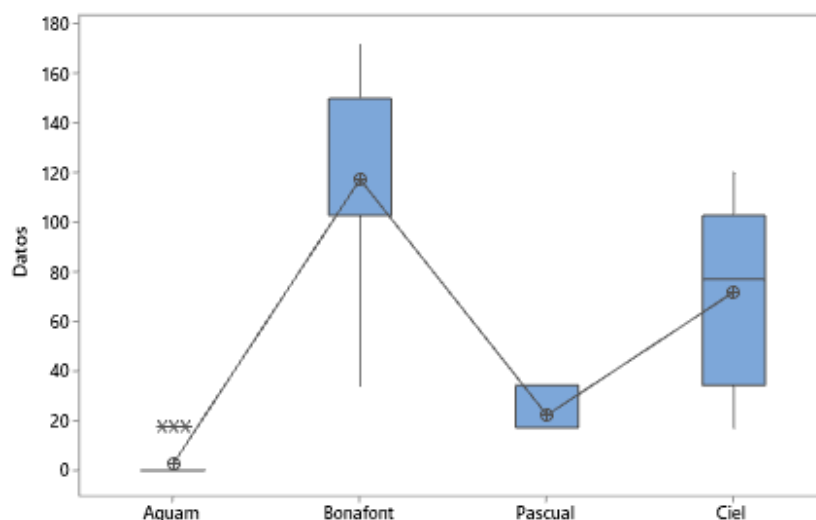


Gráfico 20. Gráfica de cajas de Dureza

Los resultados obtenidos para el parámetro de dureza muestran que todas las marcas de agua evaluadas presentan concentraciones dentro de los rangos aceptables para agua destinada al consumo humano. Esto es relevante, ya que mantener la dureza dentro de estos límites contribuye a preservar la calidad fisicoquímica del agua y evita problemas asociados con concentraciones elevadas de sales minerales, como la formación de incrustaciones en sistemas de distribución o alteraciones en las características organolépticas del producto, principalmente el sabor. Además, niveles moderados de dureza reflejan la presencia de minerales como calcio y magnesio, los cuales forman parte natural de la composición del agua y pueden contribuir al aporte de minerales esenciales en la dieta (World Health Organization, 2017). El hecho de que todas las marcas analizadas se encuentren dentro de los rangos establecidos por la normativa sanitaria mexicana (≤ 500 mg/L de CaCO_3) respalda que el contenido de minerales disueltos es adecuado y consistente con los criterios de calidad establecidos para agua envasada destinada al consumo humano (Secretaría de Salud, 2015).

Gráficos de control de dureza.

El gráfico de control I-MR (gráfico 21) para la dureza de la marca Aguam muestra algunas señales de causas especiales de variación en la gráfica de valores individuales (I). La Prueba 1 identificó los puntos 6, 10 y 12 fuera de los límites de control al ubicarse más allá de tres desviaciones estándar de la línea central. Asimismo, la Prueba 5 señaló que el punto 12 forma parte de un patrón en el cual dos de tres observaciones consecutivas se encuentran a más de dos desviaciones estándar del mismo lado de la línea central, lo que sugiere desviaciones puntuales en la concentración de dureza en ciertos lotes. Por otro lado, en la gráfica de rango móvil (MR) no se activaron pruebas de fuera de control, ya que todos los valores se mantienen dentro de los límites establecidos, lo que indica que la variabilidad entre lotes consecutivos permanece estable y atribuible a causas comunes del proceso.

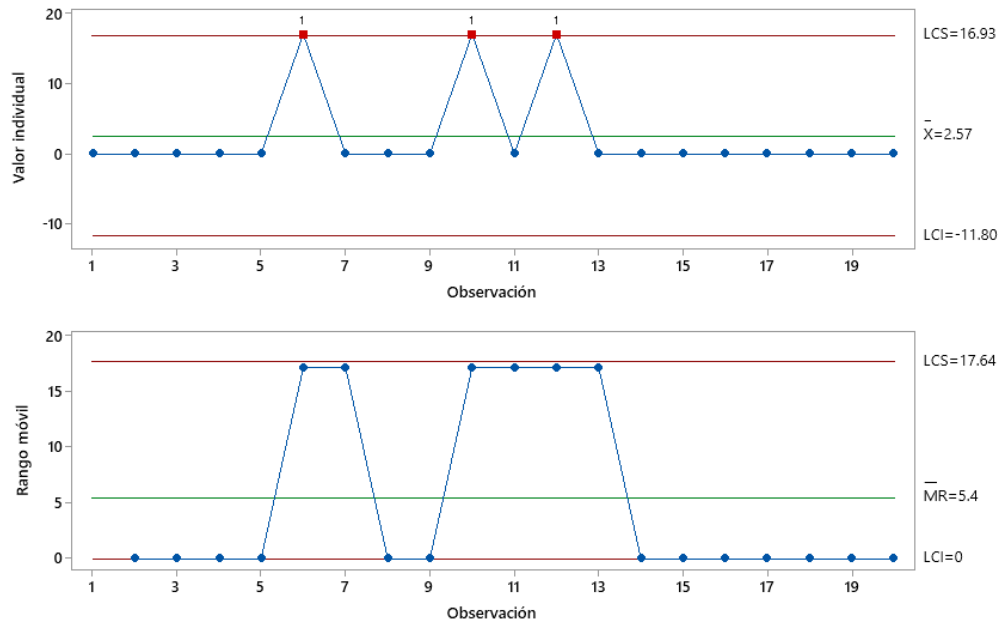


Gráfico 21. Gráfico de control para dureza de la marca Aguam

En el caso de la marca Bonafont, los gráficos de control I-MR (gráfico 22) para el parámetro de dureza no muestran señales que indiquen que el proceso se encuentre fuera de control estadístico. Todos los valores individuales se mantienen dentro de los límites de control establecidos y no se activaron pruebas que evidencien patrones no aleatorios, tendencias o corridas prolongadas en un mismo lado de la línea central. Para la gráfica de rango móvil presenta una variabilidad consistente entre lotes consecutivos, lo que sugiere que las variaciones observadas se deben únicamente a causas comunes del proceso.

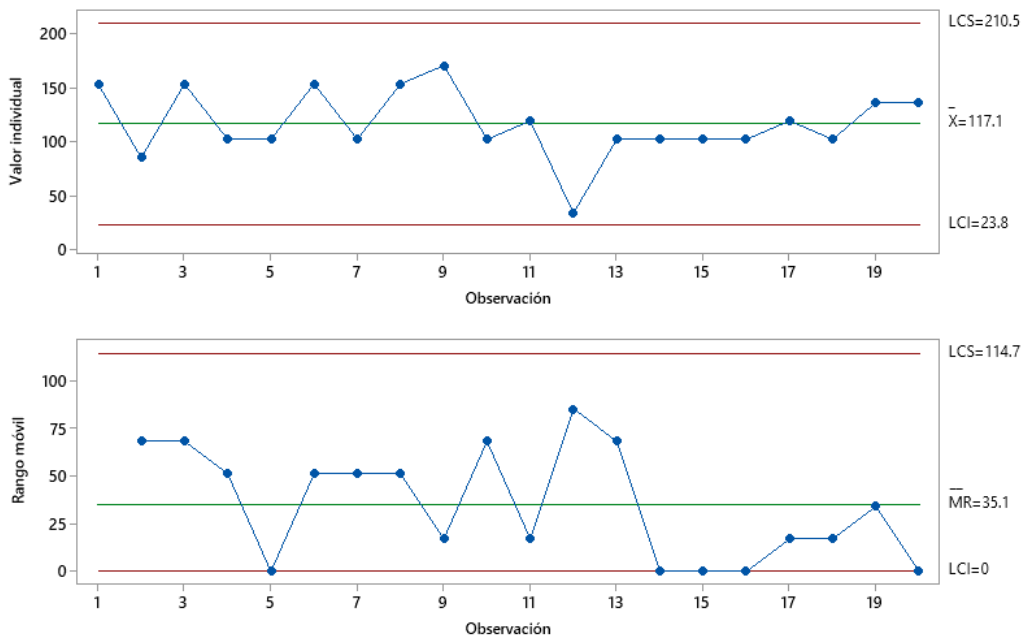


Gráfico 22. Gráfico de control para dureza de la marca Bonafont

La gráfica de control de valores individuales (I) para la dureza de la marca Pascual (gráfico 23) muestra múltiples señales de causas especiales de variación, lo que indica una falta de estabilidad estadística en el proceso. La Prueba 1 identificó los puntos 6, 7, 8, 10, 11 y 12 fuera de los límites de control al encontrarse más allá de tres desviaciones estándar de la línea central. La Prueba 5 señaló que los puntos 7, 8, 10, 11 y 12 forman parte de un patrón en el cual dos de tres observaciones consecutivas se encuentran a más de dos desviaciones estándar del mismo lado de la línea central. Además, la Prueba 6 detectó varias secuencias en las que cuatro de cinco observaciones consecutivas se ubican a más de una desviación estándar de la línea central, mientras que la Prueba 8 mostró una serie prolongada de puntos consecutivos a más de una desviación estándar de la línea central entre los puntos 8 y 20.

En la gráfica de rango móvil (MR) correspondiente a la dureza de la marca Pascual también se observan señales de variación anormal. La Prueba 1 identificó los puntos 6, 9, 10 y 13 fuera del límite superior de control, lo que indica cambios abruptos en la variabilidad entre lotes consecutivos. La alta cantidad de señales de fuera de control observadas en los gráficos I-MR para la dureza de la marca Pascual sugiere una importante variabilidad en la concentración de minerales responsables de este parámetro, principalmente calcio y magnesio.

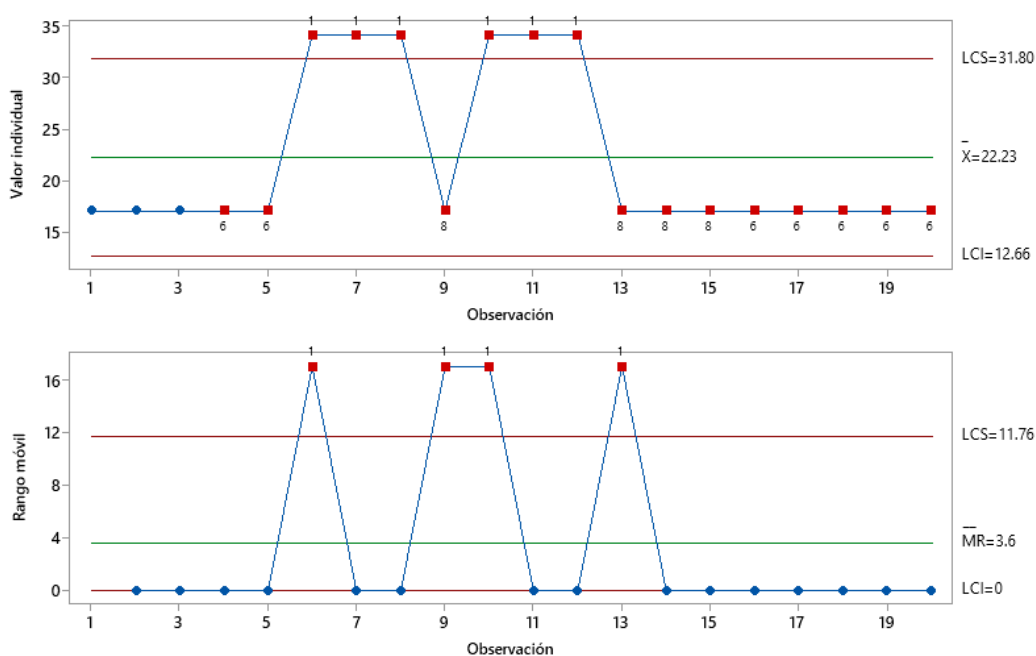


Gráfico 23. Gráfico de control para dureza de la marca Pascual

En el caso de la marca Ciel, los gráficos de control I-MR (Gráfico 24) para el parámetro de dureza tampoco muestran señales que indiquen que el proceso se encuentre fuera de control estadístico. Todos los valores se mantienen dentro de los límites de control establecidos y no se activaron pruebas que evidencien patrones no aleatorios o tendencias en los datos. Este comportamiento es similar al observado para la marca Bonafont, la cual también presentó estabilidad en este parámetro. En ambos casos, las variaciones registradas entre los lotes pueden atribuirse únicamente a causas comunes, lo que indica un control adecuado en la concentración de dureza.

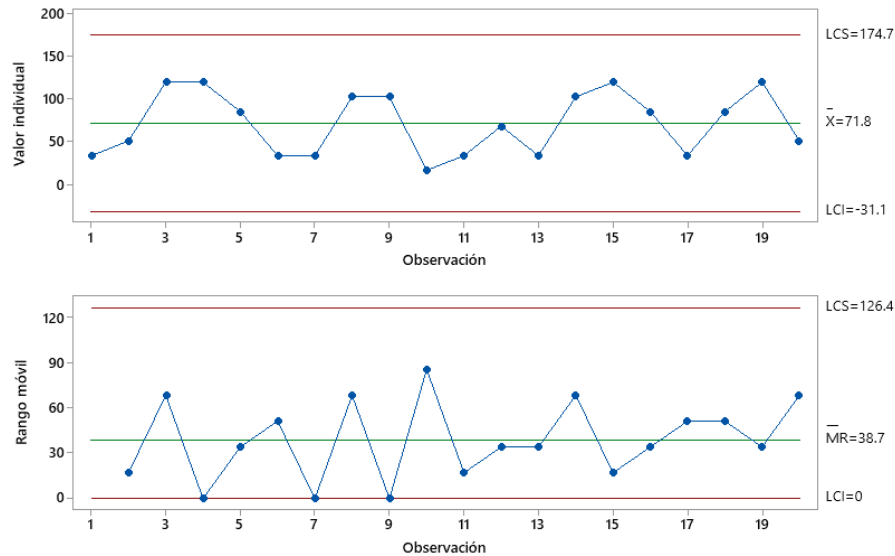


Gráfico 24. Gráfico de control para dureza de la marca Ciel

Las marcas Ciel y Bonafont mostraron un comportamiento estable, manteniéndose todos los valores dentro de los límites de control y sin activación de pruebas que indiquen patrones no aleatorios, lo que sugiere que la variabilidad observada corresponde únicamente a causas comunes del proceso. Cabe destacar que, aunque Bonafont presentó el contenido de dureza promedio más elevado, seguido de Ciel, ambos se mantuvieron dentro de los rangos aceptables y con un comportamiento estadísticamente controlado. Por otro lado, las marcas Aguam y Pascual presentaron diversas señales de causas especiales de variación, siendo Pascual la que mostró mayor número de puntos fuera de control y pruebas activadas, lo que indica una mayor variabilidad en la concentración de minerales responsables de la dureza.

Cloro residual libre

Los resultados obtenidos para cloro residual libre de la Tabla 7, mostraron una concentración de 0 mg/L en todos los lotes evaluados de las cuatro marcas analizadas, lo cual es consistente con lo esperado para agua purificada o envasada. Durante los procesos de purificación, el cloro utilizado en etapas de desinfección suele eliminarse posteriormente mediante sistemas como filtración con carbón activado, osmosis inversa u otros métodos de tratamiento, con el objetivo de evitar alteraciones en las propiedades sensoriales del agua, especialmente en el sabor y olor (Meng et al., 2018). De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-201-SSA1-2015, el agua y hielo para consumo humano envasados deben cumplir con especificaciones sanitarias que garanticen su inocuidad, lo que incluye procesos de tratamiento que aseguren la eliminación de desinfectantes residuales cuando el producto final es agua purificada. Igualmente, la Organización Mundial de la Salud señala que el cloro residual es común en sistemas de distribución de agua potable como medida de protección microbiológica, pero no necesariamente está presente en aguas purificadas o embotelladas, debido a los procesos de remoción aplicados durante su tratamiento.

En términos estadísticos, el hecho de que todas las observaciones presenten el mismo valor genera ausencia de variabilidad, lo que impide el uso de un análisis de varianza (ANOVA), ya que este método requiere variación entre grupos y dentro de los grupos para estimar la varianza. Por lo tanto, sólo es posible realizar una interpretación descriptiva de los resultados. En general, los resultados para cloro residual libre obtenidos indican que todas

las marcas de agua evaluadas cumplieron con los parámetros establecidos en la normativa aplicable para agua de consumo humano.

Tabla 7. Resultados de cloro residual libre (mg/L) para todas las marcas evaluadas.

No.	LOTE AGUAM	Aguam	LOTE Bonafont	Bonafont	LOTE PASCUAL	Pascual	LOTE Ciel	Ciel
1	07102025	0	L058	0	L1137329	0	686RE	0
2	08102025	0	L245	0	L1136096	0	709LT	0
3	09102025	0	L200	0	L1131974	0	717RFL	0
4	13102025	0	L227	0	L1131975	0	717RPL	0
5	10102015	0	L261	0	L1138264	0	717RI	0
6	15102025	0	L137	0	L1136095	0	687RE	0
7	16102025	0	L246	0	L1138270	0	679RE	0
8	20102025	0	L205	0	L1138273	0	717RE	0
9	21102025	0	L257	0	L1138785	0	717RPI	0
10	22102025	0	L249	0	L1138265	0	678RE	0
11	27102025	0	L235	0	L1138786	0	677RE	0
12	28102025	0	L017	0	L1139182	0	718RPL	0
13	29102025	0	L228	0	L1139185	0	676RE	0
14	30102025	0	L247	0	L1139401	0	716RPL	0
15	03112025	0	L229	0	L1139402	0	718RI	0
16	04112025	0	L248	0	L1139531	0	718RPI	0
17	05112025	0	L233	0	L1139781	0	677RE	0
18	06112025	0	L234	0	L1140310	0	719RPI	0
19	10112025	0	L277	0	L1191305	0	719RPL	0
20	11112025	0	L279	0	L1131904	0	687RE	0

Amoniaco

Los resultados obtenidos para el parámetro de amoníaco mostraron una concentración de 0 mg/L en todos los lotes analizados para las cuatro marcas evaluadas, lo que indica ausencia de este compuesto en el agua purificada y, por lo tanto, un comportamiento adecuado en términos de calidad. Debido a que todos los valores registrados fueron iguales, no fue posible aplicar un análisis de varianza (ANOVA), ya que como se mencionó anteriormente, este método estadístico requiere variabilidad entre las observaciones para poder estimar las fuentes de variación.

En el caso de la marca Aguam, la determinación de amoníaco no se realizó en todos los lotes producidos por la purificadora, por lo que únicamente se cuenta con resultados correspondientes a 8 lotes analizados. Para asegurar que dichos resultados fueran representativos del total de lotes producidos y mantener consistencia con el tamaño de muestra utilizado para las demás marcas, se recurrió al uso de la norma ISO 2859-1, la cual establece planes de muestreo para inspección por atributos basados en el tamaño del lote y niveles de calidad aceptables. Esta norma permite seleccionar un número de muestras representativas cuando no es posible analizar la totalidad de la producción, garantizando así que los datos obtenidos puedan considerarse estadísticamente válidos dentro del proceso de evaluación de calidad.

Desde el punto de vista sanitario, la ausencia de amoníaco representa un resultado favorable, ya que este compuesto suele asociarse con procesos de contaminación por

materia orgánica, degradación biológica o presencia de compuestos nitrogenados, los cuales pueden afectar la estabilidad del agua y la eficiencia de los procesos de desinfección. Diversos estudios han señalado que concentraciones cercanas a 0 mg/L de amoníaco en agua destinada al consumo humano son indicativas de buenas condiciones de tratamiento y de ausencia de contaminación significativa por compuestos nitrogenados (Abate et al., 2024).

Tabla 8. Resultados de amoníaco para todas las marcas evaluadas.

No.	LOTE AGUAM	Aguam	LOTE Bonafont	Bonafont	LOTE PASCUAL	Pascual	LOTE Ciel	Ciel
1	30072025	0	L058	0	L1137329	0	686RE	0
2	15102025	0	L245	0	L1136096	0	709LT	0
3	11122025	0	L200	0	L1131974	0	717RFL	0
4	13012026	0	L227	0	L1131975	0	717RPL	0
5	14012026	0	L261	0	L1138264	0	717RI	0
6	19012026	0	L137	0	L1136095	0	687RE	0
7	20012026	0	L246	0	L1138270	0	679RE	0
8	21012025	0	L205	0	L1138273	0	717RE	0
9			L257	0	L1138785	0	717RPI	0
10			L249	0	L1138265	0	678RE	0
11			L235	0	L1138786	0	677RE	0
12			L017	0	L1139182	0	718RPL	0
13			L228	0	L1139185	0	676RE	0
14			L247	0	L1139401	0	716RPL	0
15			L229	0	L1139402	0	718RI	0
16			L248	0	L1139531	0	718RPI	0
17			L233	0	L1139781	0	677RE	0
18			L234	0	L1140310	0	719RPI	0
19			L277	0	L1191305	0	719RPL	0
20			L279	0	L1131904	0	687RE	0

Propiedades organolépticas: color, olor y sabor

En relación con las características organolépticas, todos los lotes evaluados para las cuatro marcas presentaron resultados consistentes (Tabla 9 a Tabla 11), registrándose color incoloro, sabor insípido y olor inodoro en cada una de las muestras analizadas.

La ausencia de variaciones entre los lotes demuestra que los procesos de purificación y envasado mantienen condiciones que evitan la presencia de compuestos capaces de modificar las propiedades sensoriales del agua. Las características organolépticas son un criterio importante en la evaluación de la calidad del agua destinada al consumo humano, ya que parámetros como color, olor y sabor influyen directamente en la aceptabilidad del agua por parte del consumidor y pueden servir como indicadores de contaminación o de presencia de compuestos disueltos como materia orgánica, metales o subproductos de desinfección (World Health Organization, 2017).

Abate et al. (2024) señalan que la presencia de condiciones incoloras, inodoras e insípidas en el agua es un indicador clave de un tratamiento efectivo, asociado a procesos como la filtración y desinfección que garantizan su seguridad y aceptabilidad. Los resultados

confirman que las marcas evaluadas implementan un control adecuado en sus procesos, conservando las propiedades sensoriales del agua conforme a los estándares establecidos para su consumo.

Tabla 9. Resultados de color para todas las marcas evaluadas.

No.	LOTE AGUAM	Aguam	LOTE Bonafont	Bonafont	LOTE PASCUAL	Pascual	LOTE Ciel	Ciel
1	07102025	Incoloro	L058	Incoloro	L1137329	Incoloro	686RE	Incoloro
2	08102025	Incoloro	L245	Incoloro	L1136096	Incoloro	709LT	Incoloro
3	09102025	Incoloro	L200	Incoloro	L1131974	Incoloro	717RFL	Incoloro
4	13102025	Incoloro	L227	Incoloro	L1131975	Incoloro	717RPL	Incoloro
5	10102015	Incoloro	L261	Incoloro	L1138264	Incoloro	717RI	Incoloro
6	15102025	Incoloro	L137	Incoloro	L1136095	Incoloro	687RE	Incoloro
7	16102025	Incoloro	L246	Incoloro	L1138270	Incoloro	679RE	Incoloro
8	20102025	Incoloro	L205	Incoloro	L1138273	Incoloro	717RE	Incoloro
9	21102025	Incoloro	L257	Incoloro	L1138785	Incoloro	717RPI	Incoloro
10	22102025	Incoloro	L249	Incoloro	L1138265	Incoloro	678RE	Incoloro
11	27102025	Incoloro	L235	Incoloro	L1138786	Incoloro	677RE	Incoloro
12	28102025	Incoloro	L017	Incoloro	L1139182	Incoloro	718RPL	Incoloro
13	29102025	Incoloro	L228	Incoloro	L1139185	Incoloro	676RE	Incoloro
14	30102025	Incoloro	L247	Incoloro	L1139401	Incoloro	716RPL	Incoloro
15	03112025	Incoloro	L229	Incoloro	L1139402	Incoloro	718RI	Incoloro
16	04112025	Incoloro	L248	Incoloro	L1139531	Incoloro	718RPI	Incoloro
17	05112025	Incoloro	L233	Incoloro	L1139781	Incoloro	677RE	Incoloro
18	06112025	Incoloro	L234	Incoloro	L1140310	Incoloro	719RPI	Incoloro
19	10112025	Incoloro	L277	Incoloro	L1191305	Incoloro	719RPL	Incoloro
20	11112025	Incoloro	L279	Incoloro	L1131904	Incoloro	687RE	Incoloro

Tabla 10. Resultados de olor para todas las marcas evaluadas.

No.	LOTE AGUAM	Aguam	LOTE Bonafont	Bonafont	LOTE PASCUAL	Pascual	LOTE Ciel	Ciel
1	07102025	Inoloro	L058	Inoloro	L1137329	Inoloro	686RE	Inoloro
2	08102025	Inoloro	L245	Inoloro	L1136096	Inoloro	709LT	Inoloro
3	09102025	Inoloro	L200	Inoloro	L1131974	Inoloro	717RFL	Inoloro
4	13102025	Inoloro	L227	Inoloro	L1131975	Inoloro	717RPL	Inoloro
5	10102015	Inoloro	L261	Inoloro	L1138264	Inoloro	717RI	Inoloro
6	15102025	Inoloro	L137	Inoloro	L1136095	Inoloro	687RE	Inoloro
7	16102025	Inoloro	L246	Inoloro	L1138270	Inoloro	679RE	Inoloro
8	20102025	Inoloro	L205	Inoloro	L1138273	Inoloro	717RE	Inoloro
9	21102025	Inoloro	L257	Inoloro	L1138785	Inoloro	717RPI	Inoloro
10	22102025	Inoloro	L249	Inoloro	L1138265	Inoloro	678RE	Inoloro
11	27102025	Inoloro	L235	Inoloro	L1138786	Inoloro	677RE	Inoloro
12	28102025	Inoloro	L017	Inoloro	L1139182	Inoloro	718RPL	Inoloro
13	29102025	Inoloro	L228	Inoloro	L1139185	Inoloro	676RE	Inoloro
14	30102025	Inoloro	L247	Inoloro	L1139401	Inoloro	716RPL	Inoloro
15	03112025	Inoloro	L229	Inoloro	L1139402	Inoloro	718RI	Inoloro
16	04112025	Inoloro	L248	Inoloro	L1139531	Inoloro	718RPI	Inoloro
17	05112025	Inoloro	L233	Inoloro	L1139781	Inoloro	677RE	Inoloro

18	06112025	Inoloro	L234	Inoloro	L1140310	Inoloro	719RPI	Inoloro
19	10112025	Inoloro	L277	Inoloro	L1191305	Inoloro	719RPL	Inoloro
20	11112025	Inoloro	L279	Inoloro	L1131904	Inoloro	687RE	Inoloro

Tabla 11. Resultados de sabor para todas las marcas evaluadas.

No.	LOTE AGUAM	Aguam	LOTE Bonafont	Bonafont	LOTE PASCUAL	Pascual	LOTE Ciel	Ciel
1	07102025	Insípido	L058	Insípido	L1137329	Insípido	686RE	Insípido
2	08102025	Insípido	L245	Insípido	L1136096	Insípido	709LT	Insípido
3	09102025	Insípido	L200	Insípido	L1131974	Insípido	717RFL	Insípido
4	13102025	Insípido	L227	Insípido	L1131975	Insípido	717RPL	Insípido
5	10102015	Insípido	L261	Insípido	L1138264	Insípido	717RI	Insípido
6	15102025	Insípido	L137	Insípido	L1136095	Insípido	687RE	Insípido
7	16102025	Insípido	L246	Insípido	L1138270	Insípido	679RE	Insípido
8	20102025	Insípido	L205	Insípido	L1138273	Insípido	717RE	Insípido
9	21102025	Insípido	L257	Insípido	L1138785	Insípido	717RPI	Insípido
10	22102025	Insípido	L249	Insípido	L1138265	Insípido	678RE	Insípido
11	27102025	Insípido	L235	Insípido	L1138786	Insípido	677RE	Insípido
12	28102025	Insípido	L017	Insípido	L1139182	Insípido	718RPL	Insípido
13	29102025	Insípido	L228	Insípido	L1139185	Insípido	676RE	Insípido
14	30102025	Insípido	L247	Insípido	L1139401	Insípido	716RPL	Insípido
15	03112025	Insípido	L229	Insípido	L1139402	Insípido	718RI	Insípido
16	04112025	Insípido	L248	Insípido	L1139531	Insípido	718RPI	Insípido
17	05112025	Insípido	L233	Insípido	L1139781	Insípido	677RE	Insípido
18	06112025	Insípido	L234	Insípido	L1140310	Insípido	719RPI	Insípido
19	10112025	Insípido	L277	Insípido	L1191305	Insípido	719RPL	Insípido
20	11112025	Insípido	L279	Insípido	L1131904	Insípido	687RE	Insípido

Pruebas microbiológicas

En cuanto a las propiedades microbiológicas, los resultados presentados en la Tabla 12 muestran que, con excepción del lote 9 de la marca Pascual, la totalidad de las muestras analizadas presentaron un recuento de 0 UFC. Este valor refleja la ausencia total de crecimiento microbiano detectable, lo que evidencia la eficacia de los procesos de purificación, desinfección y envasado implementados por las marcas evaluadas para garantizar la inocuidad del producto. La ausencia de microorganismos es un indicador fundamental de la calidad sanitaria del agua, dado que la proliferación de bacterias es consecuencia de fallos en el tratamiento, contaminación durante el envasado o condiciones inadecuadas de almacenamiento.

De acuerdo con lo establecido en la NOM-201-SSA1-2015, el agua y hielo para consumo humano envasados deben cumplir con criterios microbiológicos estrictos que garanticen la ausencia de microorganismos indicadores de contaminación, como coliformes totales o fecales, los cuales deben encontrarse en 0 UFC/100 mL para asegurar la inocuidad del producto. Los resultados indican que todas las marcas cumplen con los criterios establecidos ya que sus sistemas de tratamiento aplicados durante la producción y envasado del agua son eficaces para mantener su calidad microbiológica.

Tabla 12. Resultados de la prueba microbiológica (UFC/100 mL) para todas las marcas evaluadas.

No.	LOTE AGUAM	Aguam	LOTE Bonafont	Bonafont	LOTE PASCUAL	Pascual	LOTE Ciel	Ciel
1	07102025	0	L058	0	L1137329	0	686RE	0
2	08102025	0	L245	0	L1136096	0	709LT	0
3	09102025	0	L200	0	L1131974	0	717RFL	0
4	13102025	0	L227	0	L1131975	0	717RPL	0
5	10102015	0	L261	0	L1138264	0	717RI	0
6	15102025	0	L137	0	L1136095	0	687RE	0
7	16102025	0	L246	0	L1138270	0	679RE	0
8	20102025	0	L205	0	L1138273	0	717RE	0
9	21102025	0	L257	0	L1138785	1	717RPI	0
10	22102025	0	L249	0	L1138265	0	678RE	0
11	27102025	0	L235	0	L1138786	0	677RE	0
12	28102025	0	L017	0	L1139182	0	718RPL	0
13	29102025	0	L228	0	L1139185	0	676RE	0
14	30102025	0	L247	0	L1139401	0	716RPL	0
15	03112025	0	L229	0	L1139402	0	718RI	0
16	04112025	0	L248	0	L1139531	0	718RPI	0
17	05112025	0	L233	0	L1139781	0	677RE	0
18	06112025	0	L234	0	L1140310	0	719RPI	0
19	10112025	0	L277	0	L1191305	0	719RPL	0
20	11112025	0	L279	0	L1131904	0	687RE	0

CONCLUSIÓN

Con base en los resultados obtenidos, se logró evaluar y comparar las propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y organolépticas del agua purificada producida por el CEPAX (Aguam) y tres marcas comerciales (Bonafont, Pascual y Ciel), verificando su cumplimiento con la normatividad vigente.

Mediante análisis estadísticos (ANOVA, pruebas de comparación de medias y gráficos de control I-MR) se identificaron variaciones significativas entre marcas en parámetros como pH, conductividad, sólidos disueltos totales y dureza. Sin embargo, todos los valores se mantuvieron dentro de los límites permisibles establecidos en la NOM-127-SSA1-2021. La ausencia de cloro residual libre y amoníaco, así como los resultados microbiológicos confirmaron que los procesos de purificación garantizan condiciones adecuadas de calidad e inocuidad.

Todos los hallazgos en conjunto demuestran que tanto el agua producida por el CEPAX como las marcas comerciales evaluadas cumplen satisfactoriamente con los estándares sanitarios para agua destinada al consumo humano, lo que refleja la eficacia de los procesos de purificación aplicados y respalda la confiabilidad del agua suministrada por el centro universitario.

REFERENCIAS

Abate, K. H., Teklu, M., & colaboradores. (2024). Ensuring safe drinking water: Physicochemical analysis of water sources in Malle Woreda, South Omo Zone, Ethiopia. *Environmental Health Insights*. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12591802/>

American Public Health Association, American Water Works Association, & Water Environment Federation. (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (23rd ed.). APHA Press.

American Water Works Association. (2017). *Water quality and treatment: A handbook on drinking water* (7th ed.). McGraw-Hill Education.

Arhin, E., Osei, J. D., Anima, P. A., Damoah-Afari, P., & Yevugah, L. L. (2023). The pH of Drinking Water and Its Human Health Implications: A Case of Surrounding Communities in the Dormaa Central Municipality of Ghana. *Journal Healthcare Treatment Development*, 4(1), 15–26. <https://doi.org/10.55529/jhtd.41.15.26>

Atlas Scientific. (2023). ¿Por qué el pH del agua purificada por ósmosis inversa es bajo? <https://atlas-scientific.com/es/blog/why-is-reverse-osmosis-water-ph-low/>

Belessiotis, V., Delyannis, E. (2016). Electrical Conductance (EC)/Electrical Resistance (RC). En *Thermal Solar Desalination* (pp. 78-80). Academic Press.

Collier, S. A., Deng, L., Adam, E. A., Benedict, K. M., Beshearse, E. M., Blackstock, A. J., Bruce, B. B., Derado, G., Edens, C., Fullerton, K. E., Gargano, J. W., Geissler, A. L., Hall, A. J., Havelaar, A. H., Hill, V. R., Hoekstra, R. M., Reddy, S. C., Scallan, E., Stokes, E. K., &

Culligan of Houston. (2025, 21 de octubre). ¿Cuál es el pH del agua del grifo de Houston y por qué es importante? Culligan Water. <https://houstonculligan.com/es/problems/ph-problems/>

Environmental Protection Agency. (2021). Secondary drinking water standards: Guidance for nuisance chemicals (EPA 816-F-21-003). U.S. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/sdwa/secondary-drinking-water-standards-guidance-nuisance-chemicals>

European Environment Agency. (2020). European waters: Assessment of status and pressures (EEA Report No. 07/2020). Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2800/77875>

Gispert, M. Í., Hernández, M. A. A., Climent, E. L., & Flores, M. F. T. (2018). Rainwater Harvesting as a Drinking Water Option for Mexico City. *Sustainability*, 10(11), 3890. <https://doi.org/10.3390/su10113890>

Instituto Geológico y Minero de España. (2019). *Calidad química de las aguas subterráneas en España: 2016-2019*. IGME. <https://www.igme.es/Publicaciones/SerieAguasSubterraneas/default.htm>

International Organization for Standardization. (1985). Water quality—Determination of electrical conductivity (ISO 7888:1985). ISO.

Lenntech. (s.f.). Conductividad eléctrica del agua. <https://www.lenntech.es/conductividad-electrica-del-agua.htm>

Mazari-Hiriart, M., Tapia-Palacios, M. A., Zarco-Arista, A. E., & Espinosa-García, A. C. (2019). Challenges and Opportunities on Urban Water Quality in Mexico City. *Frontiers In Environmental Science*, 7. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00169>

Meng, F., Li, G., Zhang, B., & Guo, J. (2018). Chemical kinetics and particle size effects of activated carbon for free chlorine removal from drinking water. *Water Practice and Technology*, 13(1), 19–26. <https://doi.org/10.2166/wpt.2018.092>

Miranda, C. G., de Oliveira Silva, E., Torres, I. M. S. T., de Oliveira Neto, J. R., Cardoso, N. L. C., & Valeriano, V. S. (2013). AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA QUALIDADE DE ÁGUA POTÁVEL E PURIFICADA DE FARMÁCIAS DE MANIPULAÇÃO. *Revista de Biotecnologia & Ciência* (ISSN 2238-6629), 2(1), 35-35.

Secretaría de Salud. (2015). NOM-201-SSA1-2015, Productos y servicios. Agua y hielo para consumo humano, envasados y a granel. Especificaciones sanitarias. *Diario Oficial de la Federación*.

Secretaría de Salud. (2022). NOM-127-SSA1-2021, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua. *Diario Oficial de la Federación*.

Stumm, W., & Morgan, J. J. (1996). *Aquatic chemistry: chemical equilibria and rates in natural waters* (3rd ed.). John Wiley & Sons.

Tapia, L. R., Fernández, D. A. R., & Novelo, J. A. M. (2016). Disponibilidad a pagar de los hogares por mejoras en la calidad del agua suministrada en la ciudad de México. *Revista de Economía*, 33(87), 9-36.

World Health Organization. (2017). Guidelines for drinking-water quality: Fourth edition incorporating the first addendum. WHO Press