

Control estadístico del consumo de agua en la Universidad del Atlántico: diseño sistema de monitoreo sistema de gestión ambiental

Water consumption statistical control in the Universidad del Atlántico: environmental management monitoring system designs

Miguel Ibarra-Montes¹
Roberto Herrera-Acosta²
Viviana Ortega-Afanador³

¹ Universidad del Atlántico (Colombia). Correo electrónico: maibarra@mail.uniatlantico.edu.co

² Universidad del Atlántico (Colombia). Correo electrónico: robertoherreer@mail.uniatlantico.edu.co; orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4855-4830>

³ Universidad del Atlántico (Colombia). Correo electrónico: vivortega@mail.uniatlantico.edu.co

Recibido: 23-08-2019 Aceptado: 23-12-2019

Cómo citar: Ibarra-Montes, Miguel; Herrera-Acosta, Roberto; Ortega-Afanador, Viviana. (2020). Control estadístico del consumo de agua en la Universidad del Atlántico: diseño sistema de monitoreo sistema de gestión ambiental. *Informador Técnico*, 84(1), pp 100-113. <https://doi.org/10.23850/22565035.1756>

Resumen

En los últimos tiempos se ha evidenciado una preocupante disminución en las fuentes de recurso hídrico para el consumo humano, distintos factores son los causantes de su deterioro y elevado consumo en las actividades industriales, agrícolas y de consumo diario en poblaciones grandes, para esta última, la Universidad del Atlántico gestiona este recurso mediante el Sistema de Gestión Ambiental (SGA). El objetivo de este trabajo fue estudiar el control estadístico en el consumo del agua por bloques en la Institución; se realizaron diseños de cartas de control por cada bloque durante un semestre, como datos históricos, los cuales se usaron luego para comparar, mediante las medidas paramétricas usadas en las cartas de mediciones individuales los controles presentes en el consumo de agua. Usando el control estadístico se logró evidenciar alteraciones en el consumo de agua con lo que se realizaron inspecciones de posibles fugas, lo cual justificó las causas de variabilidad a intervenciones de obras en algunos bloques y se dieron recomendaciones de mecanismos a implementar para el control del consumo del preciado líquido.

Palabras clave: monitoreo ambiental; indicador ecológico; gráficos de control.

Abstract

Recently, there has been a worrying decrease in the water resources sources for human consumption, many factors are the cause of their deterioration and high industrial, agricultural and daily consumption activities in large populations, for the latter, the Universidad del Atlántico manages this resource through the Environmental Management System; this study presents the statistical control in the water consumption by buildings in the institution; Control chart designs were made for each building during a term as historical data, which were then used to compare, through the parametric measurements used in the individual measurements charts, the present controls in the water consumption. By using statistical control,

it was possible to show alterations in water consumption to check potential leaks and justify the variability' causes to interventions of works in some buildings and recommendations were given of mechanisms to be implemented for the control of the consumption of the precious liquid.

Keywords: consumption, statistical control, monitoring.

1. Introducción

Recientemente, los temas ambientales han adquirido prioridad en todo tipo de organizaciones, el crecimiento demográfico mundial acelerado y factores socioeconómicos han contribuido a la escasez de agua en todo el mundo, aproximadamente 1/5 de la población mundial no tiene acceso al agua potable, y se pronostica que para el 2025 más de 3/5 de la población mundial afrontará problemas de insuficiencia de agua (Nieto, 2011), todo esto marca la pauta para identificar propuestas de innovación tecnológica en su gestión. La Universidad del Atlántico, siendo una de las más importantes para el departamento del Atlántico, con una población de 23.909 estudiantes en pregrado, 504 estudiantes en posgrado y 1.330 docentes, por su extensión y por las múltiples actividades que se desarrollan, genera un impacto en el medio ambiente. La sede objeto de este estudio fue el campus principal de la Universidad del Atlántico Sede Norte, cuenta con una amplia planta física de 281.956 m² (Universidad del Atlántico, 2019), cuya división administrativa constituida por nueve bloques (edificios) ocho de ellos, identificados con la siguiente nomenclatura: A, B, C, D, E, F, G, H, están constituidos principalmente por salones de clase, pero con algunas oficinas administrativas y dependencias, un bloque para administrativos, un coliseo, un polideportivo y un bloque en construcción al momento de esta investigación: I. Los bloques A, B, C (de ahora en adelante bloque ABC) están unidos y en ellos se dictan clases de la Facultad de Ciencias Básicas, Ingeniería y Química y Farmacia, asimismo, se encuentran ubicadas la Decanatura de Ciencias Básicas, la Vicerrectoría de Docencia e Investigación, la Facultad de Nutrición y Dietética, los Laboratorios de Física, Química, Microbiología e Ingeniería. Los bloques D y F están unidos y allí se dictan clases de la Facultad de Ciencias Económicas, Ciencias Humanas, Ciencias de la Educación e Ingeniería, en ellos también se encuentran salas de computación, la Facultad de Ciencias Humanas, la Facultad de Ciencias de la Educación, la Facultad de Arquitectura, la Facultad de Ciencias Económicas, el Salón Amílcar Guido Jiménez y la Oficina de Planeación. En el bloque E se albergan clases de la Facultad de Ciencias de la Educación, especialmente del Programa de Licenciatura en Educación Física, Recreación y Deporte; el bloque G constituye la biblioteca y el bloque H alberga clases de la Facultad de Ingeniería, Derecho y Ciencias de la Educación. Existen siete medidores de agua en la Universidad del Atlántico y en este trabajo se nombrarán, según la nomenclatura administrativa original.

Debido a que las universidades son consideradas empresas y para ser sostenibles requieren de conservación y buen uso de sus recursos (Rivas-Marín, 2011), el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, 1977) anunció que las Instituciones de Educación Superior (IES) deben tener una responsabilidad especial en la protección y gestión del medio ambiente y, por lo general, implementan la normativa ambiental internacional ISO 14001, como se aplica en diversas universidades de Europa, Estados Unidos, Canadá y algunos países de Suramérica. Por lo tanto, para cumplir con dicha normativa se consideran los impactos de las actividades sobre el medio ambiente, y así elaborar un plan para disminuir los impactos generados por su creciente población y los procesos que allí se desarrollan (Rivas-Marín, 2011).

El Informe de Gestión de la Universidad del Atlántico correspondiente al 2018 habla de un consumo total de agua potable facturados de 195.427 m³ (Universidad del Atlántico, 2018), el cual contrasta, por ejemplo, con el consumo presentado por la Universidad del Norte, ubicada en la misma zona geográfica, que fue 151.122 m³ para el mismo año en su campus principal (Universidad del Norte, 2018), es decir, se evidencia despilfarro. Por lo tanto, se requiere una gestión eficiente del recurso en la Universidad del Atlántico, tener con qué detectar problemas como los daños a la infraestructura de redes y proponer soluciones inmediatas, sería de gran utilidad, además, dicho proceso necesita la participación de todas las partes interesadas, como lo plantean los principios de Dublín: La gestión del agua debe inspirarse en un planteamiento basado en la participación de los usuarios, los planificadores y los responsables de las decisiones a todos los niveles (Solanes, 1998).

El agua cumple un papel importante en los ecosistemas, por consiguiente, es necesario prolongar la construcción de conocimiento en líneas que permitan abordar la gestión integral del recurso hídrico para un desarrollo sostenible (Hernández-Pasichana; Posada-Arrubla, 2018). La Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH) busca orientar el desarrollo de políticas

públicas en materia de recurso hídrico, a través de una combinación de desarrollo económico, social y la protección de los ecosistemas, según los lineamientos del Ministerio de Medio Ambiente, en tanto que, el saber técnico-científico es un recurso valioso que debe crearse y administrarse para promover el desarrollo de la producción sustentable (Lagos; Vargas, 2003). Por esto, para el recurso hídrico se han creado herramientas como la “Huella Hídrica” que evalúa la sostenibilidad de los recursos, midiendo el volumen total de agua usada por los habitantes de regiones específicas (Tolón-Becerra; Lastra-Bravo; Fernández-Membrive, 2013), pero no permite monitoreo continuo que dé lugar a acciones inmediatas; la carta de control produce una evolución en ese sentido, la teoría se simplifica y su utilidad gráfica brinda rapidez en el análisis (Álvarez, 2018). A pesar de esto y de la expansión de su uso en el ámbito industrial, se han enfocado en la mejora de los sistemas de monitorización y detección de fugas (Gutiérrez; Pérez-García; Izquierdo; Herrera, 2010); el uso de cartas de control no se ha explorado en este tema, aunque se debe tener un número considerable de datos para usar cartas de control, pero en muchos casos solo se pueden tomar muestras de tamaño $n = 1$ en cada tiempo, debido a las características del proceso. La carta de control para datos individuales o Carta X se usa para este tipo de casos y, además, monitorea el nivel medio del proceso.

Estudios recientes han demostrado que es suficientemente robusta para detectar cambios en la media y en la dispersión del proceso, ya que cuando una medición individual se dispara, afecta directamente los dos rangos móviles en los que participa, por eso se puede utilizar como única carta de control para un proceso, pero, por otra parte, ha demostrado ser sensible a la suposición de normalidad. El presente trabajo tiene como objetivo general monitorear las mediciones de consumo de agua en la Universidad del Atlántico y a través del análisis de su comportamiento estadístico, utilizando cartas de control y así obtener conclusiones válidas que lleven a la implementación de mecanismos que permitan la racionalización del consumo de agua.

2. Estado del arte

Como instituciones de educación superior, las universidades tienen un impacto significativo en la sociedad y pueden tener un papel clave en la provisión de sostenibilidad. En particular, se espera que las universidades “verdes”, contribuyan a la sostenibilidad en mayor medida (Dagiliūtė; Liobikienė; Minelgaitė, 2018). Cabe resaltar que el consumo promedio mensual/vivienda en zonas cálidas se encuentra hoy en día entre 15 y 16 m³, según la compilatoria de normas de la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico, por su parte, los estratos 4, 5 y 6 tienen actualmente un consumo promedio de 20 m³ (El Heraldo, 2017).

Farina; Maglionico; Pollastri; Stojkov (2011) en su investigación integran datos cuantitativos del consumo de agua a través de la medición del agua y datos históricos sobre los usuarios de edificios, analizando datos reunidos a lo largo del tiempo y llegando a una aproximación del uso del agua en las escuelas públicas conectadas con los ocupantes de esos edificios contiguos. Existen dos categorías principales de medidas de ahorro de agua para reducir su uso: las medidas técnicas incluyen la mejora de la red, las fugas de reparación, el desarrollo de electrodomésticos que ahorran agua; y las medidas no técnicas que cubren información, educación y conciencia que puede cambiar los hábitos de consumo (Yang *et al.*, 2017).

Otaki; Ueda; Sakura (2017) investigaron métodos para promover la conservación del agua a través de retroalimentación sobre el nivel de consumo de agua a largo plazo. Este estudio realizado en Tokio, donde preocupa la escasez de agua, y se les proporcionaron a los consumidores cuatro tipos de comentarios sobre el nivel de consumo de agua en su comunidad. Estos incluyeron consumo real, consumo promedio, rango de consumo y emoticones con información escrita. La retroalimentación fue enviada cada dos (2) semanas durante un período de veinticuatro (24) semanas. Los resultados indicaron efectividad por parte de los comentarios en consumidores altos y bajos, marcando una pauta en investigaciones sobre la conservación del agua.

Bhakar *et al.*, (2015) analizaron el suministro de agua, su consumo, el reciclaje y el consumo de energía relacionada en una universidad en India, ubicada en zona semiárida. En total, se estimó 2.038.722 L de agua/día de consumo en el campus para el riego y 1.481.424 L de agua para riego/día. Se concluyó que el agua del grifo en los edificios académicos y residenciales fue la principal fuente de impactos.

Cedeño-Viteri; Rodríguez-Aguilar; Sánchez (2012) presentaron una nueva metodología de control estadístico para una planta de tratamiento de aguas residuales que funciona en el espacio variable original. Dicho estudio se centra en el rendimiento de la etapa de detección, que aplica la distancia Mahalanobis de 2 órdenes como prueba estadística, concluyeron que la carga computacional de la etapa de identificación garantiza resultados en tiempo real para las fallas encontradas.

Romano; Woodward; Kapelan (2017) presentaron su metodología de análisis de datos para determinar la ubicación aproximada de una fuga dentro de un sistema de tuberías, Área Medida (DMA). Esta metodología se basa en el control estadístico del proceso (*Statistical Process Control – SPC*) y sistema de ubicación de fuga (LLS) que procesa automáticamente los datos nocturnos grabados cada minuto. Se concluyó principalmente que el LLS permite reducir costos operacionales sustancialmente al reducir área de búsqueda de fugas y reducción del número de reparaciones innecesarias de fugas, mejorar el servicio al cliente a través de comunicaciones más proactivas e informadas y la reducción del número/duración de las interrupciones de suministro y las situaciones de baja presión.

Kofinas; Spyropoulou; Laspidou (2018) generaron datos de consumo de agua en el hogar, el trabajo tuvo lugar en dos estudios de casos, Skiathos, Grecia y Sosnowiec, Polonia, exhibiendo diferencias significativas en los patrones de consumo de agua, mostró efectividad reduciendo brechas entre los datos y valores perdidos, el enfoque usado puede constituir una base potencial para construir una herramienta que apoyará las tareas que demandan grandes series de datos de consumo de agua.

Gutiérrez *et al.*, (2010) analizaron las variaciones en la calidad del agua en una red de distribución. Para ello, se utilizaron técnicas de control estadístico de procesos (*Statistical Process Control - SPC*), con el propósito de detectar y medir desajustes significativos de la variable deseada en el tiempo. Se analizó con cartas de control, la respuesta de la red ante un escenario teórico de entrada de un contaminante, como un primer acercamiento para establecer los posibles estados de alerta y la definición de puntos potencialmente críticos dentro de la red. Se concluyó principalmente que las técnicas de control estadístico de procesos a pesar de ser creadas originalmente en procesos industriales para verificar la calidad de los productos y disminuir las potenciales fallas en la producción, estas pueden aplicarse a otro tipo de eventos, en los cuales, se demande la detección de cambios o desajustes en una variable, siendo en este caso anomalías en la calidad del agua de una red de distribución. El enfoque presentado permitió que, por medio de una carta de control, se detectara y monitoreara la magnitud e intensidad de las variaciones debido a la intrusión del contaminante estudiado.

Las cartas de control estadístico permiten monitorear procesos periódicamente, la celeridad de su respuesta es evaluada a través de la longitud de Corrida o Longitud de Corrida Media, ARL (*Average Run Length*), esta es determinante en la búsqueda de una carta que se ajuste a las características de producción (Quintana; García; Casal, 2011) y se define como el número de puntos graficados en una carta de control hasta que aparezca la primera señal fuera de control. Teóricamente una carta de control bajo características ideales de normalidad tiene un ARL de 370 (Lagos; Vargas, 2003). Las cartas de mediciones individuales y de recorrido móvil son particularmente adecuadas para el estudio de procesos por lotes (Juran; Gryna; Bingham, 2005), estas son diagramas para variables de tipo continuo aplicados a procesos lentos, donde hay un lapso importante entre una medición y otra, por ejemplo, consumo de agua (Gutiérrez; De la Vara, 2013). En procesos destructivos en donde solo es posible tener una medición a la vez, precedente a la construcción de la carta para observaciones individuales, se debe probar la normalidad de los mismos, ya que de otro modo los resultados podrían ser equívocos (Mustafa; Rodríguez; Chauvet, 2002) a causa de la sensibilidad a la suposición de normalidad que presenta esta carta. En este trabajo se utilizó la prueba de normalidad Anderson-Darling, debido a que es una de las pruebas de normalidad más potentes (en particular, la más potente en los paquetes estadísticos utilizados), el tamaño muestral, su efectividad en casos extraordinarios o aberrantes (*outliers*) (Marques, 2011) y la importancia que le da a las colas de distribución, lo cual conlleva a un mejor ajuste; además, esta prueba una mejor capacidad de detección en muestras pequeñas (Pedrosa; Juarros-Basterretxea; Robles-Fernández; Basteiro; García-Cueto, citado por Marques, 2011).

$$A^2 = -n - \left(\frac{1}{n}\right) \sum [(2i - 1) \text{Ln}(p_{(i)}) + (2n + 1 - 2i) \text{Ln}\{1 - p_{(i)}\}] \quad (1)$$

Una alternativa a la prueba Anderson-Darling es la prueba Kolmogórov-Smirnov, considerada menos potente que la prueba Anderson-Darling, sin embargo, muestra gran eficiencia en la detección de no normalidad en tamaños de muestra medios (n200) (Pedrosa *et al.*, 2015), la estadística de Kolmogórov-Smirnov está definida como (Llinás, 2017):

$$D_n = \max_x |F_n(x) - F(x)| \quad (2)$$

Donde, $F_n(x)$ = Función de distribución acumulada muestral y $F(x)$ = Función de distribución acumulada hipotética.

La carta de control X se define de la siguiente forma (Lagos; Vargas, 2003):

$$LCS = \bar{X} + \frac{3\bar{R}}{d_2} \quad (3)$$

$$LC = \bar{X} \quad (4)$$

$$LCI = \bar{X} - \frac{3\bar{R}}{d_2} \quad (5)$$

$$\text{Donde } \bar{X} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n}, \sum_{i=1}^n \frac{|R_i|}{(n-1)}$$

Hitchin y Knight (2016), en su trabajo explicaron e ilustraron algunas de las características que son específicas de los sistemas de aire acondicionado y describieron cómo las firmas de energía que los tienen en cuenta se pueden aplicar para producir puntos de referencia, cuadros de control e información para diagnóstico, haciendo énfasis en el uso de firmas de energía originarias del consumo diario de energía del sistema medido. Encontraron que las cartas de control diario proporcionan advertencias, pero no proporcionan información de diagnóstico significativa sobre fallas específicas y que este tipo de información puede ser proporcionada por una firma de energía sub-horaria y por valores residuales de intervalo sub-horario, proporcionando informes de excepción.

Smeti; Koronakis; Golfopoulos (2007) en su investigación construyeron cartas de control para los datos obtenidos del análisis toxicológico diario del agua tratada (agua que ya ha sido usada para el consumo humano) de los tanques de agua tratada del Abastecimiento de Agua y Alcantarillado de la Corporación de Atenas. La idea básica de las cartas control era probar la hipótesis de que solo existen causas comunes de variabilidad *vs* la alternativa de que hay causas especiales. Las cartas se diseñaron y evaluaron bajo la suposición de que las observaciones del proceso son independientes e idénticas distribuidas normalmente. Se concluyó principalmente que las cartas de control típicas son ineficaces, debido a la existencia de autocorrelación en los datos de toxicidad para los tres tanques de agua tratada. La gran cantidad de autocorrelación que estaba presente en los datos redujo drásticamente el rendimiento de las cartas, dando una gran cantidad de falsas alarmas cuando se estimó a través del rango de movimiento promedio MR y cubriendo las alarmas reales cuando se estimó a través de la muestra de desviación estándar s.

3. Metodología

Se llevó a cabo el control estadístico del consumo de agua potable en la Universidad del Atlántico con el apoyo del Sistema de Gestión Ambiental (SGA) mediante su Programa de Gestión Eficiente del Agua (PGEA), realizando el análisis estadístico y diseño de la carta de control para datos individuales o Carta X, de los históricos específicos a un semestre y por bloque.

3.1 Toma de muestra

Se midió el consumo de agua en metros cúbicos (m³) mediante la lectura de 7 medidores de agua del campus de la Universidad del Atlántico, estas mediciones arrojaron un tamaño de muestra de n=1 en cada tiempo para cada medidor de agua potable. Para el análisis de datos se usaron los softwares STATGRAPHICS Centurion XVI.I y Minitab 18.

Para el diseño de la carta de control, se realizaron lecturas cuatro veces a la semana, obteniendo el consumo de agua de lunes a jueves durante el mes de agosto hasta noviembre del año inmediatamente anterior; tomando el periodo lectivo donde se estaban dando clases con normalidad completando 58 datos medidos por bloque, con los cuales se realizó la evaluación estadística de la estabilidad del proceso y se diseñó la carta de control. Para el control del consumo de agua mensual, se realizaron lecturas durante dos semanas midiendo el consumo tres veces por semana, completando así un total de seis datos.

Para los análisis estadísticos se tuvo en cuenta las actividades normales de cada edificio, los bloques que más consumen agua fueron el ABC, debido a su actividad natural de bloque de ciencias, en donde se encuentran vinculadas las prácticas de laboratorios, las cuales requieren consumo de agua adicional, el bloque I es inherente a la investigación y por completo su función es esa, sin embargo, es menor, ya que aún no se han trasladados los grupos de investigación al mismo, le siguen el Bloque Administrativo y el Bloque H por la cantidad de personal que permanece y la capacidad, respectivamente. Los que menos consumen son el Coliseo y el Polideportivo, ya que tienen pocos baños, son pequeños y allí es menor la población que ingresa, además, el riego de las canchas del complejo deportivo se realiza con las aguas residuales tratadas.

3.2 Fase I – Diseño de control para proceso

3.2.1 Prueba de normalidad Anderson-Darling

Con el fin de contrastar la hipótesis de normalidad de la población, se realizó prueba de normalidad Anderson-Darling.

3.2.2 Estudio inicial

Esta fase consistió principalmente en la estimación de los parámetros del proceso, pretendiendo establecer si el proceso se encuentra bajo control estadístico mediante el uso de la carta de individuales en este caso.

Primero, se realizó una carta de control para estudio inicial para obtener los parámetros del proceso para cada variable, μ y σ .

3.2.3 Depuración

Seguido al estudio inicial, se procedió a verificar datos atípicos y detectar las causas asignables dentro del proceso.

Una vez detectadas las causas de variabilidad, se procedió a eliminar los datos considerados atípicos con el fin de estabilizar la carta de control del proceso.

3.3 Fase II – Control de operación

Se prosiguió con la Fase II del estudio posterior a la depuración del conjunto de datos, a fin de monitorear las futuras observaciones, para lo cual se realizó monitoreo en línea tomando cuatro datos por cada bloque en una semana.

Se realizaron cartas independientes para cada bloque, teniendo en cuenta que las actividades realizadas son diferentes, además, que se debe reconocer la fecha exacta de cada punto graficado para que el control sea efectivo.

3.3.1 Implementación del control estadístico

Después de determinar el modelo estadístico que seguía el conjunto de datos, se procedió a realizar el control estadístico basado en cartas de control individuales y de rango móvil, es decir, monitorear si la variación de los datos está dentro de los límites esperados para un proceso sin cambios relevantes, todo esto, teniendo en cuenta las parametrizaciones definidas en la fase I.

En esta fase, la carta se usó para determinar si el proceso se encuentra bajo control cuando son extraídas futuras muestras, es decir, una inferencia. No se utilizaron muestras utilizadas en la fase I (estudio inicial).

4. Resultados

4.1 Prueba de normalidad

Mediante el procedimiento de la prueba de Anderson-Darling, realizada con el software Minitab 18, se comparó la función de distribución acumulada observada para cada variable con las distribuciones teóricas determinadas (ver Tabla 1).

Tabla 1.
Prueba de normalidad Anderson-Darling para cada conjunto de datos

Bloque	Valor-P	Bloque	Valor-P
Adm.	0,019	I	0,294
ABC	0,025	Coliseo	0,0048
D	0,011	Polideportivo	0,007
H	0,0047	--	--

Fuente: elaboración propia.

Debido a que el valor-P obtenido a partir de la prueba Anderson-Darling (en la mayoría de los casos) es menor o igual a 0,05, según (1), se puede rechazar la idea de que todos los bloques provienen de una distribución normal con 95 % de confianza. No obstante, teniendo en cuenta la sensibilidad de la Carta X a la suposición de normalidad, se decidió realizar otra prueba de normalidad, la prueba Kolmogórov-Smirnov, con gran eficiencia para el tamaño de muestra del estudio y los resultados obtenidos están concentrados en la Tabla 2.

Tabla 2.
Prueba de normalidad Kolmogórov-Smirnov para cada conjunto de datos

Bloque	Valor-P	Bloque	Valor-P
Adm.	0,419366	I	0,674798
ABC	0,514932	Coliseo	0,0543713
D	0,510508	Polideportivo	0,330186
H	0,232474	--	--

Fuente: elaboración propia.

Debido a que el valor-P más pequeño obtenido para conjunto de datos de la prueba Kolmogórov-Smirnov realizada es mayor o igual a 0,05, según (1), no se puede rechazar la idea de que todos los bloques provienen de una distribución normal con 95 % de confianza.

En vista de los resultados contradictorios entre las pruebas de normalidad aplicadas, se realizó una prueba de comparación de distribuciones alternas, la cual dio como resultado distribuciones gamma y binomial, a partir de los parámetros obtenidos se pudo determinar que se aproximaban a la distribución normal en todos los casos, por lo cual se asumió que todos los conjuntos de datos seguían una distribución normal.

4.2 Diseño de control para el proceso

Se llevó a cabo el diseño de las cartas de control por bloque con el fin de determinar los parámetros establecidos del consumo de agua potable para cada bloque (ver Figuras 1 a 7):

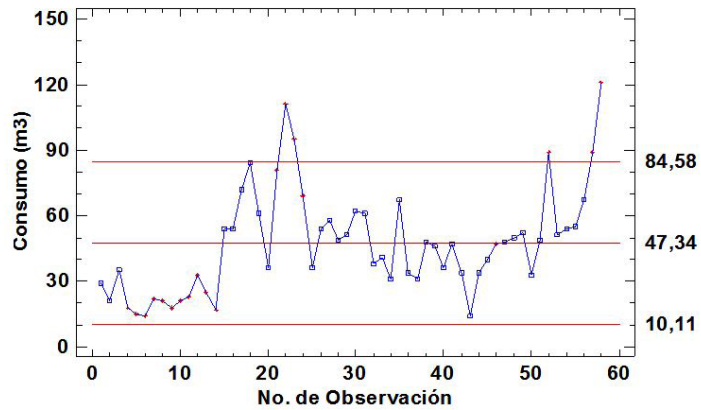


Figura 1. Carta de Control de Individuales para Bloque Administrativo
Fuente: elaboración propia.

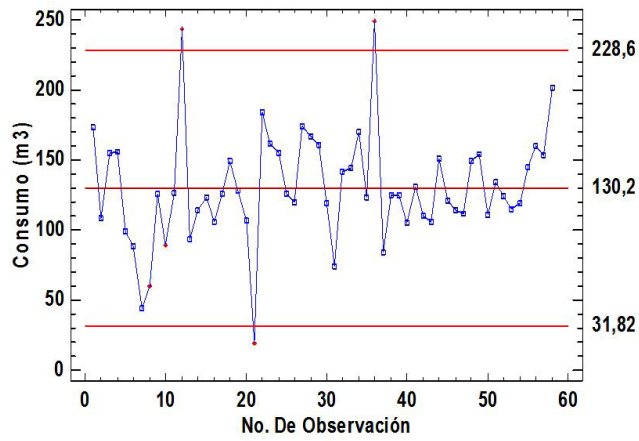


Figura 2. Carta de Control de Individuales para Bloque ABC
Fuente: elaboración propia.

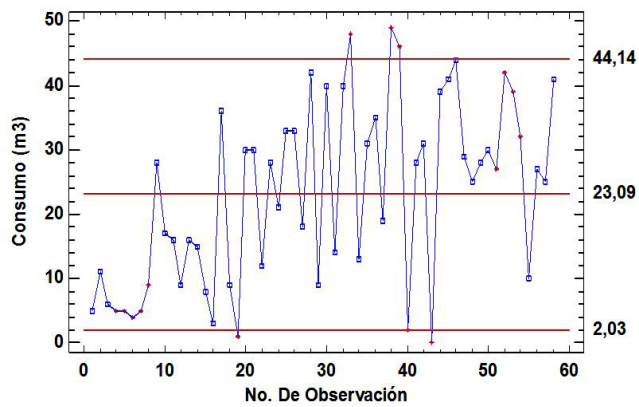


Figura 3. Carta de Control de Individuales para Bloque D
Fuente: elaboración propia.

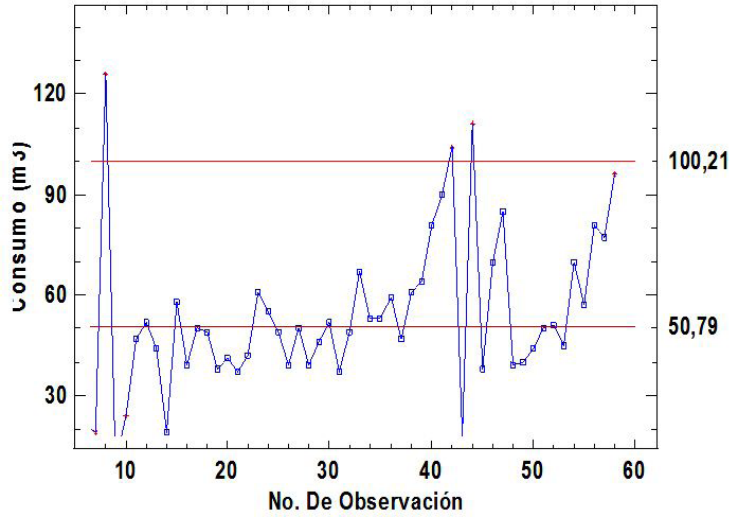


Figura 4. Carta de Control de individuales para Bloque H
Fuente: elaboración propia.

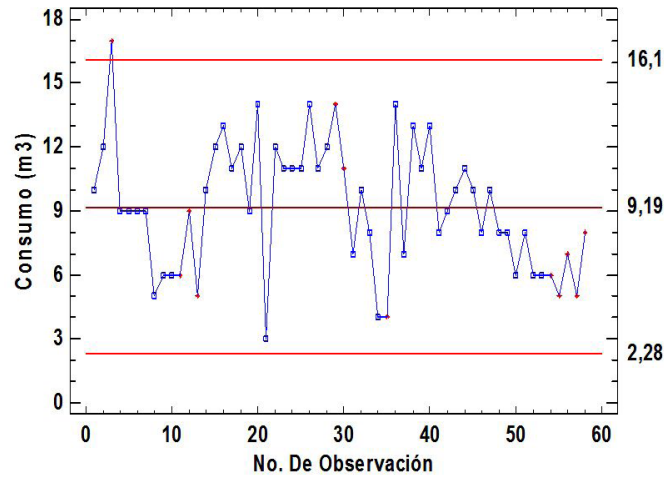


Figura 5. Carta de Control de individuales para Bloque I
Fuente: elaboración propia.

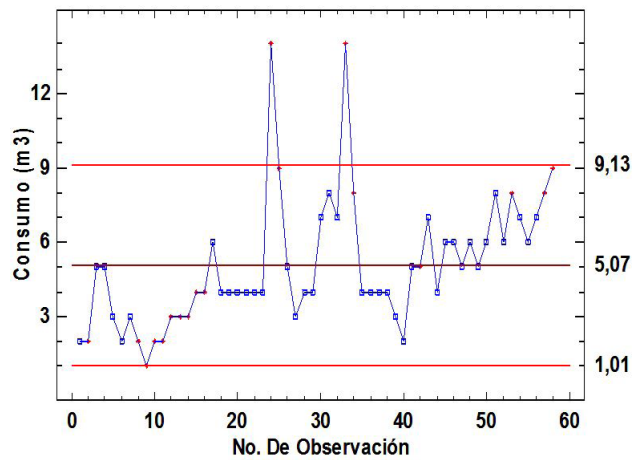


Figura 6. Carta de Control de individuales para Coliseo
Fuente: elaboración propia.

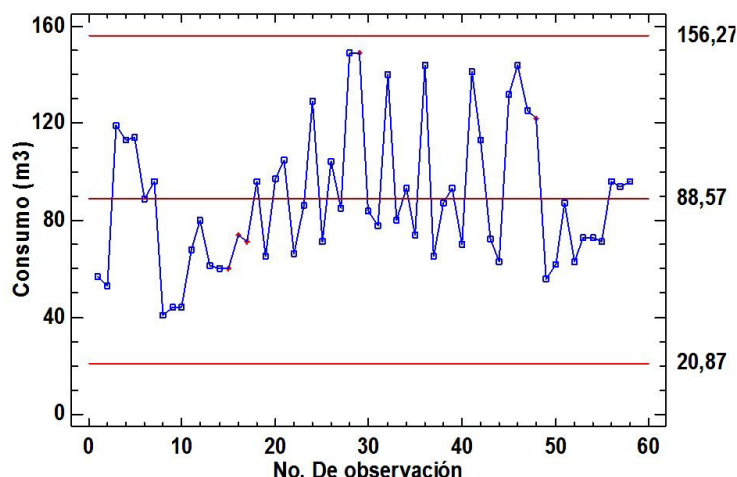


Figura 7. Carta de Control de individuales para Polideportivo
Fuente: elaboración propia.

Las figuras anteriores muestran las cartas de control estabilizadas, dado que los puntos que salen de los límites calculados a través de (3) y (5) no tienen causas asignables, debido a la variación poblacional que no puede ser cuantificada por bloques. Debido a la robustez de la Carta X antes mencionada, se hace útil este análisis, ya que la media de estos datos va a ser variante a medida que pasan los años, gracias al aumento de la población, la cual es proporcional al consumo de agua potable. En la Tabla 3 se evidencian los parámetros asignados a cada bloque luego de la estabilización de las cartas de control.

Tabla 3.
Datos paramétricos de cada carta de control por bloque en el consumo del agua de la Universidad del Atlántico

	Bloque Administrativo		Bloque ABC		Bloque D
μ	47,3448		130,224		23,0862
σ	12,4113		32,8014		11,6959
Media	Bloque H	Bloque I	Bloque Coliseo	Polideportivo	
μ	50,7931	9,18966	5,06897	88,569	
σ	16,4707	2,30185	1,35312	22,5675	

Fuente: elaboración propia.

4.3 Fase II- Control estadístico

Para los datos medidos en el control, por cada bloque se realizó el análisis estadístico controlando los parámetros de las cartas resultantes de la Fase I y se realizó análisis de causas para hallar causas asignables a los *outliers* obtenidos, producto de esto se encontró un consumo estable para los edificios Administrativo, ABC, H, Polideportivo y Coliseo, teniendo este último un solo punto fuera de control, debido a unas obras que se han venido realizando; en la Figura 8 se presenta el control de los bloques ABC, ya que es el más importante para la Universidad del Atlántico, debido al alto consumo de agua potable por la actividad misma de las prácticas en los laboratorios y el número de salones que presentan.

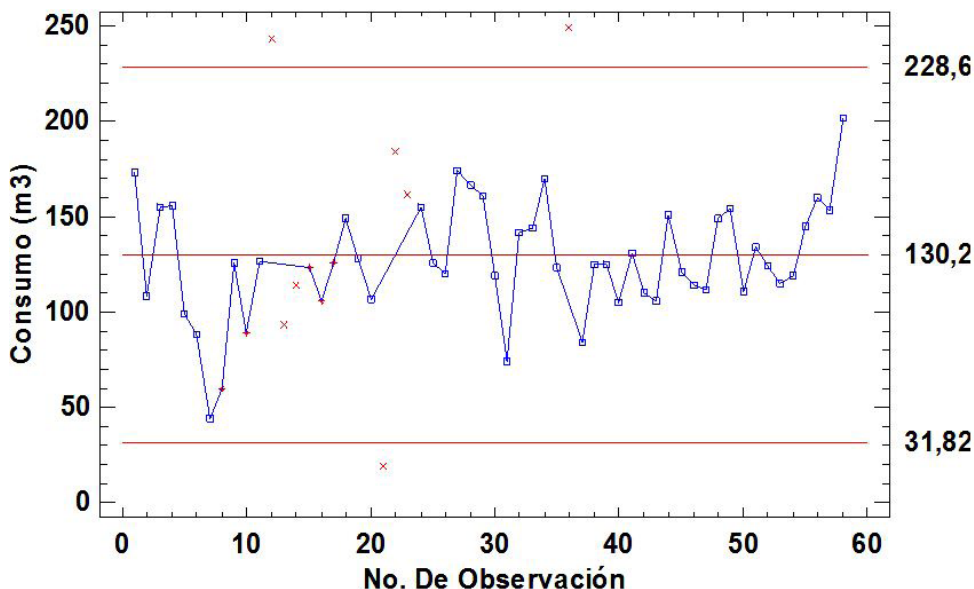


Figura 8. Control de consumo de agua en el Bloque ABC
Fuente: elaboración propia.

Según la Figura 9, el consumo en el bloque I está en control estadístico, esto puede deberse a que el bloque no está en funcionamiento y el consumo de agua se ve limitado a actividades estandarizadas, como incorporación de líneas de aires y gas.

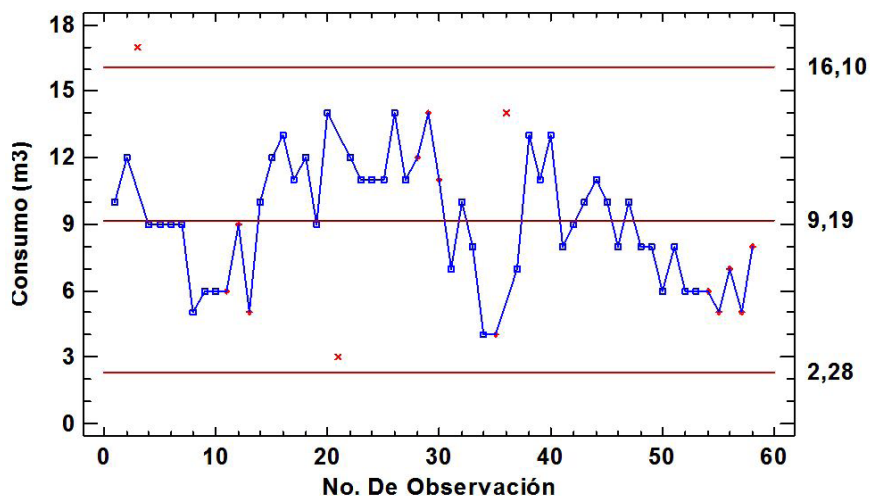


Figura 9. Control de consumo de agua en el Bloque I
Fuente: elaboración propia.

Esta carta de control se seguirá midiendo en los próximos meses para evidenciar el consumo real del agua y la aceptación que pueda tener el uso de las cartas de control. Se puede observar en las cartas de control obtenidas mucha variabilidad en máximos y mínimos proveniente de una variación atribuible presente. Se debe tener en cuenta que la población aumentó en la segunda mitad de las mediciones, ya que esta correspondió a un semestre académico diferente, además de la diversidad de actividades que se realizan en cada bloque, consecuentemente, la recolección de datos de consumo de agua debe realizarse de forma diferente para permitir utilizar otro tipo de carta de control, por ejemplo, la carta de media móvil que permita obtener información para analizar de manera masiva, además, el proceso (consumo de agua) debe ser investigado a fondo teniendo en cuenta factores externos como el clima, y factores internos como actividades rutinarias y/o extraordinarias, eventos especiales, carga estudiantil asignada en clases, etc., ya que debido a su variabilidad

no sirve como fundamento para la realización de pronósticos, sin embargo, esta investigación sienta las bases para generar consecuencia en el *alma mater*, debido a que la variación atribuible puede ser asociada fácilmente con derroche, falta de mantenimiento y adecuación de la red tuberías.

Para que se pueda concluir en resultados de mayor relevancia, se debe realizar un análisis de todas las posibles causas de variación de consumo medibles, en primer lugar, se recomienda utilizar análisis para detección de roturas en la red de distribución de agua de la universidad como el propuesto por Martínez (2015), que permite formular una gestión de presiones que conlleva a la reducción de probabilidad de las roturas de tubería a partir de la relación de los indicadores de presión del agua, con las roturas de tubería y la distinción de los indicadores de mayor significancia en las roturas. Otros factores externos de posible influencia pueden ser obtenidos a través de un análisis de causas completo y estos pueden ser medidos simultáneamente con el consumo de agua, esto con el fin de encontrar que variables son las más relevantes y pueden explicar de la mejor manera la variabilidad del consumo de agua, para dicha tarea la herramienta estadística recomendada es el Análisis de Componentes Principales (ACP), como lo cita Flórez-Vergara, *et al.*, (2018). Otra estrategia válida para implementar este control estadístico es la medición de caudal diurno y nocturno, de este modo se pueden obtener datos mucho más precisos sobre la cultura de consumo.

5. Conclusiones

Con el uso de control estadístico aplicado al consumo de agua de la Universidad del Atlántico, se obtuvo cartas de control en donde se pudo apreciar la gran variación atribuible (no común) que presenta, lo cual deja claro que se están midiendo consumo de agua de muchas actividades diferentes y que además está siendo afectado por factores externos que requieren una investigación más rigurosa, evidenciando la necesidad de un sistema de monitoreo que permita tomar acciones, para lo cual se recomendaron herramientas estadísticas potentes como estrategias de implementación. Se ha deducido a partir de las múltiples actividades necesarias para implementar control estadístico al consumo de agua en la universidad y su complejidad, se requiere la designación de un comité de implementación, con conocimiento idóneo y el diseño de un plan de acción, donde esté contemplado la forma de recolección de datos, el procedimiento de inspección, la elección e implementación de las cartas de control y las acciones a seguir a partir de los resultados obtenidos, todo esto con el fin de medir la efectividad de este control estadístico y las medidas adoptadas con base en él.

6. Referencias

- Alvarez, Antonio (2018). Cambio organizacional y cambio en los paradigmas de la administración. *Revista de Ciencias Sociales y Humanidades. UAM Iztapalapa.*, 48, 11–34.
- Bhakar, Vikrant; Sihag, Nitesh; Gieschen, Rebekka; Andrew, Stefan; Herrmann, Christoph; Sangwan, K. S. (2015). Environmental impact analysis of a water supply system: Study of an Indian university campus. *Procedia CIRP*, 29, 468–473.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.061>
- Cedeño-Viteri, Marco; Rodríguez-Aguilar, Leandro; Sánchez, Mabel (2012). Statistical Monitoring of Water Systems. *Computer Aided Chemical Engineering*, 31, 735–739.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59507-2.50139-6>
- Dagiliūtė, Renata; Liobikienė, Genovaitė; Minelgaitė, Audronė (2018). Sustainability at universities: Students' perceptions from Green and Non-Green universities. *Journal of Cleaner Production*, 181, 473–482.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.213>
- Farina, Marco; Maglionico, Marco; Pollastri, Marco; Stojkov, Irene (2011). Water consumptions in public schools. *Procedia Engineering*, 21, 929–938.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.213>

- Flórez-Vergara, A.; Díaz-Mercado, J.; Ibarra-Montes, M.; Olivero-Verbel, R.; García-Correa, L. (2019). *Propiedades Físicas de nidos de Acromyrmex rugosus y su efecto sobre el crecimiento de Zea mays L.* Editorial Universidad del Atlántico, Barranquilla.
- Gutiérrez, Humberto; De la Vara, Román (2013). *Control estadístico de la calidad y seis sigma.* México, D.F.: Mc Graw Hill.
- Gutiérrez, Joanna; Pérez-García, Rafael; Izquierdo, Joaquín; Herrera, Manuel (2010). Análisis de eventos de contaminación en redes de abastecimiento de agua con técnicas de control estadístico de procesos. En *I Seminario Iberoamericano de la red IT-AGUA.* Grupo FluIng - IMM - UPV, Valencia España.
- Hernández-Pasichana, Sandra; Posada-Arrubla, Adriana (2018). Avances de la investigación sobre la gestión integral del recurso hídrico en Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 21(2), 553-563. <https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n2.2018.1079>
- Hitchin, Roger; Knight, Ian (2016). Daily energy consumption signatures and control charts for air-conditioned buildings. *Energy and Buildings*, 112, 101–109. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.11.059>
- El Heraldo. (2017). *Barranquilla reduce su consumo de agua un 30,7%*. Recuperado de: <https://www.pressreader.com/colombia/el-heraldo-olombia/20170322/2815093410088001/1>.
- Kofinas, Dimitris; Spyropoulou, Alexandra; Lapidou, Chrysi (2018). A methodology for synthetic household water consumption data generation. *Environmental Modelling and Software*, 100, 48–66. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.11.021>
- Lagos, Ingrid; Vargas, José (2003). Sistema de familias de distribuciones de Johnson, una alternativa para el manejo de datos no normales en cartas de control. *Revista Colombiana de Estadística*, 26(1), 25–40.
- Llinás, Humberto (2017). *Estadística Inferencial.* Barranquilla, Colombia: Editorial Universidad del Norte. 278.
- Marques, María. (2011). *Estadística Basica Un enfoque no parametrico.* México D.F.: UNAM, 42.
- Martínez, Ángela (2015). *Metodología de análisis estadístico de roturas en redes de distribución de agua* (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España.
- Mustafa, Ana; Rodríguez, Norma; Chauvet, Susana (2002). Control de calidad : Cartas de control por variables. En *Congreso regional de ciencia y tecnología NOA.* Universidad Nacional de Catamarca, Argentina. 1–17. Recuperado de <http://editorial.unca.edu.ar/Publicacione%20on%20line/CD%20INTERACTIVOS/NOA2002/Control%20Calidad%20Cartas.pdf>
- Juran, J. M.; Gryna, F.; Bingham, R. S. (2005). *Manual de Control de Calidad.* Barcelona, España: Reverte, 946.
- Nieto, Nubia. (2011). La gestión del agua: tensiones globales y latinoamericanas. *Política y Cultura*, (36), 157-176. Recuperado de 2019, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-77422011000200007&lng=es&tln g=es.
- Otaki, Yurina; Ueda, Kazuhiro; Sakura, Osamu (2017). Effects of feedback about community water consumption on residential water conservation. *Journal of Cleaner Production*, 143, 719–730. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.11.021>

- Pedrosa, Ignacio; Juarros-Basterretxea, Joel; Robles-Fernández, Adán; Basteiro, Julia; García-Cueto, Eduardo (2015). Pruebas de bondad de ajuste en distribuciones simétricas, ¿qué estadístico utilizar? *Universitas Psychologica*, 14(1), 245-254.
<https://doi.org/10.11144/Javeriana.upsy14-1.pbad>
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (1977). *Conferencia Intergubernamental sobre Educación Ambiental, Tbilisi*. URSS, 14-26 de octubre de 1977: informe final. Recuperado de https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000032763_spa
- Quintana, Alicia; García, Liliana; Casal, Ricardo (2011). Variabilidad lateral para evaluar la velocidad de lateral. *Revista Ingeniería Industrial* 10(2), 31-48.
- Rivas-Marín, María (2011). Modelo de sistema de gestión ambiental para formar universidades ambientalmente sostenibles en Colombia. *Gestión y Ambiente*, 14(1), 151-162. Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/25453/39275>
- Romano, Michele; Woodward, Kevin; Kapelan, Zoran (2017). Statistical Process Control Based System for Approximate Location of Pipe Bursts and Leaks in Water Distribution Systems. *Procedia Engineering*, 186, 236-243.
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.235>
- Smeti, Eleni; Koronakis, Demetrios; Golfopoulos, Spyridon (2007). Control charts for the toxicity of finished water-Modeling the structure of toxicity. *Water Research*, 41(12), 2679-2689.
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.235>
- Tolón-Becerra, Alfredo; Lastra-Bravo, Xavier; Fernández-Membrive, Victor (2013). Huella hídrica y sostenibilidad del uso de los recursos hídricos. Aplicación al Poniente Almeriense. Estudios previos y medidas de eficiencia. *M+A. Revista Electronic@ de Medio Ambiente*, 14(1), 56-86. Recuperado de <http://revistas.ucm.es/index.php/MARE/article/view/42123/40102>
- Universidad del Atlántico. (2013). *Infraestructura de la Universidad del Atlántico*. Recuperado de <https://www.uniatlantico.edu.co/uatlantico/node/1709>
- Yang, Lili; Yang, Shuang-Hua; Magiera, Ewa; Froelich, Wojciech; Jach, Tomasz; Laspidou, Chrysi (2017). Domestic water consumption monitoring and behaviour intervention by employing the internet of things technologies. *Procedia Computer Science*, 111, 367-375.
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.06.036>