

Calidad y disponibilidad del recurso hídrico del Lago Gatún, Provincia de Colón, República de Panamá



Quality and availability of the water resources of Gatun Lake, Province of Colón, Republic of Panama

De La Cruz – Cabrera, Vera; Taylor, Franyeska; Farnum, Francisco

 Vera De La Cruz – Cabrera
vera.delacruz@up.ac.pa
Universidad de Panamá, Panamá

Franyeska Taylor
vsdesouza1928@gmail.com
Universidad de Panamá, Panamá

 Francisco Farnum
frank0523@hotmail.com
Universidad de Panamá, Panamá

Orbis Cognita
Universidad de Panamá, Panamá
ISSN-e: 2644-3813
Periodicidad: Semestral
vol. 4, núm. 2, 2020
revistaorbiscognita@gmail.com

Recepción: 28 Mayo 2020
Aprobación: 12 Junio 2020
Publicación: 15 Julio 2020

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/213/2131272005/index.html>



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-
NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Resumen: El agua es uno de los recursos naturales más valorado en el mundo y es el punto central del desarrollo sostenible en el ámbito de la economía, cultura, educación, social, ambiental y salud de un país. La Cuenca Hidrográfica del Canal es la fuente hidrológica más importante de la República de Panamá, y genera la oferta de agua para el canal y otros usos. La Autoridad del Canal de Panamá es responsable de la administración, uso, mantenimiento y conservación del recurso hídrico de ríos y lagos, garantizando su disponibilidad en cantidad y calidad, a través de la Unidad de Calidad de Agua responsable de evidenciar factores o agentes contaminantes a través de la revisión de parámetros físicos, químicos y biológicos los cuales aportan información extensa de su naturaleza, lo que permite evaluar la calidad del agua con relación a su calidad natural, efectos humanos y acuáticos relacionados con la salud. El estudio, de tipo transversal, se realizó en la Planta Potabilizadora de Monte Esperanza de la Provincia de Colón entre 2016 y 2017, analizando aguas crudas del embalse del Lago Gatún. Su propósito se basó en el estudio de la calidad del agua a través de la revisión de procesos para los parámetros que determinan su calidad. Los resultados obtenidos en la potabilizadora demuestran que son útiles para el control, debido a que se mantiene entre Buena y excelente según los cálculos del Índice de Calidad de agua. Estos procesos demuestran resultados reales, mantienen monitoreo frecuente con buena calidad de agua.

Abstract: Water is one of the most valued natural resources in the world and is the central point of sustainable development in the field of the economy, culture, education, social, environmental and health of a country. The Canal Hydrographic Basin is the most important hydrological source in the Republic of Panama and generates the supply of water for the canal and other uses. The Panama Canal Authority is responsible for the administration, use, maintenance and conservation of the water resources of rivers and lakes, guaranteeing its availability in quantity and quality, through the Water Quality Unit responsible for evidencing polluting factors or agents to through the review of physical, chemical and biological parameters which provide extensive information on its nature, which allows evaluating the quality of water in relation to its natural quality, human and aquatic effects related to health. The cross-sectional study was carried out at the Monte Esperanza Water Treatment Plant in the Province of Colón between 2016

and 2017, analyzing raw water from the Gatun Lake reservoir. Its purpose was based on the study of water quality through the review of processes for the parameters that determine its quality. The results obtained in the water treatment plant demonstrate that they are useful for the control, since it remains between Good and excellent according to the calculations of the Water Quality Index. These processes demonstrate real results, maintain frequent monitoring with good water quality.

Keywords: Calidad de agua, Contaminación de agua, Lago Gatún, recurso hídrico, saneamiento ambiental, water quality, Water pollution, Gatun Lake, water resource, environmental sanitation.

INTRODUCCIÓN

El agua es esencial para los seres vivos. La cantidad y calidad de este preciado líquido son condicionadas, por el entorno natural y social en las cuencas hidrográficas y el estado de los bosques como responsables de regular la cantidad de humedad que se condensa y cae como lluvia (Vega, 2012). En los ciclos del agua se encuentra la huella del ser humano, el agotamiento y contaminación de sus fuentes, siendo una de las causas principales de la sed que azota en diferentes lugares a nivel mundial. Es necesaria para todos los seres vivos, para la producción de alimentos, electricidad, mantenimiento de la salud. También es requerida en el proceso de elaboración de muchos productos industriales, medios de transporte y es esencial para asegurar la sostenibilidad de los ecosistemas de la tierra.

El recurso hídrico ha sido mencionado como uno de los factores más vinculado a las alteraciones del clima. Es por ello que aquellas organizaciones vinculadas al manejo de recursos hídricos invierten más tiempo y esfuerzo al estudio de los procesos naturales y ecosistemas con el fin de mejorar su gestión y contribuir con los objetivos internacionales de construir una sociedad donde la humanidad y el resto de los seres vivos puedan existir en bienestar. La supervivencia del hombre como especie se debe en parte al aprovechamiento de los recursos naturales, el recurso hídrico (necesario para la vida) ha sido fuertemente afectado por sustancias cada vez más

agresivas y difíciles de tratar debido a la naturaleza química de sustancias presentes en desperdicios que caen a las corrientes (Randulovich 1997).

A lo largo de las civilizaciones el hombre ha usado el agua para sus diferentes actividades, generando consigo aguas residuales que son vertidas a los cuerpos de agua ocasionando su degradación, provocando el cambio del paisaje, el incremento de descargas de sedimentos y nutrientes a los sistemas fluviales y la pérdida de la capacidad reguladora de las cuencas, lo que genera una influencia sobre sus ecosistemas, alterando la estabilidad del medio ambiente acuático. (ACF Internacional, 2011). Por tal razón, se ha generado el interés por conocer y proteger los ecosistemas fluviales, debido a que los cuerpos de agua sirven de sostenimiento para los seres vivos, estimulando así el desarrollo de criterios biológicos, físicos y químicos que permitan evaluar la calidad del agua (Aguilar, 2010).

En nuestro país hay un vínculo histórico con la administración del recurso hídrico desde que se concibió la idea de construir un canal interoceánico, y es en el territorio de la Cuenca Hidrográfica del Canal donde se almacena el agua que permite su abastecimiento para las ciudades más pobladas del país, para la operación del Canal de Panamá y para muchas otras actividades económicas. El agua de esta zona facilita el movimiento transoceánico de un seis (6%) por ciento del comercio mundial.

La Cuenca Hidrográfica del Canal es el elemento hidrológico más importante de la República de Panamá. Los aportes hídricos del Lago Gatún son utilizados en múltiples formas: para el consumo humano en las

ciudades de Panamá, Colón y alrededores; para el funcionamiento del Canal y en la generación de energía hidroeléctrica. (ACP, 2008). Referente a su paisaje, algunas

de las áreas inmediatamente adyacentes al lago han sido fuertemente intervenidas, transformando el paisaje original, donde es común encontrar Paja canamera (*Saccharum spontaneum*); sin embargo, otras zonas mantienen su cobertura boscosa, sobre todo aquellas que coinciden con las áreas protegidas del Parque Nacional Soberanía, Monumento Natural Barro Colorado, Bosque Protector y Paisaje Protegido San Lorenzo y el Área Recreativa Lago Gatún. (Farnum y Murillo, 2019).

La Autoridad del Canal de Panamá tiene dentro de sus objetivos estratégicos: “Asegurar la disponibilidad en volumen y calidad del agua para consumo y para la operación del Canal”. Cuenta con un sólido equipo de profesionales panameños especializados en esta temática, cuya responsabilidad es garantizar la cantidad y calidad de agua necesaria para los diversos usos, incluyendo su manejo en periodos críticos de sequías e inundaciones. Una de las actividades concretas dirigidas a cumplir con este objetivo, es la ejecución del Programa de Vigilancia y Seguimiento de la Calidad del Agua (PVSCA), por trece años consecutivos, produciendo datos de parámetros físicos, químicos y microbiológicos e información analítica sobre las concentraciones de nutrientes, sedimentos, minerales y materia orgánica presente en los cuerpos de agua calculando diversos índices, siendo el índice de calidad de agua (ICA) uno de los más representativos. Toda esta información ha permitido caracterizar y conocer el estado y la evolución de las características del agua en la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá a lo largo de estos años. (ACP, 2016).

La responsabilidad que conlleva el almacenar, analizar y la distribución de información hidrometeorológica ha hecho que se hayan realizado innumerables publicaciones relacionadas con acontecimientos extremos y de gran importancia para la administración de este recurso, y son similares a este estudio

Tabla 1 *Revisión de Publicaciones sobre recursos Hídricos*

Publicación	Autor	Fecha
Analysis of Rainfall Data in the Panama Canal for the Presence of Trend	Michael Hart	mayo 1992
Magnitude and Frequency of Floods for Rivers in the Panama Canal Watershed	Carlos Vargas	junio 1993
La Administración de los Recursos Hídricos, Pieza Fundamental para el Funcionamiento del Canal	Carlos Vargas	mayo 1996
Veranillo de San Juan Within the Panama Canal Watershed	Jorge Espinosa	1998
Análisis de Intensidad, Duración y Frecuencia; Eventos Máximos de Lluvia Anual (1972-1999), Cuenca del Canal, Región Oriental	Maritza Chandeck	octubre 2001
Informe de Calidad de Agua, Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá, Volumen I y II y 2007, Unidad de Calidad de Agua, septiembre del 2006 y agosto del 2008; Informe del Programa de Sedimentos Suspendidos, Periodo 1998-2007	Tomás García	junio de 2010

Nota: Compilación a partir de (ACP. 2008. Evaluación de la calidad del agua en once estaciones de muestreo del embalse Gatún utilizando técnicas estadísticas multivariadas. Unidad de Calidad de Agua. Pp. 54).

(TABLA1)
Revisión de Publicaciones sobre recursos Hídricos
Datos propios (2018)

El estudio de recursos del agua en Panamá es crucial por las consecuencias peligrosas de vivir sin acceso suficiente a este recurso esencial, y el conocimiento de dónde y en qué capacidad estas insuficiencias existen, son un paso adelante para resolver estos problemas. (ACP, 2008).

La importancia que ha cobrado la calidad del agua presenta como factores o agentes que causan su contaminación: agentes patógenos, desechos que requieren oxígeno, sustancias químicas orgánicas e inorgánicas, nutrientes vegetales que ocasionan crecimiento excesivo de plantas acuáticas, sedimentos o material suspendido, sustancias radioactivas y el calor (León, 1992; Calderón et al; 2008; Martínez *et al*, 2009).

La evaluación de la calidad del agua es un proceso de enfoque múltiple que estudia su calidad natural, los efectos humanos y acuáticos relacionados con la salud. Toma importancia la evaluación periódicamente de la calidad del agua, lo que garantiza que llegue al hombre en condiciones aptas para el consumo.

Los pioneros en generar una metodología unificada para el cálculo del índice de calidad (ICA) fueron Horton (1965) y Liebman (1969). Sin embargo, estos solo fueron utilizados y aceptados por las agencias de monitoreo de calidad del agua en los años setenta cuando los índices de calidad tomaron más importancia en la evaluación del recurso hídrico. La calidad de diferentes tipos de agua se ha valorado a partir de variables físicas, químicas y biológicas, evaluadas individualmente o en forma grupal. Los parámetros fisicoquímicos dan una información extensa de la naturaleza de las especies químicas del agua y sus propiedades físicas, sin aportar información de su influencia en la vida acuática; los métodos biológicos aportan esta información pero no señalan nada acerca del contaminante o los contaminantes responsables, por lo que muchos investigadores recomiendan la utilización de ambos en la evaluación del recurso hídrico (Castro, 1987; Jimenez, 2000; Orozco *et al.*, 2005; Gonzalez *et al.*, 2013).

La ventaja de los métodos físico-químicos se basa en que sus análisis suelen ser más rápidos y pueden ser monitoreados con mayor frecuencia, en comparación con los métodos biológicos, basados en la observación y medición de ciertas comunidades de seres vivos en las aguas; además, la elección de las especies debe ser cuidadosa ya que de esta depende la evaluación de la calidad del recurso, que generalmente solo se realiza para un uso determinado, a diferencia de las físico-químicas, que permiten una evaluación para diferentes tipos de uso (Orozco. *et al.*, 2005).

Sobre la base de las ideas expuestas, el propósito de la investigación se basa en el estudio de la calidad del agua del embalse del Lago Gatún realizada en la planta potabilizadora de Monte Esperanza ubicado en el sector Atlántico, donde se realizaron diversos procesos para el tratamiento del agua cruda a potable, mostrando las gestiones que se realizan para mantener el Índice de Calidad del agua (ICA) aceptable para el consumo humano.

El desarrollo de la actividad humana necesita utilizar y consumir el agua, pero por condiciones químicas, físicas y biológicas, no es posible de forma directa, lo que requiere de una serie de correcciones y tratamientos que eliminen aquellas partículas, microorganismos o sustancias perjudiciales para el hombre, evitando que tenga color, olor y sabor desagradable. De aquí, que debemos destacar la importancia que tiene la potabilidad del agua, ya que en mal estado o simplemente con sustancias nocivas y/o inherentes a ella, pueden atentar contra la salud como es el caso de la difteria y otras enfermedades.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio corresponde a una investigación transversal, observacional con análisis de datos variables recopilados en un período de tiempo sobre un lugar o área determinada (Manterola y Otzen, 2014)

Descripción del Área de Estudio

El área de estudio está definida como El lago Gatún (Figura 1), se encuentra catalogado como Embalse Gatún según la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá, el mismo es la principal reserva de agua para la operación del Canal, porque en él se almacena el agua necesaria para la

operación del Canal, y una parte importante para el consumo de la población (ACP, 2008). Se extiende por todo lo largo de los corregimientos de Ancón en el distrito de Panamá (Provincia de Panamá), los corregimientos de Mateo Iturralde, Amador y La Represa en el distrito de La Chorrera (anteriormente Provincia de Panamá, actualmente Provincia de Panamá oeste), y los corregimientos de Cristóbal, Limón,

Nueva Providencia, Cativa y Sabanitas (distrito de Colón), en la Provincia de Colón. En función a las coordenadas geográficas, el embalse de Gatún se localiza a una Latitud entre 9°10'21" Norte y una Longitud entre 79°53'55" Oeste y está rodeado por llanuras y posee una elevación aproximada 26msnm (ACP, 2008).

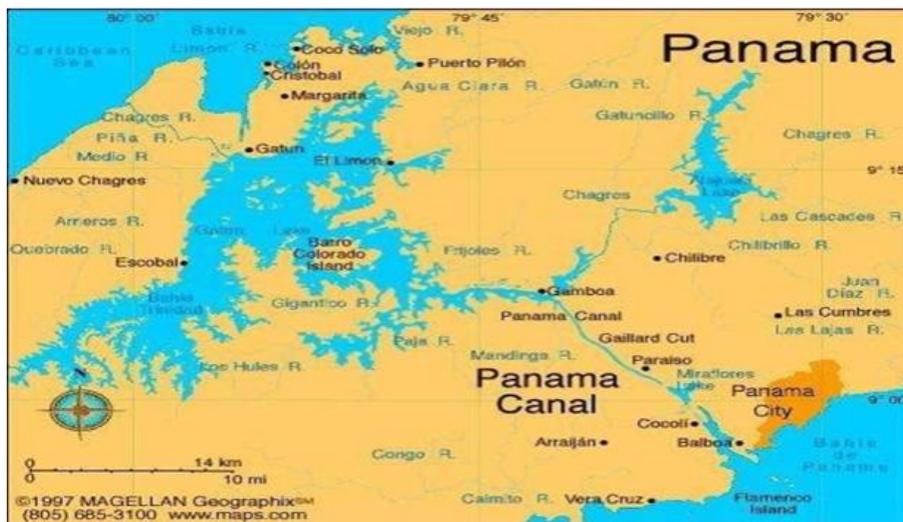


Figura 1. Mapa del Lago Gatún, Provincia de Colón

FIGURA 1

Mapa del Lago Gatún, Provincia de Colón

De acuerdo con el sistema de clasificación Köppen, el embalse Gatún tiene un Clima Tropical Húmedo, caracterizado por una precipitación anual promedio mayor de 2,500 mm, una estación seca pronunciada de tres meses (enero ó marzo) y una temperatura promedio anual entre 24 °C y 26 °C (KÖPPEN, 1948).

Es importante mencionar que el Embalse Gatún presenta los suelos aluviales se encuentran en las llanuras de inundación y sus tributarios. Estos suelos se caracterizan por ser planos, sin muchas piedras, menos arcillosos y de mejor fertilidad intrínseca que los ultisoles. Los suelos aluviales se clasifican como entisoles por ser suelos de llanuras aluviales muy recientes que no presentan horizontes diagnósticos en el perfil del suelo. La textura es más uniforme y abarca desde los francos arcillosos hasta arcillosos. Como son de reciente deposición, desde el punto de vista pedológico no presentan horizontes diagnósticos. Su principal limitación es el potencial de inundabilidad (CICH, 2007; ACP, 2010; Vega 2012).

Descripción del Área de Muestreo

El embalse Gatún, comprende 9 sitios de muestreo (Figura 2), que incluyen las tomas de agua de la potabilizadora de Monte Esperanza, y otras tomas de agua de sitios y rurales que abastecen a la población de la ciudad de Colón, carretera y áreas revertidas.

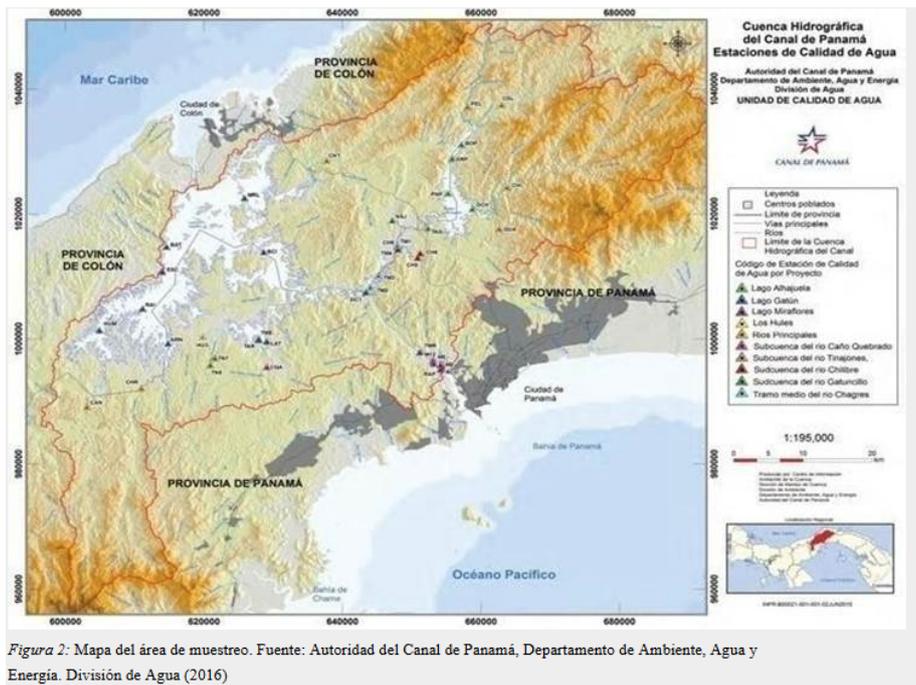


FIGURA 2
Mapa del área de muestreo
 Autoridad del Canal de Panamá, Departamento de Ambiente, Agua y Energía. División de Agua (2016)

Los sitios de muestreos internos son 5 (Figura 3):

- Toma de Agua de Agua Cruda (AC)
 - Toma de Agua de Colón Este (CE)
 - Toma de Agua de Colón Oeste (CO)
 - Toma de Agua de Gulick (GUL)
 - Toma de Agua de Gatún (GAT)



Figura 3 a. Toma de Agua de Agua Cruda (AC)



Figura 3 b. Toma de Agua Colón Este (CE), Colón Oeste (CO), Gulick (GUL)



FIGURA 3
Puntos internos de colecta de muestras. Planta Potabilizadora Monte Esperanza.
 Datos Propios (2018)

Los sitios de las tomas de aguas externas (Figura 4) a lo largo de toda la Área Adyacente al Canal de Panamá son 4:

- Toma de Agua Gatún (GAT): Administración frente a la estación de Bomberos
- Toma de Agua Medidor de Zona Procesadora (MZPD)
- Toma de Agua Medidor de Davis (MDAVIS)
- Toma de Agua Medidor de Sherman (MSHE)



FIGURA 4 A
Toma de agua Gatún (Gat) Frente a la Estación de bomberos
Datos Propios (2018)



FIGURA 4 B
Toma de agua – Medidor zona Procesadora (MZPD) y Medidor de Davis (MDAVIS)
Datos Propios (2018)



Figura 4c. Toma de agua – Medidor de Sherman (MSHE)

FIGURA 4C

Toma de agua – Medidor de Sherman (MSHE)

Datos Propios (2018)

Figura 4. Puntos externos de colecta de muestras. Planta Potabilizadora Monte Esperanza. Fuente: Datos Propios (2018)

Equipos

Para la realización del trabajo dentro del laboratorio fue necesario acceder a materiales y equipos, debidamente identificados con nombre y uso específico. Estos debieron ser previamente esterilizados con el fin de que no reflejen o alteran los resultados a causa de una indebida manipulación. Entre los equipos utilizados durante el proceso se pueden describir aquellos alternos para realizar pruebas físicas y químicas de la rutina diaria.

Tal es el caso de la Prueba de Turbiedad, donde se utilizó el equipo HACH 2100N TURBIDIMETER, el cual periódicamente se le verifica la calibración con estándares Stad Cal

y su forma operativa que esta descrita en el manual de instrumentos. Por su parte, la Prueba de Flúor (fluoruro) para la cual se utiliza el equipo DENVER INSTRUMENT Model 250 pH-ISE- Conductivity Meter, y presenta dos funciones, determinar los valores de la prueba de flúor y los valores de la prueba de pH. Igualmente, la calibración es periódica cumpliendo con los estándares y su pendiente de curva de trabajo. Para la prueba de Alcalinidad se utilizó una bureta manual y un medidor digital para el conteo del reactivo que se deposita en cada muestra.

RESULTADOS Y DISCUSION

El Proceso de la Potabilizadora Monte Esperanza para el control de la calidad de agua inicia con el proceso de Captación de aguas crudas que llega desde las fuentes naturales del embalse de Gatún, es el agua que no ha recibido ningún tipo de tratamiento previo, viene directamente de la naturaleza y dependiendo de los diferentes tipos de factores como (clima, época de año etc.) tiene diferentes características fisicoquímicas y microbiológicas.

El agua debe cumplir con una serie de características físicas y químicas para poder ser consumida, por esta razón el agua se examina minuciosamente y se califica con respecto a los índices mínimos o máximos permitidos para chequear que efectivamente el agua es potable, estas características óptimas se deben garantizar hasta el momento mismo de consumo.

- **Característica Física:** Turbiedad, Color, Olor, Sabor Temperatura, Conductividad.
- **Característica Química:** Alcalinidad, PH, Flúor
- **Característica Biológica:** Algas, Bacterias, E. coli.

Rangos de aceptación

Para los resultados de los análisis en las muestras del proceso de agua potable, (Tabla 2), los valores límites de cada rango tienen un 5% de variación aceptable, 5% para límites superior, 5% para límites inferiores.

Tabla 2 Descripción de los Parámetros Utilizados para determinar la Calidad del Agua

Parámetros	Agua cruda	Agua en proceso	Agua potable en planta	Agua potable-efluente de la planta	Agua potable-tanque de medidores
Turbiedad	N/A	Hasta 10.0 UNT	Hasta 1.0 UNT	Hasta 1.0 UNT	Hasta 1.0 UNT
Cloro Residual	N/A	0.5 a 1.5 ppm	0.8 a 1.5 ppm	*0.2 a 1.5 ppm	0.5 a 1.5 ppm
pH	N/A	N/A	6.5 a 8.5 ppm	6.5 a 8.5 ppm	6.5 a 8.5 ppm
Alcalinidad	N/A	N/A	Hasta 120 ppm como Carbonato de calcio	Hasta 120 ppm como Carbonato de calcio	Hasta 120 ppm como Carbonato de calcio
Flúor	N/A	N/A	0.65 a 0.75 ppm	0.65 a 0.75 ppm	0.65 a 0.75 ppm
Bacterias Coliforme	N/A	N/A	1 UFC por cada 100mL de muestra	1 UFC por cada 100mL de muestra	1 UFC por cada 100mL de muestra
Bacterias no coliformes en endo	N/A	N/A	Hasta 200 UFC por cada 100mL de muestra	Hasta 200 UFC por cada 100mL de muestra	Hasta 200 UFC por cada 100mL de muestra
Bacterias Heterotróficas	N/A	N/A	Hasta 200 UFC por cada 1mL de muestra	Hasta 200 UFC por cada 1mL de muestra	Hasta 200 UFC por cada 1mL de muestra

Nota: N/A= Omisión deliberada de información, UFC= unidades formadoras de colonias, UNT= unidades nefelométricas de turbiedad, ppm= partes por millón, ml= mililitros.
Fuentes: Datos propios

TABLA 2

Descripción de los Parámetros Utilizados para determinar la Calidad del Agua

Nota: N/A= Omisión deliberada de información, UFC= unidades formadoras de colonias, UNT= unidades nefelométricas de turbiedad, ppm= partes por millón, ml= mililitros.
Datos propios

Para el desarrollo de las pruebas en el laboratorio, se recopilaron los registros de los datos obtenidos mensualmente, considerando mes y año:

Tabla 3 Registro de Datos de indicadores claves de calidad de agua obtenidos por mes/año

FECHA	Cloro R. (ml)	Turb (VTU) AC	Flour CE	Alc. AC mg/l	Alc. CE mg/l	Colif. Totales (NMP/100m)	E. Coli (NMP/100ML)	ICA	TP°C
Ago. 2016	11	597	22.86	170.64	155.7	7300	20	85	28.4
Sep. 2016	9.8	254	19.7	170.7	149.5	960	<1	88	27.9
Oct. 2016	6.7	275	23.13	188	147.5	550	20	86	28.4
Nov. 2016	9.3	526	22.8	150.4	149.7	3100	10	86	29
Dic. 2016	10.4	473	22.1	169.02	155.7	1100	63	83	29.8
Ene. 2017	8.4	334	22.86	170.62	169.1	3300	360	81	29.3
Feb. 2017	12.3	452	20.4	150.3	170	560	130	77	28.4

Nota: mL: mililitros, AC: agua cruda, NTU: Nephelometric Turbidity Unit, Alc.: Alcalinidad, Colif.: Coliformes totales, E.Coli: Escherichiacoli., ICA: Índice de Calidad de Agua, TP°C: Temperatura grado Celsius, Turb: Turbiedad, CE: Colón Este, mg: miligramos, Cloro R: Cloro residual, NMP/100mL: número más probable.
Fuente: Datos propios (2018)

TABLA 3

Registro de Datos de indicadores claves de calidad de agua obtenidos por mes/año

Nota: mL: mililitros, AC: agua cruda, NTU: Nephelometric Turbidity Unit, Alc.: Alcalinidad, Colif.: Coliformes totales, E.Coli: Escherichiacoli., ICA: Índice de Calidad de Agua, TP°C: Temperatura grado Celsius, Turb: Turbiedad, CE: Colón Este, mg: miligramos, Cloro R: Cloro residual, NMP/100mL: número más probable.
Datos propios (2018)

Para evaluar la calidad de agua de un cuerpo hídrico, fue necesario analizar características físicas, químicas y microbiológicas, para verificar la condición del agua (Tabla 3). Estas características incluyen indicadores claves de calidad de agua definidas por Rodier (1989) de la siguiente manera:

Índice de Calidad de Agua (ICA):

Es un número (entre 0 y 1) que señala el grado de calidad de un cuerpo de agua, en términos del bienestar humano independiente de su uso. Este número es una agregación de las condiciones físicas, químicas y en algunos casos microbiológicos del cuerpo de agua, el cual da indicios de los problemas de contaminación.

Los valores de índice de calidad de agua (Tabla 4) van de 0 a 100 rangos y nos permite clasificar el agua mediante colores.

Tabla 4. Rangos y clasificación de la calidad del agua

Rangos	Color	Calificación descriptos
91-100	Azul	Excelente
71-90	Verde	Bueno
51-70	Amarillo	Medio
26-50	Naranja	Malo
0-25	Rojo	Muy malo

TABLA 4.
Rangos y clasificación de la calidad del agua

El índice de calidad de Agua se mantuvo en un nivel de calificación buena (Tabla 3),

Temperatura

En el agua es un parámetro muy importante dada su influencia, tanto sobre el desarrollo de la vida acuática como sobre las reacciones químicas y velocidades de reacción, así como la aptitud del agua para ciertos usos útiles.

La interpretación del valor de la temperatura del agua debe realizarse relacionándola con la temperatura ambiente en el lugar y momento de la medida. Las variaciones de temperatura se deben a muchos factores: hora del día, estación, profundidad del agua y otros factores.

Durante los meses de agosto del 2016 a enero del 2017 la temperatura se mantuvo dando resultados muy favorables, en el mes de febrero del 2017 la temperatura baja un porcentaje considerable ya sea por cuerpo de aguas frías o cambios ambientales climáticos que es un mecanismo que utiliza la madre naturaleza para mantener el equilibrio en el área boscosa. (Tabla 3)

Cloro Residual

El cloro residual se encuentra como combinación de hipoclorito y ácido hipocloroso, en una proporción que varía en función del pH. El cloro residual combinado es el resultado de la combinación del cloro con el amonio (cloraminas) la suma de los dos constituye el cloro residual. (Tabla 2)

Los resultados reflejados en la Tabla 3 mantienen un rango de 9.3mg/L a 12.3 mg/L de Agosto del 2016 a febrero del 2017 en donde hay una baja en los meses de octubre del 2016 con 6.7 mg/l y en enero del 2017 con 8,4mg/L.

Es fundamental mantener en la redes de distribución pequeñas concentraciones de cloro residual desde la potabilizadora hasta las acometidas de los consumidores para asegurar que el agua ha sido convenientemente desinfectada no obstante es importante señalar que la ausencia de cantidad de cloro residual en los meses bajos trae afectaciones en los rangos reflejados en la

cámaras de distribución, esta no implica la presencia de concentraciones microbiológica al menos que la ausencia de cloro residual fuera de un total de 0mg/L. La organización Mundial de la salud (OMS) establece una concentración máxima de 5 mg/L.

Turbiedad de Agua Cruda:

Es la dificultad del agua para transmitir la luz debido a materiales insolubles en suspensión coloidales o muy finos, que se presentan principalmente en aguas superficiales. (Tabla 2).

Durante el 2016 (Tabla 3), los valores máximos de turbiedad registrados fueron (Agosto 597mg/l, Noviembre 526mg/l) y los más bajos fueron (Septiembre 254mg/l, Octubre 275mg/l) y Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU) en donde surgieron la mayores variabilidad por los fenómenos ambientales que provocan fuerte impacto sobre la variación de la calidad del agua de fuentes de abastecimiento como grifos y cuencas exigiendo que los procesos de potabilización respondan a tales variaciones y mantengan los estándares de calidad en la producción de agua segura.

Alcalinidad del Agua:

Se considera poca Alcalinidad por debajo de los 100mg/L de CaCO₃. En las muestras de agua analizadas se han obtenido valores de alcalinidad en Colón Este, (agua procesada) es de un rango de 147,5 mg/L a 170 mg/L de CaCO₃ y para Agua Cruda (agua no procesada) un rango de 150,3mg/L a 188 mg/L. (Tabla 3)

Un valor superior a 100mg/L de CaCO₃ es adecuado, porque si hubiese acidificación del agua por algún tipo de contaminación, la alcalinidad que posee lograría neutralizar el pH (Tabla

2). Es decir, que los valores reflejados son buenos manteniendo una constante Alcalinidad y se observa que los valores más altos de pH (más Básicos) se corresponden con valores elevados de alcalinidad (aplicada para agua procesada). Los pH más ácidos corresponden con valores bajos de alcalinidad donde también existe relación entre la conductividad y la alcalinidad ya que los más bajos de conductividad van acompañados de valores bajos de Alcalinidad.

Coliformes Totales

Grupo de organismos bacterianos que es utilizado como indicador de contaminación del agua y alimentos (ACP, 2010).

En el 2016 sobre salen los conteos de coliformes totales NMP en los diferentes puntos de muestreos principalmente el Sitio (AC) Agua Cruda y Sito (MDAVIS) Área residencial de Davis. Y en las demás áreas de muestreo se encuentran las concentraciones más bajas de coliformes totales. La mediana más Alta de coliformes Totales durante el 2016 (Tabla 2, Tabla 3), se encontró en el mes de agosto con un valor de 7300NMP/100mL y la más baja fue en el mes de octubre del 2016 con un cambio representativo de 550NMP/100ml respectivamente.

Si tiene un resultado fuera del rango de aceptación, evalúe la validez y determine si es necesario repetir la prueba. En cualquiera de los casos, debe registrar la justificación de la excepción o los resultados de las repeticiones, en el informe Semanal de pruebas químicas y físicas y/o el semanal de prueba microbiológica.

DISCUSIÓN

Durante los meses de agosto a diciembre del 2016 y los meses de enero y febrero del 2017 (Tabla 3), en el Índice de Calidad de Agua (ICA), los registros para la calidad excelente muestran una disminución con un promedio del 15.02%, se observan en las tomas de agua de Gulick (GUL) sitio interno y Zona procesadora (MZPD) sitio externo. Son áreas cercanas a la potabilizadora y sus tuberías no presentan fugas ni rupturas lo que presume que las aguas no son afectadas por algún organismo externo.

Por otro lado, hay un incremento significativo del 71.85% en los registros de la calidad buena, se presentan en las tomas de agua en áreas señaladas como Gatún (GAT), Colón este (CE) y oeste (CO) sitio interno, Gatún (GAT) sitio externo, Área Administración. Es posible que la causa sea por una población mayor que en otros sitios incrementando la demanda de agua, lo que supone puede afectar su calidad cuando fluye por las tuberías. Por último, los registros muestran un mínimo de 13.13% con una calidad Media y se presentan en la Toma de agua de Davis (MDAVIS) en la Comunidad de José Dominador Bazán. (Figura 3, Figura 4). Se presume que los valores que muestran estos registros posiblemente sean por la exposición a rupturas de las tuberías a lo largo del trayecto que lleva el agua desde la toma hasta esta comunidad. Sin embargo, sirve para el consumo humano.

Finalmente, los registros del Índice de Calidad de Agua (ICA) en el 2017 (enero y febrero) se mantuvieron dentro del rango establecidos (en sequía y lluvias respectivamente) períodos en los cuales se espera encontrar un cuerpo de agua más activo.

A través de los años, la información que presenta el informe de Calidad de Agua de la Cuenca del Canal (2016), mantiene los valores más altos del Índice de Calidad de Agua (excelente) para

los meses de enero a abril coincidiendo con la estación seca. Sin embargo, en los meses posteriores (mayo y junio), estos valores presentan una leve disminución (buena), lo que concuerda con el inicio de la temporada lluviosa con el incremento de escorrentías y arrastres del material acumulado en los suelos durante la estación seca, mientras que para el mes de noviembre se registran los valores más bajos (media). (Ver Tabla 3)

Los resultados de los muestreos diarios se guardan en una base de datos de la empresa la cual sirve para mantener un registro actualizado y por año de la Calidad de agua, lo que permite conocer el comportamiento de sus características a través del tiempo (mensual y anualmente; temporadas secas y lluviosa) y el espacio (37 estaciones distribuidas en los tres embalses, ríos principales y subcuentas prioritarias), y relacionar las variaciones a diferentes condiciones y usos de agua.

CONCLUSIÓN

e comprobó que los procesos utilizados para la revisión de la calidad de agua son los requeridos con exactitud para obtener resultados reales y mantener en monitoreo con buena calidad de agua.

Los parámetros que medimos son los necesarios y justos para el control de la calidad del agua dentro de la potabilizadora de Monte Esperanza, el agua tiene una calidad de Buena a Excelente, según los cálculos del Índice de calidad de agua (ICA).

La comparación de los resultados de los registros de la calidad de agua de las tomas de las áreas de estudio muestra que éstas se mantienen en condiciones aptas para el uso y consumo humano. Además, se muestran en condiciones favorable producto de las pequeñas porciones de cloro residual que se vierten en las tinajas de distribución diariamente.

En la planta potabilizadora de Monte Esperanza se cumplen con procesos para monitorear y mantener la calidad del agua del lugar, lo que arroja una base de datos diarios con toda la información sobre el control de las lecturas de los resultados. Esto garantiza el abastecimiento a toda una población que depende del agua.

Generar conciencia a través de programas de sensibilización ambiental a la comunidad, desarrollo de investigaciones y proyectos relacionados con la calidad del agua, a través de alianzas estratégicas con Universidades públicas y privadas, en la búsqueda de mantener la calidad del agua para el consumo humano.

Financiar Iniciativas para proteger los ecosistemas de los alrededores de la cuenca hidrográfica especialmente la del Lago Gatún, promoviendo la prevención de la contaminación del agua.

Toda la información resultante es útil para estrategias de manejo para la comunidad en general y a los miembros de la comunidad universitaria especialmente los estudiantes de la Carrera de Licenciatura en Biología Ambiental del Centro Regional Universitario de Colón de la Universidad de Panamá.

AGRADECIMIENTOS

AGRADECIMIENTO

Al Doctor Francisco Farnum quien orientó el desarrollo y culminación de esta investigación la cual generó aportes significativos al tema de la calidad del agua en el Distrito de Colón. A la Dra. Marilyn Diéguez, encargada de la sección de potabilización del Aguade la ACP, y la Lic. Laura Angelina encargada de la Unidad de Calidad de Agua de la ACP, quienes permitieron desarrollar el estudio apoyando con trabajo de campo y de laboratorio.

REFERENCIAS

- ACF International, Hermann. (2011). Agua. En Saneamiento e higiene para las poblaciones en riesgo.
- Aguilar Ibarra, A. (2010) Calidad del agua: un enfoque multidisciplinario, UNAM, Instituto de Investigaciones Económicas, México Disponible en: <http://ru.iiec.unam.mx/65/1/CalidadAguaImpr.pdf>
- Autoridad del Canal de Panamá. (2008). Evaluación de la calidad del agua en once estaciones de muestreo del embalse Gatún utilizando técnicas estadísticas multivariadas. En Unidad de Calidad de Agua (pág. 54).
- Autoridad del Canal de Panamá. (2010). Informe del Programa de sedimentos suspendidos periodo 1998-2007. En Unidad de Hidrología Operativa, sección de recursos hídricos (pág. 28)
- Autoridad del Canal de Panamá. (2016). Informe de Calidad de agua de la cuenca del canal 2015. En a. y. Vicepresidente de Ambiente, Unidad de Calidad de Agua y división de agua (pág. 67). Panamá.
- Castro de Esparza, M. (1987). Parámetros físicos-químicos que influyen en la calidad y en el tratamiento del agua. Lima.
- Calderón Carrascal, G., Suárez Esquivia, L., & Beltrán Reales, A. (2008). Problemática ambiental de los cuerpos de agua de Cartagena de Indias. Teknos Revista Científica, 4(1). Recuperado a partir de <https://revistas-tecnologicomfenalco.info/index.php/teknos/article/view/710>
- CICH, 2007, Informe del Estado Ambiental de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá. Disponible en: https://www.jica.go.jp/project/spanish/panama/2515031E0/data/pdf/4-02_01.pdf
- Eaton, A., & Lenore, S. (2005). Standard Methods for the examination of water & wastewater. Washington DC: American Public Health Association.
- Farnum, F., & Murillo G., V. (2019). Análisis multitemporal (1970-2017) del uso del suelo en cinco comunidades ubicadas a lo largo de la carretera Boyd Roosevelt, Panamá. *Tecnociencia*, 21(2), 107-124. Recuperado a partir de <https://revistas.up.ac.pa/index.php/tecnociencia/article/view/57>.
- Fernández, N., & Solano, F. (2005). Índice de calidad y de contaminación del Agua. En Universidad de Pamplona (págs. 144-148).
- González Meléndez, Vicky, & Caicedo Quintero, Orlando, & Aguirre Ramírez, Néstor (2013). Aplicación de los índices de calidad de agua NSF, DINUS y BMWP en la Quebrada La Ayurá, Antioquia, Colombia. *Gestión*

y Ambiente, 16(1),97-107. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=1694/169427489003>

Horton, R. (1965). An index number System for rating wáter quality. Jr. Of WPCF: 37.

Jiménez, A.; Revista Gestión Ambiental. (2000). Determinación de los parámetros fisicoquímicos de calidad de las aguas.

Köppen, W. (1948). Climatología con un estudio de los climas de la tierra. En *Fondo de cultura Económica (Sección de obra de Geografía)* (pág. 58).

León, V. (1992). Índices de calidad del agua, forma de estimarlos y aplicación. En órelos: VII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (pág. 84).

Liebman, H. (1969). Atlas of water quality. En *Methods and practical conditions* (págs. 65-66). Oldenbourgh, Munich.

Martínez Romero, A, & Fonseca Gómez, K, & Ortega Sánchez, JL, & García-Lujan, C, (2009). Monitoreo de la Calidad microbiológica del agua en la Cuenca del Río Nazas, México. *Química Viva*, 8 (1), 35-47. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=863/86311258005>

Orozco, C.; Pérez, A.; González, M. N.; Rodríguez, F.; Alfayate, J.; Thomson editoriales spain paraninfo, S.A. (2005). Contaminación Ambiental. En *Una visión desde la química* (págs. 33- 36).

Randulovich, R. (1997). Sostenibilidad en el uso del agua en América Latina. *En Revista Forestal Centroamericana* (págs. 15-20).

Rodier, J. (1989). Análisis de las aguas: aguas naturales, aguas residuales, agua del mar. Barcelona.

Vega Cervera, Valery. (2012) Análisis de la Gestión del Recurso Hídrico en Panamá. Universidad de Alicante, Instituto Universitario del Agua y las Ciencias Ambientales. Alicante.

Manterola, Carlos, & Otzen, Tamara. (2014). Estudios Observacionales: Los Diseños Utilizados con Mayor Frecuencia en Investigación Clínica. *International Journal of Morphology*, 32(2), 634-645. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022014000200042>