

**CAPACIDAD DE AUTODEPURACIÓN DE LA CIÉNAGA DE LA VIRGEN A
PARTIR DE LA OPERACIÓN DEL EMISARIO SUBMARINO**



**Universidad
de Cartagena**
Fundada en 1827



**Facultad de
Ingeniería**
Fundada en 1949

ABRAHAM SAKER VICENT

FRANCISCO JOSE VEGA ROMERO

UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

CARTAGENA DE INDIAS D. T. y C.

1827 **2020**

**CAPACIDAD DE AUTODEPURACIÓN DE LA CIÉNAGA DE LA VIRGEN A
PARTIR DE LA OPERACIÓN DEL EMISARIO SUBMARINO**

GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN MODELACIÓN AMBIENTAL (GIMA)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: MODELACIÓN AMBIENTAL

INVESTIGADORES

ABRAHAM SAKER VICENT

FRANCISCO JOSE VEGA ROMERO

DIRECTOR

ING. ÉDGAR QUIÑONES BOLAÑOS

UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

CARTAGENA DE INDIAS D. T. y C

REPUBLICA DE COLOMBIA

2020

1827

UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

NOTA DE ACEPTACION

Firma del director
EDGAR QUIÑONES BOLAÑOS

Firma del jurado
DALIA MORENO EGEL

Firma del jurado
JAVIER MOUTHON BELLO

AGRADECIMIENTOS

Principalmente le damos las gracias a Dios, por permitirnos estudiar esta carrera tan maravillosa como es la ingeniería civil y terminar nuestro trabajo de grado con éxito.

Le damos las gracias a nuestros familiares por el amor y apoyo brindado durante la formación como ingenieros. por ayudarnos a cumplir este gran objetivo.

A los profesores por todas sus enseñanzas las cuales nos ayudaron a crecer como personas y como ingenieros.

A todos nuestros compañeros y amigos con los cuales compartimos grandes experiencias y nos apoyaron en los momentos difíciles. En especial a nuestro grupo de estudio conformado por Edinson López, Laura Segrera, Nora Romero y David Valdelamar.

Tabla de contenido

RESUMEN.....	14
ABSTRACT	15
INTRODUCCIÓN	16
1 MARCO REFERENCIAL.....	19
1.1 ANTECEDENTES	19
1.2 ESTADO DEL ARTE	23
1.3 MARCO TEORICO	26
1.3.1 Ciénagas	27
1.3.1.1 Características y Funciones	27
1.3.1.2 Función Hidrológica	28
1.3.2 Autodepuración.....	28
1.3.2.1 Procesos de autodepuración del agua	29
1.3.2.2 Fases en el proceso de autodepuración	30
1.3.2.3 Factores de los que depende el proceso de autodepuración.....	31
1.3.3 Metodología de análisis con series de tiempo.....	31
1.3.3.1 Indicadores de modelos de series de tiempo.....	32
1.3.3.2 Métodos de pronóstico.....	33
1.3.3.3 Métodos de pronóstico y suavizamiento simple:.....	33
1.3.3.4 Métodos de suavización exponencial	34
1.3.4 Análisis Tendencial.....	36
1.3.4.1 Método Mann Kendall.....	36
1.3.4.2 Pendiente de Sen.....	38

2	OBJETIVOS	39
2.1	OBJETIVO GENERAL	39
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	39
3	ALCANCE.....	40
4	DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	42
5	METODOLOGIA	47
5.1	Recolección de datos	47
5.2	Análisis de la información.....	48
5.3	Correlación del comportamiento hidrológico con la calidad de agua	49
6	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	53
6.1	DESCRIPCION DEL COMPORTAMIENTO HIDROLÓGICO DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	53
6.1.1	Marea.....	53
6.1.2	Precipitación.....	55
6.1.3	Viento.....	57
6.2	CALIDAD DE AGUA	58
6.2.1	pH.....	61
6.2.2	Salinidad.....	66
6.2.3	Oxígeno disuelto	73
6.2.4	Demanda bioquímica de oxígeno.....	80
6.2.5	Solidos suspendidos totales.....	86
6.2.6	Turbidez	89
6.2.7	Prueba Mann Kendall.....	95

6.2.8	Pendiente de Sen	105
7	ANALISIS ENTRE VARIABLES HIDROLOGICAS Y PARAMETROS FISICOQUIMICOS	111
7.1	Correlación lineal R^2	111
7.2	Balace de masa	112
7.2.1	Escenario 1	112
7.2.2	Escenario 2	116
7.2.3	Escenario 3	119
8	CONCLUSIONES	122
9	RECOMENDACIONES.....	125
10	ANEXOS	126
10.1	Anexo 1	126
10.2	Anexo 2	132
10.3	Anexo 3	139
11	REFERENCIAS.....	146

Listado de tablas

Tabla 1. Metas del proyecto La Bocana.....	59
Tabla 2. Límites permisibles en aguas de uso recreativo.....	59
Tabla 3. Ubicación geográfica de las estaciones en la Ciénaga de la Virgen	60
Tabla 4. División en zonas por agrupación de estaciones en la ciénaga.	60
Tabla 5. pH en la Ciénaga de la Virgen año 2015.	62
Tabla 6. pH en la Ciénaga de la Virgen año 2016.	63
Tabla 7. pH en la Ciénaga de la Virgen año 2017.	64
Tabla 8. pH en la Ciénaga de la Virgen año 2018.	65
Tabla 9. Concentración de salinidad en PSU del año 2015.	67
Tabla 10. Salinidad en PSU del año 2016.	69
Tabla 11. Salinidad en PSU del año 2017.	70
Tabla 12. Salinidad en PSU año2018.	72
Tabla 13. Oxígeno Disuelto (mg/L) año 2015.	73
Tabla 14. Oxígeno Disuelto (mg/L) año 2016.	75
Tabla 15. Oxígeno Disuelto (mg/L) año 2017	77
Tabla 16. Oxígeno Disuelto (mg/L) año 2018.	78
Tabla 17. Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) año 2015.	81
Tabla 18. Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) año 2016.	81
Tabla 19. Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) año 2017.	83
Tabla 20. Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) año 2018.	84
Tabla 21. Solidos suspendidos totales (mg/L) año 2017.	87
Tabla 22. Solidos suspendidos totales (mg/L) año 2018.	88
Tabla 23. Turbidez (NTU) año 2015.	90
Tabla 24. Turbidez (NTU) año 2016.	91
Tabla 25. Turbidez (NTU) año 2017.	92
Tabla 26. Turbidez (NTU) año 2018.	94

Tabla 27. Detección de tendencias para los parámetros de calidad de agua en la Ciénaga de la Virgen año 2015.	96
Tabla 28. Detección de tendencias para los parámetros de calidad de agua en la Ciénaga de la Virgen año 2016.	98
Tabla 29. Detección de tendencias para los parámetros de calidad de agua en la Ciénaga de la Virgen zona sur año 2017.	99
Tabla 30. Detección de tendencias para los parámetros de calidad de agua en la Ciénaga de la Virgen zona centro-norte año 2017.	100
Tabla 31. Detección de tendencias para los parámetros de calidad de agua en la Ciénaga de la Virgen zona sur año 2018.	101
Tabla 32. Detección de tendencias para los parámetros de calidad de agua en la Ciénaga de la Virgen zona centro-norte año 2017.	102
Tabla 33. Pendiente de Sen calculada para los parámetros que presentaron tendencia año 2015.	106
Tabla 34. Pendiente de Sen calculada para los parámetros que presentaron tendencia año 2016.	107
Tabla 35. Pendiente de Sen calculada para los parámetros que presentaron tendencia año 2017.	108
Tabla 36. Pendiente de Sen calculada para los parámetros que presentaron tendencia zona sur año 2018.	109
Tabla 37. Pendiente de Sen calculada para los parámetros que presentaron tendencia zona centro-norte año 2018.	110
Tabla 38. Resumen del análisis de tendencias para las series de valores promedios, máximos y mínimos mensuales de los parámetros de calidad de agua.	110
Tabla 39. Coeficientes de correlación R^2	111
Tabla 40. Relación precipitación vs carga para DBO.	119
Tabla 41. Relación precipitación vs carga para SST.	119
Tabla 42. Balance de masa de la DBO escenario 1 año 2015	126

Tabla 43. Balance de masa de la DBO escenario 1 año 2016	126
Tabla 44. Balance de masa de la DBO escenario 1 año 2017	127
Tabla 45. Balance de masa de la DBO escenario 1 año 2018	127
Tabla 46. Balance de masa de la DBO escenario 1 año 2019	128
Tabla 47. Balance de masa de la SST escenario 1 año 2017	128
Tabla 48. Balance de masa de la SST escenario 1 año 2018	129
Tabla 49. Balance de masa de la SST escenario 1 año 2019	129
Tabla 50. Balance de masa de la OD escenario 1 año 2015	130
Tabla 51. Balance de masa de la OD escenario 1 año 2016	130
Tabla 52. Balance de masa de la OD escenario 1 año 2017	131
Tabla 53. Balance de masa de la OD escenario 1 año 2018	131
Tabla 54. Balance de masa de la OD escenario 1 año 2019	132
Tabla 55. Balance de masa de la DBO escenario 2 año 2015.	132
Tabla 56. Balance de masa de la DBO escenario 2 año 2016.	133
Tabla 57. Balance de masa de la DBO escenario 2 año 2017.	133
Tabla 58. Balance de masa de la DBO escenario 2 año 2018.	134
Tabla 59. Balance de masa de la DBO escenario 2 año 2019.	134
Tabla 60. Balance de masa de la SST escenario 2 año 2017.	135
Tabla 61. Balance de masa de la SST escenario 2 año 2018.	135
Tabla 62. Balance de masa de la SST escenario 2 año 2019.	136
Tabla 63. Balance de masa de la OD escenario 2 año 2015.	136
Tabla 64. Balance de masa de la OD escenario 2 año 2016.	137
Tabla 65. Balance de masa de la OD escenario 2 año 2017.	137
Tabla 66. Balance de masa de la OD escenario 2 año 2018.	138
Tabla 67. Balance de masa de la OD escenario 2 año 2019.	138
Tabla 68. Balance de masa de la DBO escenario 3 año 2015.	139
Tabla 69. Balance de masa de la DBO escenario 3 año 2016.	139
Tabla 70. Balance de masa de la DBO escenario 3 año 2017.	140

Tabla 71. Balance de masa de la DBO escenario 3 año 2018.	140
Tabla 72. Balance de masa de la DBO escenario 3 año 2019.	141
Tabla 73. Balance de masa de la SST escenario 3 año 2017.	141
Tabla 74. Balance de masa de la SST escenario 3 año 2018.	142
Tabla 75. Balance de masa de la SST escenario 3 año 2019.	142
Tabla 76. Balance de masa de la OD escenario 3 año 2015.	143
Tabla 77. Balance de masa de la OD escenario 3 año 2016.	143
Tabla 78. Balance de masa de la OD escenario 3 año 2017.	144
Tabla 79. Balance de masa de la OD escenario 3 año 2018.	144
Tabla 80. Balance de masa de la OD escenario 3 año 2019.	145

Lista de ilustración

Ilustración 1. Área de estudio de la Ciénaga de la Virgen	40
Ilustración 2. Mapa general de la Ciénaga de la Virgen.....	44
Ilustración 3. Principales características socio-ecológicas que rodean la Ciénaga de la Virgen.....	46
Ilustración 4. Metodología implementada.....	52
Ilustración 5. Rosa de viento estación Rafael Nuñez, periodo 1999 -2018.....	57
Ilustración 6. Ubicación de las estaciones en la Ciénaga de la Virgen	61

Lista de ecuaciones

Ecuación 1. Porcentaje promedio absoluto de error.....	32
Ecuación 2. Desviación media absoluta	32
Ecuación 3. Desviación cuadrática media.....	33
Ecuación 4. Ecuación para calcular el nivel en el tiempo t.....	34
Ecuación 5. Ecuación para calcular la tendencia en el tiempo t	34
Ecuación 6. Ecuación para calcular el valor estimado en el tiempo t	34

Ecuación 7. Ecuación para calcular el nivel en el tiempo t método Holt-Winters efecto multiplicativo	35
Ecuación 8. Ecuación para calcular la tendencia en el tiempo t método Holt-Winters efecto multiplicativo	35
Ecuación 9. Ecuación para calcular el componente estacional en el tiempo t método Holt-Winters efecto multiplicativo.....	35
Ecuación 10. Ecuación para calcular el valor estimado en el tiempo t método Holt-Winters efecto multiplicativo.....	35
Ecuación 11. Ecuación para calcular el nivel en el tiempo t método Holt-Winters efecto aditivo	36
Ecuación 12. Ecuación para calcular el componente estacional en el tiempo t método Holt-Winters efecto aditivo	36
Ecuación 13. Ecuación para calcular el estadístico S	37
Ecuación 14. Ecuación para calcular la función signo (SGN).....	37
Ecuación 15. Ecuación para calcular la varianza	37
Ecuación 16. Ecuación para calcular el estadístico de prueba Z	37
Ecuación 17. Ecuación para calcular la probabilidad p del estadístico Mann Kendall	37
Ecuación 18. Ecuación para calcular la función lineal f(t)	38
Ecuación 19. Ecuación para estimar la pendiente método de Sen para una par de puntos .	38
Ecuación 20. Ecuación para estimar la pendiente método de Sen si hay N datos y N es impar	38
Ecuación 21. Ecuación para estimar la pendiente método de Sen si hay N datos y N es par	38

Lista de graficas

Gráfica 1. Pronostico de marea en Cartagena año 2015.	53
Gráfica 2. Pronostico de marea en Cartagena año 2016.	54
Gráfica 3. Pronostico de marea en Cartagena año 2017.	54
Gráfica 4. Pronostico de marea en Cartagena año 2018.....	55

Gráfica 5. Precipitación acumulada anual en Cartagena durante el periodo de estudio..... 56

Gráfica 6. Velocidad de viento en Cartagena durante el periodo de estudio..... 58

RESUMEN

El presente trabajo investigativo tuvo como objetivo principal determinar la capacidad de autodepuración del agua de la Ciénaga de la Virgen a partir de la operación del emisario submarino, desde el 2015 hasta el 2018. En pro del cumplimiento del objetivo principal, se realizó un análisis tendencial de los parámetros fisicoquímicos tales como: demanda bioquímica de oxígeno, oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales, salinidad, pH y turbidez, a partir de datos secundarios proporcionados por Aguas de Cartagena. En este proceso, se determinó la magnitud de incremento o decremento mensual de cada parámetro, de los cuales se destaca que en la mayoría del tiempo los parámetros presentaron tendencias de aumento, sin embargo, el oxígeno, la turbidez y salinidad mostraron tendencias de decremento en algunos años. Luego se realizó una correlación lineal entre la hidrología de la zona y los parámetros fisicoquímicos, en la cual los resultados no fueron los esperados debido a que solo el 7% de los coeficientes de correlación R^2 fueron mayores a 0,6. Debido a esto, se realizó un balance de masa en el cual se evaluaron tres escenarios que permitieron establecer las posibles condiciones hidráulicas que se presentaron en la Ciénaga durante los años de estudio. Para cada escenario, se determinaron las cargas entrantes al cuerpo de agua, los caudales de salida, las tasas de consumo y posteriormente se establecieron las condiciones que favorecieron el proceso de autodepuración. De lo anterior se concluyó que: solo la salinidad, pH y turbidez se mantuvieron dentro de los límites establecidos, parámetros como la DBO y SST tuvieron mejoría del 30 % y 17% respectivamente y que las condiciones hidráulicas para mantener las concentraciones de todos los parámetros dentro de las metas establecidas son: los caudales de salida de 56,9 m³/s, las cargas entrantes de agua residual no deben superar el 50% del caudal que anteriormente llegaba a la ciénaga (10.000 m³/s), los aportes de oxígeno deben estar entre 848,19 y 999,42 ton/mes y las tasas de consumo no deben ser mayor que 0,6.

Palabras claves: Análisis Tendencial, Autodepuración, Balance de Masa, Ciénaga de la Virgen, Correlación, Emisario Submarino.

ABSTRACT

The main objective of this research work was to determine the water self-purification capacity of the Ciénaga de la Virgen from the operation of the submarine emissary, from 2015 to 2018. In order to fulfill the main objective, a trend analysis was carried out of the physicochemical parameters such as: biochemical oxygen demand, dissolved oxygen, total suspended solids, salinity, pH and turbidity, from the collection of secondary data obtained from monthly monitoring carried out by Aguas de Cartagena. In this process, the magnitude of monthly increase or decrease of each parameter was determined, of which it is noted that in most of the time the parameters showed increasing trends, only oxygen and turbidity showed decreasing trends in some years. A linear correlation was then made between the hydrology of the area and the physicochemical parameters, in which the results were not as expected because only 7% of the R^2 correlation coefficients were greater than 0.6. Due to this, a mass balance was performed in which three scenarios were evaluated that allowed establishing the possible hydraulic conditions that occurred in the Ciénaga during the years of study. For each scenario, the incoming loads to the body of water, the outflows, the consumption rates were determined and subsequently the conditions that favored the self-purification process were established. From all of the above, it was determined that: only salinity, pH and turbidity were maintained within the established limits, parameters such as BOD and TSS had improvement of 30% and 17% respectively and the hydraulic conditions that contribute to maintaining the concentrations of all the physicochemical parameters within the established goals are: the outflows should oscillate between 40 and 56.9 m^3 / s , the incoming loads of wastewater must not exceed 50% of the flow that previously reached the swamp (10,000 m^3 / s), the oxygen contributions must be between 848.19 and 999, 42 Ton / month and consumption rates should not be greater than 0.6

Key Words: Cienaga de la Virgen, Correlation, Mass Balance, Self-purification, Tendency Analysis, Underwater Emissary.

INTRODUCCIÓN

La Ciénaga de la Virgen ubicada en el nororiente de la ciudad de Cartagena –Colombia fue hasta el año 2013 el principal receptor de aguas residuales de la ciudad, recibiendo más de la mitad de las aguas servidas sin tratamientos previos, situación que generó condiciones de insalubridad y altos niveles de contaminación afectando a las especies de fauna que habían encontrado un refugio en el estuario y que representan una fuente de recursos para las poblaciones de pescadores que dependen directamente de está (Observatorio EPA Cartagena, 2015). Estos vertimientos generados en el cuerpo de agua pudieron ser la causa principal de la muerte de organismos acuáticos, afectar el color del agua, generar eutrofización, la cual puede ocasionar problemas estéticos, como mal sabor y olor, y una acumulación de algas, incluso el agotamiento del oxígeno en las aguas más profundas entre otros cambios químicos. (Nebel & Wright, 1996)

Adicionalmente, la Ciénaga se ha visto inmersa en grandes procesos de desarrollo urbano que pudieron haber generado impactos negativos en el cuerpo de agua, entre los que se encuentran la pista del aeropuerto y la gran cantidad de asentamientos ilegales en el costado suroriental (Instituto Alexander von Humboldt, 2015) Sin dejar de lado el Viaducto el Gran Manglar el cual es considerado el viaducto más extenso de Colombia, que aunque es definido como un hito para la ingeniería colombiana tanto por su sistema constructivo Top Down, como por haber tomado rigurosas medidas para pasar por la Ciénaga de La Virgen sin afectarla (ARGOS, 2018), no se han emitido informes complementarios que corroboren dicha información.

En pro de revertir la situación de contaminación de la ciénaga, se han llevado a cabo proyectos a modo de solución en los que cabe resaltar la Bocana estabilizadora de mareas en el año 2000 como medio de autodepuración y la implementación del Emisario Submarino (2013) como destino final de las aguas residuales.

Actualmente, Entidades como el EPA desarrollan proyectos de conservación y preservación de los cuerpos de agua más importantes de Cartagena en donde la Ciénaga de la Virgen es uno de ellos, pero a la fecha no se han emitido informes recientes de la situación de la misma, en contraste con las frecuentes noticias donde se puede evidenciar la situación de contaminación que atraviesa el estuario en los titulares como “Recuperar la ciénaga: Urgente e inmediato”(EL Universal, 2018b) o “La Ciénaga de la Virgen está en un creciente daño ambiental”(EL Universal, 2018a), incluso en noticias como “Recogen doce toneladas de basura en la Ciénaga de la Virgen” (EL Universal, 2019). Situación que evidencia la importancia de la realización de un estudio que sirva como base para un diagnóstico acerca del estado del cuerpo de agua y su comportamiento a través del tiempo, para la toma de decisiones en pro de su recuperación. De esta manera se beneficiaría tanto a las personas vinculadas al estuario como a las entidades que velan por la conservación de los recursos naturales de la ciudad.

Siguiendo con la línea investigativa desarrollada por la Universidad de Cartagena acerca de esta temática, en la cual el estudio más reciente fue elaborado en 2014 , un año después del inicio de la operación del emisario submarino, en el cual recomiendan continuar con el seguimiento referente a la evolución de la calidad de agua de la ciénaga (Arenas & Serge, 2015), se desarrolló el presente trabajo el cual parte de la necesidad de resolver el siguiente interrogante: ¿Cuál ha sido el comportamiento de la calidad del agua de la Ciénaga de la Virgen a partir de la puesta en marcha del Emisario Submarino? esto con el fin de verificar si las acciones tomadas para su recuperación han cumplido con los objetivos propuestos hasta la fecha y en caso de que no se cumplan, establecer escenarios que ayuden a tomar decisiones a los distintos gestores, las cuales están encaminadas a favorecer la autodepuración del estuario.

El estudio realizado estuvo ligado a la línea investigativa de modelación ambiental, cuyo objetivo principal fue determinar la capacidad de autodepuración de la Ciénaga de la Virgen a partir del año 2014 hasta el año 2018, para ello se utilizó la herramienta de análisis

estadístico ambiental MAKESENS y la herramienta informática Excel. Con el MAKESENS inicialmente se realizó un análisis estadístico tendencial de la información fisicoquímica, y con un balance de masa se relacionó el comportamiento hidrológico con las concentraciones de los parámetros analizados, mediante el cual se establecieron las posibles condiciones que favorecen la recuperación del cuerpo de agua.

La importancia de la metodología utilizada en este trabajo, para el estudio de un cuerpo de agua como la Ciénaga de la Virgen radica en la posibilidad de determinar comportamientos de diversos parámetros con escasez de datos, distinguiendo tendencias y magnitudes de las mismas, además permitió establecer diferentes condiciones para evaluar distintos escenarios que se asemejan a la realidad. Por lo cual puede convertirse en una herramienta de gestión, manejo, diagnóstico y prospección muy útil para las personas encargadas del manejo y la administración de este tipo de recursos.

Con el trabajo realizado se logró ampliar el conocimiento acerca de cómo un modelo estadístico, combinado con un modelo matemático específico pueden convertirse en una herramienta de análisis para el estudio ambiental de un cuerpo de agua, de manera que se convierte un modelo complejo en uno más sencillo que permite la estimación de datos indispensables para el desarrollo de un estudio.

1 MARCO REFERENCIAL

1.1 ANTECEDENTES

En 1981 el CIOH desarrollo un proyecto sobre las variaciones en los niveles de la Ciénaga de la Virgen en el cual se concluyó que la máxima sobrevaloración que puede ocurrir en la Ciénaga es de 48 centímetros, por los efectos de fuertes lluvias (CARDIQUE, 1997).

Entre 1982 y 1983 el INDERENA Regional Bolívar realizo un proyecto en el cual se concluyó el origen del deterioro del sistema de caños y lagunas y las alternativas de su recuperación, y se comprobó que la Ciénaga de la Virgen se encuentra altamente eutroficada, en un avanzado estado de deterioro ecológico, y que la principal causa del mismo son las descargas de aguas servidas domesticas del alcantarillado (CARDIQUE, 1997).

En 1986, AMBIOTEC entrego un estudio de impacto ambiental sobre el proyecto de carretera que unía a Cartagena con la población de bayunca cruzando a través de la Ciénaga de la Virgen y concluyo la necesidad de colocar más estructura que conecten la Ciénaga con el mar para prevenir un mayor deterioro del estuario (Bello, 1988).

En 1988, el Ingeniero Javier Mouthon realizo una modelación del balance hídrico y de calidad de agua de la Ciénaga de la Virgen, en la cual planteo un modelo matemático de diferencias finitas para simular el balance de oxígeno y se concluyó que la solución más adecuada para la recuperación de la Ciénaga seria el dragado del fondo (CARDIQUE, 1997).

La depuración cobró importancia progresivamente desde principios de la década de 1970 como resultado de la preocupación general expresada en todo el mundo sobre el problema, cada vez mayor, de la contaminación humana del medio ambiente, desde el aire a los ríos, lagos, océanos y aguas subterráneas, por los desperdicios domésticos, industriales, municipales y agrícolas (Ryding & Rast, 1992).

Además, el crecimiento demográfico y de industrias en la ciudad de Cartagena y a lo largo de la rivera de la Ciénaga de la Virgen, junto con las descargas contaminantes, han contribuido considerablemente en la transformación del ecosistema de un estado de equilibrio trófico natural a un estado ecotóxico, en el cual la calidad del sistema hídrico ha sido enormemente impactada de manera negativa, por lo tanto, la importancia de mejorar la gestión de las descargas de aguas residuales, debido a que estas son las principales fuentes contaminantes en este cuerpo de agua (Maldonado, Baldiris, & Diaz, 2011).

La planeación para la construcción de La Bocana de Marea Estabilizada comenzó en los años 90, ante la necesidad de oxigenar la Ciénaga de La Virgen, un foco de contaminación a causa de los vertimientos del 60% de las aguas residuales provenientes de la ciudad y por otra parte el vertimiento de basuras de la población aledaña (Caracol, 2018). Lo que conllevó a altos niveles de contaminación provocando gran impacto físico-químico y biológico en el ecosistema.

La Bocana Estabilizada de Marea es una obra diseñada por la firma holandesa Haskoning utilizando un modelo matemático MIKE 21 y elaborado por Boskalis Internacional (Beltran, 2003). El sistema entro en funcionamiento el 31 de mayo del 2001 y permite la conexión entre la Ciénaga de la Virgen con el mar facilitando que la Ciénaga se descontamine (El Heraldo, 2011). Según Beltrán (2003), esta estabilización artificial permanente entre la Ciénaga de la Virgen y el mar, garantiza el flujo y reflujos de las corrientes de marea, permitiendo el intercambio continuo de las aguas. Su principio de operación se basa en la oxidación de la materia orgánica proveniente de las aguas residuales de la ciudad a través de un proceso biológico aerobio, logrando la autodepuración del medio acuático por la asimilación de los nutrientes.

Este sistema cuenta con diez compuertas en total, seis compuertas de entrada y cuatro compuertas de salida. La marea alta empuja las seis compuertas de ingreso a la Bocana y entra el agua de mar al estuario, y apenas comienza a bajar la marea, se cierran las seis compuertas y se abren las cuatro de salida, permitiendo un recambio del agua cada siete

días (Beltran, 2003).

Posteriormente a la Bocana, se realizó un estudio en el cual se presentan los resultados del análisis de evaluación de la calidad de agua en la Ciénaga de la Virgen entre los años 2006-2010. Los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para evaluar la calidad del agua y verificar la efectividad del sistema implementado fueron los siguientes: pH, oxígeno disuelto (OD), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (SST), amonio, fosforo total, coliformes totales y fecales, entre otros. Se realizaron diferentes análisis fisicoquímicos y microbiológicos a cada una de las muestras teniendo en cuenta las recomendaciones establecidas para el análisis de aguas en el manual de métodos estándar para el análisis de aguas y aguas residuales. Aunque se obtuvo una notable disminución de algunos de los indicadores lo que muestra una buena operación del sistema, siguen presentándose inconvenientes por los vertimientos que llegan al cuerpo de agua y es imprescindible la puesta en marcha de estudios que minimicen los impactos por vertimientos (Maldonado et al., 2011).

c realizaron el estudio de la variación del índice de la calidad del agua (ICA) haciendo una comparación entre la simulación del cuerpo de agua con el software MIKE21 y dos índices de calidad de agua ICA e ICAM, analizando cada uno de los parámetros físico-químicos y microbiológicos medidos en el periodo de 1999-2014 en la Ciénaga de la Virgen, con el fin de verificar el cumplimiento de los objetivos propuesto al inicio del proyecto Emisario Submarino, en este se obtuvieron los siguientes resultados: Antes de la construcción de la Bocana estabilizada de mareas, la calidad del agua de la Ciénaga en promedio era media, excepto en algunos puntos de la zona sur con malas condiciones debido a las descargas directas de las aguas residuales; entre el periodo de la Bocana y el emisario se obtuvo una calidad en promedio media, presentándose mejores condiciones en la zona norte que en la zona sur; la implementación del emisario genero un cambio significativo, debido a que en general todos los puntos estudiados alcanzaron unas condiciones de buena calidad a excepción de un punto que se mantuvo en calidad media. Por lo tanto, se concluyó que no

se ha alcanzado a cabalidad la meta propuesta con el proyecto Emisario Submarino debido a que con la entrada en operación se esperaban condiciones de excelente calidad para el mismo año. Además, de acuerdo con el decreto colombiano 1594 de 1984 el uso que puede darse a la Ciénaga en el 2014 es de contacto primario, esto para tanto coliformes fecales como totales. Sin embargo, para algunos puntos indica contacto secundario sobrepasando los límites para coliformes fecales. Asimismo, de acuerdo a la modelación realizada, el valor mínimo que definía la calidad de agua era de 64,98 inferiores a lo esperado luego de la construcción del emisario submarino que fue de 69. Por otra parte, el máximo valor alcanzado de ICA fue de 86 y el esperado era de 94,91, es decir, que no se encuentra en la categoría de excelente. En consecuencia, se evidencia la importancia de continuar con los monitoreos y plantear soluciones que aceleren el proceso de autopurificación a partir del intercambio de agua con el Mar Caribe o en su defecto variación en el sistema de la Bocana.

En el estudio del comportamiento hidrodinámico de la Ciénaga de la Virgen (Arrieta & Retjman, 2003), realizaron estimación sobre los caudales de entrada y salida de la Ciénaga con base en los niveles de marea medidos para la ciudad de Cartagena haciendo uso del correntómetro AANDERAA RCM-9. En este estudio se mostraban los resultados de las últimas mediciones continuas de caudales en la Bocana y la compuerta de Chambacú como elemento de seguimiento al funcionamiento hidráulico del sistema e insumo para la valoración de la eficiencia del sistema. Finalmente, se obtuvo en la Bocana de marea estabilizada que se presentan mayores caudales picos de salida que de entrada y en general se evidencian mayores volúmenes de salida del sistema lagunar en comparación al de entrada, como consecuencia de esto, afirman que la zona de estudio presenta una fuerte dinámica y requiere de un continuo monitoreo que permita predecir los cambios morfológicos que se presentarán y que se garantice la funcionalidad de la Bocana.

Martínez & Alfonso (2003) afirman que la Ciénaga de la Virgen por mucho tiempo ha recibido gran parte de las aguas servidas de la ciudad, esto llevó al estuario al deterioro de

su calidad provocando malos olores, mortandad de peces y eutroficación, perdiendo así su capacidad de auto-regeneración y poniendo en riesgo la salud y bienestar de la población que vive a sus orillas y sus zonas de influencia. Por lo tanto, se tomó como estructura de análisis la Bocana de Marea Estabilizada y se presentaron los resultados del análisis espectral de las corrientes medidas y la importancia que la Marea, los vientos y las presiones atmosféricas representan en la hidrodinámica de las corrientes de la Ciénaga de la Virgen. En este se concluyó que la marea es el fenómeno predominante tanto del lado del mar como de la Ciénaga, los vientos son más influyentes del lado de la Ciénaga y las presiones atmosféricas del lado del mar.

1.2 ESTADO DEL ARTE

Por lo general, los modelos matemáticos son complejos y requieren el conocimiento de muchas variables y parámetros que describan el comportamiento de los cuerpos de agua, los cuales, en muchos casos, no se tienen. Es por esto que se ha contemplado la estadística como una herramienta alternativa que contribuye al control de las variables analizadas y dan conocimiento a otros comportamientos claves dentro del control de procesos; de este modo, “la aplicación de técnicas estadísticas permite mejorar el diseño espacial y temporal de los monitoreos, logrando, a menor costo y esfuerzo, igual calidad de información” (Rossen, 2009).

Haciendo una búsqueda exhaustiva a nivel internacional, se han encontrado estudios elaborados por diferentes autores con el fin de realizar un análisis estadístico de la calidad ambiental en diferentes cuerpos de agua, para esto analizaron la tendencia de los mismos mediante técnicas no paramétricas como en el estudio realizado por Contreras (2012) en el cual presentó un análisis de las tendencias en nueve puntos de monitoreo en el estuario del río Guadalquivir- España, entre los años 1981-2008. Mediante el test estadístico de Mann Kendall (MK) pudo detectar el comportamiento tendencial (incremento o decrecimiento) de cada parámetro estudiado (conductividad eléctrica (EC), concentración de nitratos (NC),

concentración de sólidos en suspensión (SSC) y caudal medio (Q_m) en cada punto de muestreo. Además, analizó la correlación entre los estadísticos MK entre los parámetros de calidad de agua y el caudal medio mensual, para ver si existía una tendencia similar entre estos.

Según el análisis de Mann Kendall, en el caso de los nitratos se encontró una tendencia ascendente en la mayoría de las estaciones, Por otra parte, en el caso de los sedimentos, se detectó una tendencia descendente en las estaciones situadas más aguas abajo. Con respecto a la correlación entre los estadísticos de MK en cada estación para cada variable. En el caso de la NC se encuentra correlación en la mayoría de las estaciones, con coeficientes de 0.59-0.93. Sin embargo, esta continuidad de aportes no se encuentra en el caso de SSC. La tendencia de la EC, se relaciona con la encontrada agua arriba desde el punto de control 3 al 7, con coeficiente de 0.5-0.9, en las estaciones 8 y 9 no se detecta correlación. Con esto demostró la eficacia en la aplicación del test de Mann Kendall.

Por otra parte, Cantos (2012) evaluó las tendencias de contaminantes en la masa de agua Bajo Guadalhorce (sur de España), para ello, aplicó el Test Estacional de Mann Kendall (SMK) en conjunto con la pendiente de SEN, mediante el cual determinó respecto a las tendencias observadas que, se pudo distinguir en principio dos comportamientos distintos; por un lado los puntos de control cercanos a la línea de costa y por otro los situados en la zona media-alta de la masa de agua. Los primeros mostraron por lo general tendencias crecientes en parámetros como la conductividad eléctrica, cloruros y sodio, y decrecientes en sulfatos y bicarbonatos. Por otro lado, destacó el comportamiento de los registros pertenecientes a la zona media-alta de la masa de agua subterránea, donde también se distinguieron patrones comunes. Los nitratos muestran tendencias crecientes en la totalidad de los puntos donde se han identificado tendencias significativas, así como el potasio. Finalmente se concluyó que la utilización La utilización del test de Mann-Kendall y la pendiente de Sen se muestra como una herramienta útil para obtener una visión de conjunto

sobre la evolución en el tiempo de la calidad de las aguas subterráneas mediante datos periódicos de calidad y los resultados numéricos obtenidos son fácilmente interpretables.

Valencia (2012) Evaluó la tendencia de la calidad del agua en siete lagunas urbanas de Villahermosa, Tabasco - México en el periodo 2005-2010. Para ello estudió la tendencia espacial y temporal de diez parámetros de calidad del agua y, además, obtuvo modelos de pronósticos para las series temporales de los valores mensuales de los diversos parámetros de calidad del agua. Entre las técnicas estadísticas utilizadas destacó que la prueba estacional de Kendall mostró una tendencia a la disminución de la DBO₅ en cuatro de las cinco estaciones de la laguna de las Ilusiones, indicando reducción de los aportes nutrientes y de aguas negras a esta laguna; sin embargo, la DQO sigue en niveles altos. Los SST no son un problema representativo para la calidad del agua en las lagunas. Los pronósticos de DBO₅ y SST realizados simulan bastante bien el patrón que presentan las series de datos.

Además de las lagunas, los ríos de Tabasco también fueron evaluados. Veintiún puntos de monitoreo fueron analizados entre 2005 y 2011 mediante la prueba no estacional de Kendall con la cual se determinó la tendencia de las medianas anuales por parámetro fisicoquímico y se modeló utilizando modelos de suavización exponencial. Las tendencias fueron, de aumento para la Demanda Bioquímica de Oxígeno a los cinco días en la región de la Sierra y de los Ríos. La Demanda Química de Oxígeno tuvo tendencia a la disminución en la región Centro. Los Sólidos Suspendidos Totales tendieron a disminuir en Sierra y Centro. Las Grasas y Aceites disminuyeron en casi todas las regiones. En este estudio la tendencia se modeló mediante modelos de suavización exponencial ya que estos modelos catalogan a las observaciones recientes con más peso que las observaciones remotas, de modo que pueden ser apropiadas para hacer pronósticos de la tendencia (Ramos, Broca, Laines, & Carrera, 2013).

La masa de agua subterránea Fuente de Piedra (provincia de Málaga) fue objeto de estudio entre los años 1987 a 2002, en 40 puntos de muestreo. Dicho estudio tuvo como objetivo

comparar tres métodos diferentes para analizar las tendencias de contaminantes en la calidad de la masa de agua. Se aplicó un método descriptivo, un método paramétrico y un método no paramétrico para establecer cual método sería el más adecuado. Luego del trabajo realizado se concluyó que el método no paramétrico de Mann-Kendall es la herramienta que mejor resultados presentó debido a la irregularidad y poca representatividad que presentan los datos de contaminantes en estas masas de aguas subterráneas, ya que es el único que tiene en cuenta las ausencias de datos en las series, interpretándolas estadísticamente, por lo que debe ser considerado el test de referencia (Jim, 2016).

La prueba estadística Mann- Kendall también fue la herramienta utilizada para analizar las tendencias de variables indicadoras de calidad de agua para el riachuelo (cuenca matanza-riachuelo, Argentina). Se analizó la tendencia tanto en los parámetros de calidad de agua como la precipitación mensual entre los años 2008-2016. Los resultados reflejaron condiciones más favorables en cuanto a contenido y demanda biológica de oxígeno, nitrógeno amoniacal total e ion cloruro aguas arriba de la desembocadura. La abundancia de bacterias *Escherichia coli* no mostró una tendencia apreciable. Asimismo, la fracción de materia orgánica no biodegradable se habría incrementado en todo el tramo al igual que la precipitación acumulada mensual para el periodo estudiado. El incremento de la escorrentía pluvial habría determinado las tendencias observadas en el intervalo de tiempo considerado. Con el estudio se pudo concluir acerca de la influencia de la precipitación en distintos parámetros fisicoquímicos, sin embargo, varias estaciones no mostraron tendencia significativa, lo cual requiere series de datos más largas (Matanza-riachuelo, Victoria, & Isabel, 2018).

1.3 MARCO TEORICO

A continuación, se definen los aspectos teóricos más relevantes que serán tratados a lo largo de la realización del presente estudio.

1.3.1 Ciénagas

El término “ciénaga” es una palabra única y exclusivamente de origen español que se les ha asignado a cuerpos en la superficie terrestre poco profundos que están llenos de humedad y de lodo, pero no se hace referencia a las características físicas, químicas e hidrológicas de estos cuerpos de agua.

Los humedales o “wetlands” son un término que se ha utilizado para describir una infinita variedad de ecosistemas cuya formación se le atribuye al agua existente en la tierra. Estos ecosistemas no tienen un flujo permanente y su profundidad media no sobrepasa los 2 metros. Han existido muchas definiciones de humedal a lo largo de la historia hechas por hidrólogos, botánicos, biólogos y especialistas en el tema, pero la definición hecha en 1989 por la EPA (Environmental Protection Agency) y SCS (Soil Conservation Service), es la que en el mundo se considera la más acertada y utilizada:

“El término humedales se refiere a esas áreas inundadas o donde el suelo se encuentra totalmente saturado, con una frecuencia y duración de este estado, lo suficiente como para permitir y soportar la existencia de vegetación típica de suelos saturados.”

1.3.1.1 Características y Funciones

El valor que se le da a estos ecosistemas está enmarcado dentro de una visión muy antropocéntrica que considera que estos cuerpos de agua tienen un valor notable por ser hábitats propicios para la pesca, la cacería, tala de árboles para construcción, asimilación de aguas residuales, calidad de agua y control de crecientes. Sin embargo, estos valores antropocéntricos indirectamente surgen de las cualidades ecológicas de estos cuerpos, por ejemplo: una ciénaga en condiciones anaerobias es capaz de convertir nitratos en óxidos nitrosos (N_2O) y llevarlos a la atmósfera, permitiendo que las ciénagas puedan asimilar aguas residuales municipales y vertimientos de aguas con fertilizantes provenientes de la agricultura. También se considera que los humedales son los ecosistemas con mayor tasa de crecimiento de plantas en el mundo, y que las ciénagas de

agua salada y mangle, son los ecosistemas más productores de biomasa que sirve como alimento de organismos tanto acuáticos como terrestres. Así mismo, las ciénagas descomponen más lentamente las plantas y animales muertos que otros ecosistemas, debido a que hay un bajo contenido de oxígeno y bajo pH, que a su vez lo que hace es que los organismos que descomponen la materia mueran por la no resistencia al medio y existan bacterias anaeróbicas que obtienen energía ineficientemente de la fermentación. Por lo general las ciénagas son propicias para desarrollar una cadena alimenticia perfecta que va desde el zooplancton, las plantas, la materia orgánica, peces y llega hasta aves acuáticas como los patos y los gansos, y hasta mamíferos, aunque en las ciénagas costeras habita de manera abundante el pelícano o alcatraz y la garza.

1.3.1.2 Función Hidrológica

La función hidrológica que estos ecosistemas cumplen está determinada por varios factores: por el tipo de humedal, su posición topográfica, su tamaño y los tipos de conexiones con aguas superficiales. Se dice que estos ecosistemas funcionan como bombas de agua para el ambiente, ya que pueden perder por evaporación hasta 2/3 del contenido de su agua anualmente y otro 30% en escorrentía o en recarga de aguas superficiales, aunque también se considera que la interacción con acuíferos permite que se puedan recargar o eventualmente perder agua.

Otra función importante que estos ecosistemas aportan al sistema hidrológico de las zonas en que se encuentran es la amortiguación de crecientes a causa de la lluvia. La parte superior del suelo de algunos de estos ecosistemas funciona perfectamente como una esponja que absorbe y después de que se llena descarga lentamente el agua retenida.

1.3.2 Autodepuración

Los procesos biológicos están basados en la autodepuración que la naturaleza lleva a cabo por medio de reacciones físicas, químicas y biológicas cuando una corriente acuática es contaminada:

“Las reacciones físicas son esencialmente la sedimentación de sólidos suspendidos, la clarificación y otros efectos producidos por la luz del sol (desinfección). Las reacciones químicas y biológicas son más complejas ya que tienen relación con seres vivos que se alimentan de sólidos orgánicos, conocidos también como bacterias anaeróbicas”.

Este proceso, que requiere de cierto tiempo y distancia para que una corriente se purifique, depende del volumen y fuerza de la contaminación del agua que transporta, así como de su temperatura, el caudal de la corriente, su turbulencia y flujo.

1.3.2.1 Procesos de autodepuración del agua

La autodepuración es el proceso de recuperación de un curso de agua después de un episodio de contaminación orgánica. En este proceso los compuestos orgánicos son diluidos y transformados progresivamente por la descomposición bioquímica, aumentando su estabilidad. Cada etapa se caracteriza por su distinta composición física y química. Por otro lado, vemos que la digestión de la materia orgánica desempeña un papel principal ya que se lleva a cabo por medio de bacterias.

Los tres procesos básicos que constituyen el sistema de purificación natural de agua en la naturaleza son:

1. La evaporación, seguida de condensación, elimina casi todas las sustancias disueltas
2. La acción bacteriana convierte los contaminantes orgánicos disueltos en unos cuantos compuestos sencillos
3. La filtración a través de arena y grava elimina la mayor parte de la materia en suspensión del agua.

En condiciones apropiadas, podríamos depender solo de la naturaleza para la purificación de nuestra agua.

Toda agua residual vertida provoca una perturbación en el ecosistema, bajo el aspecto físico y biológico. En el proceso depurativo natural, en primer lugar, se decantan los sólidos por diferencia de densidad, luego los depósitos progresivos de materia en suspensión, por disolución y transformación de los elementos oxidables.

La mayor parte de este proceso es encargado a las bacterias saprofitas, que descomponen la materia orgánica muerta, o la desdoblan en sustancias inorgánicas simples. Dichas sustancias alimentan a los vegetales, éstos a los animales, continuándose el ciclo de la vida, sin pérdida alguna de materia.

La radiación solar es la única fuente de energía externa, permite la síntesis de carbohidratos y otros productos orgánicos que se transfieren a la fase heterótrofa del ciclo, junto con el oxígeno resultante de la fotosíntesis. A cambio el bióxido de carbono, el agua y las sales inorgánicas que resultan de las actividades de los animales y las bacterias regresan a los autótrofos. (Ryding & Rast, 1992)

1.3.2.2 Fases en el proceso de autodepuración

- ✓ Zona de degradación y descomposición activa (polisaprobias). Tiene lugar aguas abajo del vertido. La presencia de materia en suspensión aumenta la turbidez y provoca muerte de algas (ya no hay fotosíntesis, por tanto, menos oxígeno), que serán descompuestas aeróbicamente junto con la materia orgánica aportada por el vertido (por tanto, la cantidad de O₂ disuelto, disminuye drásticamente, incluso hasta condiciones anaerobias = sin O₂). También se produce sedimentación de materiales. El agua tendrá un aspecto sucio, pardusco y mal olor. Las formas superiores de vida (peces, algas, tortugas, ranas...) se sustituyen por otras inferiores más tolerantes (bacterias descomponedoras fundamentalmente).
- ✓ Zona de recuperación (mesosaprobias). La materia orgánica ha sido eliminada y las concentraciones de O₂ vuelven a recuperarse, aumentando la vegetación y los organismos aerobios. Las aguas se vuelven más claras.
- ✓ Zona de aguas limpias (oligosaprobias). Características similares a las que tenía antes del vertido (agua clara, limpia, con abundante O₂ y fauna y flora autóctona). (Margalef, 1991).

1.3.2.3 Factores de los que depende el proceso de autodepuración

- ✓ Tiempo: es necesario para que los descomponedores actúen. Así que a medida que pasa el tiempo, la cantidad de materia orgánica disminuirá (por que la eliminan los de compondores) pero también el oxígeno disuelto es consumido en dicho proceso.
- ✓ Cantidad y calidad del receptor: si el volumen de agua es mayor las posibilidades de autodepuración son mayores como ocurre en el mar.
- ✓ Características dinámicas o estáticas: un rio caudaloso y que circula por una fuerte pendiente tendrá mayor capacidad de dispersar los contaminantes, y además al tener mayor agitación intercambiará más gases con la atmosfera (será un sistema acuático oxigenado). En cambio, en un lago con aguas estáticas tendrá menos posibilidades de dispersar contaminantes y oxigenarse porque su dinámica es nula.
- ✓ Cantidad de O₂ disuelto: es un parámetro clave para analizar la vida en el agua y está muy bien relacionado con el factor anterior y por supuesto con la cantidad de materia orgánica.
- ✓ Tipo de vertido: no todos los vertidos son biodegradables. Las sustancias no orgánicas biodegradables no podrán ser eliminadas en la autodepuración. (Ryding & Rast, 1992)

1.3.3 Metodología de análisis con series de tiempo

Los métodos de análisis de series de tiempo consideran el hecho que los datos tomados en diversos periodos de tiempo pueden tener algunas características de autocorrelación, tendencia o estacionalidad que se debe tomar en cuenta.

Una serie de tiempo, es una secuencia ordenada de valores de una variable en intervalos de tiempo periódicos y consecutivos. Por lo tanto, la aplicación de estos métodos tiene dos propósitos: comprender las fuerzas de influencia en los datos y descubrir la estructura que produjo los datos observados. Ajustar el modelo y proceder a realizar pronósticos, monitoreo, retroalimentación y control en avance (Reyes, 2007).

Un supuesto en muchas técnicas de series de tiempo es que los datos son estacionarios, donde su media, variancia y autocorrelación no cambia en el tiempo, tampoco se presentan patrones de estacionalidad, sin embargo, en la práctica si se presentan estos patrones de tendencia y de estacionalidad y es necesario contar con modelos que las consideren.

Si los datos muestran una tendencia, se pueden ajustar los datos con algún tipo de curva o recta y modelar los residuales. Cuando el propósito del ajuste es simplemente remover la tendencia a largo plazo, una línea recta es suficiente. Por otra parte, la estacionalidad en una serie de tiempo son las fluctuaciones periódicas, es decir, cuando se presentan picos en distintos periodos de la serie de tiempo que se está evaluando.

1.3.3.1 Indicadores de modelos de series de tiempo

Estos indicadores sirven para comparar la efectividad de diferentes modelos utilizados. Siempre se busca el valor menor en los indicadores MAPE, MAD y MSD ya que representa un mejor ajuste del modelo.

MAPE: Porcentaje promedio absoluto de error, mide la exactitud de los valores estimados de la serie de tiempo. La exactitud se expresa como un porcentaje con y_t igual al valor observado, \hat{y}_t es el valor estimado donde este valor es $\neq 0$ y n el número de observaciones.

$$MAPE = \frac{\sum \left| \frac{y_t - \hat{y}_t}{y_t} \right|}{n} \times 100 \quad \text{Ecuación 1}$$

MAD: Desviación media absoluta, mide la exactitud de los valores estimados de la serie de tiempo. Expresa la exactitud en las mismas unidades de los datos.

$$MAD = \frac{\sum_{t=1}^n |y_t - \hat{y}_t|}{n} \quad \text{Ecuación 2}$$

MSD: Desviación cuadrática media, es más sensible a errores anormales de pronóstico que el MAD.

$$MSD = \frac{\sum_{t=1}^n |y_t - \hat{y}_t|^2}{n} \quad \text{Ecuación 3}$$

1.3.3.2 Métodos de pronóstico

Los métodos de series de tiempo incluyen métodos de pronóstico y de suavizamiento simples, métodos de análisis de correlación y métodos de Box Jenkins ARIMA.

Métodos de pronóstico y suavizamiento simple: se basan en la idea de que hay patrones visibles en una gráfica de series de tiempo que pueden ser extrapolados al futuro. El método se selecciona dependiendo de si los patrones son estáticos (constantes en el tiempo) o dinámicos (cambian en el tiempo), la naturaleza de los componentes de tendencia y estacionalidad y que tan lejos se quiera pronosticar, son métodos generalmente fáciles y rápidos de aplicar.

Métodos de pronóstico ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average): también usan patrones de datos, sin embargo, puede que no sean fácilmente visibles en la serie de tiempo. El modelo usa funciones de diferencias, autocorrelación y autocorrelación parcial para ayudar a identificar un modelo aceptable. El modelo ARIMA representa una serie de pasos de filtraje hasta que solo queda ruido aleatorio. Es un proceso iterativo que consume tiempo de ejecución (Reyes, 2007).

1.3.3.3 Métodos de pronóstico y suavizamiento simple:

Modelan componentes en una serie que normalmente son fáciles de ver en una serie de tiempo.

Este método descompone los datos en sus partes componentes y los extiende al futuro para pronosticar. Se pueden seleccionar los métodos siguientes:

1. Métodos estáticos de análisis de tendencias y descomposición para patrones que no cambian con el tiempo.

2. Métodos dinámicos de promedio móvil; métodos de suavizamiento exponencial simple y doble y método de Winters. Para patrones que cambian en el tiempo y sus estimados son determinados por los valores más cercanos.

1.3.3.4 Métodos de suavización exponencial

Los métodos de suavizamiento exponencial han sido utilizados con éxito a través de los años en muchos problemas de pronóstico. Fueron sugeridos en 1957 por C.C. Holt para su aplicación en series de tiempo sin tendencia ni estacionalidad. Posteriormente el mismo ofreció un procedimiento que manejara tendencias. Después Winters en 1965 generalizó el método para incluir estacionalidad, de ahí el nombre de “Método de Holt Winters”.

1.3.3.4.1.1 Suavizamiento exponencial doble

Se aplica cuando en la serie de tiempo se presenta una tendencia ascendente o descendente, pero sin estacionalidad.

El suavizamiento exponencial doble emplea un componente de nivel y un componente de tendencia en cada uno de los periodos. Usa dos pesos, o parámetros de suavización, actualiza los componentes cada periodo (Reyes, 2007). Las ecuaciones son:

$$L_t = \alpha Y_t + (1 - \alpha)[L_{t-1} + T_{t-1}] \quad \text{Ecuación 4}$$

$$T_t = \gamma[L_t - L_{t-1}] + (1 - \gamma)t_{t-1} \quad \text{Ecuación 5}$$

$$\hat{Y}_t = L_{t-1} + T_{t-1} \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde,

L_t , es el nivel en el tiempo t , α es el peso para el nivel

T_t , es la tendencia en el tiempo t , γ es el peso para la tendencia

Y_t , es el valor observado en el tiempo t , \hat{Y}_t es el valor ajustado en el tiempo t

1.3.3.4.2 Método de Winters

Se aplica cuando en la serie de tiempo se presentan los patrones de tendencia y estacionalidad.

Suaviza los datos por el método exponencial de Holt – Winters. Se recomienda este método cuando se tienen presentes los componentes de tendencia y estacionalidad ya sea en forma aditiva o multiplicativa.

El efecto multiplicativo se presenta cuando el patrón estacional en los datos depende del tamaño de los datos o sea cuando la magnitud del patrón estacional se incrementa conforme los valores aumentan y decrece cuando los valores de los datos disminuyen. Se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$L_t = \alpha \left(\frac{Y_t}{S_{t-p}} \right) + (1 - \alpha)[L_{t-1} + T_{t-1}] \quad \text{Ecuación 7}$$

$$T_t = \gamma[L_t - L_{t-1}] + (1 - \gamma)t_{t-1} \quad \text{Ecuación 8}$$

$$S_t = \delta \left(\frac{Y_t}{L_t} \right) + (1 - \delta)S_{t-p} \quad \text{Ecuación 9}$$

$$\hat{Y}_t = L_{t-1} + T_{t-1} \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde,

S_t , el componente estacional en el tiempo t

δ , la ponderación para el componente estacional

p, período estacional

y los demás datos mantienen las mismas unidades.

El efecto aditivo es mejor cuando el patrón estacional en los datos no depende del valor de los datos, o sea que el patrón estacional no cambia conforme la serie se incrementa o disminuye de valor. Se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$L_t = \alpha(Y_t - S_{t-p}) + (1 - \alpha)[L_{t-1} + T_{t-1}] \quad \text{Ecuación 11}$$

$$T_t = \gamma[L_t - L_{t-1}] + (1 - \gamma)t_{t-1}$$

$$S_t = \delta(Y_t - L_t) + (1 - \delta)S_{t-p} \quad \text{Ecuación 12}$$

$$\hat{Y}_t = L_{t-1} + T_{t-1}$$

Donde todas las variables mantienen las mismas unidades descritas anteriormente.

El método de Winters calcula los estimados de tres componentes: nivel, tendencia y estacionalidad. Calcula estimados dinámicos con ecuaciones para los tres componentes: nivel, tendencia y estacionalidad. Estas ecuaciones dan una mayor ponderación a observaciones recientes y menos peso a observaciones pasadas, las ponderaciones decrecen geométricamente a una tasa constante

La ponderación seleccionada para Nivel, tendencia y estacionalidad es de 0.2 si se quiere hacer una correspondencia con el modelo ARIMA u otros valores entre 0 y 1 para reducir los errores de estimación (Reyes, 2007).

Tiene una amplitud de pronóstico de corta a media siguiendo una tendencia con un patrón estacional.

1.3.4 Análisis Tendencial

1.3.4.1 Método Mann Kendall

Es un método no paramétrico, lo que significa que no asume una distribución estadística y más robusta en comparación con las alternativas paramétricas. La prueba de Mann-Kendall es aplicable en los casos en que los valores de datos x_i de una serie temporal pueden ser

asumidos como producto de una condición tendencial. La aplicación del test de MK a una serie de datos independientes sugiere probar la hipótesis nula de no tendencia, H_0 , es decir, las observaciones x_i son aleatorias en el tiempo, contra la hipótesis alternativa, H_1 , donde hay una tendencia monotónica creciente o decreciente.

La prueba consiste en medir el estadístico S , como sigue:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde sgn es la función signo, definida como: (Ramos et al., 2013).

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} 1 & \text{si } x_j - x_k > 0 \\ 0 & \text{si } x_j - x_k = 0 \\ -1 & \text{si } x_j - x_k < 0 \end{cases} \quad \text{Ecuación 14}$$

Cuando $n > 10$, el estadístico S se distribuye normalmente, de media 0 y varianza calculada como sigue:

$$\text{Var}(S) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_{p-1})(2t_p+5)] \quad \text{Ecuación 15}$$

Finalmente, el estadístico de prueba Z , se estima de la siguiente manera:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{si } S > 0 \\ 0 & \text{si } S = 0 \\ \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{si } S < 0 \end{cases} \quad \text{Ecuación 16}$$

Un valor de Z positivo indica tendencia ascendente, mientras que valores negativos indican descendente. El valor de probabilidad p del estadístico MK puede estimarse siguiendo la función de distribución:

$$p = 0.5 - \Phi|Z| \quad \text{Ecuación 17}$$

Si p es suficientemente pequeño es improbable que la tendencia sea debida a un muestreo aleatorio. A un nivel de significancia de 0.05, si $p < 0.05$, entonces la tendencia existente se evalúa como estadísticamente significativa (Contreras Arribas, 2012).

1.3.4.2 Pendiente de Sen

El método no paramétrico de Sen es utilizado para estimar la pendiente real de una tendencia (como cambio por mes o año). El método de Sen se puede usar en casos donde se puede suponer que la tendencia es lineal. Esto significa que $f(t)$ es igual a

$$f(t) = Qt + B \quad \text{Ecuación 18}$$

Donde Q es la pendiente y B es una constante.

Para obtener la estimación de pendiente Q , primero se calculan las pendientes para cada par de datos.

$$Q = \frac{x_j - x_k}{j - k} \quad \text{Ecuación 19}$$

Donde $j > k$

Si hay n valores x_j en la serie de tiempo, obtenemos hasta $N = n(n-1) / 2$ estimaciones de pendiente Q_i . El estimador de pendiente del Sen es la mediana de estos N valores de Q_i . Los N valores de Q_i son clasificados desde el más pequeño al más grande y el estimador de Sen es:

$$Q = Q_{[\frac{N+1}{2}]}, \text{ si } N \text{ es impar.} \quad \text{Ecuación 20}$$

$$Q = [Q_{(\frac{n}{2})} + (\frac{Q_{(n+2)}}{2})], \text{ si } N \text{ es par.} \quad \text{Ecuación 21}$$

El intervalo de confianza de dos lados $100(1-\alpha)\%$ sobre la estimación de la pendiente se obtiene mediante técnica no paramétrica basada en la distribución normal. El método es válido para un n no menor a 10 (Salmi, Määttä, & Anttila, 2002).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la capacidad de autodepuración del cuerpo de agua de la Ciénaga de la Virgen, realizando un análisis tendencial a través de series de tiempo del comportamiento hidrológico y de la calidad del agua, con el fin de estimar condiciones ideales para que los parámetros estudiados se encuentren en los niveles establecidos por la normativa.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Evaluar la tendencia de la calidad del agua de la Ciénaga de la Virgen a través del análisis estadístico de series de tiempo (método Mann Kendall y pendiente de Sen), a partir de la información obtenida desde el año 2015 hasta 2018, haciendo énfasis en parámetros tales como: oxígeno disuelto (OD), demanda biológica de oxígeno (DBO), sólidos totales suspendidos (SST), turbiedad, pH y salinidad, con el fin de diagnosticar cual ha sido su tendencia a través del tiempo.
- ✓ Caracterizar el comportamiento hidrológico de la Ciénaga de la Virgen, mediante un análisis estadístico de los siguientes parámetros: marea, viento, precipitación, para establecer los posibles efectos que pueden generar dichos parámetros sobre la misma.
- ✓ Analizar la relación entre los datos hidrológicos y de calidad de agua, con el fin de evaluar distintos escenarios que favorezcan la autodepuración del cuerpo de agua.

3 ALCANCE

La Ciénaga de la Virgen es una laguna costera ubicada sobre el costado norte de la ciudad de Cartagena y separada del mar por el condón de arenas de la Boquilla, tiene una superficie total de 502,45 km² y su forma es triangular, estrecha en el norte y amplía en el sur, con una anchura máxima de 4,5 km y tiene una longitud de unos 7 km. El área trabajada será delimitada por el cuerpo central de la Ciénaga de la Virgen que corresponde a un espejo de agua de 22,5 km² y profundidades hasta de 1,6 m (Observatorio EPA Cartagena, 2015). El análisis estadístico se realizará haciendo uso de la hoja de cálculo MAKESENS, junto con la implementación de la herramienta EXCEL.



Ilustración 1. Área de estudio de la Ciénaga de la Virgen

Fuente: (Observatorio EPA Cartagena, 2015)

El trabajo se realizó en el primer periodo académico del año 2019 con los datos obtenidos desde el año 2015 hasta 2018 para realizar el análisis estadístico, que fueron proporcionados por las empresas Aguas de Cartagena, Establecimiento Público Ambiental, Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas, etc. En el análisis de la calidad, se hizo énfasis en parámetros tales como: oxígeno disuelto, demanda biológica de oxígeno. Sólidos totales suspendidos, temperatura, pH y salinidad. Asimismo, en el análisis del comportamiento hidrológico, se hizo énfasis en parámetros tales como: marea, viento y precipitación. Se implementó el modelo estadístico seleccionado, teniendo en cuenta la información obtenida. El análisis se realizó según las estaciones disponibles de información las cuales registran datos mensualmente, los datos del periodo 2015-2018 se utilizaron para estimar la tendencia en cada año para cada parámetro establecido, a su vez se caracterizó el comportamiento hidrológico de la zona y finalmente se relacionaron los dos componentes, de los cuales se evaluaron tres escenarios, que permitieron establecer las condiciones que contribuyen a mantener las concentraciones evaluadas en los límites establecidos.

El producto final entregado es un documento con un análisis organizado de los resultados obtenidos en el cual se evidencia la evolución tanto espacial como temporal de los distintos parámetros fisicoquímicos evaluados, además de la caracterización del comportamiento hidrológico de la zona y la determinación de las condiciones que favorecen la autodepuración del estuario. Este estudio podrá ser utilizado como base para investigaciones más completas sobre el tema o de guía para estudios similares en otros cuerpos de agua.

El resultado esperado a partir de este análisis estadístico fue que la calidad del agua de la Ciénaga de la Virgen se encuentre en excelentes condiciones, o que el cuerpo de agua mostrara indicios de autodepuración y así plantear las condiciones hidrológicas para que se mantenga.

4 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La Ciénaga de la Virgen, Juan Polo o Tesca, como también se le conoce a esta ciénaga, es un humedal de gran importancia local y regional ubicado en los límites del norte de la ciudad de Cartagena. En su longitud bordea la vía al mar que comunica las ciudades de Cartagena y Barranquilla, abarcando desde el Km 0 hasta aproximadamente el Km 3 de la vía de manera que si se viaja por esta carretera se observa durante el inicio de ella que al costado izquierdo está el Mar Caribe y al costado derecho la Ciénaga de la Virgen. De igual forma, en su amplitud es bastante extensa puesto que puede ser un poco más grande que la pista del aeropuerto Rafael Núñez de la ciudad de Cartagena, que a su vez bordea la ciénaga en gran parte del costado sur y occidental de la ciénaga, formando un espejo de agua de aproximadamente 25 km². Su profundidad es bastante variable, pues hay zonas donde su profundidad no sobrepasa los 100 cm, pero como puede haber zonas donde puede llegar a ser de 2,5 m.

Este humedal ha sido el hogar y fuente de trabajo de un porcentaje amplio de la población cartagenera. Pescadores, conjuntos recreacionales y hasta hoteles se pueden observar en las orillas de esta ciénaga, convirtiéndose así en una fuente económica, de recreación y turismo de la ciudad de Cartagena. Gran parte del pescado que se encuentra en el comercio informal (playas y restaurantes corrientes) de Cartagena, proviene de la Ciénaga de La Virgen, brindando la posibilidad a muchas personas de encontrar en ella un estilo de vida y una posibilidad de negocio. Todo esto hace necesariamente que el ecosistema de la Ciénaga de La Virgen sea considerado muy importante, como parte de los bienes y servicios ambientales de la ciudad y que sea considerado por la normatividad y la política ambiental nacional y regional como un “humedal” prioritario para la ordenación y el manejo sostenible.

La cuenca de La Ciénaga de La Virgen se encuentra ubicada en la zona norte del departamento de Bolívar y está conformada principalmente por los municipios de Turbaco, Santa Rosa y Villanueva. Limita al norte y oeste con el eco-región Zona

Costera, al este con el departamento del Atlántico y al sur con el eco-región del Canal del Dique; y tiene una extensión aproximada de 48.111 hectáreas y una población de 85.118 habitantes.

Esta cuenca se caracteriza por el drenaje de gran número de arroyos que llegan a la Ciénaga de La Virgen, dentro de los cuales se distinguen los arroyos de Matute - Ternera, Limón, Chiricoco, Hormiga, Las Tablas, Tabacal, Palenquillo y Meza, los cuales son principalmente invernales y nacen en los municipios que conforman la cuenca. Esta cuenca presenta gran diversidad geomorfológica, desde relieves montañosos en el municipio de Villanueva, mesetas localizadas en el municipio de Turbaco y hasta lomas, las cuales constituyen el relieve más abundante en la zona y con mayor presencia en el municipio de Santa Rosa, aunque también en este municipio se pueden encontrar llanuras costeras.

Los activos ambientales que enriquecen esta cuenca están representados por el área y extensión del Jardín Botánico “Guillermo Piñeres”, los arroyos Tabacal y Hormiga, el sistema de Serranías y Lomeríos de Turbaco y el cerro El Peligro. Este último es el sistema de acuíferos y aguas subterráneas presentes en la zona.

En la Ilustración 2 podemos observar el mapa general de la cuenca de la Ciénaga de La Virgen (color azul verdoso), en donde su relieve más elevado se encuentra identificado con los tonos más intensos del color verde y siendo los menos intensos los relieves de llanura. También se puede apreciar en el costado izquierdo del mapa a la ciudad de Cartagena (zona delineada en rosado) y en color azul intenso algunas fuentes hídricas que hacen parte de la ecorregión (Tinoco, 2006).

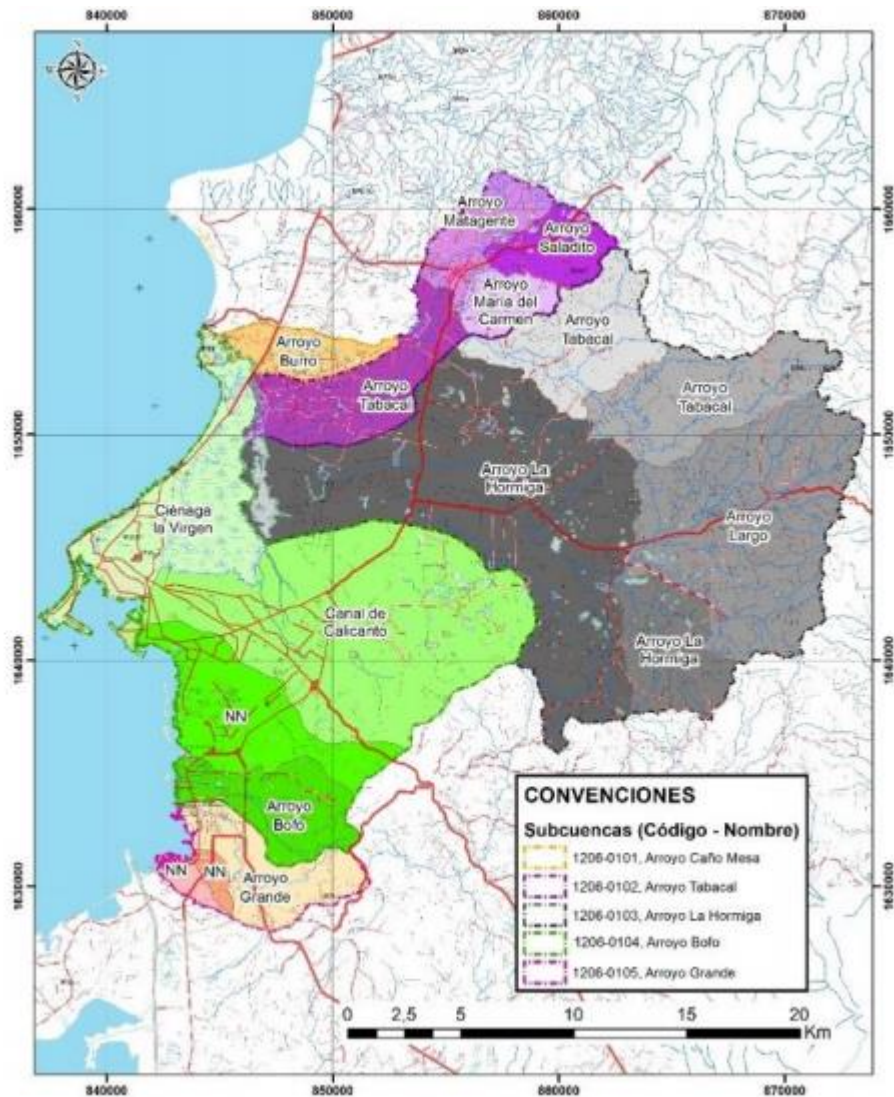


Ilustración 2. Mapa general de la Ciénaga de la Virgen (MINAMBIENTE, MINHACIENDA, & CARDIQUE, 2014).

El clima predominante es cálido seco, con un régimen pluvial monomodal. El área registra un clima de tipo tropical semiárido debido a la interacción de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), los vientos Alisios, el paso de las ondas del este y la presencia de frentes fríos del hemisferio norte (CIOH 2008). Los desplazamientos de la ZCIT mueven masas de aire húmedas marinas y continentales, generando condiciones de clima de tipo ciclónico alternas (lluvia – condiciones secas - nubosidad), siendo el principal regulador del

clima en la región. Cartagena es una ciudad con una característica estacionalidad climática monomodal. Las principales temporadas climáticas del área son las siguientes:

- Temporada de lluvias: Periodo comprendido entre septiembre y noviembre, en el cual se registran hasta el 44% de las precipitaciones del año. De estos tres meses, el más lluvioso es octubre con precipitaciones que pueden alcanzar los 500mm.
- Temporada seca: Periodo comprendido entre diciembre y marzo en el cual las lluvias no superan el 7% del total anual. Hacia la parte costera de la cuenca, el período seco se extiende hasta el mes de abril en el que empiezan a caer las primeras lluvias del siguiente período.
- Período de transición: Se presenta entre los meses de abril a agosto, en el cual se pueden registrar hasta el 50% de la precipitación anual. En este periodo se destaca el veranillo de San Juan durante el mes de junio, el cual se caracteriza por la reducción de las precipitaciones y el posterior ascenso hasta la época lluviosa. Hacia la zona costera se registran en este período, precipitaciones del orden de 400 a 450mm, mientras que en los costados oriental y norte pueden superar los 700mm.

En cuanto a los aspectos socioeconómicos, en la ciénaga existe una compleja red de actores con diferentes formas de relacionamiento que usan los recursos que les ofrece el humedal, de acuerdo a las características del sistema de gobernanza existente en el área. A continuación, se presenta un mapa en el que se resumen las principales situaciones de carácter socio-ecológicas, que inciden sobre la funcionalidad y oferta potencial de servicios ecosistémicos que provee la ciénaga (Instituto Alexander von Humboldt, 2016).



Ilustración 3. Principales características socio-ecológicas que rodean la Ciénaga de la Virgen (Instituto Alexander von Humboldt, 2016).

5 METODOLOGIA

El presente trabajo es de tipo descriptivo no experimental mediante el cual se buscó caracterizar el cuerpo de agua de la ciénaga de la virgen, ubicada en la ciudad de Cartagena de Indias (Colombia), a través del análisis de la evolución en el tiempo de los parámetros establecidos (Oxígeno Disuelto, DBO, Solidos Suspendidos Totales, pH, Turbidez, Salinidad, Marea, Precipitación y viento).

El enfoque empleado fue de carácter cuantitativo debido a que se caracterizó la evolución del estuario mediante un análisis tendencial de los parámetros definidos y la relación entre el comportamiento hidrológico y fisicoquímico para establecer la capacidad de autodepuración del cuerpo de agua. Cabe resaltar que el diseño no es experimental puesto que los autores no realizaron toma de muestras, ni ensayos de laboratorio para determinar los parámetros.

El esquema de la metodología se puede observar en la **Ilustración 4**.

5.1 Recolección de datos

A continuación, se muestra el proceso detallado que se realizó para la toma de la información:

- **Datos Hidrológicos:** se tomaron los resultados obtenidos del proyecto realizado por el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt en el año 2016 titulado “Propuesta del límite del humedal en la ventana piloto Ciénaga de la Virgen”. Además, los estudios previos realizados en la bocana por el ingeniero Alfonso Arrieta, los resultados obtenidos en el Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Hidrográfica de la Ciénaga de la Virgen realizado en el año 2004, los pronósticos de marea publicados por el CIOH en su página web en el año 2018, la rosa de viento publicada por el IDEAM en su página web desde el año 1999 hasta

2019 y el pronóstico de la precipitación anual en la ciudad de Cartagena publicado por el Wheater Spark.

- **Datos de calidad de agua:** Se recopilaron una serie de datos históricos acerca de las concentraciones de Oxígeno Disuelto, Demanda Biológica de Oxígeno y Solidos Suspendidos Totales, pH, Salinidad y Turbidez de Aguas de Cartagena (ACUACAR) desde el año 2015 hasta 2018. Dado su carácter de entidad gubernamental, se considera la información suministrada de alta confiabilidad. Se obtuvo información de calidad de agua de cuatro años para todos los meses durante el periodo 2015-2018 en once estaciones con las que se trabajaran en este estudio.

5.2 Análisis de la información

A partir de la información secundaria de calidad de agua suministrada por Aguas de Cartagena, se realizó una distribución de la línea de tiempo en orden cronológico para cada estación por cada parámetro. En este se evaluó su condición teniendo en cuenta las metas establecidas por el proyecto Bocana Estabilizada de Mareas, en el cual se definieron las concentraciones máximas admisibles para los parámetros oxígeno disuelto y demanda biológica de oxígeno; por otra parte, las concentraciones de solidos suspendidos totales se evaluaron teniendo en cuenta los límites fijados para uso recreativo según ASEAN (2008).

A continuación, se presenta una descripción de los métodos utilizados para el procesamiento de los datos.

- **Análisis hidrológico:** Con la información secundaria obtenida anteriormente, se determinó el comportamiento característico de la zona, donde se estableció el nivel de marea promedio en la zona, la precipitación mensual, además del viento influyente en esta zona, todo lo anterior se realizó durante los 4 años de estudio (2015-2018).
- **Análisis estadístico de la calidad del agua:**

- Se organizaron los datos en tablas de manera que se permitiera observar cada parámetro analizado, el valor de concentración mes a mes de cada estación y la zona a la cual pertenece cada una.
- Se realizó un análisis estadístico básico a cada parámetro, donde se determinó el promedio de concentración de toda la ciénaga mes a mes, además de esto, se calculó el promedio mensual, los valores máximos, los valores mínimos y el porcentaje de datos que cumplieron con las metas establecidas inicialmente en cada zona estudiada.
- Se determinó en que parte del año se presentaron la mayoría de valores máximos y mínimos de todo el cuerpo de agua y los meses durante el cual el promedio mensual del parámetro estudiado cumplía o no cumplía la meta establecida.
- Se realizó el test estacional Mann Kendall a cada estación para detectar tendencias estadísticas significativas de aumento o decrecimiento durante un año entero, mediante la hoja de cálculo MAKESENS.
- A las estaciones que presentaron tendencia estadística significativa, se le aplicó la Pendiente de Sen y de esta manera conocer la magnitud del aumento o decremento presentado durante un año entero mediante la **Ecuación 20 y 21**.

5.3 Correlación del comportamiento hidrológico con la calidad de agua

- Se analizó la precipitación presentada durante los años 2015- 2018 y se realizó una comparación con los años 2010-2011, 2013, 2015 debido a que estos años fueron caso de estudio en el año 2016, en el cual se realizó un balance hídrico para tres condiciones: año húmedo, seco y promedio en la ciénaga de la virgen (Instituto Alexander von Humboldt, 2016)
- Luego de establecer la condición de cada año estudiado (seco, promedio o húmedo), se realizó un balance de masa de los 5 años (2015-2019) para la DBO, el OD y los SST en el cual se tuvo en cuenta el volumen mensual almacenado en la ciénaga.

- Con una concentración de DBO de 400 mg/L y de SST de 1200 mg/L en el efluente se establecieron tres escenarios de estudio los cuales fueron los siguiente:
- Escenario 1: se definieron las cargas entrantes al cuerpo de agua relacionando la precipitación con el caudal de agua residual (10.000 m³/s) que llegaba antes a la Ciénaga, se estableció un porcentaje máximo (50%) y mínimo (20%) del caudal de agua residual donde los meses sin lluvia corresponden al valor mínimo y los meses de mayor lluvia equivaldrían a los valores máximos. Además, se estableció una tasa de consumo de 0,2/día. Con las condiciones mencionadas anteriormente, se procedió a calcular el caudal de salida para la DBO. Luego, con los caudales obtenidos se procedió a determinar las cargas entrantes al sistema con la misma tasa de consumo para los SST y el OD, los valores obtenidos se corroboraban con la concentración del efluente.
 - Escenario 2: se estableció un caudal de salida de 50 m³/s y la carga constante de 50% del caudal de agua residual que llegaba antes al cuerpo de agua para los SST y la DBO. Con respecto al OD, se estableció para este escenario un valor medio del aporte calculado teniendo en cuenta el cambio de volumen, la precipitación, la marea y la escorrentía para cada año según su condición (seco, húmedo o promedio). Con las condiciones establecidas anteriormente, se procedió a calcular la tasa de consumo para los parámetros evaluados.
 - Escenario 3: se estableció un caudal de salida de 40 m³/s y se definieron las cargas de DBO y SST entrantes relacionando la precipitación con el caudal de agua residual (10.000 m³/s) que llegaba antes a la Ciénaga, se estableció un porcentaje máximo (50%) y mínimo (20%) del caudal de agua residual al igual que en el primer escenario. Con respecto al OD, se definió como el aporte completo calculado el escenario 2. Con las condiciones establecidas anteriormente, se procedió a calcular la tasa de consumo para los parámetros evaluados.

- Finalmente se realizó el análisis de los resultados obtenidos en donde se determinaron las condiciones ideales para que los parámetros estudiados permanezcan dentro de las metas establecidas.

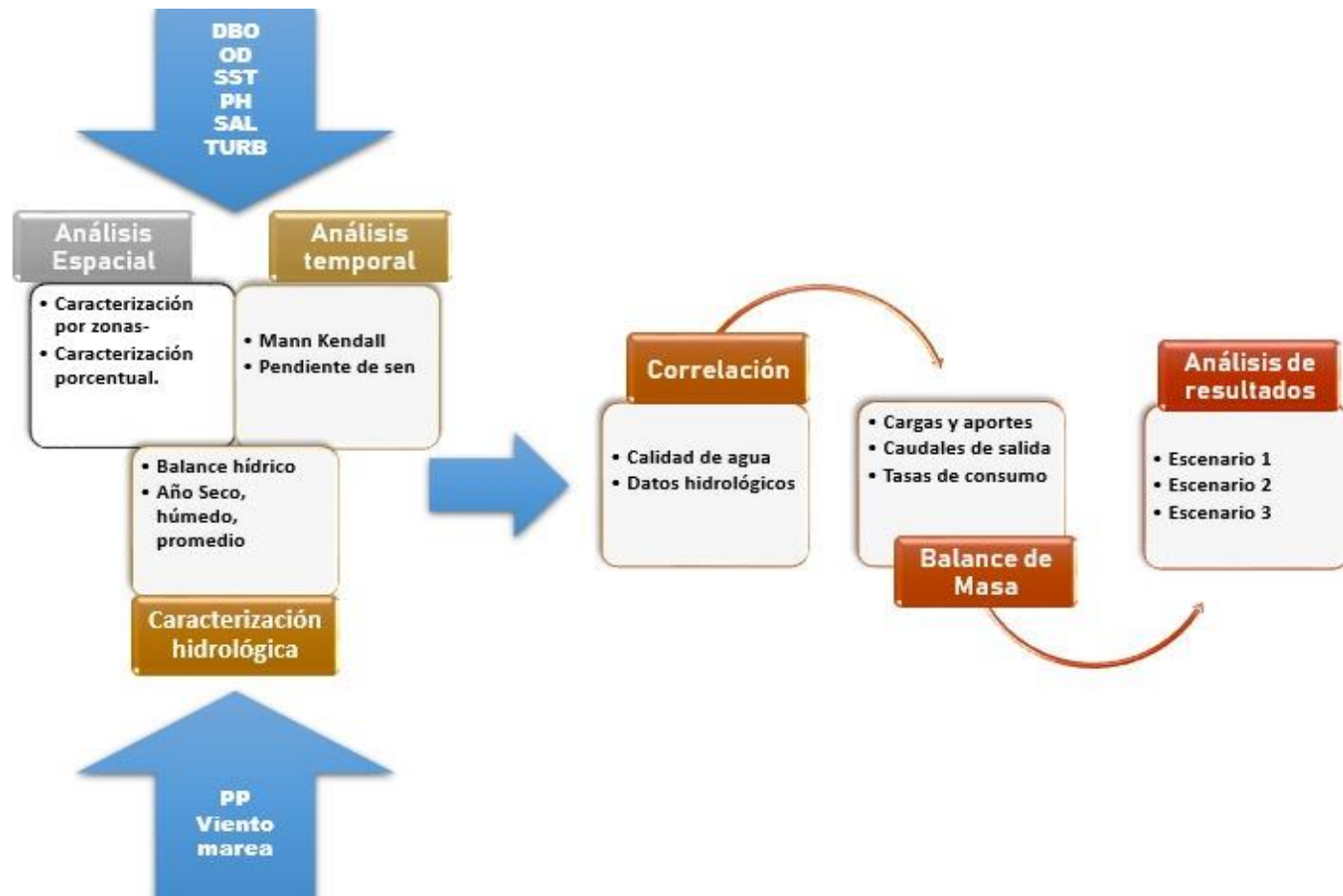


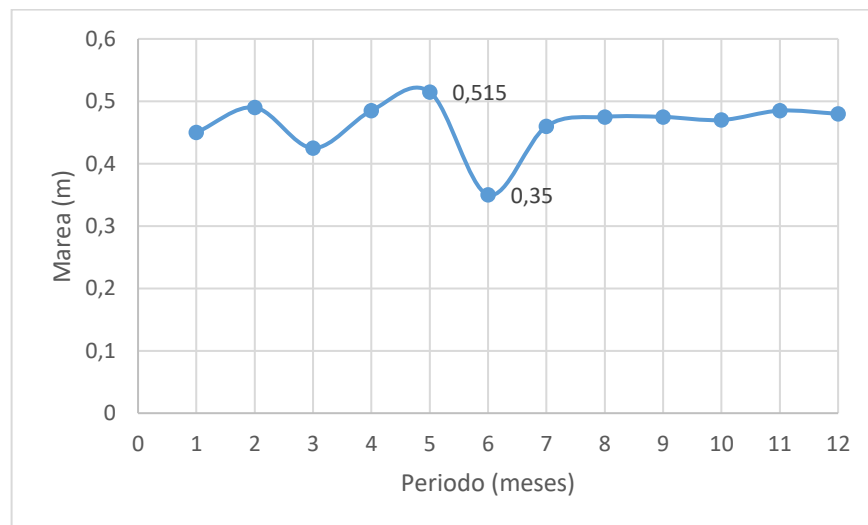
Ilustración 4. Metodología implementada. **Fuente:** autores.

6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 DESCRIPCIÓN DEL COMPORTAMIENTO HIDROLÓGICO DE LA ZONA DE ESTUDIO

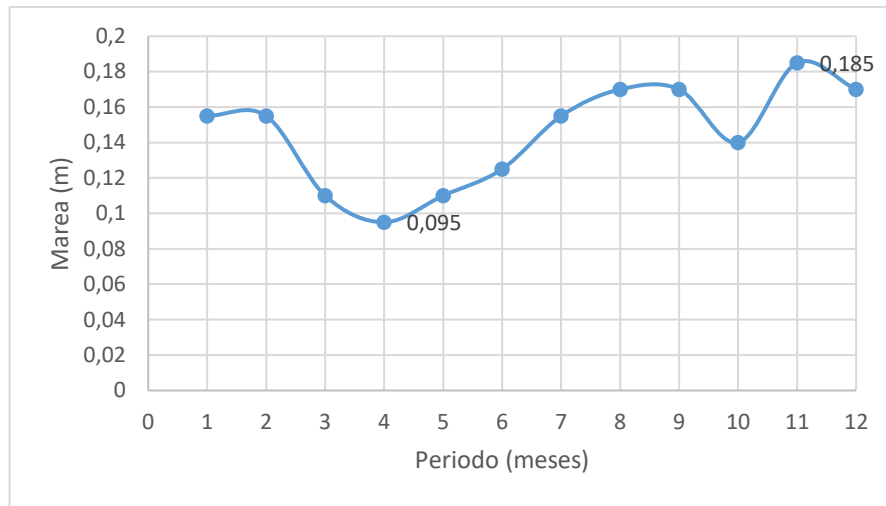
6.1.1 Marea

De la información obtenida se pudo observar que se tiene una marea de tipo mixto semidiurna irregular, lo que quiere decir que presenta en ocasiones dos pleamares y dos bajamares durante el día lunar, y en otras ocasiones solo una pleamar y una bajamar en el mismo tiempo. Adicionalmente, se observa como otra característica relevante que las pleamares y bajamares no tienen la misma amplitud y son irregular en el tiempo. Concluyendo que la marea en el Caribe colombiano no presenta un amplio rango mareal, con variaciones inferiores a los 50 cm, por lo cual se definen como micromareal o microtidal (Instituto Alexander von Humboldt, 2016).



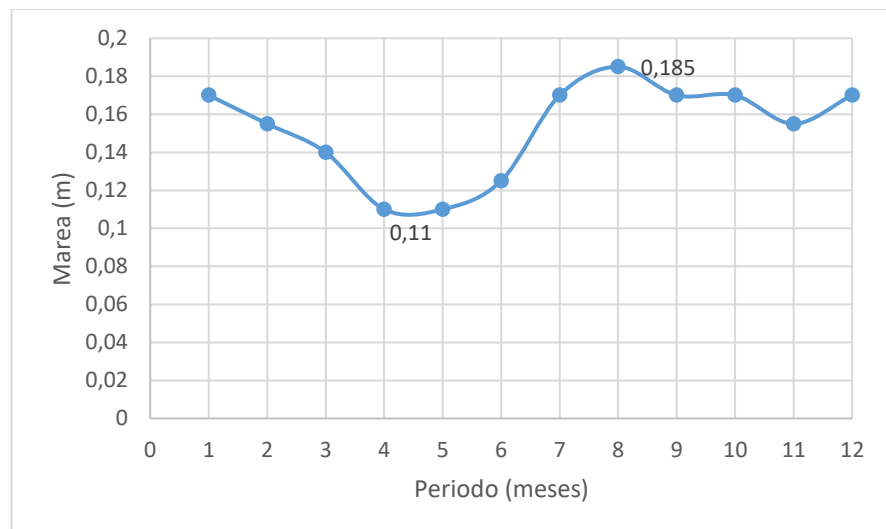
Gráfica 1. Pronóstico de marea en Cartagena año 2015. **Fuente:** Autores.

En el año 2015 la marea osciló entre 0,35 – 0,515 m, alcanzando el valor máximo en el mes de mayo y el valor mínimo en el mes de junio, el promedio mensual se registró de 0,463 m.



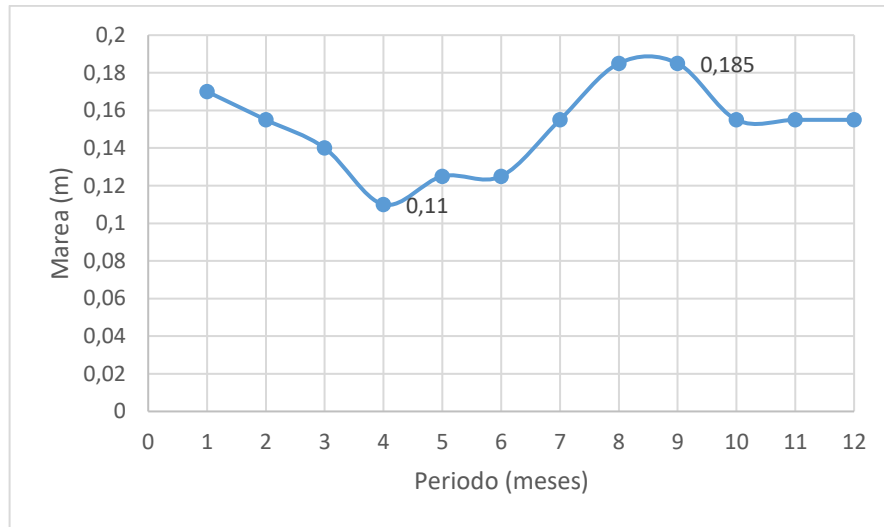
Gráfica 2. Pronostico de marea en Cartagena año 2016. **Fuente:** Autores

En el año 2016 la marea oscilo entre 0,095 – 0,185 m, alcanzando el valor máximo en el mes de noviembre y el valor mínimo en el mes de abril, el promedio mensual se registró de 0,145 m.



Gráfica 3. Pronostico de marea en Cartagena año 2017. **Fuente:** Autores

En el año 2017 la marea oscilo entre 0,11 – 0,185 m, alcanzando el valor máximo en el mes de agosto y el valor mínimo en los meses de mayo y abril, el promedio mensual se registró de 0,1525 m.



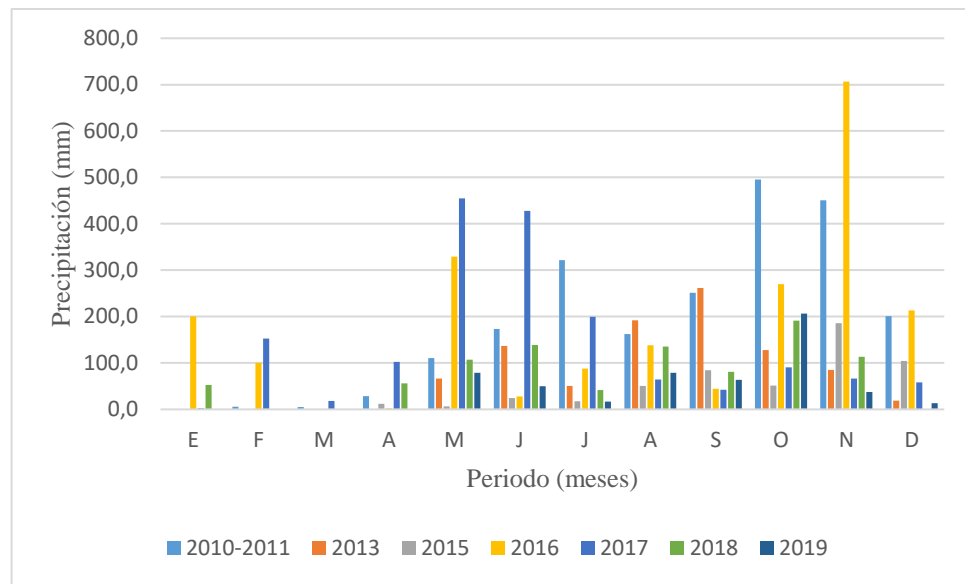
Gráfica 4. Pronostico de marea en Cartagena año 2018. **Fuente:** Autores

En el año 2018 la marea oscilo entre 0,11 – 0,185 m, alcanzando el valor máximo en los meses de agosto y septiembre y el valor mínimo en el mes abril, el promedio mensual se registró de 0,15125 m.

6.1.2 Precipitación

La precipitación en el área de influencia de la Ciénaga de la Virgen muestra un régimen monomodal, es decir, con una temporada de lluvias que se extiende de abril a noviembre, reflejando el tránsito de la zona de convergencia intertropical (ZCIT).

En la actualización del Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfico, en el estudio del comportamiento temporal de la precipitación periodo 1980-2015 se concluyó lo siguiente: a) los valores mínimos se han presentado en los años 1983, 1991 y 2015, con un valor menor a los 400 mm; b) el valor máximo se presentó en 2010, con un valor cercano a los 2500 mm; c) el valor promedio multianual se acerca a los 1100 mm (POMCA, 2014).



Gráfica 5. Precipitación acumulada anual en Cartagena durante el periodo de estudio. **Fuente:** Autores

En el año 2015 se presentaron los valores más bajos de precipitación acumulada en todo el año registrando un total de 536,7 mm, un valor máximo de 185,94 mm en el mes de octubre, un valor mínimo de 0 mm en la época de sequía, un promedio mensual de 44,7 mm y un total de 69 días con lluvia (TuTiempo, 2015). Concluyendo que este fue un año seco.

En el año 2016 se registró una precipitación acumulada máxima de 706,9 mm en el mes de octubre, un valor mínimo de 0 mm en el mes de marzo, un promedio mensual de 176,7 mm y se registró una precipitación anual acumulada de 2120,7 mm, con un total de 113 días de lluvia (TuTiempo, 2017) y al comparar con el POMCA (2014), se pudo concluir que este fue un año húmedo.

En el año 2017 se registró una precipitación acumulada máxima de 454,9 mm en el mes de mayo, un valor mínimo de 2 mm en el mes de enero, un promedio mensual de 139,9 mm, una precipitación anual acumulada de 1679, 2 mm y un total de 115 días con lluvia. Concluyendo que este fue un año húmedo.

En el año 2018 se registró una precipitación acumulada máxima de 191,01 mm en el mes de octubre, un valor mínimo de 0 mm en el mes de Marzo, un valor promedio mensual de 76,6 mm, una precipitación anual acumulada de 918,7 mm y con un total de 91 días con lluvia (TuTiempo, 2018). Concluyendo que este fue un año promedio.

6.1.3 Viento

Los vientos en la región están dominados por la dinámica de los anticiclones del norte, es decir, claramente se muestra una influencia de los vientos alisios del NE y su interacción con el caribbean low-level Jet (CLLJ). En la **Ilustración 5** se observa que el norte es la dirección predominante con vientos promedios de 15,5 m/seg, mientras que en sentido suroeste es la dirección menos predominante.

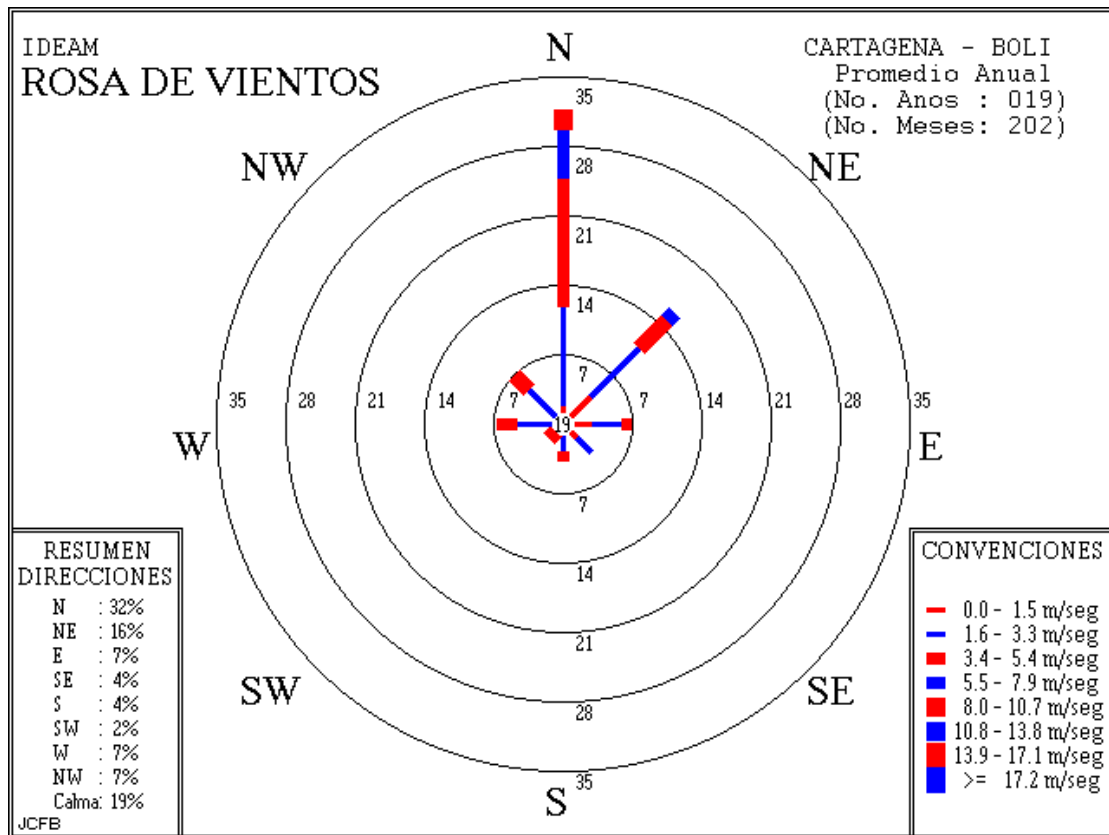
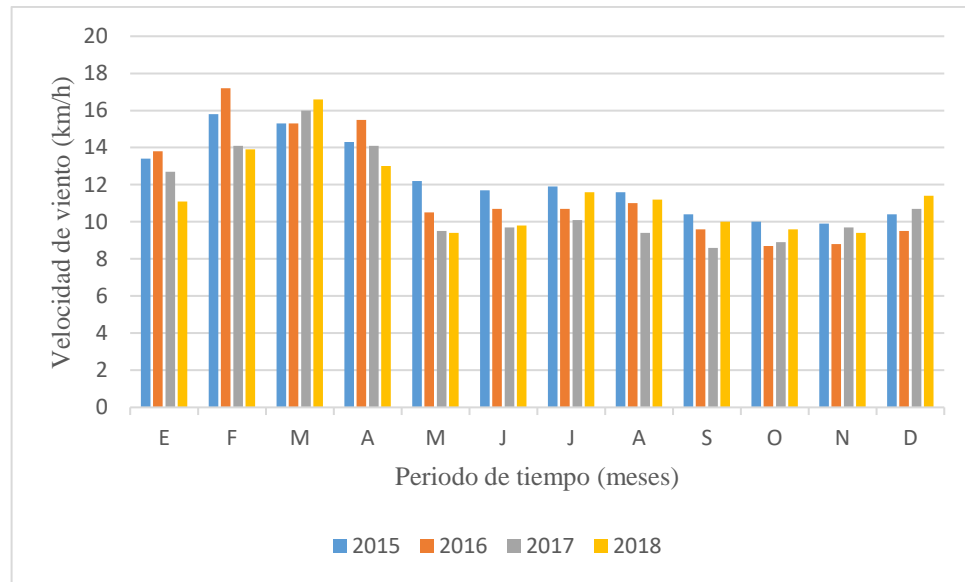


Ilustración 5. Rosa de viento estación Rafael Nuñez, periodo 1999 -2018(IDEAM, 2018).



Gráfica 6. Velocidad de viento en Cartagena durante el periodo de estudio. **Fuente:** Autores

En el año 2015 se registró una velocidad media mensual del viento máxima de 15,8 km/h en el mes de febrero, un valor mínimo de 9,9 km/h en el mes de noviembre y un valor promedio mensual de 12,24 km/h.

En el año 2016 se registró una velocidad media mensual del viento máxima de 17,2 km/h en el mes de febrero, un valor mínimo de 8,7 km/h en el mes de octubre y un valor promedio mensual de 11,78 km/h.

En el año 2017 se registró una velocidad media mensual del viento máxima de 16 km/h en el mes de marzo, un valor mínimo de 8,6 km/h en el mes de septiembre y un valor promedio mensual de 11,13 km/h.

En el año 2018 se registró una velocidad media mensual del viento máxima de 16,6 km/h en el mes de marzo, un valor mínimo de 9,4 km/h en los meses de mayo y noviembre, y un valor promedio mensual de 11,42 km/h.

6.2 CALIDAD DE AGUA

Teniendo en cuenta lo establecido en los objetivos específicos, se analizó el comportamiento fisicoquímico de la Ciénaga de la Virgen haciendo énfasis en los parámetros: oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, pH, salinidad, turbidez y sólidos suspendidos totales. Para esto se realizó el análisis de los resultados obtenidos en los ensayos realizados por la empresa Aguas de Cartagena entre el periodo 2015-2018, en las 11 estaciones ubicadas en el cuerpo central de la Ciénaga de la Virgen, en dicho análisis se buscó corroborar si los valores alcanzados en los parámetros estaban de acuerdo a las metas del proyecto la Bocana y con los límites permisibles en aguas de uso recreativo, los parámetros estudiados son las siguientes:

Tabla 1. Metas del proyecto La Bocana (CARDIQUE, 2004).

PARAMETROS	METAS
DBO (mg/L)	< 6
OD (mg/L)	> 4

Tabla 2. Límites permisibles en aguas de uso recreativo (Minister of Health, 2017) (Vaughan, 2017) (ASEAN, 2008) (Experimentoscientificos, 2017).

PARAMETROS	LIMITES
SST (mg/L)	< 30
SALINIDAD (PSU)	30-50
pH	7,6-8,4
Turbidez (NTU)	<50

La recolección, preservación y análisis de las muestras se realizó teniendo en cuenta las especificaciones técnicas del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater en su versión actualizada (edición N°23), así como las recomendaciones de la EPA, el CFR y el Manual de Técnicas Analíticas para Determinación de Parámetros

Físicosquímicos y Contaminantes Marinos del CIOH. La ubicación geográfica y espacial se puede observar en la Tabla 3 y en la Ilustración 6 respectivamente.

Tabla 3. Ubicación geográfica de las estaciones en la Ciénaga de la Virgen (Aguas de Cartagena, 2018).

N° Estación	Coordenadas geográficas	
	(Marco de referencia MAGNA – SIRGAS)	
	Longitud	Latitud
Estación 4	75°30'48,45"O	10°25'35,10"N
Estación 5	75°30'0,52"O	10°25'12,93"N
Estación 6	75°29'25,71"O	10°25'7,06"N
Estación 8	75°30'18,9"O	10°25'42,12"N
Estación 9	75°29'19,80"O	10°25'46,68"N
Estación 10	75°30'3,70"O	10°27'19,47"N
Estación 11	75°29'18,44"O	10°27'11,06"N
Estación 12	75°29'17,86"O	10°28'19,93"N
Estación 13	75°29'11,12"O	10°29'3,87"N

Para un mejor análisis de las condiciones fisicoquímicas del estuario, se dividió el cuerpo de agua en tres zonas como sigue:

Tabla 4. División en zonas por agrupación de estaciones en la ciénaga. **Fuente:** Autores.

ZONA	ESTACIONES
Zona Sur	4-5-6-8-9
Zona Centro	10 – 11
Zona Norte	12 – 13
Externa	14
Bocana	30



Ilustración 6.Ubicación de las estaciones en la Ciénaga de la Virgen (Aguas de Cartagena, 2018)

6.2.1 pH

El pH del agua afecta los procesos de transformación entre las diversas formas de nutrientes y metales, e influye en la toxicidad de los contaminantes consistentes en ácidos y bases debido a los efectos de la ionización sobre estos compuestos. Cuando se encuentran en la forma molecular, estas sustancias suelen penetrar más fácilmente en las membranas de los peces y otras especies acuáticas (Canadian Council of Ministers of the Environment, 2003). En la siguiente tabla se evidencian los resultados del monitoreo del año 2015.

Tabla 5. pH en la Ciénaga de la Virgen año 2015. **Fuente:** Autores.

	Zona Sur		Zona Centro		Zona Norte		Externa	
Año 2015	EST 8	EST 9	EST 10	EST 11	EST 12	EST 13	EST 14	PROM
ENERO	7,92	8	7,88	8,02	8,08	7,87	7,59	7,91
FEBRERO	7,89	7,95	7,88	7,93	7,95	7,76	7,8	7,88
MARZO	7,82	8,02	8,06	8,01	8,08	8,01	7,93	7,99
ABRIL	7,9	8,1	8,15	8,25	8,18	8,07	7,8	8,06
MAYO	7,89	8,17	8,19	8,23	8,14	8,2	8,02	8,12
JUNIO	8,19	8,38	8,36	8,43	8,35	8,25	8,23	8,31
JULIO	7,51	8,52	8,51	8,58	8,71	8,65	8,74	8,46
AGOSTO	8,33	8,47	8,6	8,61	8,68	8,65	8,66	8,57
SEPTIEMBRE	8,02	8,22	8,31	8,36	8,37	8,28	8,11	8,24
OCTUBRE	8,41	8,47	8,78	8,56	8,61	8,53	8,38	8,53
NOVIEMBRE	8,08	8,15	8,16	8,21	8,18	8,19	8,13	8,16
DICIEMBRE	8,03	9,19	8,3	8,28	8,23	8,17	8,27	8,35
PROMEDIO	8,15		8,28		8,26		8,14	8,22

Se evidencio que la zona sur registro un valor promedio de pH durante el año 2015, el cual fue de 8,15, con valores mínimos cercanos a 7,51 y máximos cercanos a 9,19. En esta zona se obtuvo que el 75% de los datos registrados se encuentran dentro del rango de 7,6 – 8,4.

En la zona centro, se registró el mayor promedio de pH durante el año 2015 con un valor de 8,28, con valores mínimos cercanos a 7,88 y máximos cercanos a 8,78. En esta zona se obtuvo que el 71% de los datos registrados se encuentran dentro del rango requerido, siendo esta la zona con menor porcentaje en este año.

En la zona norte, se registró un valor promedio de pH de 8,26 durante el año 2015, con valores mínimos cercanos a 7,76 y máximos cercanos a 8,71. En esta zona se obtuvo que el 75% de los datos registrados se encuentran dentro del rango requerido.

En la zona próxima superior a la Ciénaga de la Virgen, se registró el menor promedio de pH con un valor de 8,14 durante el año 2015, con valores mínimos cercanos a 7,59 y máximos cercanos a 8,74. En esta zona se obtuvo que el 75% de los datos registrados se encuentran dentro del rango requerido.

De manera general, cabe precisar que, durante el año se registró un el mayor promedio mensual de 8,28 entre los años en estudio, donde el 74% de las muestras estuvieron dentro del rango requerido.

En el monitoreo realizado en el año 2016 se registraron el mayor número de datos que cumplieron con el rango requerido como se evidencia en la **Tabla 6**.

Tabla 6. pH en la Ciénaga de la Virgen año 2016. **Fuente:** Autores.

	Zona Sur		Zona Centro		Zona Norte		Externa	
Año 2016	EST 8	EST 9	EST 10	EST 11	EST 12	EST 13	EST 14	PROM
ENERO	8,34	8,38	7,99	8,21	8,27	8,45		8,27
FEBRERO	7,88	7,88	7,9	7,91	8,01	7,95	7,86	7,91
MARZO			8,1		8,19	8,27	8,22	8,20
ABRIL	8,1	7,94	8,06	8,15	8,25	8,12	8,05	8,10
MAYO	7,87	8,01	8,22	8,42	8,3	8,29	8,17	8,18
JUNIO	8,14	8,12	8,19	8,23	8,26	8,23	8,14	8,19
JULIO	8,1	7,81	7,64	7,99	8,03	8,21	8,01	7,97
AGOSTO	8,2	8,22	8,3	7,98	8,05	7,96	8,22	8,13
SEPTIEMBRE	8,18	8,22	7,88	7,9	8,02	7,90	8,28	8,05
OCTUBRE	8,16	8,21	8,08	8,11	8,2	8,23	8,14	8,16
NOVIEMBRE	9,09	8,69	8,55	8,5	8,68	8,39	8,35	8,61
DICIEMBRE	8,58	8,49	8,41	8,54	8,36	8,33	8,36	8,44
PROMEDIO	8,21		8,14		8,21		8,16	8,18

Se evidencio que la zona sur registro el mayor promedio de pH durante el año 2016, el cual fue de 8,21, con valores mínimos cercanos a 7,81 y máximos cercanos a 9,09. En esta zona se obtuvo que el 82% de los datos registrados se encuentran dentro del rango de 7,6 – 8,4.

En la zona centro, se registró el menor promedio de pH durante el año 2016 con un valor de 8,14, con valores mínimos cercanos a 7,64 y máximos cercanos a 8,55. En esta zona se obtuvo que el 78% de los datos registrados se encuentran dentro del rango requerido, siendo esta la zona con menor porcentaje en este año.

En la zona norte, se registró un valor promedio de pH de 8,2 durante el año 2016, con valores mínimos cercanos a 7,9 y máximos cercanos a 8,68. En esta zona se obtuvo que el

92% de los datos registrados se encuentran dentro del rango requerido, siendo esta la zona con mayor porcentaje en este año.

En la zona próxima superior a la Ciénaga de la Virgen, se registró un promedio de pH de 8,18 durante el año 2016, con valores mínimos cercanos a 7,86 y máximos cercanos a 8,41. En esta zona se obtuvo que el 92% de los datos registraron se encuentran dentro del rango requerido, siendo junto a la zona norte, las zonas con mayor porcentaje.

De manera general, cabe precisar que, durante el año se registró un promedio mensual de 8,18, donde se destaca que el 85% de las muestras estuvieron dentro del rango requerido.

En el año 2017, se analizaron las distintas zonas como se evidencia en la **Tabla 7**.

Tabla 7. pH en la Ciénaga de la Virgen año 2017. **Fuente:** Autores.

Año 2017	Zona Sur					Zona Centro		Zona Norte		Externa	PROM
	EST 4	EST 5	EST 6	EST 8	EST 9	EST 10	EST 11	EST 12	EST 13	EST 14	
ENERO	8,27	8,32	8,04				7,37				8,00
FEBRERO	8,18	8,17	8,38	8,17		8,27		8,2	8,5	8,3	8,27
MARZO	8,21	8,12	8,52	8,34	8,58	7,85	8,19	8,5	8,63	8,25	8,32
ABRIL	8,09	8,05	8,2	8,12	8,19	8,1	8,13	8,31	8,21	8,22	8,16
MAYO	8,19	8,17	8,2	8,2	8,23	8,2	8,12	8,33	8,15	7,96	8,18
JUNIO	8,03	8,02	8,16	8,06	8,2	8,18	8,15	8,35	8,08	7,88	8,11
JULIO	7,85	8,1	8,19	7,89	8,14	7,99	8,32	8,28	8,13	8,09	8,10
AGOSTO	8,13	8,26	8,08	8,2	8,17	8,39	8,41	8,46	8,26	8,25	8,26
SEPTIEMBRE	8,53	8,68	8,73	8,72	8,17	7,98	8,36	8,37	8,16	7,91	8,36
OCTUBRE	7,94	8,16	8,17	8,35	8,15	8,21	8,27	8,37	8,32	8,36	8,23
NOVIEMBRE	8,05	7,77	7,86	7,87	7,37	7,51	7,63	8,1	7,33	7,19	7,67
DICIEMBRE	8,01	8,24	8,15	8,27	7,89	8,36	8,13	8,31	8,4	8,24	8,20
PROMEDIO	8,17					8,10		8,26		8,06	8,15

Se evidencio que la zona sur registro un promedio de pH de 8,17 durante el año 2017, con valores mínimos cercanos a 7,37 y máximos cercanos a 8,73. En esta zona se obtuvo que el 88% de los datos registrados se encuentran dentro del rango requerido.

En la zona centro, se registró un valor promedio de pH durante el año 2017 de 8,1, con valores mínimos cercanos a 7,37 y máximos cercanos a 8,41. En esta zona se obtuvo que el 86% de los datos registrados se encuentran dentro del rango requerido.

En la zona norte, se registró el mayor promedio de pH con un valor de 8,26 durante el año 2017, con valores mínimos cercanos a 7,33 y máximos cercanos a 8,63. En esta zona se obtuvo que el 73% de los datos registrados se encuentran dentro del rango requerido, siendo esta la zona con menor porcentaje en este año.

En la zona próxima superior a la Ciénaga de la Virgen, se registró el menor promedio de pH con un valor de 8,18 durante el año 2017, con valores mínimos cercanos a 7,19 y máximos cercanos a 8,36. En esta zona se obtuvo que el 91% de los datos registrados se encuentran dentro del rango requerido, siendo esta la zona con mayor porcentaje.

De manera general, cabe precisar que, durante el año se registró un promedio mensual de 8,15, donde se destaca que, durante todo el año el valor promedio del pH estuvo entre el rango requerido.

En el año 2017, se analizaron las distintas zonas como se evidencia en la **Tabla 8**.

Tabla 8. pH en la Ciénaga de la Virgen año 2018. **Fuente:** Autores.

	Zona Sur					Zona Centro		Zona Norte		Externa	Bocana	
Año 2018	EST 4	EST 5	EST 6	EST 8	EST9	EST 10	EST 11	EST 12	EST 13	EST 14	EST 30	PROM
ENERO	7,77	7,85	7,95	7,99	8,05	8,02	8,1	7,6	7,77	8,11	8,21	7,95
FEBRERO	8	8,03	8,01	7,96	7,67	8,04	8,07	7,94	7,77	8,02	7,89	7,95
MARZO	7,52	7,8	8,1	7,43	7,18	7,64	7,51	7,5	7,44	7,41	7,64	7,56
ABRIL	8,15	8,21	8,18	8,24	8	8,11	8,28	8,08	7,92	8,34	8,18	8,15
MAYO	8,32	8,27	8,28	8,3	7,99	8,22	8,46	8,13	8,15	8,26	8,16	8,23
JUNIO	8,32	8,35	8,27	8,4	7,93	8,25	8,45	8,3	8,4	8,2	7,89	8,25
JULIO	8,53	8,52	8,49	8,63	8,34	8,47	8,62	8,31	8,41	8,22	8,26	8,44
AGOSTO	8	8,14	8,16	8,23	8,06	8,21	8,35	8,13	7,75	7,78	7,86	8,06
SEPTIEMBRE	8,04	8,11	8,02	8,06	8,22	8,17	7,64	7,85	7,42	7,47	7,69	7,88
OCTUBRE	8,66	8,69	8,65	8,76	8,13	8,74	8,5	8,61	8,13	8,15	8,25	8,48
NOVIEMBRE	8,42	8,43	8,4	8,47	7,49	8,26	8,42	8,3	8,27	8,22	8,16	8,26
DICIEMBRE	8,48	7,89	8,44	8,52	8,24	8,41	8,65	8,24	8,52	8,38	8,39	8,38
PROMEDIO	8,16					8,23		8,04		8,05	8,05	8,13

Se evidencio que la zona sur registro un promedio de pH de 8,16 durante el año 2018, con valores mínimos cercanos a 7,18 y máximos cercanos a 8,76. En esta zona se obtuvo que el 67% de los datos registrados se encuentran dentro del rango de 7,6 – 8,4.

En la zona centro, se registró el mayor promedio de pH durante el año 2018 con un valor de 8,23, con valores mínimos cercanos a 7,51 y máximos cercanos a 8,74. En esta zona se obtuvo que el 58% de los datos registrados se encuentran dentro del rango requerido, siendo esta la zona con menor porcentaje en este año.

En la zona norte, se registró el menor promedio de pH con un valor de 8,04 durante el año 2018, con valores mínimos cercanos a 7,42 y máximos cercanos a 8,61. En esta zona se obtuvo que el 67% de los datos registrados se encuentran dentro del rango requerido.

En la zona próxima superior a la Ciénaga de la Virgen, se registró en promedio un pH de 8,18 durante el año 2018, con valores mínimos cercanos a 7,41 y máximos cercanos a 8,38. En esta zona se obtuvo que el 83% de los datos registrados se encuentran dentro del rango requerido.

En la estación ubicada en la Bocana, se registró un promedio de pH de 8,05 durante este año, con valores mínimos cercanos a 7,64 y máximos cercanos a 8,39. En esta zona se obtuvo que todos los datos registrados estuvieron dentro del rango requerido.

De manera general, cabe precisar que, durante el año se registró un promedio mensual de 8,13, donde se destaca que el 75% de los datos estuvieron entre el rango requerido.

6.2.2 Salinidad

La salinidad se define formalmente como la cantidad total de sales inorgánicas disueltas en el agua de mar. Este es un factor ecológico de considerable importancia, que influye en los tipos de organismos que viven en una masa de agua. Asimismo, la salinidad junto con la temperatura, determina en gran medida la densidad del agua de mar y como una propiedad conservadora se puede utilizar para identificar masas de agua específicas. La salinidad de un ecosistema marino puede verse afectada por varios factores. Un aumento de la escorrentía de agua dulce debido a las altas precipitaciones, la limpieza de tierras costeras y el desarrollo urbano puede causar una reducción de la salinidad, mientras que la

concentración de evaporación cerca de arrecifes poco profundos puede llevar a un aumento de los niveles de salinidad (ASEAN, 2008).

En la tabla se evidencia los resultados de los monitoreos del año 2015.

Tabla 9. Concentración de salinidad en PSU del año 2015. **Fuente:** Autores

	Zona Sur		Zona Centro		Zona Norte		Externa	
Año 2015	EST 8	EST 9	EST 10	EST 11	EST 12	EST 13	EST 14	PROM
ENERO								
FEBRERO	37,6	38,1	40,1		40,2	40,5	46,6	41,85
MARZO	39,3	42,4	44,6	45,1	46,5	47,1	48,2	46,3
ABRIL	36,3	37,6	43,2	40,2	44,2	47,9	50,9	45,28
MAYO	37,5	38,8	41,4	41,9	45,8	47,5	51,1	45,54
JUNIO	36,3	37	40,1	40,7	44,3	46,1	46,8	43,6
JULIO	32,8	39,9	42,6	47,2	47,7	47,8	50,4	47,14
AGOSTO	36,9	36,7	39,2	39,7	42	44	43,5	41,6
SEPTIEMBRE	36,3	35,7	37,1	37,6	38,8	40,3	42,9	37,1
OCTUBRE	28,2	28,5	28,9	28,8	29,8	30,4	32,1	30
NOVIEMBRE	33,6	33,2	35,7	34,7	38,2	38,6	40,5	37,54
DICIEMBRE	32,1	32,6	32,4	33,1	33,1	33,9	34,2	33,34
PROMEDIO	35,79		38,78		41,58		44,29	40,84

Se evidenció que la zona sur registró la menor concentración promedio de Salinidad durante el 2015, la cual fue de 35,79 PSU, con valores mínimos cercanos a los 28,2 PSU y máximos cercanos a los 42,20 PSU. En esta zona, se presentó uno de los dos porcentajes más bajos, en cuanto a número de muestras que registran concentraciones entre 30 y 50 PSU de salinidad, arrojando un porcentaje de 91%.

En la zona centro, se presentó una mayor concentración promedio que en la zona sur, la cual fue de 38,78 PSU, con valores mínimos cercanos a los 28,8 PSU y valores máximos de 47,20 PSU. Esta zona, aunque el promedio fue mayor que en la zona sur, al analizar el número de muestras que registraron concentraciones de salinidad entre 30 y 50 PSU, el número es levemente inferior a la zona sur, el cual fue de 90%.

En la zona norte, el promedio de salinidad en ese año fue mayor que las dos zonas mencionadas anteriormente, el cual fue de 41,58 PSU. La variación de salinidad se evidencio con valores mínimos cercanos a los 29,80 PSU y valores máximos cercanos a los 47,90 PSU, donde el 95 % de los valores registrados en esta zona se mantuvieron en el rango pretendido de 30- 50 PSU, siendo el porcentaje más alto de las zonas.

La zona próxima a la parte superior de la ciénaga, en este caso la zona externa, presentó una concentración promedio de salinidad cercana a los 40,84 %, con una variación entre 32,10 PSU y 51, 10 PSU donde el 73 PSU de los valores estuvieron en el rango requerido para aguas estuarinas, siendo la zona con menor porcentaje de muestras en el rango permitido.

De manera general, cabe precisar que, durante el año se registró un promedio mensual de salinidad cercano a los 40,48 PSU, donde se destaca que, durante todo el año, el valor mensual de la concentración de la salinidad estuvo entre 30 y 50 como se requiere. Además, el 100% de los valores mínimos se registraron hacia el mes de octubre, y los valores máximos entre marzo y junio.

En el año 2016, se analizaron las distintas zonas como se evidencia en la **Tabla 10**. En la zona sur, se evidenció la menor concentración promedio durante el año 2016, la cual fue de 30,98 PSU, con una variación entre valores mínimos de 20,10 PSU y valores máximos de 42,60, de los cuales el 71% de las muestras realizadas se mantuvieron en un rango entre 30 y 50 PSU el cual es el rango que se pretende.

En la zona centro, el promedio de concentración fue de 32,11 PSU, es decir, que fue mayor que la zona sur, con valores mínimos cercanos a los 17,50 PSU y valores máximos cercanos a los 44,50 PSU, con un 74% de las muestras registradas en el rango establecido, siendo así, un porcentaje mayor que la zona sur.

Tabla 10. Salinidad en PSU del año 2016. **Fuente:** Autores.

	Zona Sur		Zona Centro		Zona Norte		Externa	
Año 2016	EST 8	EST 9	EST 10	EST 11	EST 12	EST 13	EST 14	PROM
ENERO	36,9	37,8	38,1	38,5	39,3	41,3	42,4	39,19
FEBRERO	40,8	42,6	42,9	44,5	44,2	47,4	48,6	44,43
MARZO			36,3		38,5	39,6	40,3	38,68
ABRIL	35,5	37,2	38,3	38,6	40,4	42,5	44,4	39,56
MAYO	30,1	29,1	29,4	30,2	31,2	33,3	35,3	31,23
JUNIO	30,5	31,7	33,3	32,8	34,5	36,2	37,4	33,77
JULIO	32,4	31	32,4	32,4	33,4	34,6	36,8	33,29
AGOSTO	31	31,3	31,1	30,9	33,4	35,5	39	33,17
SEPTIEMBRE	31,1	31	30,7	27,2	32,6	34,6	31,1	31,19
OCTUBRE	26,4	20,8	30,2	23	25,9	28	30,5	26,40
NOVIEMBRE	21,8		24,8	17,5	25,1			22,30
DICIEMBRE	21,4	20,1	33,6	21,8	29,2	33,6	33,8	27,64
PROMEDIO	30,98		32,11		35,40		38,15	33,40

La zona norte, registró un valor, mayor que la zona centro, el cual fue de 35,4 PSU, con valores mínimos cercanos a los 25,10 PSU y valores máximos cercanos a los 47,40 PSU. En esta zona se observó que el 83 % de las muestras arrojaron concentraciones dentro del rango requerido.

La Zona externa presento una concentración de 38,15 PSU, siendo la zona con mayor concentración promedio. En esta zona se presentaron valores mínimos cercanos a los 30,50 PSU y valores máximos cercanos a los 48,60 PSU. En esta zona, el 100% de los valores se mantuvieron dentro del rango requerido para aguas estuarinas. En términos generales, el valor promedio mensual de salinidad durante el año fue 33,4 PSU, con una variación entre 22,3 y 33 40 PSU. Durante 67% del año, la concentración promedio mensual se mantuvo dentro del rango. Además, se destacó que los valores mínimos registrados durante el año se presentaron entre octubre y diciembre, por otra parte, los valores máximos se presentaron en febrero.

Tabla 11. Salinidad en PSU del año 2017. **Fuente:** Autores.

	Zona Sur					Zona Centro		Zona Norte		Externa	Bocana	
Año 2017	EST 4	EST 5	EST 6	EST 8	EST 9	EST 10	EST 11	EST 12	EST 13	EST 14	EST 30	PROM
ENERO												
FEBRERO	36,9	37	37,2	36,6	37,4	37,7	37,9	36,7	38,2	37	36	37,15
MARZO	36,5	36,6	36,6	36,7	35,9	36,3	36,9	37,5	36,5	37,6	36,7	36,71
ABRIL	37,4	37,9	39,2	37,6	38,8	36,6	37,4	38,6	36,2	38,3	35,9	37,63
MAYO	30,6	30,83	29,19	31,02	28,63	31,11	30,96	31,4	30,6	32,6	32,19	30,83
JUNIO	30,9	31	30,6	31,2	29,3	30,1	30,7	30,9	27,6	31,4	28,4	30,19
JULIO	29,18	32,92	32,67	32,32	31,58	31,22	31,26	31,49	31,89	32,88	31,28	31,70
AGOSTO	31,6	32,3	31,4	31,9	29,1	29,5	29,9	28,7	30,8	35,1	32	31,12
SEPTIEMBRE	19,5	17,5	17,7	28,5	17,4	20,8	25,2	22,8	26	27	29,9	22,94
OCTUBRE	29,3	30,2	31	30,1	28	21,9	22,9	21,2	28,4	33,2	33,1	28,12
NOVIEMBRE											29,6	29,60
DICIEMBRE	29,3	28,6	22,75	30,1	12,36	34,7	25,26	30,62	31,54	37,95	37,92	29,19
PROMEDIO	30,98					30,92		31,38		34,30	33,00	31,38

En el año 2017, también se realizaron muestreos en las diferentes zonas, desde la zona sur, hasta la bocana, sin embargo, no se tienen registros del mes de enero como se observa en la **Tabla 11**. Se pudo evidenciar que la zona sur tuvo una concentración de salinidad promedio muy similar a la zona centro y norte, esta fue de 30,98 PSU, la cual tuvo una variación desde el valor mínimo de 12,36 PSU hasta el valor máximo de 39,20 PSU de toda la ciénaga. En el análisis de todas las muestras durante el año, en esta zona, se presentó que el 68% de las mismas, estuvieron dentro del rango límite establecido para aguas estuarinas.

En la zona centro, la concentración de salinidad promedio fue un poco menor que en la zona sur, esta fue 30,92 PSU, con una variación entre una concentración mínima de 21,20 PSU y una concentración máxima de 37,90 PSU. De las muestras monitoreadas durante ese año, el 65 % estuvo dentro del rango limite, es decir, un poco menor que en la zona sur.

En la zona norte, la concentración promedio de salinidad fue un poco mayor que en la zona sur y centro, esta fue de 31,33 PSU, con una variación similar a la zona centro, la cual osciló entre 21,20 PSU y 38,6 PSU. De todas las muestras estudiadas en esta zona durante ese año, el 70 % de las mismas estuvieron dentro del rango característico, siendo uno de los porcentajes más altos registrados en la ciénaga.

La zona más alejada de la ciénaga, presentó la mayor concentración de salinidad promedio de todo el cuerpo de agua, la cual fue de 34,30 PSU, con una variación marcada desde valores mínimos cercanos a los 27 PSU y valores máximos cercanos a los 38,30 PSU. Sin embargo, esta zona, aunque presentó el valor mayor promedio de salinidad, fue la zona con menos porcentaje de muestras dentro del rango límite durante el año, el cual fue del 60%.

La zona cercana a la bocana, presentó una concentración promedio en el año cercana a los 33 PSU, durante el año se presentó en esta zona, la menor variación, la cual osciló entre valores mínimos cercanos a los 28,40 PSU y valores máximos cercanos a los 37,92 PSU, además, esta zona presentó el mayor porcentaje de muestras con concentraciones dentro del rango, el cual fue del 70%.

En términos generales, el promedio mensual de toda la ciénaga fue cercano a los 31,38 PSU y durante el año, este promedio se mantuvo en el rango desde febrero hasta agosto, caso contrario en el resto de meses, además, cabe destacar que la mayoría de los valores por fuera del rango se presentaron entre septiembre y diciembre, en cambio los valores máximos se presentaron en su mayoría en el mes de abril.

El monitoreo del año 2018 registró mayor número de muestras dentro del rango, como se muestra en la **Tabla 12**

Con los registros encontrados, se pudo determinar que la zona sur presentó una concentración promedio durante el 2018 de 34,84 PSU siendo la segunda concentración promedio más alta del cuerpo de agua. Se presentó una variación entre 20,33 PSU y 40,90 PSU donde el 86 % de los valores estuvieron dentro del rango requerido de aguas estuarinas (30-50 PSU).

En la zona centro, la concentración promedio de salinidad fue menor que en la zona sur, esta fue de 33,07 PSU, con una variación mayor que la zona sur, debido a que los valores mínimos registrados fueron cercanos a los 17,59 PSU y los valores máximos registrados

estuvieron cercanos a los 41, 10 PSU. Del total de muestras registradas en ese año, aprox. el 79 % de las mismas cumplieron con el rango limite, es decir menor que la zona sur.

Tabla 12. Salinidad en PSU año2018. **Fuente:** Autores.

Año 2018	Zona Sur					Zona Centro		Zona Norte		Externa	Bocana	PROM
	EST 4	EST 5	EST 6	EST 8	EST 9	EST 10	EST 11	EST 12	EST 13	EST 14	EST 30	
ENERO	37	35,7	37,2	33,35	37,6	35,5	33,5	35,8	34	32,5	37,4	35,41
FEBRERO	38,9	38,8	39,4	39,1	39,3	38,6	41,1	35,1	41,9	42,3	38,2	39,34
MARZO	39,41	40,28	39,22	40,79	39,01	36,9	39,6	38,9	42,75	43,87	38,68	39,95
ABRIL	39,2	40,4	38,7	40,9	40,8	39	37,8	36,4	45,5		36,8	39,55
MAYO	35,31	34,33	35,26	32,53	34,99	33,63	34,31	34,97	37,5	34,72	34,96	34,77
JUNIO	32,86	30,83	33,42	-	30,28	30,72	21,91	33,68	28,79	33,89	30,91	30,73
JULIO	36,7	35,9	37	36,1	38	37,7	35,5	36,3	35,9	38,6	38,4	36,92
AGOSTO	36,3	35,55	36,61	36,01	37,88	37,12	38,03	36,22	38,62	37,5	38,02	37,08
SEPTIEMBRE	36,3	35,55	36,61	36,01	37,88	37,12	35,5	36,22	32,4	36,8	38,02	36,22
OCTUBRE	32,4	23,84	25,01	21,39	32,94	19,5	17,59	25,19	17,17	22,94	35,2	24,83
NOVIEMBRE	29,6	24,08	23,7	22,18	20,33	21,11	19,9	23,76	19,8	20,53	38,3	23,94
DICIEMBRE	35,9	32,99	37,85	35,4	34,7	37,85	34,19	37,09	31,03	32,56	38,74	35,30
PROMEDIO	34,84					33,07		33,96		34,20	36,97	34,50

En la zona norte, el promedio fue un poco mayor que en la zona centro, la concentración fue de 33,96 PSU, con valores mínimos cercanos a los 17,17 PSU y los valores máximos cercanos a los 45,50 PSU. Los resultados de los muestreos determinan que al igual que la zona centro, el 79 % de las tomas realizadas, cumplen con la característica de aguas estuarinas.

En la zona externa de la ciénaga, el promedio fue aún mayor que las zonas anteriores, en esta zona se presentó un valor promedio anual de 34,20 PSU, con una variación determinada desde valores mínimos cercaos a los 20,53 PSU y valores máximos cercanos a los 43,87 PSU, con un 82% de las muestras que cumplen con la condición pretendida.

En la bocana, el 100 % de las muestras registraron valores dentro del rango requerido, con un promedio anual mayor que en todas las zonas como es de esperarse, el cual fue de 36,97 PSU con una variación menor que las demás zonas, en la que los valores mínimos fueron cercanos a los 30,91 PSU y los valores máximos cercanos a los 38,74 PSU.

En términos generales el promedio mensual de concentración de salinidad de la ciénaga fue de 34,50 PSU, en donde ese promedio estuvo dentro del rango pretendido durante diez meses, caso contrario se presentó en los meses de octubre y noviembre. Es menester señalar que la mayoría de los valores mínimo se presentaron durante los meses de octubre y noviembre, entre febrero y abril; los valores máximos.

6.2.3 Oxígeno disuelto

La concentración de oxígeno disuelto en la ciénaga está condicionada a las variaciones hidrológicas, a la productividad de la ciénaga en función del fitoplancton y de las plantas acuáticas, así como por las descargas de aguas residuales que por años afectaron el cuerpo de agua. La ocurrencia de valores tan bajos como el mínimo registrado puede ser indicio del impacto por vertimientos ilegales realizados en las zonas adyacentes al drenaje urbano. Cabe resaltar que el OD se comporta de manera cambiante durante el día, es decir, los niveles varían a las distintas horas por factores como la respiración, la fotosíntesis, temperatura. Entre otros.

En **Tabla 13** se muestran los resultados de los monitoreos de realizados en el 2015.

Tabla 13. Oxígeno Disuelto (mg/L) año 2015. **Fuente:** Autores.

	Zona Sur		Zona Centro		Zona Norte		Externa	
2015	EST 8	EST 9	EST 10	EST 11	EST 12	EST 13	EST 14	PROM
ENERO	-	3,9	3,77	3,79	4,44	-	-	3,96
FEBRERO	8,57	9,99	7,22	9,42	9,83	6,22	4,81	8,0086
MARZO	5,8	5,48	6,14	4,9	5,48	4,54	2,98	5,0457
ABRIL	4,78	4,55	5,08	5,15	5,57	4,34	1,5	4,4243
MAYO	4,61	3,46	4,14	4,79	2,89	5,8	4,42	4,3014
JUNIO	4,43	4,56	0,9	4,71	4,39	4,26	4,59	3,9771
JULIO	7,4	4,27	3,56	1,77	4,45	3,85	5,06	4,3371
AGOSTO	3,68	4,57	4,69	5,47	6,27	6,7	5,05	5,2043
SEPTIEMBRE	4,33	5,03	3,73	3,45	3,52	4,56	4,7	4,1886
OCTUBRE	3,6	3,03	2,92	2,64	4,56	4,14	4,1	3,57
NOVIEMBRE	3,97	3,71	4,05	4,56	4,3	4,67	5,06	4,3314
DICIEMBRE	-	-	-	-	-	4,35	4,26	4,305
PROMEDIO	4,94		4,40		4,96		4,23	4,64

Se pudo evidenciar que durante el 2015 la zona sur presento una concentración promedio de 4,94 mg/L de OD, donde los valores oscilaron entre una concentración mínima de 3,03 mg/L y una concentración máxima de 9,99 mg/L, aunque la concentración promedio de la zona está por encima del límite establecido (4 mg/L), el 32% de los valores registrados se encontraron por debajo del límite.

La zona centro presentó una concentración promedio de 4,40 mg/L de OD, donde los valores variaron entre 0,90 mg/L y 9,42 mg/L, al igual que la zona sur, este sector presentó un valor promedio por encima del límite establecido, sin embargo, 41% de los valores registrados estuvieron por debajo del límite.

La zona norte presentó la mayor concentración promedio durante el año, el cual fue de 4,96 mg/L, sin embargo, se registraron valores mínimos cercanos a los 2, 89 mg/L y máximos cercanos a los 9,83 mg/L con un 27 % de valores por debajo de 4 mg/L. La zona más externa de la ciénaga presentó el menor valor promedio, el cual fue de 4,23 mg/L, con concentraciones que variaron desde 1,5 mg/L hasta 5,06 mg/L con un 18 % de los valores registrados por debajo del límite propuesto.

En términos generales, durante el 2015 la ciénaga presentó una concentración promedio mensual de 4,64 mg/L que variaron desde 3,57 mg/L hasta 4,64 mg/L con un 25% de los meses registrados por debajo de la meta establecida. Además, del total de muestras registradas durante ese año (76), el 28 % arrojaron concentraciones por debajo de 4 mg/L. Adicionalmente, se determinó que en ese año se presentaron periodos de mejora, es decir, en donde los niveles de OD aumentaron, con una tasa de autodepuración 1,5 mg/L/mes.

En la *En el* año 2016 la zona sur presento una concentración promedio de OD de 5,54 mg/L, con valores que oscilaron con concentraciones bajas cercanas a 2,5 mg/L hasta concentraciones altas cercanas a 15,41 mg/L, a pesar de registrar un valor promedio por encima de 4 mg/L el 23 % de las concentraciones registradas durante el año, estuvieron por debajo de este.

La zona centro presentó una concentración promedio similar a la de la zona sur, la cual fue de 5,53 mg/L, en la cual las variaciones de concentración estuvieron entre 3,04 mg/L de concentración mínima y 15, 97 mg/L de concentración máxima donde el 21 % de las muestras tomadas registraron una concentración mayor al límite propuesto.

Tabla 14 se observan los resultados de los monitoreos de OD en el año 2016

En el año 2016 la zona sur presento una concentración promedio de OD de 5,54 mg/L, con valores que oscilaron con concentraciones bajas cercanas a 2,5 mg/L hasta concentraciones altas cercanas a 15,41 mg/L, a pesar de registrar un valor promedio por encima de 4 mg/L el 23 % de las concentraciones registradas durante el año, estuvieron por debajo de este.

La zona centro presentó una concentración promedio similar a la de la zona sur, la cual fue de 5,53 mg/L, en la cual las variaciones de concentración estuvieron entre 3,04 mg/L de concentración mínima y 15, 97 mg/L de concentración máxima donde el 21 % de las muestras tomadas registraron una concentración mayor al límite propuesto.

Tabla 14. Oxígeno Disuelto (mg/L) año 2016. **Fuente:** Autores.

	Zona Sur		Zona Centro		Zona Norte		Externa	
2016	EST 8	EST 9	EST 10	EST 11	EST 12	EST 13	EST 14	PROM
ENERO	-	4,4	5,2	4,37	3,16	4,73	4,37	4,37
FEBRERO	15,41	-	3,72	15,97	4,12	3,95	15,97	9,20
MARZO	7,73	4,82	4,06	9,39	4,22	4,2	9,39	6,26
ABRIL	4,96	5,38	5,13	4,88	4,77	4,89	4,88	4,98
MAYO	2,5	3,67	4,99	5,32	3,85	3,12	5,32	4,11
JUNIO	3,59	4,33	3,04	3,76	2,92	4,17	3,76	3,65
JULIO	4,02	3,62	4,9	3,58	3,62		3,58	3,89
AGOSTO	5,09	7,09	7,15	5,34	4,2	5,16	5,34	5,62
SEPTIEMBRE	5,2	5,25	6,92	5,24	4,32	7,42	5,24	5,66
OCTUBRE	5,02	6,52	4,13	3,5	4,83	3,97	3,5	4,50
NOVIEMBRE	2,7	7,51	4,51	4,71	5,4	4,98	4,71	4,93
DICIEMBRE	6,74	6,24	6,2	6,65	5,21	5,6	4,65	5,90
PROMEDIO	5,54		5,53		4,47		5,89	5,26

En la zona norte, se presentó la menor concentración promedio de OD en el 2016, la cual fue de 4,47 mg/L, se presentaron concentraciones mínimas alrededor de 2,92 mg/L y máximas de 7,42 mg/L siendo la zona que mayor porcentaje de valores por debajo del límite presentó con un 30 % de muestras con concentraciones por debajo de 4 mg/L.

La zona más lejana de la ciénaga presentó el mayor valor promedio de OD registrado durante el año el cual fue de 5,89 mg/L con concentraciones mínimas cercanas a los 3,50 mg/L y máximas cercanas a 15,97 mg/L sin embargo tuvo el segundo mayor porcentaje de muestras con concentraciones por debajo del límite propuesto, el cual fue del 25 %.

En términos generales, la mayoría de los valores máximos se presentaron en el mes de febrero y la mayoría de los valores mínimos se presentaron entre mayo y junio. Además, se destacó que el promedio mensual de OD fue de 5,26 mg/L lo cual fue de buen indicio debido a que está por encima de la meta propuesta, sin embargo, el 17 % del año se registraron valores promedios mensuales, por debajo de la meta propuesta. Adicionalmente, se determinó que, en los lapsos de mejora, la tasa de autodepuración promedio fue de 1,37 mg/L/mes.

La concentración de OD en las diferentes estaciones en el año 2017 se registra en la **Tabla 15**.

Tabla 15. Oxígeno Disuelto (mg/L) año 2017 **Fuente:** Autores

	Zona Sur					Zona Centro		Bocana	
2017	EST 4	EST 5	EST 6	EST 8	EST 9	EST 10	EST 11	EST 30	PROM
ENERO	8,72	6,35	7,5	8,2	8,27	9,21	0,22	9,39	8,23
FEBRERO	5,41	4,86	4,62	4,9	6,4	5,71	3,8	5,46	5,15
MARZO	5,98	3,51	6,77	6,91	5,1	5,54	5,52	4,86	5,52
ABRIL	4,15	3,39	2,46	3,77	3,19	3,66	3,02	4,47	3,51
MAYO	2,67	2,15	3,04	2,96	2,42	3,49	3,39	3,45	2,95
JUNIO	3,87	2,58	4,18	3,68	4,77	3,69	4,61	2,82	3,78
JULIO	2,13	2,95	3,91	4,09	4,92	3,88	3,98	4,3	3,77
AGOSTO	3,07	3,69	2,18	3,28	2,93	4,89	4,99	4,1	3,64
SEPTIEMBRE	3,51	3,6	3,76	3,63	3,68	2,47	3,18	2,70	3,32
OCTUBRE	3,6	3,72	3,88	3,74	3,79	3,17	4,7	3,08	3,71
NOVIEMBRE	7,03	-	6,65	6,58	5,31	6,07	8,07	6,2	6,56
DICIEMBRE	1,4	2,51	1,44	4,66	0,15	3,97	4	4,3	3,18
PROMEDIO	4,21					4,38		4,52	4,44

Durante el 2017 la zona sur registró el menor valor promedio de OD el cual fue 4, 21 mg/L con concentraciones mínimas cercanas a los 1,4 mg/L pero con un valor atípico de 0,15 mg/L ambos en el mes de diciembre, en esta zona el valor de concentración máxima fue de 8,72 mg/L y aunque la concentración promedio de OD en la zona fue mayor a 4 mg/L en el 59 % del total de muestras registradas (59) se observaron valores por debajo del límite, siendo la zona con mayor porcentaje con esta condición.

En la zona centro se presentó una concentración promedio de OD mayor que en la zona sur, la cual fue de 4,38 mg/L con valores mínimos cercanos a los 3 mg/L (con un valor atípico registrado en enero de 0,22 mg/L) y valores máximos cercanos a los 9,21 mg/L, además, del total de muestras registradas en la zona, el 54 % arrojaron concentraciones por debajo del límite, siendo un porcentaje menor que la zona sur.

En la zona cercana a la Bocana, se observó un valor promedio más alto que las zonas mencionadas, el cual fue de 4,58 mg/L, con valores mínimos alrededor de los 2,7 mg/L y

máximos cercanos a los 9,39 mg/L, del total de datos registrados se determinó que aproximadamente el 33 % de estos muestran concentraciones por debajo del límite, siendo la zona cercana a la Bocana la que menor porcentaje registra.

En términos generales, los valores máximos se registraron hacia el mes de enero, y los valores mínimos se registraron hacia los meses de septiembre a diciembre y destacando que, durante ese año, el promedio mensual de OD en la ciénaga estuvo durante ocho meses por debajo del límite propuesto. Por otra parte, en los meses durante los cuales se presentó mejora en los niveles de OD, la tasa de autodepuración fue baja, cercana a los 0,24 mg/L/mes.

En el año 2018 se registraron valores de Oxígeno Disuelto en todas las zonas, lo cual se evidencia en la **Tabla 16**, con la cual se pudo determinar que la zona sur presentó una concentración promedio de OD de 5,58 mg/L, con estaciones que registraron valores mínimos cercanos a los 2,82 mg/L y valores máximos de 9,42 mg/L, de los cuales el 29 % de ellos estuvieron por debajo del límite propuesto.

En la zona centro se observó una concentración promedio de OD mayor que en la zona sur, la cual fue de 6,08 mg/L, en esta zona la concentración de OD tuvo una variación entre 2,72 mg/L y 9,37 mg/L, en donde el 21% de estos valores estuvo por debajo del límite establecido, siendo un porcentaje menor que la zona sur.

Tabla 16. Oxígeno Disuelto (mg/L) año 2018. **Fuente:** Autores.

	Zona Sur					Zona Centro		Zona Norte		Externa	Bocana	
2018	EST 4	EST 5	EST 6	EST 8	EST 9	EST 10	EST 11	EST 12	EST 13	EST 14	EST 30	PROM
ENERO	3,66	4,66	3,65	5,06	7,34	4,54	6,87	2,16	4,57	4,2	7,69	5,005
FEBRERO	5,82	6,21	7,17	5,45	7,36	7,13	7,08	6,17	6,06	8,3	7,92	7,11
MARZO	6,6	6,76	7,33	5,32	7,79	7,13	7,75	7,07	7,23	8,18	9,69	7,8417
ABRIL	2,8	2,8	3,71	3,65	3,04	2,72	3,67	4,59	3,05	5,62	3,2	3,8083
MAYO	3,25	4,03	3,88	3,56	3,02	3,22	3,9	2,97	2,97	3,47	4,12	3,4417
JUNIO	5,63	5,05	5,62	4,44	5,87	6,15	4,2	5,76				5,37
JULIO	4,19	3,63	4,07	3,64	3,72	3,83	4,72	3,44	3,65	3,36	3,63	3,7717
AGOSTO	3,14	4,15	4,5	6	3,29	5,25	5	4,64	2,99	3,05	3,33	4,0433
SEPTIEMBRE	5,9	5,78	6,2	7,12	8,2	8,83	5,94	6,57	6,87	6,5	7,74	7,075
OCTUBRE	9,24	7,93	9,42	8,22	7,01	9,37	8,86	8,1	5,84	5,8	6,8	7,4617
NOVIEMBRE	7,85	7,34	7,12	8,05	6,49	7,25	7,88	7,9	7,08	6,18	7,86	7,3583
DICIEMBRE	7,97	3,81	7,51		6,93	6,51	8,2	5,6	10,65	3,61	7,52	7,578
PROMEDIO	5,58					6,08		5,48		5,30	6,32	5,82

En la zona norte se presentó una concentración promedio de 5,48 mg/L siendo menor que las dos antes mencionadas, en esta zona se observó la variación más notable entre valores máximos y mínimos del año, debido a que registró el valor mínimo de toda la ciénaga en el año el cual fue 2,16 mg/L y, por otra parte, también se registró el valor máximo de todo el cuerpo de agua en el año, el cual fue de 10,65 mg/L. En esta zona se presentó mayor porcentaje (que en las zonas anteriores) de muestras que arrojaron valores mayores a 4 mg/L el cual fue de 30%.

En la zona más externa de la ciénaga, se registró el menor valor promedio, el cual fue de 5,30 mg/L, con un valor mínimo de 3,05 mg/L y un máximo de 8,30 mg/L. En esta zona se observó que además de presentar el menor valor promedio, también fue la de mayor porcentaje de muestras que registraron concentraciones menores al límite establecido, siendo la zona más pobre de la ciénaga en el año 2018.

En la zona próxima a la bocana, se determinó que esta fue la zona con mayor valor promedio de OD en el año, el cual fue de 6,32 mg/L. La variación en esta zona fue de valores mínimos cercanos a los 3,20 mg/L y valores máximos cercanos a los 9,69 mg/L. Aunque fue la zona con mejor promedio mensual, no fue la zona con menos porcentaje de muestras con concentraciones menores al límite, debido a que registro un porcentaje de 27 %, el cual es mayor que en la zona sur y centro.

En términos generales, la mayoría de los valores mínimos registrados por zona, se presentaron hacia el mes de abril, en cambio los valores máximos se registraron en su mayoría hacia los meses de octubre a diciembre. Por otra parte, el valor promedio mensual durante el año fue 5,82 mg/L, aunque durante los meses abril, mayo y junio, el valor estuvo por debajo de la meta establecida. Durante los periodos de tiempo en los cuales los niveles de OD en el cuerpo de agua aumentaron, se presentó dicha mejora con una tasa de autodepuración promedio de 1,23 mg/L/mes aproximadamente.

6.2.4 Demanda bioquímica de oxígeno

Es la cantidad de oxígeno que utilizan los microorganismos para poder degradar la materia orgánica presente en el agua, de igual forma se usa para determinar la contaminación de la misma debido a que el alto contenido orgánico favorece el crecimiento de bacterias y hongos, la cantidad de oxígeno consumida es afectada por variables como el pH, la temperatura, y el tipo de material ya sea orgánico o inorgánico.

En la **Tabla 17** se muestran los resultados de los monitoreos de realizados en el 2015

Se pudo evidenciar que durante el 2015 la zona sur presento el menor valor promedio de 5,61 mg/L de DBO, donde los valores oscilaron entre una concentración mínima de 2 mg/L y una concentración máxima de 9,4 mg/L, cabe destacar que el 62% de los valores registrados y la concentración promedio de la zona están por debajo del límite establecido (6 mg/L).

La zona centro presentó una concentración promedio de 7,68 mg/L de DBO, donde los valores variaron entre 4,1 mg/L y 13 mg/L, al contrario de la zona sur, este sector presentó un valor promedio por encima del límite establecido y solo el 21% de los valores registrados estuvieron por debajo del límite.

La zona norte presentó la mayor concentración promedio durante el año, el cual fue de 8,78 mg/L, sin embargo, se registraron valores mínimos cercanos a los 3,7 mg/L y máximos cercanos a los 20 mg/L con solo un 16,7 % de valores por debajo de 6 mg/L. La

zona más externa de la ciénaga presentó una concentración promedio de 7,28 mg/L, con concentraciones que variaron desde 3,4 mg/L hasta 13 mg/L con un 25 % de los valores registrados por debajo del límite propuesto.

Tabla 17. Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) año 2015. **Fuente:** Autores.

	Zona Sur		Zona Centro		Zona Norte		Externa	
2015	EST 8	EST 9	EST 10	EST 11	EST 12	EST 13	EST 14	PROM
ENERO	2,00	3,10	4,10	6,40	3,70	6,50	4,10	4,27
FEBRERO	2,90	9,40	4,70	4,40	4,00	5,00	3,40	4,83
MARZO	3,50	4,10	5,70	7,50	4,80	6,80	6,10	5,50
ABRIL	4,50	8,80	7,10	6,90	8,00	9,20	8,80	7,61
MAYO	3,80	6,90	7,70	8,40	9,90	9,50	10,00	8,03
JUNIO	5,40	9,30	10,00	6,20	8,00	7,20	7,80	7,70
JULIO	4,70	8,40	11,00	7,00	8,50	15,00	3,90	8,36
AGOSTO	4,10	7,00	13,00	9,70	9,10	20,00	8,10	10,14
SEPTIEMBRE	4,30	7,10	8,20	7,80	8,20	11,00	13,00	8,51
OCTUBRE	4,50	7,50	8,60	8,50	8,70	12,50	9,20	8,50
NOVIEMBRE	6,00	7,80	9,20	9,20	9,20	13,20	6,20	8,69
DICIEMBRE	5,20	4,33	5,50	7,40	6,10	6,60	6,70	5,98
PROMEDIO	5,61		7,68		8,78		7,28	7,34

En términos generales, durante el 2015 la ciénaga presentó una concentración promedio mensual de 7,34 mg/L que variaron desde 4,27 mg/L hasta 10,14 mg/L con un 33% de los meses registrados cumplen meta establecida. Además, del total de muestras registradas durante ese año (84), el 32 % de las concentraciones se encontraron por debajo de 6 mg/L. Finalmente se determinó que, durante los periodos de tiempo en los cuales se presentó mejora en las condiciones del estuario en el 2015, la tasa de autodepuración fue en promedio cercana a 0,17 mg/L/mes.

Tabla 18. Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) año 2016. **Fuente:** Autores.

2016	Zona Sur		Zona Centro		Zona Norte		Externa	PROM
	EST 8	EST 9	EST 10	EST 11	EST 12	EST 13	EST 14	
ENERO	2,10	4,00	2,30	2,00	2,20	2,50	4,00	2,60
FEBRERO	1,80	5,30	3,30	3,50	5,20	6,2	6,1	4,86
MARZO	5,6	3,73	4,00	6,50	5,80	5,90	5,70	5,58
ABRIL	2,00	3,00	3,00	2,00	2,00	3,00	2,00	2,40
MAYO	1,40	3,20	3,30	1,90	2,50	4,20	1,00	2,58
JUNIO	2,65	3,90	3,24	2,74	3,09	2,41	3,34	2,96
JULIO	1,70	3,13	4,10	2,30	4,10	2,90	2,90	3,26
AGOSTO	2,90	3,40	3,00	3,50	4,70	3,80	3,00	3,60
SEPTIEMBRE	3,50	3,90	3,50	3,20	2,80	2,90	3,00	3,08
OCTUBRE	3,20	2,80	3,70	3,60	3,60	3,50	3,00	3,48
NOVIEMBRE	4,20	4,50	4,00	4,30	4,70	4,20	3,32	4,10
DICIEMBRE	4,67	4,20	4,71	4,16	3,69	4,50	2,40	3,89
PROMEDIO	3,37		3,41		3,77		3,31	3,53

En el año 2016 la zona sur presentó una concentración promedio de DBO de 3,37 mg/L, con valores que oscilaron con concentraciones bajas cercanas a 1,4 mg/L hasta concentraciones altas cercanas a 5,6 mg/L, todos los datos registrados cumplieron con la meta propuesta con el proyecto de la Bocana.

La zona centro presentó una concentración promedio similar a la de la zona sur, la cual fue de 3,41 mg/L, en la cual las variaciones de concentración estuvieron entre 1,9 mg/L de concentración mínima y 6,5 mg/L de concentración máxima donde al igual que en la zona sur, todas las muestras registran una concentración menor que 6 mg/L.

En la zona norte, se presentó la mayor concentración promedio de DBO en el 2016, la cual fue de 3,77 mg/L, se presentaron concentraciones mínimas alrededor de 2 mg/L y máximas de 6,2 mg/L donde el 96% de las muestras registraron una concentración por debajo del límite propuesto.

La zona más lejana de la ciénaga presentó el menor valor promedio de DBO registrado durante el año el cual fue de 3,31 mg/L con concentraciones mínimas cercanas a los 1 mg/L

y máximas cercanas a 6 mg/L, donde el 92% de las muestras estuvieron por debajo del límite establecido.

En términos generales, se destacó que el promedio mensual de DBO fue de 3,53 mg/L con valores máximos de 5,58 mg/L en el mes de marzo y mínimos de 2,4 mg/L registrados en el mes de abril. Además, del total de muestras registradas (60) solo el 5% estuvieron por encima del límite establecido. Asimismo, se presentaron meses en que los niveles de DBO pasaron de una concentración mayor a una menor, estos cambios en promedio se observaron con una magnitud promedio de 1,85 mg/L/mes.

Tabla 19. Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) año 2017. **Fuente:** Autores.

	Zona Sur				Zona Centro		Zona Norte		Externa		
2017	EST 4	EST 5	EST 6	EST 8	EST 9	EST 10	EST 11	EST 12	EST 13	EST 14	PROM
ENERO	4,99	8,46	10,12	5,01	4,50	5,76	4,03	5,20	4,60	4,80	5,75
FEBRERO	8,06	2,58	19,32	8,28	6,30	3,24	3,60	6,60	7,40	3,70	6,91
MARZO	3,14	3,79	2,15	3,09	2,54	2,85	2,90	3,61	3,92	2,68	3,07
ABRIL	3,14	2,85	14,40	4,86	14,40	4,55	4,22	5,41	3,24	6,24	6,33
MAYO	3,75	2,35	1,92	2,75	3,18	3,31	2,86	4,50	3,10	4,40	3,21
JUNIO	5,90	4,00	3,70	3,40	6,30	5,00	4,90	6,30	2,30	3,80	4,56
JULIO	5,50	2,90	4,70	5,80	10,00	7,00	6,00	7,10	2,70	2,80	5,45
AGOSTO	6,20	6,10	8,60	7,40	12,00	10,00	9,30	8,9	8,00	8,2	8,47
SEPTIEMBRE	9,80	14,00	16,00	11,00	16,00	6,40	7,30	2,30	6,10	4,20	9,31
OCTUBRE	4,60	3,00	3,40	4,00	6,30	4,40	2,30	4,90	4,40	2,20	3,95
NOVIEMBRE	13,00	5,30	8,50	4,80	21,00	12,40	7,60	7,30	5,10	5,90	9,09
DICIEMBRE	6,80	10,00	24,0	6,70			13	5,90	4,80	1,50	9,09
PROMEDIO	7,25				5,78		5,15		4,20		6,23

Durante el 2017 la zona sur registró el mayor valor promedio de DBO el cual fue de 7,25 mg/L con concentraciones mínimas cercanas a los 1,92 mg/L y concentraciones máximas cercanas a 24 mg/L registrado en el mes de diciembre, aunque la concentración promedio de DBO en la zona fue mayor a 6 mg/L, se registró un 53% del total de las muestras con valores por debajo del límite.

En la zona centro se presentó una concentración promedio de DBO menor que en la zona sur, la cual fue de 5,78 mg/L con valores mínimos cercanos a los 2,3 mg/L y valores máximos cercanos a los 13 mg/L, además, del total de muestras registradas en la zona, el 65

% arrojaron concentraciones por debajo del límite, siendo un porcentaje mayor que la zona sur.

En la zona norte, se presentó una concentración promedio de DBO de 5,15 mg/L, se presentaron concentraciones mínimas alrededor de 2,3 mg/L y máximas de 8,9 mg/L donde el 67% de las muestras registraron una concentración por debajo del límite propuesto.

En la zona más lejana de la ciénaga, se observó un valor promedio más bajo que las zonas mencionadas, el cual fue de 4,2 mg/L, con valores mínimos alrededor de los 1,5 mg/L y máximos cercanos a los 8,2 mg/L, del total de datos registrados se determinó que aproximadamente el 83 % de estos muestran concentraciones por debajo del límite, siendo la zona más lejana a la ciénaga la que mayor porcentaje registra.

En términos generales, los valores máximos se registraron en los meses de agosto y diciembre, se registró un valor promedio mensual de 6,23 mg/L y del total de las muestras (118) se obtuvo que el 61% de estas estuvieron por debajo del límite establecido. Asimismo, durante los meses en los cuales se notó una reducción en los niveles de DBO, la tasa de autodepuración promedio fue de 4,24 mg/L/mes.

En la **Tabla 20** se registraron las concentraciones de DBO durante el año 2018, con la cual se pudo determinar que la zona sur presentó una concentración promedio de 5,35 mg/L, con estaciones que registraron valores mínimos cercanos a los 1,21 mg/L y valores máximos de 11,06 mg/L siendo esta la zona con la mayor variación, de los cuales el 60% de ellos estuvieron por debajo del límite propuesto.

Tabla 20. Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) año 2018. **Fuente:** Autores.

CAPACIDAD DE AUTODEPURACIÓN DE LA CIÉNAGA DE LA VIRGEN A PARTIR DE LA OPERACIÓN DEL EMISARIO SUBMARINO

	Zona Sur					Zona Centro		Zona Norte		Externa	Bocana	
2018	Est 4	EST 5	EST 6	EST 8	EST 9	EST 10	EST 11	EST 12	13	EST 14	EST 30	PROM
ENERO	2,90	4,60	3,50	1,50	8,90	5,30	4,30		5,20	3,00	2,60	4,53
FEBRERO	3,10	2,30	4,00	3,40	4,00	2,80	5,20	4,01	4,10	5,50	1,50	3,66
MARZO	1,95	2,98	2,34	2,69	2,44	2,29	3,65	1,78	3,51	4,21	1,52	2,62
ABRIL	1,64	3,82	1,21	2,20	4,03	1,44	3,75	4,63	2,51	5,61	2,99	2,80
MAYO	3,92	7,50	5,07	3,12	5,51	5,34	6,95	3,86	7,34	7,06	3,51	5,40
JUNIO	4,37	6,16	6,55	4,28	5,26	3,52	4,45	2,97	3,49	7,10	7,36	4,56
JULIO	5,35	5,42	5,18	5,40	6,83	4,82	6,42	6,56	6,50	6,02	3,55	5,83
AGOSTO	4,89	7,12	4,12	4,68	7,95	5,22	7,76	4,93	7,05	7,08	3,56	5,97
SEPTIEMBRE	6,40	7,32	7,41	6,95	7,52	7,03	7,20	6,03	6,21	6,79	4,00	6,90
OCTUBRE	10,42	8,43	7,10	2,36	9,71	6,41	5,81	5,65	5,63	6,89	2,46	6,84
NOVIEMBRE	8,96	8,69	8,87	7,34	10,34	8,21	7,63	8,22	8,27	10,28	3,87	8,50
DICIEMBRE	5,08	6,52	6,24	2,06	11,06	2,10	4,14	6,44	1,79	6,79	2,93	5,05
PROMEDIO	5,35					5,07		5,07		6,36	3,32	5,22

En la zona centro se observó una concentración promedio de DBO menor que en la zona sur, la cual fue de 5,07 mg/L, en esta zona la concentración de DBO tuvo una variación entre 1,44 mg/L y 8,21 mg/L, en donde el 67% de estos valores estuvo por debajo del límite establecido, siendo un porcentaje mayor que la zona sur.

En la zona norte se presentó una concentración promedio de 5,07 mg/L, en esta zona la concentración tuvo una variación entre 1,78mg/L y 10,28 mg/L. En esta zona se presentó un total de muestras que arrojaron valores menores a 6 mg/L de 61%.

En la zona más externa de la ciénaga, se registró el mayor valor promedio, el cual fue de 6,36 mg/L, con un valor mínimo de 3 mg/L y un máximo de 10,28 mg/L. En esta zona se observó que además de presentar el mayor valor promedio, también fue la de menor porcentaje con tan solo un 33% de muestras que registraron concentraciones menores al límite establecido, siendo la zona más pobre de la ciénaga en el año 2018.

En la zona próxima a la bocana, se determinó que esta fue la zona con menor valor promedio de DBO en el año, el cual fue de 3,32 mg/L. La variación en esta zona fue de valores mínimos cercanos a los 1,5 mg/L y valores máximos cercanos a los 7,36 mg/L. además de que fue la zona con mejor promedio mensual, fue la zona con mayor porcentaje (92%) de muestras con concentraciones menores al límite.

En términos generales, la mayoría de los valores mínimos registrados por zona, se presentaron en el primer cuatrimestre, en cambio los valores máximos se registraron en su mayoría en el tercer cuatrimestre. Por otra parte, el valor promedio mensual durante el año fue 5,22 mg/L, aunque durante los meses septiembre, octubre y noviembre, el valor promedio estuvo por encima de la meta establecida. En los periodos de tiempo durante los cuales se observó una disminución en los niveles de DBO del estuario, la tasa de autodepuración ligada a dicha mejora fue en promedio de 1,35 mg/L/mes.

6.2.5 Sólidos suspendidos totales

Los sólidos suspendidos totales son aquellas partículas orgánicas e inorgánicas que pueden ser separadas fácilmente del líquido por sedimentación, centrifugación o filtración. Estas partículas por lo general causan impurezas visibles y pueden afectar negativamente a la calidad del agua o a su suministro de varias maneras. Las aguas con abundantes sólidos disueltos suelen ser de inferior potabilidad y pueden inducir una reacción fisiológica desfavorable para el contacto primario. Según ASEAN (2008) los valores de SST para agua de uso recreativo deben estar por debajo de 30 mg/L.

En la búsqueda de monitoreos de SST, se encontró que solo hay registros de datos del año 2017 y 2018. En la **Tabla 21** se muestran los resultados obtenidos en 2017 de la zona sur y centro.

Se pudo determinar que para el año 2017 la zona sur presentó una concentración promedio de SST por encima del límite requerido para aguas recreativas (30mg/L), esta concentración fue de 33,60 mg/L, además, la variación entre mínimos y máximos fue notoria, debido a que los primeros estuvieron alrededor de 6mg/L y los segundos entre los 88mg/, y 117, 08 mg/L. En esta zona, del total de muestras registradas, el 43% de estas arrojaron concentraciones por encima del límite pretendido.

Tabla 21. Solidos suspendidos totales (mg/L) año 2017. **Fuente:** autores.

	Zona Sur					Zona Centro		
Año 2017	EST 4	EST 5	EST 6	EST 8	EST 9	EST 10	EST 11	PROM
ENERO	35,90	37,00	49,60	44,00		87,00	22,10	45,93
FEBRERO	26,30	63,30	84,60	26,10		46,10		49,28
MARZO	37,85	13,75		25,07	117,08	18,26	23,26	39,21
ABRIL	42,35	40,15		48,20	88,00	17,80	29,30	44,30
MAYO	38,98	12,16	75,66	31,33	52,76	17,82	16,00	34,96
JUNIO	47,40	9,10	22,00	48,50	60,80	26,10	22,40	33,76
JULIO	11,30	9,40	19,70	9,60	24,20	27,80	16,60	16,94
AGOSTO	25,90	23,70	47,20	29,60	71,90	22,50	17,10	33,99
SEPTIEMBRE	18,90	23,40	26,40	19,70	31,10	8,70	22,40	21,51
OCTUBRE	11,00	7,00	8,00	6,00	12,00	23,00	23,00	12,86
NOVIEMBRE	10,00	10,00	13,00	10,00	95,60	10,70	16,90	23,74
DICIEMBRE	15,80	15,90	18,30	26,80	52,10	31,90	17,90	25,53
PROMEDIO	33,60					24,55		31,83

En la zona centro, se registró un promedio de concentración menor que en la zona sur, en este caso el valor si cumplió con lo pretendido, sin embargo, hubo una variación también notoria de los datos. Los valores mínimos estuvieron cercanos a los 8,7 mg/L y los valores máximos alrededor de los 87 mg/L, en esa variación se pudo observar que el 13 % de los datos presento valores por fuera de lo requerido, es decir, mucho mejor que la zona sur.

En términos generales cabe destacar que, del total de datos registrados durante el año 2017, el 61% estuvo por encima de 30 mg/L, por otra parte, el promedio mensual de concentración de toda la ciénaga estuvo alrededor de los 31,83 mg/L, un valor muy cercano a lo requerido. La variación de promedio mensual denotó valores mínimos cercanos a los 12,86 mg/L y valores máximos cercanos a los 49,28 mg/L, de lo que es menester señalar que toda la primera mitad del año presentó registros de promedios mensuales por encima de lo requerido, en cambio, la segunda mitad presento valores por debajo.

Lo inmediatamente mencionado, se puede evidenciar al observar que los valores máximos de concentración se presentaron entre enero y marzo, mientras que los valores mínimos se presentaron entre septiembre y octubre. Por su parte, la tasa de autodepuración con la cual

los niveles de SST tuvieron una reducción durante algunos meses en promedio fue de 9,76 mg/L/mes aproximadamente.

En el año 2018, se obtuvieron registros en todas las zonas de la ciénaga como lo muestra **Tabla 22**.

Se determinó que la concentración de SST promedio en 2018 en la zona sur sobrepasó los límites propuestos, esta concentración fue de 36,77 mg/L. La variación en la zona se destacó por ser la más notable de todas, debido a que en ella se presentó el menor y el mayor valor de concentración durante el año en la ciénaga entera, los cuales fueron 5,15 mg/L y 93,70 mg/L respectivamente. En esta zona, se observó que es la de mayor porcentaje con muestras por encima de 30 mg/L, dicho porcentaje fue de 53%.

En la zona centro, se presentó la menor concentración promedio del cuerpo de agua, esta fue de 23,55 mg/L, con una variación entre 7,70 mg/L y 52,31 mg/L. En esta zona, se presentó también el menor porcentaje de muestras por encima del límite propuesto, el cual fue de 29%.

Tabla 22. Solidos suspendidos totales (mg/L) año 2018. **Fuente:** autores.

	Zona Sur					Zona Centro		Zona Norte		Externa	Bocana	
AÑO 2018	EST 4	EST 5	EST 6	EST 9	EST 8	EST 10	EST 11	EST 12	EST 13	EST 14	EST 30	PROM
ENERO	10,90	51,53	31,40	44,67	11,28	18,25	19,42	24,20	20,99	15,80	9,58	18,04
FEBRERO	13,57	11,38	21,39	8,05	14,66	9,28	17,40	22,42	17,00	12,68	14,58	15,56
MARZO	5,15	9,47	11,26	29,82	14,22	8,63	22,13	8,75	14,40	13,86	15,04	13,80
ABRIL	33,64	84,80	25,06	76,95	31,88	30,83	39,85	33,84	63,97	79,30	55,51	50,55
MAYO	30,17	93,02	26,13	85,23	30,16	33,56	52,31	36,23	55,47	82,56	56,02	52,69
JUNIO	27,30	30,10	24,30	41,40	11,60	7,70	50,00	35,50	31,20	43,10	13,00	30,08
JULIO	16,10	18,50	14,10	24,70	16,90	13,70	48,10	14,20	27,40	29,10	11,80	24,05
AGOSTO	27,80	46,80	18,20	93,70	19,10	14,70	25,60	21,70	22,80	57,80	35,10	29,62
SEPTIEMBRE	40,90	57,80	37,40	45,20	40,50	23,90	17,20	16,60	30,10	36,60	11,70	22,68
OCTUBRE	29,60	53,50	36,60	58,20	13,50	11,90	13,20	40,60	25,50	27,50	25,20	23,98
NOVIEMBRE	43,40	70,30	30,20	65,90	17,30	20,50	16,10	47,70	21,30	18,30	24,70	24,77
DICIEMBRE	61,55	73,50	72,65	72,00	49,54	30,82	20,20		11,41	61,30	30,64	30,87
PROMEDIO	36,77					23,55		27,97		39,82	25,24	28,06

La zona norte, registró una concentración promedio mayor que la zona centro, pero menor que la zona sur, la cual fue de 27,97 mg/L. La zona norte, además, presentó unos valores

mínimos un poco más altos que las zonas anteriores, estos valores rondaron los 8,75 mg/L, por otra parte, las concentraciones máximas en esta, estuvieron alrededor de los 63,97 mg/L. Por último, se señala que el 39% de las muestras registro concentraciones por encima de 30 mg/L.

La zona externa tuvo la mayor concentración promedio, la cual fue de 39,82 mg/L, concentración que está por encima del valor límite. Las concentraciones mínimas fueron mayores que las mínimas de las demás zonas, estas fueron cercanas a los 12,68 mg/L y las concentraciones máximas solo están por debajo de la zona sur, estas rondaron los 82,56 mg/L. En esta zona, la mitad de las muestras presentaron concentraciones por encima del límite.

La Zona de la Bocana, registró una concentración promedio de 25,24 mg/L, con una variación entre 9,58 mg/L y 56,02 mg/L donde solo una tercera parte estuvo de las muestras estuvo por encima del límite.

En términos generales, el promedio mensual de todo el cuerpo de agua no estuvo por encima del límite pretendido, el cual fue de 28,06 mg/L. Sin embargo, durante los meses de abril a junio y en diciembre el promedio estuvo por encima del límite. Por otra parte, la mayoría de los valores mínimos se presentaron entre los meses de enero y marzo, mientras que los valores máximos se presentaron entre en su mayoría entre abril y mayo. En otro orden de ideas, se observaron periodos de mejora, en los cuales los niveles de SST disminuyeron con una tasa de autodepuración de 7,65 mg/L/mes.

6.2.6 Turbidez

La turbidez es la medida de las propiedades de dispersión de la luz del agua y depende de la cantidad, tamaño y composición de la materia suspendida como arcilla, limo, partículas coloidales, plancton y otros organismos microscópicos. A menudo se mide en unidades de turbidez nefelométrica (NTU).

La turbidez es un indicador primario de la calidad del agua. La alta turbidez y los sólidos suspendidos, junto con la correspondiente baja transparencia, son características limitantes importantes a la hora de evaluar la calidad del agua. Alta turbidez que resulta en bajos niveles de luz transmitida limita la producción primaria acuática (ASEAN, 2008).

Los monitoreos de las estaciones estudiadas durante los años 2015-2018 están registrados de la **Tabla 23** a la **Tabla 26**

Tabla 23. Turbidez (NTU) año 2015. **Fuente:** Autores.

Año 2015	Zona Sur		Zona Centro		Zona Norte		Externa	PROM
	EST 8	EST 9	EST 10	EST 11	EST 12	EST 13	EST 14	
ENERO	3,7	4,1	8,2	6,4	9,6	15	7,8	5,04
FEBRERO	6,9	5,1	13,6	7,7	15,3	12	7	4,60
MARZO	6,2	10,1	9,7	8,4	11,4	16	13,2	10,51
ABRIL	6,1	20	10,4	11	10,5	11	13	14,79
MAYO	5,6	10,7	11,6	11,1	11,7	10	14	9,04
JUNIO	12	25,9	13	9,1	12,4	9	15	20,50
JULIO	16	41,5	18	14,7	13,7	18	17	30,76
AGOSTO	5,9	8,1	14	5,8	11	15	20	10,19
SEPTIEMBRE	5	13,8	18,9	10,7	11,2	41	20	14,67
OCTUBRE	5,2	9,7	11,1	10	11,4	10	10	7,46
NOVIEMBRE	4,8	12,7	15,1	5,9	16,5	9	14	9,44
DICIEMBRE	3,2	18,1	8,5	7	15,4	6	10	12,00
PROMEDIO	10,85		10,83		13,42		13,42	12,42

Se pudo evidenciar que durante el 2015 la zona sur presentó un valor promedio de 10,85 NTU de turbidez, donde los valores oscilaron entre una concentración mínima de 3,2 NTU y una concentración máxima de 41,5 NTU, cabe destacar que el 100% de los valores registrados y la concentración promedio de la zona están por debajo del límite establecido (50 NTU).

La zona centro presentó una concentración promedio de 10,83 NTU, donde los valores variaron entre 5,8 NTU y 18,9 NTU, al igual que la zona sur, este sector registro que todas las muestras están por debajo límite establecido.

La zona norte presentó la mayor concentración promedio durante el año, el cual fue de 13,42 NTU, sin embargo, se registraron valores mínimos cercanos a 6 NTU y máximos cercanos a los 41 NTU, y al igual que las demás zonas el 100% de las muestras registraron concentraciones por debajo del límite establecido. La zona más externa a ciénaga, al igual que la zona norte registro una concentración promedio de 13,42 NTU, donde los valores oscilaron entre 7 NTU y 20 NTU, y todos los valores estuvieron por debajo del límite.

En términos generales, durante el 2015 la ciénaga presentó una concentración promedio mensual de 12,42 NTU que variaron desde 4,6 NTU hasta 30,76 NTU, donde el 100% de los datos registrados cumplen con la meta establecida. Finalmente se dedujo, que la tasa de autodepuración con respecto a la turbidez determinada en ese año fue de 8,49 NTU /mes.

Tabla 24. Turbidez (NTU) año 2016. **Fuente:** Autores.

	Zona Sur		Zona Centro		Zona Norte		Externa	
Año 2016	EST 8	EST 9	EST 10	EST 11	EST 12	EST 13	EST 14	PROM
ENERO	13	13,9	15,6		42,7	29	20,2	26,875
FEBRERO	5,4	10,8	10	10,5	21,4	20,5	16,8	15,84
MARZO	9,2	43,5	12,3	12,9	20,8	19	16	16,2
ABRIL	1,8	21,7	16,5	9,5	15,3	12	16	13,86
MAYO	5,8	6	8,8	10,1	13,2	17,5	17,2	13,36
JUNIO	7,89	10	12,4	11,28	12,4	20,3	15,2	14,316
JULIO	12,2	13,7	8,9	12	8,2	15,9	18,6	12,72
AGOSTO	12	12,4	9,4	16,1	7,6	11,8	14,4	11,86
SEPTIEMBRE	17,6	22,5	13	23,9	13,7	9,6	10,6	14,16
OCTUBRE	12,9	19,2	18,02	14,8	11,6	13,7		14,53
NOVIEMBRE	17,9	24,7	24,1					24,1
DICIEMBRE	14,6	49,8	25,8	11,3	15,4	14,8	23,6	18,18
PROMEDIO	15,77		13,96		16,65		16,86	16,33

Durante el 2016 la zona sur presento un valor promedio de 15,77 NTU de turbidez, donde los valores oscilaron entre una concentración mínima de 1,8 NTU y una concentración máxima de 49,8 NTU, cabe destacar que el 100% de los valores registrados y la concentración promedio de la zona están por debajo del límite establecido (50 NTU).

La zona centro presentó una concentración promedio de 13,96 NTU, donde los valores variaron entre 8,8 NTU y 25,8 NTU, al igual que la zona sur, este sector registro que todas las muestras están por debajo límite establecido.

La zona norte presentó una concentración promedio durante el año de 16,65 NTU, sin embargo, se registraron valores mínimos cercanos a 7,6 NTU y máximos cercanos a los 42,7 NTU, y al igual que las demás zonas el 100% de las muestras registraron concentraciones por debajo del límite establecido. La zona más externa a ciénaga registro la mayor concentración promedio de 16,86 NTU, donde los valores oscilaron entre 10,6 NTU y 23,6 NTU, y todos los valores estuvieron por debajo del límite.

En términos generales, durante el 2016 la ciénaga presentó una concentración promedio mensual de 16,33 NTU que variaron desde 11,86 NTU hasta 26,88 NTU, donde el 100% de los datos registrados cumplen con la meta establecida, con una tasa de autodepuración promedio de 3,71NTU /mes aproximadamente.

Tabla 25. Turbidez (NTU) año 2017. **Fuente:** Autores.

CAPACIDAD DE AUTODEPURACIÓN DE LA CIÉNAGA DE LA VIRGEN A PARTIR DE LA OPERACIÓN DEL EMISARIO SUBMARINO

Año 2017	Zona Sur					Zona Centro		Zona Norte		Externa	PROM
	EST 4	EST 5	EST 6	EST 8	EST 9	EST 10	EST 11	EST 12	EST 13	EST 14	
ENERO	10	8,9	2,62	12,1	28,593	11,1	30	20,13	18,8	16,4	15,86
FEBRERO	15,7	26,2	38,3	13,8	23	17,5	22,5	14,14	13,07	12,57	19,68
MARZO	27,6	10,3	57,3	18,4	54,13	13	16,2	16,8	19	18,6	25,13
ABRIL	23,3	23	65,4	33	54,6	13,6	17,1	23,5	9,95	16,5	28,00
MAYO	9,05	3,77	7,64	8,72	25,8	7,89	5,37	18,6	16,4	16,6	11,98
JUNIO	24,4	6,94	12,5	22,1	35,4	16,2	13,4	15,5	20,2	16,7	18,33
JULIO	5,87	5,56	13,1	8,23	14,3	12,1	12,8	10,8	12,6	12,7	10,81
AGOSTO	17,3	12,1	20,7	20,3	34,9	14,1	12,3	14,1	10,8	14,2	17,08
SEPTIEMBRE	8,65	13,9	15,8	11,1	18,8	5,93	11,5	12,7	12,4	9,54	12,03
OCTUBRE	4,6	3	3,4	4	6,3	4,4	2,3	4,9	4,4	2,2	3,95
NOVIEMBRE	6,2	12,3	15,2	13,2	12,1	9,18	18,7	20,5	16,4	5,6	12,94
DICIEMBRE		11,4	17,4	7,2	16,3	8,06	10,6	8,45	11,9	12,1	11,49
PROMEDIO	17,89					12,74		14,42		12,81	15,58

Durante el 2017 la zona sur presento la mayor concentración promedio de turbidez de 17,89 NTU, donde los valores oscilaron entre una concentración mínima de 2,62 NTU y una concentración máxima de 65,4 NTU, cabe destacar que el 93% de los valores registrados y la concentración promedio de la zona están por debajo del límite establecido (50 NTU).

La zona centro presentó una concentración promedio de 12,74 NTU, donde los valores variaron entre 2,3 NTU y 30 NTU, este sector registro que todas las muestras están por debajo límite establecido.

La zona norte presentó una concentración promedio durante el año de 14,42 NTU, sin embargo, se registraron valores mínimos cercanos a 4,4 NTU y máximos cercanos a los 23,5 NTU, y al igual que la zona centro el 100% de las muestras registraron concentraciones por debajo del límite establecido. La zona más externa a ciénaga registro una concentración promedio de 12,81 NTU, donde los valores oscilaron entre 2,2 NTU y 18,6 NTU, y todos los valores estuvieron por debajo del límite.

En términos generales, durante el 2017 la ciénaga presentó una concentración promedio mensual de 15,58 NTU que variaron desde 3,95 NTU hasta 28 NTU, donde el 97% de los

datos registrados (119) cumplen con la meta establecida. Asimismo, se presentaron reducción en los niveles de turbidez, con una tasa de mejora de 9,17 NTU/mes.

Tabla 26. Turbidez (NTU) año 2018. **Fuente:** Autores.

Año 2018	Zona Sur					Zona Centro		Zona Norte		Externa	Bocana	PROM
	EST 4	EST 5	EST 6	EST 8	EST 9	EST 10	EST 11	EST 12	EST 13	EST 14	EST 30	
ENERO	2,9	4,6	3,5	8,9	1,5	5,3	4,3	4,4	5,2	3		4,36
FEBRERO	8,95	7,78	14,7	5,12	9,8	7,09	13,5	9,31	14,7	12,2	11,9	10,46
MARZO	3,35	6,68	8,62	19,8	10,9	6,86	17,2	6,33	9,86	11,1	9,38	10,01
ABRIL	2,8	19,9	6,65	15	5,56	3,91	7,02	6,6	14,2	14,1	13,8	9,96
MAYO	7,29	13,3	7,35	20,4	5,68	7,41	9,5	10,8	14,5	14	13,9	11,28
JUNIO	9,54	10,2	13,9	21,1	7,41	5,95	10,7	12,4	10,1	16,7	6,23	11,29
JULIO	8,97	9,76	8,36	12,5	7,78	8,36	14,5	9,08	20,8	19,8	5,47	11,40
AGOSTO	6,83	22,8	10,6	44,6	11,6	9,73	12,3	12,9	13,1	26,8	11,6	11,08
SEPTIEMBRE	11,5	11,8	9,6	11,8	12	10,1	11,8	11,4	17,1	17,3	5,25	11,79
OCTUBRE	8,57	12,1	12,2	13,7	7,99	6,72	6,49	14,7	10,4	11,4	8,2	10,22
NOVIEMBRE	14,5	14,5	13,2	16,9	9,51	8,5	12,3	16,3	16,5	15	5,41	12,97
DICIEMBRE	8,36	16,6	13,7	23,8	3,65	6,98	5,38	12,9		16,2	3,92	11,15
PROMEDIO	11,22					8,83		11,89		14,80	8,64	10,50

Durante el 2018 la zona sur presento una concentración promedio de turbidez de 11,22 NTU de turbidez, donde los valores oscilaron entre una concentración mínima de 1,5 NTU y una concentración máxima de 44,6 NTU, cabe destacar que el 100% de los valores registrados y la concentración promedio de la zona están por debajo del límite establecido (50 NTU).

La zona centro presentó una concentración promedio de 8,83 NTU, donde los valores variaron entre 3,91 NTU y 17,2 NTU, este sector registro que todas las muestras están por debajo límite establecido.

La zona norte presentó una concentración promedio durante el año de 11,89 NTU, sin embargo, se registraron valores mínimos cercanos a 4,4 NTU y máximos cercanos a los 20,8 NTU, y al igual que la zona centro el 100% de las muestras registraron concentraciones por debajo del límite establecido. La zona más externa a ciénaga registro la mayor concentración promedio con un valor de 14,8 NTU, donde los valores oscilaron entre 3 NTU y 26,8 NTU, y todos los valores estuvieron por debajo del límite.

La zona próxima a la bocana presentó la menor concentración promedio con un valor de 8,64 NTU, donde los valores variaron entre 3,92 NTU y 13,9 NTU, este sector registro que todas las muestras están por debajo límite establecido.

En términos generales, durante el 2018 la ciénaga presentó una concentración promedio mensual de 10,5 NTU que variaron desde 4,36 NTU hasta 12,97 NTU, donde el 100% de los datos registrados (130) cumplen con la meta establecida. Adicionalmente, se determinó que además de que los niveles de turbiedad durante ese año cumplieron con los objetivos, en los lapsos donde hubo autodepuración del cuerpo de agua, la tasa con que se presento la mejora fue baja, esta fue de 0, 84 NTU/mes aproximadamente.

6.2.7 Prueba Mann Kendall

Se realizó el test estadístico Mann Kendall mediante el cual se determinó la tendencia del comportamiento de cada parámetro de calidad de agua estudiado durante los cuatro años analizados, la prueba se realizó para cada una de las estaciones disponibles de cada zona y los resultados obtenidos se observan en la **Tabla 27** a **Tabla 32**.

Tabla 27. Detección de tendencias para los parámetros de calidad de agua en la Ciénaga de la Virgen año 2015. **Fuente:** Autores.

CAPACIDAD DE AUTODEPURACIÓN DE LA CIÉNAGA DE LA VIRGEN A PARTIR DE LA OPERACIÓN DEL EMISARIO SUBMARINO

Estación	Parámetro	Z	P	Hipótesis
8	pH	1,796	0,0362474	No Rechazada
	Salinidad	-2,59808	0,0046874	No Rechazada
	Oxígeno Disuelto	-2,68328	0,0036452	No Rechazada
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	2,74937	0,0029855	No Rechazada
	Turbidez	-1,57717	0,0573784	No Rechazada
	Solidos Suspendidos Totales	-	-	-
9	pH	1,796	0,0362474	No Rechazada
	Salinidad	-2,8026	0,0025347	No Rechazada
	Oxígeno Disuelto	-0,934199	0,175101	Rechazada
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	0	0,5	Rechazada
	Turbidez	1,44002	0,0749304	No Rechazada
	Solidos Suspendidos Totales	-	-	-
10	pH	1,57717	0,0573784	No Rechazada
	Salinidad	-3,29925	0,0004847	No Rechazada
	Oxígeno Disuelto	-1,557	0,0597355	No Rechazada
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	1,9886	0,0233735	No Rechazada
	Turbidez	1,30288	0,0963081	No Rechazada
	Solidos Suspendidos Totales	-	-	-
11	pH	0,622799	0,266708	Rechazada
	Salinidad	-2,5044	0,006	No Rechazada
	Oxígeno Disuelto	1,4013	0,0805625	No Rechazada
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	1,9886	0,0233735	No Rechazada
	Turbidez	0	0,5	Rechazada
	Solidos Suspendidos Totales	-	-	-
12	pH	0,754298	0,225335	Rechazada
	Salinidad	-2,0241	0,0214801	No Rechazada
	Oxígeno Disuelto	-0,778499	0,218137	Rechazada
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	2,06203	0,0196024	No Rechazada
	Turbidez	1,51216	0,0652472	No Rechazada
	Solidos Suspendidos Totales	-	-	-
13	pH	0	0,5	Rechazada
	Salinidad	-2,1798	0,0146363	No Rechazada
	Oxígeno Disuelto	-0,622799	0,266708	Rechazada
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	1,9886	0,0233735	No Rechazada
	Turbidez	-1,38123	0,0836045	No Rechazada
	Solidos Suspendidos Totales	-	-	-
14	pH	1,17125	0,120748	Rechazada
	Salinidad	-2,3355	0,0097587	No Rechazada
	Oxígeno Disuelto	0,702782	0,241096	Rechazada
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	1,16773	0,121861	Rechazada
	Turbidez	1,38123	0,0836045	No Rechazada
	Solidos Suspendidos Totales	-	-	-

Tabla 28. Detección de tendencias para los parámetros de calidad de agua en la Ciénaga de la Virgen año 2016. **Fuente:** Autores.

Estación	Parámetro	Z	P	Hipótesis
8	pH	1,796	0,0362474	No Rechazada
	Salinidad	-2,8026	0,0025347	No Rechazada
	Oxígeno Disuelto	-0,3114	0,377748	Rechazada
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	1,85146	0,0320518	No Rechazada
	Turbidez	-1,57717	0,0118211	No Rechazada
	Solidos Suspendidos Totales	-	-	-
9	pH	1,796	0,0362474	No Rechazada
	Salinidad	-2,78388	0,0026856	No Rechazada
	Oxígeno Disuelto	1,557	0,0597355	No Rechazada
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	0	0,5	Rechazada
	Turbidez	1,44002	0,0748304	No Rechazada
	Solidos Suspendidos Totales	-	-	-
10	pH	1,57717	0,0573784	No Rechazada
	Salinidad	-2,40004	0,0081967	No Rechazada
	Oxígeno Disuelto	0,617153	0,268576	Rechazada
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	1,85146	0,0191401	No Rechazada
	Turbidez	1,30288	0,0432356	No Rechazada
	Solidos Suspendidos Totales	-	-	-
11	pH	0,622799	0,266708	Rechazada
	Salinidad	-3,2697	0,0005383	No Rechazada
	Oxígeno Disuelto	-0,754298	0,225335	Rechazada
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	1,72243	0,0424956	No Rechazada
	Turbidez	1,60997	0,0537023	No Rechazada
	Solidos Suspendidos Totales	-	-	-
12	pH	0,754298	0,225335	Rechazada
	Salinidad	-3,16178	0,000784	No Rechazada
	Oxígeno Disuelto	2,26289	0,0118211	No Rechazada
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	0,687343	0,245933	Rechazada
	Turbidez	1,51216	0,0146363	No Rechazada
	Solidos Suspendidos Totales	-	-	-
13	pH	0	0,5	Rechazada
	Salinidad	-2,57687	0,004985	No Rechazada
	Oxígeno Disuelto	1,4013	0,0805625	No Rechazada
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	0,206692	0,418125	Rechazada
	Turbidez	-1,38123	0,0097587	No Rechazada
	Solidos Suspendidos Totales	-	-	-
14	pH	2,19313	0,014149	No Rechazada
	Salinidad	-2,6469	0,0040617	No Rechazada
	Oxígeno Disuelto	1,4013	0,0749304	No Rechazada
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	-1,44002	0,134202	Rechazada
	Turbidez	1,38123	0,209481	Rechazada
	Solidos Suspendidos Totales	-	-	-

Tabla 29. Detección de tendencias para los parámetros de calidad de agua en la Ciénaga de la Virgen zona sur año 2017. **Fuente:** Autores.

Estación	Parámetro	Z	P	Hipótesis
4	pH	-1,71431	0,043236	No Rechazada
	Salinidad	-2,06546	0,0194397	No Rechazada
	Oxígeno Disuelto	-1,71431	0,0432356	No Rechazada
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	1,71431	0,0432356	No Rechazada
	Turbidez	-1,7127	0,0433841	No Rechazada
	Solidos Suspendidos Totales	-1,9886	0,0233725	No Rechazada
5	pH	-0,27494	0,391682	Rechazada
	Salinidad	-2,32551	0,0100223	No Rechazada
	Oxígeno Disuelto	-0,934199	0,175101	Rechazada
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	1,44002	0,0749304	No Rechazada
	Turbidez	-0,342863	0,365851	Rechazada
	Solidos Suspendidos Totales	-1,57717	0,0573784	No Rechazada
6	pH	-1,23772	0,108003	Rechazada
	Salinidad	-1,96774	0,024549	No Rechazada
	Oxígeno Disuelto	-1,57717	0,0473784	No Rechazada
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	0,480008	0,35611	Rechazada
	Turbidez	0	0,5	Rechazada
	Solidos Suspendidos Totales	-2,32551	0,0100223	No Rechazada
8	pH	0,078087	0,468879	Rechazada
	Salinidad	-2,06546	0,0194397	No Rechazada
	Oxígeno Disuelto	-0,754298	0,225335	Rechazada
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	0,617153	0,268567	Rechazada
	Turbidez	-1,30288	0,0963081	No Rechazada
	Solidos Suspendidos Totales	-1,44002	0,0749304	No Rechazada
9	pH	-1	0,024549	No Rechazada
	Salinidad	-2,68328	0,0036452	No Rechazada
	Oxígeno Disuelto	-1,57717	0,0573784	No Rechazada
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	2,1257	0,0167642	No Rechazada
	Turbidez	-1,9886	0,0233725	No Rechazada
	Solidos Suspendidos Totales	-1,2522	0,105249	Rechazada

Tabla 30. Detección de tendencias para los parámetros de calidad de agua en la Ciénaga de la Virgen zona centro-norte año 2017. **Fuente:** Autores.

Estación	Parámetro	Z	P	Hipótesis
10	pH	0	0,5	Rechazada
	Salinidad	-2,14663	0,0159116	No Rechazada
	Oxígeno Disuelto	-1,02859	0,151837	Rechazada
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	1,8684	0,0308533	No Rechazada
	Turbidez	-1,57717	0,0573784	No Rechazada
	Solidos Suspendidos Totales	-0,891443	0,186346	Rechazada
11	pH	0,702782	0,241096	Rechazada
	Salinidad	-3,04105	0,0011788	No Rechazada
	Oxígeno Disuelto	1,16573	0,121861	Rechazada
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	1,9886	0,0233725	No Rechazada
	Turbidez	-2,40004	0,0081967	No Rechazada
	Solidos Suspendidos Totales	-0,390434	0,348108	Rechazada
12	pH	0	0,5	Rechazada
	Salinidad	-2,5044	0,006133	No Rechazada
	Oxígeno Disuelto	-	-	-
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	0,754298	0,225335	Rechazada
	Turbidez	-1,85146	0,03205	No Rechazada
	Solidos Suspendidos Totales	-	-	-
13	pH	-0,622799	0,266708	Rechazada
	Salinidad	-1,9674	0,024549	No Rechazada
	Oxígeno Disuelto	-	-	-
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	0,068573	0,472665	Rechazada
	Turbidez	-1,37469	0,0846143	No Rechazada
	Solidos Suspendidos Totales	-	-	-
14	pH	-0,858956	0,195182	Rechazada
	Salinidad	-0,357771	0,360257	Rechazada
	Oxígeno Disuelto	-	-	-
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	-0,754298	0,225335	Rechazada
	Turbidez	-1,9886	0,0233725	No Rechazada
	Solidos Suspendidos Totales	-	-	-
30	pH	-	-	-
	Salinidad	-1,96774	0,024549	No Rechazada
	Oxígeno Disuelto	-1,64962	0,0495099	No Rechazada
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	-	-	-
	Turbidez	-	-	-
	Solidos Suspendidos Totales	-	-	-

Tabla 31. Detección de tendencias para los parámetros de calidad de agua en la Ciénaga de la Virgen zona sur año 2018. **Fuente:** Autores.

Estación	Parámetro	Z	P	Hipótesis
4	pH	2,4114	0,0079456	No Rechazada
	Salinidad	-2,33697	0,0097204	No Rechazada
	Oxígeno Disuelto	1,37469	0,0846143	No Rechazada
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	2,94862	0,001596	No Rechazada
	Turbidez	1,71431	0,0432356	No Rechazada
	Solidos Suspendidos Totales	2,67433	0,0037439	No Rechazada
5	pH	1,44002	0,0749304	No Rechazada
	Salinidad	-2,06203	0,0196024	No Rechazada
	Oxígeno Disuelto	1,71431	0,0432356	No Rechazada
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	2,67433	0,0037439	No Rechazada
	Turbidez	2,12575	0,0167621	No Rechazada
	Solidos Suspendidos Totales	1,44002	0,0749304	No Rechazada
6	pH	2,40004	0,0081967	No Rechazada
	Salinidad	-2,06203	0,0196024	No Rechazada
	Oxígeno Disuelto	1,44002	0,0749304	No Rechazada
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	2,53718	0,0055874	No Rechazada
	Turbidez	1,71431	0,0432356	No Rechazada
	Solidos Suspendidos Totales	1,44002	0,0749304	No Rechazada
8	pH	2,26289	0,0118211	No Rechazada
	Salinidad	-1,48365	0,0689508	No Rechazada
	Oxígeno Disuelto	1,0899	0,13787	Rechazada
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	1,44002	0,0749304	No Rechazada
	Turbidez	1,44002	0,0749304	No Rechazada
	Solidos Suspendidos Totales	1,44002	0,0749304	No Rechazada
9	pH	1,30288	0,0963081	No Rechazada
	Salinidad	-1,92456	0,0271421	No Rechazada
	Oxígeno Disuelto	-0,778499	0,218137	Rechazada
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	2,94862	0,001596	No Rechazada
	Turbidez	0,891443	0,186346	Rechazada
	Solidos Suspendidos Totales	1,57717	0,05737784	No Rechazada

Tabla 32. Detección de tendencias para los parámetros de calidad de agua en la Ciénaga de la Virgen zona centro-norte año 2017. **Fuente:** Autores.

Estación	Parámetro	Z	P	Hipótesis
10	pH	2,67433	0,0037439	No Rechazada
	Salinidad	-0,687343	0,24593	Rechazada
	Oxígeno Disuelto	0	0,5	Rechazada
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	1,30288	0,0963081	No Rechazada
	Turbidez	1,57717	0,0573784	No Rechazada
	Solidos Suspendidos Totales	0,754298	0,225335	Rechazada
11	pH	1,85146	0,0320518	No Rechazada
	Salinidad	-1,64962	0,0495099	No Rechazada
	Oxígeno Disuelto	1,71431	0,0432356	No Rechazada
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	1,44002	0,0749304	No Rechazada
	Turbidez	-0,274937	0,391682	Rechazada
	Solidos Suspendidos Totales	-0,891443	0,186346	Rechazada
12	pH	2,13582	0,0163472	No Rechazada
	Salinidad	-0,824812	0,204739	Rechazada
	Oxígeno Disuelto	0,480008	0,315611	Rechazada
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	2,3355	0,0097587	No Rechazada
	Turbidez	3,16178	0,000784	No Rechazada
	Solidos Suspendidos Totales	1,71431	0,0432356	No Rechazada
13	pH	1,51216	0,0652472	No Rechazada
	Salinidad	-1,9886	0,0233725	No Rechazada
	Oxígeno Disuelto	1,9886	0,0233725	No Rechazada
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	0,342863	0,36581	Rechazada
	Turbidez	1,2456	0,106456	Rechazada
	Solidos Suspendidos Totales	-0,754298	0,225335	Rechazada
14	pH	0,687343	0,245933	Rechazada
	Salinidad	-1,557	0,0597355	No Rechazada
	Oxígeno Disuelto	1,557	0,0597355	No Rechazada
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	2,40004	0,0081967	No Rechazada
	Turbidez	1,85146	0,0320518	No Rechazada
	Solidos Suspendidos Totales	0,617153	0,268567	Rechazada
30	pH	0,620076	0,267604	Rechazada
	Salinidad	0,549875	0,291203	Rechazada
	Oxígeno Disuelto	0	0,5	Rechazada
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	1,57717	0,0573784	No Rechazada
	Turbidez	-2,3355	0,0097587	No Rechazada
	Solidos Suspendidos Totales	0,617153	0,268567	Rechazada

Con respecto al pH en el año 2015, se observó que en tres de las siete estaciones mostraron tendencias estadísticas significativas, las cuales en todas se determinó tendencia a incrementar durante el año, la estación 14 mostro una tendencia aceptable y el resto de las

estaciones (11, 12 y 13) no mostraron tendencia significativa. En el año 2016, el número de estaciones que mostraron tendencia estadística significativa aumento de tres a cuatro estaciones, las cuales en todas se determinó tendencia positiva y el resto de estaciones (11, 12 y 13) no mostraron tendencia significativa. En el año 2017, se obtuvo que solamente la dos estaciones (4 y 9) mostraron tendencias significativas negativa. Por otra parte, la estación 14 presentó tendencia aceptable y el resto de las estaciones no presentaron tendencia significativa. Por último, en el año 2018 el número de estaciones con tendencia significativa aumento considerablemente, debido a que en nueve de las once estaciones se obtuvo tendencia significativa de incremento y el resto de las estaciones ubicadas en la bocana y en la zona externa, no mostraron tendencia significativa.

Con respecto a la salinidad, las tendencias fueron marcadas durante los cuatro años, estas tendencias por lo general fueron de decremento año tras año. En el año 2015 y 2016, todas las estaciones mostraron tendencias estadísticas significativas, las cuales fueron todas de decremento. En el año 2017, solo una estación (14) no mostró tendencia significativa, las demás estaciones todas mostraron tendencia significativa de decremento. En el año 2018, la situación cambió, de las once estaciones analizadas, solo seis mostraron tendencia estadística significativa, de las cuales 4 fueron en la zona sur, una en la zona centro y una en la zona norte. Además de eso, dos estaciones mostraron tendencia aceptable, una en la zona sur y otra en la zona externa; tres estaciones no mostraron tendencia significativa.

Se observó con respecto al OD en el año 2015, que tres de las siete estaciones mostraron tendencia estadística significativa, en las cuales en todas se determinó tendencia a disminuir la concentración de oxígeno durante el año, la estación 9 mostro una tendencia aceptable y el resto de estaciones (12, 13 y 14) no mostraron tendencia significativa. En el año 2016, el número de estaciones con tendencia significativa aumento a cuatro de siete, de las cuales la estación 14 mostro tendencia negativa y las otras estaciones (9, 12 y 13) mostraron tendencia positiva. Por otra parte, el resto de las estaciones no mostraron tendencia significativa. Posteriormente, en el año 2017 al igual que en el 2016 solo cuatro estaciones

mostraron tendencia significativa, adicional a esto tres estaciones (5, 10 y 11) mostraron tendencia aceptable y la estación 8 no mostro tendencia significativa. Finalmente, en el año 2018 se evidencio un leve aumento en el número de estaciones con tendencia significativa de cuatro a seis, la estación 8 presento una tendencia aceptable y el resto de las estaciones (9, 10, 11 y 30) no mostraron tendencia significativa. Cabe resaltar que todas las tendencias en el año 2018 fueron de incremento.

Se observó con respecto a la DBO, en el año 2015, que cinco de las siete estaciones mostraron tendencias estadísticas significativas, las cuales en todas se determinó tendencia a incrementar durante el año, únicamente la estación 9 no mostro tendencia significativa y la estación 14 mostro una tendencia aceptable. En el año 2016, el número de estaciones que mostraron tendencia estadística significativa disminuyó, solamente las estaciones 8, 10 y 11 cumplieron con la condición mencionada, a la estación 9, se le sumó la estación 12 y 13 en el grupo de estaciones sin tendencia marcada, por otra parte, la estación 14 nuevamente mostro una tendencia aceptable que, en este año, fue negativa. En el año 2017, se evidenció que en cuatro de las diez estaciones se presentó tendencia significativa de incremento, de esas dos en la zona sur y dos en la zona centro. Únicamente la estación 5 mostró una tendencia aceptable de incremento. En el año 2018, se presentó un incremento en el número de estaciones en las que se determinó tendencia significativa, debido a que del número total de estaciones (11), 6 estaciones cumplieron esta condición, de las cuales cuatro pertenecen a la zona sur, una a la zona norte y la restante en la zona externa, además de eso, cuatro estaciones presentaron tendencia aceptable, de las cuales una fue en la zona sur, dos en la zona centro y una en la bocana, solo la estación 13 no mostró tendencia. Cabe destacar que en el 2018 todas las tendencias fueron de incremento.

Con respecto a los SST, en el año 2017, todas las tendencias mostradas por cada estación fueron de decremento, sin embargo, solo dos estaciones mostraron tendencia estadística significativa, ambas en la zona sur. Cuatro estaciones mostraron una tendencia aceptable, todas en la zona sur. La zona centro no mostro tendencia significativa.

En el año 2018 la zona sur mostro una tendencia de incremento, sin embargo, solo la estación 4 tuvo una tendencia significativa y las demás (5, 6, 8, 9) mostraron una tendencia aceptable. La zona norte, una de las dos estaciones mostro una tendencia significativa y fue de incremento. El resto de estaciones no mostraron tendencias estadísticas significativas, sin embargo, la estación 11 y 13 aunque no fueron significativas, la tendencia fue de decremento.

Con respecto a la turbidez en el año 2015, la estación 11 no presento tendencia significativa y el resto de las estaciones si, las estaciones 8 y 13 mostraron tendencia decreciente y las estaciones 9, 10, 12 y 14 mostraron tendencia creciente. En el año 2016 al igual que en el año 2015, solo una estación (14) no presento tendencia significativa, destacando que en la zona norte la tendencia fue negativa y en la zona sur y centro se presentó una tendencia positiva. En el año 2017, ocho de las diez estaciones evaluadas mostraron una tendencia significativa decreciente y el resto de las estaciones (5 y 6) no presentaron tendencia significativa. Finalmente, en el año 2018 se obtuvo que la estación 11 no mostro tendencia significativa, la estación 9 mostro una tendencia aceptable y el resto de las estaciones si mostraron tendencia significativa creciente, excepto la estación 30 que mostro una tendencia significativa decreciente.

6.2.8 Pendiente de Sen

Posterior al análisis tendencial se seleccionaron aquellas estaciones que mostraron tendencia estadística significativa, a este grupo se le aplicó la pendiente de sen para de esta manera conocer la magnitud general de los aumentos o decrementos en cada estación, para cada parámetro año tras año. Los resultados se plasmaron en **Tabla 33**, **Tabla 34**, **Tabla 35**, **Tabla 36** y **Tabla 37**, donde las unidades de la pendiente se definen dividiendo la unidad de cada parámetro por mes. Finalmente, se realizó un análisis de promedios, máximos y mínimos de las tablas mencionadas anteriormente y se registró en la **Tabla 38**.

Tabla 33. Pendiente de Sen calculada para los parámetros que presentaron tendencia año 2015.

Fuente: Autores.

Estación	Parámetro	Pendiente de Sen
8	pH	0,03
	Salinidad	-0,60
	Oxígeno Disuelto	-0,29
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	0,22
	Turbidez	-0,18
9	pH	0,045
	Salinidad	-0,775
	Turbidez	0,852
10	pH	0,04
	Salinidad	-1,35278
	Oxígeno Disuelto	-0,26125
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	0,5
	Turbidez	0,5416
11	Salinidad	-1,225
	Oxígeno Disuelto	-0,22
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	0,25
12	Salinidad	-1,08
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	0,4
	Turbidez	0,25
13	Salinidad	-1,0625
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	0,4
	Turbidez	-0,5635
14	Salinidad	-1,2
	Turbidez	0,6989

Tabla 34. Pendiente de Sen calculada para los parámetros que presentaron tendencia año 2016.

Fuente: Autores.

Estación	Parámetro	Pendiente de Sen
8	pH	0,05
	Salinidad	-1,39
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	0,22
	Turbidez	1,01
9	pH	0,04
	Salinidad	-1,566
	Oxígeno Disuelto	0,306
	Turbidez	1,37222
10	pH	-1,35278
	Salinidad	-0,26125
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	0,5
	Turbidez	0,5416
11	Salinidad	-2,28
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	0,198182
	Turbidez	0,8866
12	Salinidad	-1,30417
	Oxígeno Disuelto	0,14625
	Turbidez	-2,25
	Salinidad	-1,0625
13	Demanda Bioquímica de Oxígeno	0,4
	Salinidad	-1,47778
	Oxígeno Disuelto	0,0614286
14	Turbidez	-1,5
	pH	0,035
	Salinidad	-1,4125
	Oxígeno Disuelto	-0,126833

Tabla 35. Pendiente de Sen calculada para los parámetros que presentaron tendencia año 2017.

Fuente: Autores.

Estación	Parámetro	Pendiente de Sen
4	pH	-0,06
	Salinidad	-1,40
	Oxígeno Disuelto	-0,34
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	0,31
5	Turbidez	-1,06667
	Solidos Suspendidos Totales	-2,5575
	Salinidad	-0,917143
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	0,2675
6	Solidos Suspendidos Totales	-1,8
	Salinidad	-1,01125
	Oxígeno Disuelto	-0,1635
	Solidos Suspendidos Totales	-5,25167
8	Salinidad	-0,9
	Turbidez	-0,7525
	Solidos Suspendidos Totales	-2,28
9	pH	-0,1375
	Salinidad	-1,44167
	Oxígeno Disuelto	-0,37
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	1,38571
	Turbidez	-2,33275
10	Salinidad	-1,9375
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	0,591667
	Turbidez	-0,69525
11	Salinidad	-1,85417
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	0,56375
	Turbidez	-1,02667
12	Salinidad	-2,095
	Turbidez	-0,69525
	Salinidad	-1,22917
	Turbidez	-0,6137
	Turbidez	-0,82875
30	Salinidad	-0,69
	Oxígeno Disuelto	-0,229167

Tabla 36. Pendiente de Sen calculada para los parámetros que presentaron tendencia zona sur año 2018.

Fuente: Autores.

Estación	Parámetro	Pendiente de Sen
4	pH	0,05
	Salinidad	-0,44
	Oxígeno Disuelto	0,29
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	0,56
	Turbidez	0,67
	Solidos Suspendidos Totales	3,37
5	pH	0,02
	Salinidad	-0,83
	Oxígeno Disuelto	0,29
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	0,56
	Turbidez	0,86
	Solidos Suspendidos Totales	5,56
6	pH	0,038
	Salinidad	-0,4825
	Oxígeno Disuelto	0,256
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	0,475851
	Turbidez	0,75625
	Solidos Suspendidos Totales	1,70625
8	pH	0,04809
	Salinidad	-0,978
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	0,402226
	Turbidez	0,75
	Solidos Suspendidos Totales	1,04657
9	pH	0,0225
	Salinidad	-0,49833
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	0,785112
	Solidos Suspendidos Totales	4,19375

Tabla 37. Pendiente de Sen calculada para los parámetros que presentaron tendencia zona centro-norte año 2018. **Fuente:** Autores.

Estación	Parámetro	Pendiente de Sen
10	pH	0,0291667
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	0,407014
	Turbidez	0,2295
11	pH	0,035
	Salinidad	-0,78333
	Oxígeno Disuelto	0,392909
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	0,2679
12	pH	0,060833
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	0,4678
	Turbidez	0,78375
	Solidos Suspendidos Totales	2,37
13	pH	0,054
	Salinidad	-1,44333
	Oxígeno Disuelto	0,299286
14	Salinidad	-1,17833
	Oxígeno Disuelto	0,34125
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	0,36
	Turbidez	0,879167
30	Demanda Bioquímica de Oxígeno	0,128396
	Turbidez	-0,72111

Tabla 38. Resumen del análisis de tendencias para las series de valores promedios, máximos y mínimos mensuales de los parámetros de calidad de agua. **Fuente:** Autores.

AÑO		pH	Salinidad	OD	DBO	Turbidez	SST
2015	PROM	0,038	-1,042	-0,258	0,408	0,258	-
	MAX	0,045	-0,600	-0,220	0,668	0,852	-
	MIN	0,030	-1,353	-0,293	0,222	-0,564	-
2016	PROM	0,040	-1,481	0,097	0,179	0,068	-
	MAX	0,045	-0,942	0,306	0,219	1,372	-
	MIN	0,035	-2,280	-0,127	0,120	-2,250	-
2017	PROM	-0,098	-1,348	-0,276	0,624	-1,001	-2,972
	MAX	-0,058	-0,690	-0,164	1,386	-0,614	-1,800
	MIN	-0,138	-2,095	-0,370	0,268	-2,333	-5,252
2018	PROM	0,039	-0,829	0,312	0,441	0,526	3,041
	MAX	0,061	-0,437	0,393	0,785	0,879	5,558
	MIN	0,022	-1,443	0,256	0,128	-0,721	1,047

7 ANALISIS ENTRE VARIABLES HIDROLOGICAS Y PARAMETROS FISICOQUIMICOS

7.1 Correlación lineal R²

Se realizó un análisis entre variables independientes como la precipitación y volumen acumulado y la variable dependiente la cual fue la concentración de los parámetros de calidad de agua en donde se estableció si existía una relación lineal entre estas. Los coeficientes de correlación R² determinados se pueden ver en la **Tabla 39**

Tabla 39. Coeficientes de correlación R². Fuente: Autores

Año	Precipitación				Volumen			
	2015	2016	2017	2018	2015	2016	2017	2018
DBO	0,16	0,09	0,22	0,34	0,67	0,006	0,13	0,41
OD	0,1	0,005	0,1	0,003	0,1	0,006	0,11	0,04
SST			0,05	0,07			0,68	0,002
Ph	0,51	0,54	0,005	0,2	0,006	0,19	0,28	0,02
TURBIDEZ	0,003	0,29	0,007	0,04	0,37	0,06	0,24	0,1
SALINIDAD	0,46	0,48	0,002	0,51	0,1	0,76	0,54	0,03

Para la DBO, la mayor relación encontrada con respecto a la precipitación se presentó en el año 2018, mientras que para el volumen se determinó una relación lineal significativa para el año 2015.

Con respecto al OD, no se encontró una relación lineal significativa, los coeficientes de correlación R² no superaron el valor de 0,15 para ninguna de las dos variables.

Al analizar los SST se determinó que solo se presentó una relación significativa en el año 2017 y fue con respecto al volumen acumulado.

El pH solamente mostró una relación lineal medianamente significativa con respecto a la precipitación en los años 2015 y 2016. Con respecto al volumen, la mayor relación encontrada fue en el 2017.

En el análisis de la turbidez, no se encontró linealidad significativa debido a que los valores de los coeficientes fueron menores a 0,4.

Con respecto a la salinidad, se pudo determinar que se presentó una relación lineal significativa con respecto al volumen, la cual fue de 0,76 presentada en 2016. Por otra parte, se presentó un coeficiente de correlación de 0,51 con respecto a la precipitación en el año 2018.

Debido a que solo el 7% de los coeficientes de correlación R^2 determinados fueron mayores a 0,6 se realizó un balance de masa de la DBO, OD y SST para establecer las condiciones hidráulicas presentadas a lo largo de los años estudiados. Se establecieron tres escenarios, en los que se analizó el cuerpo de agua como un todo, es decir, en base al concepto de mezcla completa.

7.2 Balance de masa

Se realizó un balance de masa relacionando los parámetros hidrológicos con los fisicoquímicos a partir de la siguiente ecuación:

$$V \frac{dc}{dt} = W - Q_c - KVc$$

Y finalmente, se definieron tres escenarios para establecer las condiciones hidrológicas e hidráulicas que favorecen la capacidad de autodepuración de la Ciénaga de la Virgen, los resultados obtenidos de cada escenario se pueden observar en los **ANEXOS**.

7.2.1 Escenario 1

En el primer escenario se estableció una tasa de reacción constante por año y la carga se determinó mediante una relación entre la precipitación y las cargas que llegaban a la ciénaga antes de la operación del emisario submarino, las cuales tenían un caudal 10000 m³/s. Se estableció que en los meses sin lluvia el caudal de agua residual corresponde a un 20% de 10000 m³/s y el mes con más lluvia corresponde a un caudal del 50%. Los resultados obtenidos se pueden ver a partir de la **Tabla 42**

Con respecto a la DBO en el año 2015, se observó que de enero a marzo las concentraciones estuvieron por debajo de 6 mg/L, en este lapso la carga fue la mínima presentada a lo largo de los años con un caudal de salida promedio de 43,5 m³/s. Sin embargo, de abril a noviembre los valores de DBO superaron el límite y estuvieron rondando entre los 7,23 mg/L y los 9,64 mg/L, en este tiempo las cargas presentadas en promedio fueron de 850,6 toneladas al mes y el caudal de salida fue de 30,5 m³/s aproximadamente. En este año, se presentó una contribución de aguas residuales cercana 27% comparado con el caudal de agua residual que antes llegaba al cuerpo de agua, además se observó que la concentración de DBO en promedio en el efluente fue 401,12 mg/L.

En el año 2016, aunque se presentó una contribución de aguas residuales alrededor del 33%, en todos los meses se observó un valor de concentración promedio por debajo de 6 mg/L, los valores variaron entre 2,45mg/L y 3,9 mg/L. En este periodo de tiempo las cargas presentadas en promedio fueron de 956,8 toneladas al mes, con un caudal de salida promedio de 66 m³/s. Cabe destacar que la concentración del efluente en promedio fue de 402,68 mg/L de DBO.

Para el año 2017, la contribución de aguas residuales fue igual que en el año 2016 sin embargo, en los meses de enero, marzo, de mayo a julio y en octubre las concentraciones de DBO en el cuerpo de agua se mantuvieron por debajo del límite, la más alta fue la de enero. Durante estos meses se presentaron cargas promedio de 981,5 toneladas al mes y el caudal de salida fue en promedio de 58,3 m³/s. Por otra parte, los meses restantes tuvieron valores, aunque no muy altos, sí estuvieron por encima del límite. En estos meses se presentó una carga promedio menor que el año anterior (958 ton/mes.) pero el caudal de salida también fue menor en este lapso, este fue 40,8 m³/s. De manera general, se determinó que la concentración del parámetro en el efluente durante este año fue en promedio 399,42 mg/L.

En el año 2018, de enero a agosto las concentraciones promedio estuvieron dentro de los límites requeridos, durante este lapso, las cargas presentadas no fueron mayores a

736,1 ton/mes con un caudal promedio de salida de 57,8 m³/s. Mientras tanto, entre septiembre y noviembre se presentó un caudal de salida menor, alrededor de los 42,6 m³/s, con cargas cercanas en promedio a los 808,3 ton/mes, lo que generó concentraciones que variaron entre 6,5 y 8,1 mg/L. Cabe resaltar que, en este año, la contribución de aguas residuales fue menor que el año anterior, se determinó que se mantuvo un promedio cercano al 29% y que la concentración de DBO en el efluente fue aproximadamente de 393,21 mg/L.

En el 2019, se presentaron concentraciones dentro del rango requerido en $\frac{3}{4}$ partes de año, solamente de septiembre a octubre, las concentraciones oscilaron entre 6,24 y 7,04 lo cual define que no estuvieron lejos del límite. Durante los meses que se cumplió con la meta, se presentaron cargas de DBO cercanas a 786,2 ton/mes en promedio, con un caudal de salida promedio de 58,8 m³/s. Mientras que, durante agosto, septiembre y octubre, la carga aumento a 1051,3 ton/mes y el caudal de salida tampoco contribuyó mucho, puesto que fue de 39.8 m³/s. Adicionalmente, se determinó que la contribución no varió mucho respecto al año anterior, en este año cerca del 30% de aguas residuales llegaron a la ciénaga.

Con respecto a los SST en el año 2017, durante los meses de julio y de septiembre a diciembre las concentraciones estuvieron en niveles requeridos, es decir por debajo de los 30mg/L. En el transcurso de estos meses, se presentaron cargas promedio aproximadamente de 2474,6 ton/mes, con un caudal de salida promedio cercano a los 36,2 m³/s. En el tiempo que no se cumplió con lo establecido que fue levemente la mayor parte del año, aunque se presentó un caudal de salida mayor cercano a los 63,9 m³/s, la carga promedio de contaminante fue casi tres veces más que en los otros meses, provocando un aumento considerable en la concentración de SST en el cuerpo de agua. Cabe resaltar que, con la contribución determinada de aguas residuales en este año, el efluente tuvo una concentración promedio de 1086,29 mg/L.

En el 2018, aunque la concentración del efluente fue mayor que el año anterior (1123,96 mg/L) en la mayoría del año se presentaron concentraciones dentro del límite

requerido, solamente los meses de abril y mayo, superaron el límite. La buena condición presentada por el estuario en cuanto a los sólidos estuvo ligada a que, aunque las cargas entrantes de SST fueron cercanas a 3417 ton/mes, se, presentó un caudal mayor, este fue 47,9 m³/s. No es de menor importancia mencionar que los únicos dos meses que estuvieron por encima de lo requerido, tuvieron un caudal mucho mayor, el cual fue 69,1 m³/s, sin embargo, la carga en estos meses fue elevada llegando a los 4623,8 ton/mes.

En el año 2019, también se mantuvo la tendencia de mejoría en el estuario, puesto que solamente de marzo a abril los límites en SST se propasaron. Se determinó que, aunque el caudal de salida en las dos condiciones fue similar (54 m³/s aprox.) la diferencia en las cargas de entrada fue notable, para los meses que se cumplió, la carga fue de 2547,5 ton/mes mientras en los que no, fue de 4266,7 ton/mes.

Con respecto al OD se determinó que durante gran parte del año 2015 se cumplió con la meta, únicamente en los meses de enero, mayo, septiembre y octubre las concentraciones de OD en la ciénaga estuvieron por debajo de 4 mg/L. Aunque el caudal de salida fue similar en las dos condiciones (35,4 m³/s aprox.) la diferencia se evidenció en los aportes de oxígeno los cuales para la época de buena condición fue de 580 ton/mes, mientras que en el resto del año fue aproximadamente de 429,5 ton/mes.

En el año 2016, solamente fue de mayo a julio las concentraciones de OD estuvieron por debajo del límite establecido. Aunque el caudal durante el año fue constante de 66 m³/s, así como en el año anterior los aportes de oxígeno se vieron reflejados en las dos condiciones, en los meses que se cumplió, la ciénaga recibió una contribución de Oxígeno cercana a los 1058,2 ton/mes, mientras que, de mayo a julio, el aporte fue casi que la mitad: 644,3 ton/mes.

Para el 2017, la situación cambió bastante, en este año durante gran parte del tiempo, la ciénaga no tuvo concentraciones de OD mayores a 4 mg/L, esto se produjo debido a que el aporte de oxígeno durante este tiempo en promedio fue de 743,5 ton/mes. Por otra parte,

solo en los meses de enero a marzo y en noviembre se cumplió con la meta, en este lapso el aporte de oxígeno fue en promedio de 1084,4 ton/mes.

Se pasó de una situación adversa a una mejor en 2018, esto debido a que, en la mayoría del año, el cuerpo de agua recibió un aporte de oxígeno en promedio de 1160,8 ton/mes, lo contrario a los meses de abril, mayo, julio y agosto en el cual el aporte no fue mayor a 850,62 ton/mes. El caudal durante las dos condiciones fue similar, 51,3 m³/s aproximadamente.

Finalmente, en 2019, la situación mejoró mucho más, aunque los aportes durante los meses de buen estado fueron menores que en los años anteriores (925,5 ton/mes) se destacó que solamente durante mayo y julio no se cumplió con las expectativas planteadas. En estos últimos mencionados el aporte de oxígeno tuvo un promedio mensual de 666,9 toneladas, además de un caudal de salida de 54 m³/s.

7.2.2 Escenario 2

En el segundo escenario se estableció un caudal de salida de 50 m³/s y una carga promedio del 55% para todos los meses para la DBO y los SST, este porcentaje se estableció con el caudal de aguas residuales que llegaba a la ciénaga antes de la implementación del emisario submarino el cual era de 10000 m³/s. Con respecto al OD, se estableció para este escenario un valor promedio del aporte calculado teniendo en cuenta el cambio de volumen, la precipitación, la marea y la escorrentía para cada año según su condición (seco, húmedo o promedio). Los resultados obtenidos se pueden observar a continuación.

Con respecto a la DBO en el año 2015, se observó que de enero a marzo las tasas de consumo registraron valores entre 1-2, esto se pudo producir debido a que con respecto a las condiciones hidrodinámicas establecidas en el modelo, la carga fue muy alta en comparación a la carga real que se pudo presentar. Sin embargo, de abril a noviembre las tasas de consumo disminuyeron registrando valores mínimos de 0,34 a 0,07.

Posteriormente, en el mes de diciembre se estimó nuevamente un K mayor a 1. Con una K promedio de 1,6 en los meses que cumplieron con la meta establecida.

En el año 2016, entre enero y abril se registraron valores de K 1,22 a 3,79 dada la carga alta con respecto al pequeño volumen que se registra en estos meses. En el resto del año se registraron valores por debajo de 1, registrando la menor tasa de consumo (0,10) en el mes de mayor cambio de volumen (96,81 Mm³). Con una K promedio en el año de 0,96.

Para el año 2017, en los meses de enero y marzo, la tasa de consumo se registró por encima de 1, siendo la más alta de 2,89 en marzo. En el resto de los meses del año, se registraron valores por debajo de 1, registrando al igual que el año 2016 la menor tasa de consumo (0,02) en el mes de noviembre (mes de mayor cambio de volumen). Con una K promedio en el año de 0,57.

En el año 2018, se observó que de enero a abril las tasas de consumo registraron valores grandes entre 1-4, resaltando que, con respecto a las condiciones hidrodinámicas establecidas, la carga fue muy alta. Sin embargo, de abril a noviembre las tasas de consumo disminuyeron registrando valores entre de 0,65 a 0,1. Posteriormente, en el mes de diciembre se registró nuevamente un K mayor a 1. Con una K promedio en el año de 1,19.

En el año 2019, se observó que de enero a abril las tasas de consumo registraron valores grandes entre 1-4, resaltando que, con respecto a las condiciones hidrodinámicas establecidas, la carga fue muy alta. Sin embargo, de abril a noviembre las tasas de consumo disminuyeron registrando valores entre de 0,62 a 0,09. Con una K promedio en el año de 1,1.

Con respecto a los SST en el año 2017, en los meses de enero a junio, la tasa de consumo se registró por debajo de 0, presentando en este lapso las mayores concentraciones de SST y los menores cambios de volumen en todo el año. En el resto del año, los valores de K se presentaron muy cercanos a cero. Se registró una tasa de consumo en promedio de 0,14.

En el año 2018, en los meses de enero a marzo se presentaron las tasas de consumo más altas en el año alcanzando valores de 0,5 a 0,82, entre abril y junio se estimaron valores de K negativos, de lo que se pudo decir que la carga en este lapso fue baja. En el resto del año se estimaron tasas de consumo muy cercano a cero, y finalmente en diciembre se presentó nuevamente una K negativa. En este año la tasa de consumo promedio fue de 0,13.

En el año 2019, se observó en de enero la tasa de consumo más alta en este año de 0,68, de febrero a junio se estimaron tasas de consumo negativa. Y, en el resto del año se presentaron valores de K muy cercanos a cero. La tasa de consumo promedio fue de 0,01.

En el momento de analizar el OD se determinó que durante el 2015 se presentaron valores de K entre 0,09 y 0,70 en casi todos los meses excepto en febrero, en el cual se estimó una tasa de consumo negativa (-0,15). La tasa de consumo promedio en el año fue de 0,26.

En el año 2016, se observaron las mayores tasas de consumo en enero y marzo con valores de 1,95 y 1,04 respectivamente. En el resto de los meses se presentaron valores por debajo de 1, obteniéndose como valor mínimo 0,07 en el mes de noviembre. La tasa de consumo promedio fue de 0,504.

En el 2017, se observaron las mayores tasas de consumo entre febrero y abril con valores entre 1,31 y 1,54. En el resto de los meses se presentaron valores por debajo de 1, obteniéndose como valor mínimo 0,06 en el mes de noviembre. La tasa de consumo promedio fue de 0,61.

En 2018, en el año se observaron tasas de consumo con valores entre 0,04 y 0,57 excepto en el mes de febrero, en el cual se estimó una tasa de consumo negativa de -0,004. La tasa de consumo promedio fue de 0,23.

Con respecto al año 2019, se observó que las tasas de consumo se mantuvieron en niveles estables entre 0,01 y 0,41, siendo este año el que mejores condiciones de K presentó y con concentraciones en todo el año por encima de la meta establecida de 4 mg/L. la tasa de consumo promedio fue de 0,19.

7.2.3 Escenario 3

En el segundo escenario se estableció un caudal de salida de 40 m³/s y la carga se calculó con respecto a la precipitación acumulada de cada mes de la siguiente forma:

- Para la DBO se tomó en cuenta la siguiente relación

Tabla 40. Relación precipitación vs carga para DBO. **Fuente:** Autores.

Precipitación (mm)	Carga (%)
0	20
706,9	50

- Para los SST se realizó la siguiente relación

Tabla 41. Relación precipitación vs carga para SST. **Fuente:** Autores.

Precipitación (mm)	Carga (%)
0	20
454,9	50

Con respecto al OD, se calculó el aporte teniendo en cuenta cambio de volumen, la precipitación, la marea y la escorrentía para cada año según su condición (seco, húmedo o promedio). El resto de los valores se calcularon mediante interpolación. Los resultados obtenidos se pueden observar a continuación.

Con respecto a la DBO en el año 2015, se observó que de enero a marzo y de noviembre a diciembre, las tasas de consumo estuvieron entre 0,044 y 0,393. En el resto del año se obtuvieron valores de K negativos muy cercanos a cero, en este tiempo las cargas presentadas en promedio fueron de 703,56 ton/mes y una tasa de consumo promedio de 0,027.

En el año 2016, en todos los meses se presentaron tasas de consumo positivas con valores que variaron entre 0,054 y 2,66, y un valor de concentración promedio por debajo de 6 mg/L, los valores variaron entre 2,28 mg/L y 5,3 mg/L. En este periodo la tasa de consumo promedio fue de 0,277 y las cargas presentadas en promedio fueron de 1228,8 ton/mes.

Para el año 2017, en los meses de agosto, septiembre y noviembre las tasas de consumo estimadas fueron negativas con valores muy cercanos a cero. En el resto de los meses las tasas de consumo presentaron valores entre 0,003 y 0,791. En estos meses se presentó una carga promedio de 975,08 ton/mes y una tasa de consumo promedio de 0,243.

En el año 2018, se presentaron valores de K positivos que variaron entre 0,019 y 0,932 y las concentraciones estuvieron por debajo de la meta establecida excepto de septiembre a noviembre que se obtuvieron concentraciones entre 6,49 y 8,08. Durante este lapso, las cargas presentadas en promedio fueron de 794,03 ton/mes y una tasa de consumo promedio de 0,296.

En el año 2019, en todo el año se presentaron tasas de consumo positivas con valores entre 0,005 y 0,754 con concentraciones por debajo de la meta establecida excepto entre agosto y octubre que se obtuvieron concentraciones entre 6,24 y 7,04. La carga promedio en el año fue 705,8 ton/mes y la tasa de consumo promedio de 0,215.

Para el año 2017, en los meses de enero a abril y agosto las tasas de consumo estimadas fueron negativas con valores entre -0,001 y -0,377. En el resto de los meses las tasas de consumo presentaron valores muy cercanos a cero, puesto que la K máxima fue de 0,064. En estos meses se presentó una carga promedio de 2937,90 ton/mes y una tasa de consumo promedio de -0,048.

En el año 2018, se presentaron valores de K positivos que variaron entre 0,004 y 0,0451 excepto en los meses de abril, mayo y diciembre en los cuales se presentaron valores de K negativos, y las concentraciones estuvieron por debajo de la meta establecida (30 mg/L) excepto en abril y mayo que se obtuvieron concentraciones entre 48,02 mg/L y 50,06 mg/L.

Durante este lapso, las cargas presentadas en promedio fueron de 2659,84 ton/mes y una tasa de consumo promedio de 0,039.

En el año 2019, en enero se presentó la tasa de consumo más alta con un valor de 0,368, de febrero a julio las tasas de consumo fueron negativas y en el resto del año los valores de K estimados estuvieron muy cercanos a cero. La carga promedio en el año fue 2523,59 ton/mes y la tasa de consumo promedio de -0,066.

Con respecto al OD en el año 2015, se observó en el año una tasa de consumo positiva con valores entre 0,428 y 0,166 excepto en el mes de febrero, en el cual la tasa de consumo fue negativa. En este tiempo las cargas presentadas en promedio fueron de 785,80 ton/mes, la carga total fue de 9429,59 toneladas y una tasa de consumo promedio de 0,238.

En el año 2016, se observó en el año una tasa de consumo positiva con valores entre 0,016 y 0,293 excepto en el mes de febrero, en el cual la tasa de consumo fue negativa. En este tiempo las cargas presentadas en promedio fueron de 1357,93ton/mes, la carga total fue de 16295,21 ton/mes y una tasa de consumo promedio de 0,142.

Para el año 2017, se observó en el año una tasa de consumo positiva con valores entre 0,137 y 0,479 excepto en el mes de enero, en el cual la tasa de consumo fue negativa. En este tiempo las cargas presentadas en promedio fueron de 1425,83 ton/mes, la carga total fue de 17109,97 toneladas y una tasa de consumo promedio de 0,24.

En el año 2018, se presentaron tasa de consumo negativa en los meses de febrero, marzo y diciembre, en el resto del año la tasa de consumo estuvo entre 0,043 y 0,469. Durante este año, las cargas presentadas en promedio fueron de 846,85 ton/mes, la carga total fue de 10162,24 toneladas y una tasa de consumo promedio de 0,133.

En el año 2019, en todo el año se presentaron tasas de consumo positivas con valores entre 0,054 y 0,308 excepto en el mes de febrero que se presentó una tasa de consumo negativa pero muy cercana a cero y las concentraciones estuvieron por debajo de la meta establecida excepto en junio, en el cual la concentración calculada fue de 3,98 mg/L. La carga

promedio en el año fue 889,20 ton/mes, la carga total fue de 10670,36 toneladas y la tasa de consumo promedio de 0,149.

8 CONCLUSIONES

Se determinó que durante los periodos donde el estuario presentó capacidad de autodepuración, las tasas promedios de mejora fueron: en cuanto al OD se presentó una mejora de 1,1 mg/L/mes, la DBO tuvo disminución en los niveles de 1,90 mg/L/mes, los SST mejoraron con una tasa de 8,70 mg/L/mes y la turbidez mejoró con una tasa de 7,12 mg/L/mes.

De otro modo, si se analizan la cantidad de muestras que estaban dentro de los rangos requeridos para que la condición de la Ciénaga de la Virgen cumpliera las metas propuestas se observó una mejoría a partir del año 2014 hacia el 2018 del 30% en la DBO, el OD se mantuvo estable y en los SST se determinó una mejoría del 17%. Adicionalmente, parámetros como la turbidez, salinidad y pH estuvieron dentro de los rangos establecidos en la mayoría del tiempo y en la mayoría de las estaciones, presentando poca variación en las concentraciones registradas.

En cuanto a la tendencia de aumento o reducción de la concentración de los parámetros fisicoquímicos estudiados, se detectó que en su gran mayoría fueron de incremento. El único parámetro que presentó una tendencia marcada de disminución durante los cuatro años completos fue la salinidad. También se evidencio que en el año 2017 se presentaron la mayor cantidad de parámetros con tendencias negativas, registradas en el OD (0,25

mg/L/mes), SST (2,97 mg/L/mes), Turbidez (1 NTU/mes), pH (0,02) y salinidad (1,30 PSU/ mes). Para el año 2015, solo se observó tendencia negativa en el OD (0,047 mg/L/mes) y salinidad (0,03 PSU/mes), mientras que para el año 2016 y 2018 no se registraron tendencias de decrecimiento a parte de la salinidad.

En términos más específicos, en cuanto al OD, se pudo evidenciar que, durante los cuatro años de estudio, el año en el que se presentaron las mayores concentraciones en promedio fue en el 2018 con un valor de 5,82 mg/L y la zona con las mejores condiciones en el periodo de estudio fue la norte con una concentración promedio de 4,97 mg/L. Cabe resaltar que, aunque las concentraciones promedias se encuentran por encima de la meta establecida, se registró un 31% de las estaciones con valores inferiores a los 4 mg/L. Lo cual implica que en las estaciones con las concentraciones más bajas, el oxígeno se está consumiendo más rápido de lo que se produce, lo cual afecta negativamente a las poblaciones de peces e invertebrados (Vaughan, 2017).

En cuanto a la DBO se logró determinar que, de los cuatro años de estudio, el mejor año fue el 2016, donde solo el 5% de los puntos observados arrojaron concentraciones por encima del límite propuesto, destacando que la concentración promedio de la ciénaga en este año fue de 3,53 mg/L. Sin embargo, aunque durante los cuatro años la concentración promedio del contaminante fue de 5,11 mg/L, al momento de analizar los años restantes se observó que, cerca del 48% de los valores registrados presentaron concentraciones por encima de 6 mg/L.

La zona a la cual se le observo mejor condición fue la zona externa, la cual en promedio arrojó una concentración de 5,29 mg/L durante el periodo de tiempo estudiado, aunque cerca del 27% de los valores registrados estaban por encima del límite.

Al hablar de los SST, el análisis de los promedios anuales arrojó que el año en que la ciénaga estuvo en mejores condiciones fue en el 2018, puesto que las concentraciones fueron cercanas a los 28,06 mg/L valor que está dentro del límite establecido (30 mg/L)

pero cercano a sobrepasarse. Por su parte en el 2017, la concentración promedio fue de 31, 83 mg/L lo cual indica que estuvo levemente por encima del rango requerido. De manera general se determinó que durante los dos años estudiados aproximadamente un 45% de los puntos estudiados presentaron valores por encima del límite establecido.

Las zonas que mejor mostraron comportamiento respecto a los límites de SST fueron las regiones cercanas a la bocana y al sector del centro con concentraciones promedio cercanas a los 26 mg/L. Sin embargo, en estas zonas aproximadamente el 25% de los valores observados no cumplieron con la norma establecida.

Con respecto a la relación de las variables hidrológicas como el volumen acumulado y precipitación en la zona con los parámetros físico químicos estudiados se observó que solo el 7% de los coeficientes de correlación R^2 determinados fueron mayores a 0,6. Los parámetros que mostraron relación lineal fueron la DBO en 2015, salinidad en 2016 y los SST en 2017.

Del balance de masa realizado se estableció que las condiciones hidráulicas que contribuyen a mantener las concentraciones de todos los parámetros fisicoquímicos dentro de las metas establecidas son: los caudales de salida deben oscilar entre 40 y 56,9 m³/s, las cargas entrantes de agua residual no deben superar el 50% del caudal que anteriormente llegaba a la ciénaga (10.000 m³/s), los aportes de oxígeno deben estar entre 848,19 y 999,42 ton/mes y las tasas de consumo no deben ser mayor que 0,6.

Con respecto a la metodología implementada, se establece que las pruebas estadísticas Mann Kendall y Pendiente de Sen son herramienta útiles y eficaces que permitieron el desarrollo del estudio, mediante los cuales se pudieron alcanzar los objetivos propuestos, destacando que el 100% de las estaciones presentaron tendencias significativas en al menos dos parámetros por año, más del 80 % de las estaciones arrojaron tendencias significativas en al menos 4 parámetros por año. Con estos porcentajes se estableció que las magnitudes encontradas de incremento o decremento se acercan mucho a la realidad.

9 RECOMENDACIONES

Al realizar el análisis promedio de cada parámetro se pudo determinar que la ciénaga se encuentra en condiciones óptimas o muy cercanas a los límites establecidos, sin embargo, es menester tener en cuenta que al analizar distintos puntos sobre el cuerpo de agua la realidad es distinta, es por esto que los autores consideran que se continúen con los planes en favor de la autodepuración del cuerpo de agua, hasta que todas las estaciones ubicadas dentro del mismo cumplan con los estándares de calidad.

Se destaca que entre las limitaciones más importantes dentro del estudio fue que no se tuvieron datos históricos de caudales de entrada y salida, ni de velocidades en las estaciones, factores que no contribuyeron al desarrollo del estudio en dos dimensiones, lo cual conllevó a realizar el estudio del cuerpo de agua como un todo.

Por su parte, las condiciones hidráulicas que gobiernan la ciénaga deben ser monitoreadas para que se garantice el funcionamiento del principal sistema de autodepuración del medio, el cual es la bocana y en lo posible regular las concentraciones de contaminantes contenidos en los efluentes descargados en la ciénaga.

Además de la regulación en la concentración, es necesario la contribución de la comunidad, la cual debe estar concientizada de la importancia de este cuerpo de agua para la ciudad, en su condición de ecosistema y lugar recreativo, por lo tanto, deben establecerse políticas que regulen y mitiguen el vertimiento informal que se realiza en este.

Finalmente, se recomienda que se realicen monitoreos con frecuencias menores a un mes, para futuros estudios, de esta manera, se contribuye a que los modelos planteados para investigar la variación en el tiempo de los contaminantes se asemejen más a la realidad.

10 ANEXOS

10.1 Anexo 1: Balance de masa escenario 1

Tabla 42. Balance de masa de la DBO escenario 1 año 2015 **Fuente:** Autores.

2015	Vol (Mm ³ /mes)	W (Ton/mes)	KV (Mm ³ /mes)	Qs (m ³ /s)	C ₁ (mg/L)	Caudal AR (%)
Enero	4,26	576,00	6,39	49,35	4,27	0,20
Febrero	4,10	576,00	6,15	43,43	4,83	0,20
Marzo	3,88	576,00	5,82	37,58	5,50	0,20
Abril	8,84	792,14	13,26	34,84	7,61	0,28
Mayo	9,36	671,34	14,04	26,99	8,03	0,23
Junio	7,29	723,86	10,94	31,81	7,70	0,25
Julio	17,41	719,89	26,12	21,72	8,36	0,25
Agosto	16,83	936,18	25,25	26,91	10,14	0,33
Septiembre	23,60	1061,42	35,40	34,45	8,51	0,37
Octubre	16,96	793,78	25,44	26,07	8,50	0,28
Noviembre	17,49	1106,30	26,24	41,12	8,69	0,38
Diciembre	4,49	824,46	6,74	52,28	5,98	0,29

Tabla 43. Balance de masa de la DBO escenario 1 año 2016 **Fuente:** Autores.

2016	Vol (Mm ³ /mes)	W (Ton/mes)	KV (Mm ³ /mes)	Qs (m ³ /d)	C ₁ (mg/L)	Caudal AR (%)
Enero	4,47	667,70	13,41	97,62	2,47	0,23
Febrero	4,47	861,43	13,41	66,55	4,62	0,30
Marzo	4,71	576,00	14,13	37,50	5,30	0,20
Abril	8,44	581,79	25,32	88,43	2,28	0,20
Mayo	21,12	1014,30	158,40	97,33	2,45	0,35
Junio	19,43	655,68	58,29	66,60	2,82	0,23
Julio	56,43	827,34	169,29	35,48	3,10	0,29
Agosto	57,50	970,80	172,50	46,17	3,42	0,34
Septiembre	38,03	702,03	114,09	46,64	2,93	0,24
Octubre	84,98	1346,80	254,94	52,93	3,31	0,47
Noviembre	96,81	2592,00	290,43	96,89	3,90	0,73
Diciembre	46,87	1185,24	140,61	59,40	3,70	0,41

Tabla 44. Balance de masa de la DBO escenario 1 año 2017 **Fuente:** Autores.

2017	Vol (Mm ³ /mes)	W (Ton/mes)	KV (Mm ³ /mes)	Qs (m ³ /s)	C ₁ (mg/L)	Caudal AR (%)
Enero	4,47	581,79	36,62	10,73	5,46	0,20
Febrero	4,47	1010,64	56,23	10,73	6,56	0,35
Marzo	4,71	627,42	76,72	11,30	2,91	0,22
Abril	8,44	867,21	48,45	20,26	6,12	0,30
Mayo	21,12	1873,39	96,05	50,69	3,05	0,41
Junio	19,43	1797,30	87,18	46,63	4,33	0,42
Julio	56,43	1145,40	21,04	135,43	5,18	0,40
Agosto	57,50	759,30	45,75	17,25	8,05	0,40
Septiembre	38,03	697,01	40,53	11,41	8,84	0,29
Octubre	84,98	834,56	50,47	25,49	3,75	0,35
Noviembre	96,81	765,06	29,82	29,04	8,64	0,32
Diciembre	46,87	741,90	39,30	14,06	8,63	0,31

Tabla 45. Balance de masa de la DBO escenario 1 año 2018 **Fuente:** Autores.

2018	Vol (Mm ³ /mes)	W (Ton/mes)	KV (Mm ³ /mes)	Qs (m ³ /s)	C ₁ (mg/L)	Caudal AR (%)
Enero	4,36	725,96	13,08	60,43	4,30	0,25
Febrero	4,23	576,71	12,69	59,61	3,47	0,20
Marzo	4,54	576,00	13,62	83,74	2,49	0,20
Abril	6,10	736,79	18,30	82,97	2,66	0,22
Mayo	10,06	882,44	30,18	55,31	5,13	0,31
Junio	12,67	972,97	38,01	70,61	4,33	0,34
Julio	7,96	695,53	23,88	39,16	5,54	0,24
Agosto	33,20	962,81	99,60	26,45	5,67	0,34
Septiembre	35,03	807,12	63,05	29,21	6,55	0,31
Octubre	34,48	1120,75	103,44	35,32	6,49	0,46
Noviembre	15,70	899,10	47,10	32,01	8,08	0,35
Diciembre	5,29	576,00	15,87	42,27	4,79	0,20

Tabla 46. Balance de masa de la DBO escenario 1 año 2019 **Fuente:** Autores.

2019	Vol (Mm ³ /mes)	W (Ton/mes)	KV (Mm ³ /mes)	Qs (m ³ /s)	C ₁ (mg/L)	Caudal AR (%)
Enero	4,26	576,00	12,78	60,27	3,42	0,20
Febrero	4,1	576,00	12,30	72,18	2,88	0,20
Marzo	3,88	576,00	11,64	60,03	3,43	0,20
Abril	8,84	577,45	26,52	58,74	4,04	0,25
Mayo	9,36	800,62	28,08	44,03	5,00	0,25
Junio	7,29	718,71	21,87	48,91	5,18	0,27
Julio	17,41	623,83	52,23	28,44	5,92	0,26
Agosto	16,83	801,33	50,49	44,26	6,24	0,36
Septiembre	23,6	758,53	70,80	36,99	7,04	0,40
Octubre	16,96	1164,90	50,88	38,20	6,46	0,33
Noviembre	17,49	682,49	52,47	75,29	5,42	0,46
Diciembre	4,49	613,67	13,47	81,18	4,66	0,36

Tabla 47. Balance de masa de la SST escenario 1 año 2017 **Fuente:** Autores.

2017	Vol (Mm ³ /mes)	W (Ton/mes)	KV (Mm ³ /mes)	Qs (m ³ /s)	C ₁ (mg/L)	C. efluente (mg/L)
Enero	4,47	3161,39	58,52	36,62	43,64	887,03
Febrero	4,47	5132,85	62,78	56,23	46,82	1440,19
Marzo	4,71	5611,76	52,63	76,72	37,25	1574,57
Abril	8,44	3987,98	106,56	48,45	42,09	1118,96
Mayo	21,12	6340,77	210,42	96,05	33,21	1779,12
Junio	19,43	5342,22	186,93	87,18	32,07	1498,94
Julio	56,43	1547,80	272,48	21,04	16,10	608,00
Agosto	57,50	2778,47	556,94	45,75	32,29	1091,43
Septiembre	38,03	1550,68	233,18	40,53	20,44	609,13
Octubre	84,98	2090,93	311,39	50,47	12,21	821,35
Noviembre	96,81	1922,10	655,09	29,82	22,56	755,03
Diciembre	46,87	2168,25	341,01	39,30	24,25	851,72

Tabla 48. Balance de masa de la SST escenario 1 año 2018 **Fuente:** Autores.

2018	Vol (Mm ³ /mes)	W (Ton/mes)	KV (Mm ³ /mes)	Qs (m ³ /s)	C ₁ (mg/L)	C. efluente (mg/L)
Enero	4,36	2898,40	224,18	60,43	17,14	988,47
Febrero	4,23	2464,63	187,58	59,61	14,78	840,54
Marzo	4,54	3182,75	178,57	83,74	13,11	1085,45
Abril	6,10	5170,09	439,41	82,97	48,02	1312,96
Mayo	10,06	3480,13	755,36	55,31	50,06	939,76
Junio	12,67	3121,95	1086,29	70,61	28,58	760,51
Julio	7,96	2906,64	545,60	39,16	22,85	708,06
Agosto	33,20	4512,69	2802,33	26,45	28,14	1099,29
Septiembre	35,03	3939,35	2264,60	29,21	21,55	1343,48
Octubre	34,48	4468,09	2356,79	35,32	22,78	1523,80
Noviembre	15,70	3151,44	1108,18	32,01	23,53	1074,77
Diciembre	5,29	3523,91	465,46	42,27	29,33	1201,80

Tabla 49. Balance de masa de la SST escenario 1 año 2019 **Fuente:** Autores.

2019	Vol (Mm ³ /mes)	W (Ton/mes)	KV (Mm ³ /mes)	Qs (m ³ /s)	C ₁ (mg/L)	C. efluente (mg/L)
Enero	4,26	1921,21	12,78	60,27	15,01	901,48
Febrero	4,10	3836,10	12,30	72,18	25,31	1439,99
Marzo	3,88	4639,27	11,64	60,03	37,06	1741,48
Abril	8,84	5104,20	26,52	58,74	42,22	1916,01
Mayo	9,36	3056,59	28,08	44,03	33,83	1434,22
Junio	7,29	2693,81	21,87	48,91	26,52	1264,00
Julio	17,41	1467,28	52,23	28,44	24,18	688,48
Agosto	16,83	2236,60	50,49	44,26	24,16	1049,46
Septiembre	23,60	1840,70	70,80	36,99	22,62	863,70
Octubre	16,96	1997,46	50,88	38,20	25,21	937,26
Noviembre	17,49	3487,22	52,47	75,29	22,23	1472,65
Diciembre	4,49	3447,29	13,47	81,18	20,43	1455,79

Tabla 50. Balance de masa de la OD escenario 1 año 2015 **Fuente:** Autores.

2015	Vol (Mm ³ /mes)	W (Ton/mes)	KV (Mm ³ /mes)	Evaporación (Mm ³ /mes)	Qs (m ³ /s)	C ₁ (mg/L)
Enero	4,26	529,12	6,39	2,00	49,35	3,76
Febrero	4,10	908,05	6,15	2,15	43,43	7,61
Marzo	3,88	504,07	5,82	2,40	37,58	4,79
Abril	8,84	443,45	13,26	2,20	34,84	4,20
Mayo	9,36	418,90	14,04	2,13	26,99	4,09
Junio	7,29	436,05	10,94	2,13	31,81	3,78
Julio	17,41	435,21	26,12	2,12	21,72	4,12
Agosto	16,83	557,26	25,25	2,21	26,91	4,94
Septiembre	23,60	490,54	35,40	2,06	34,45	3,98
Octubre	16,96	402,07	25,44	2,16	26,07	3,39
Noviembre	17,49	664,04	26,24	1,76	41,12	4,11
Diciembre	4,49	708,99	6,74	1,90	52,28	4,09

Tabla 51. Balance de masa de la OD escenario 1 año 2016 **Fuente:** Autores.

2016	Vol (Mm ³ /mes)	W (Ton/mes)	KV (Mm ³ /mes)	Evaporación (Mm ³ /mes)	Qs (m ³ /s)	C ₁ (mg/L)
Enero	4,47	639,44	13,41	1,88	97,62	4,37
Febrero	4,47	875,53	13,41	1,96	66,55	8,74
Marzo	4,71	381,16	14,13	2,33	37,50	5,95
Abril	8,44	665,84	25,32	2,17	88,43	4,74
Mayo	21,12	739,37	158,40	2,21	97,33	3,90
Junio	19,43	513,06	58,29	2,00	66,60	3,47
Julio	56,43	895,33	169,29	1,98	35,48	3,69
Agosto	57,50	1253,66	172,50	1,98	46,17	5,34
Septiembre	38,03	906,14	114,09	1,91	46,64	5,37
Octubre	84,98	1424,64	254,94	1,79	52,93	4,27
Noviembre	96,81	2044,28	290,43	1,37	96,89	4,68
Diciembre	46,87	1332,90	140,61	1,71	59,40	5,60

Tabla 52. Balance de masa de la OD escenario 1 año 2017 **Fuente:** Autores.

2017	Vol (Mm ³ /mes)	W (Ton/mes)	KV (Mm ³ /mes)	Evaporación (Mm ³ /mes)	Qs (m ³ /s)	C ₁ (mg/L)
Enero	4,47	905,62	10,73	1,88	36,62	7,82
Febrero	4,47	876,20	10,73	1,96	56,23	4,89
Marzo	4,71	1054,10	11,30	2,33	76,72	5,25
Abril	8,44	430,39	20,26	2,17	48,45	3,34
Mayo	21,12	737,36	126,72	2,21	96,05	2,80
Junio	19,43	838,34	46,63	2,00	87,18	3,59
Julio	56,43	256,10	135,43	1,98	21,04	3,58
Agosto	57,50	459,00	17,25	1,98	45,75	3,46
Septiembre	38,03	387,15	11,41	1,91	40,53	3,15
Octubre	84,98	787,15	25,49	1,79	50,47	3,52
Noviembre	96,81	360,64	29,04	1,37	29,82	6,23
Diciembre	46,87	436,83	14,06	1,71	39,30	3,02

Tabla 53. Balance de masa de la OD escenario 1 año 2018 **Fuente:** Autores.

2018	Vol (Mm ³ /mes)	W (Ton/mes)	KV (Mm ³ /mes)	Evaporación (Mm ³ /mes)	Qs (m ³ /s)	C ₁ (mg/L)
Enero	4,36	866,60	13,08	1,91	60,43	5,01
Febrero	4,23	1145,87	12,69	2,00	59,61	7,11
Marzo	4,54	1718,35	13,62	2,33	83,74	7,84
Abril	6,10	850,62	18,30	2,34	82,97	3,81
Mayo	10,06	593,13	30,18	2,23	55,31	3,44
Junio	12,67	1118,90	38,01	2,08	70,61	5,37
Julio	7,96	458,99	23,88	2,15	39,16	3,77
Agosto	33,20	749,54	99,60	2,08	26,45	4,04
Septiembre	35,03	1241,04	63,05	1,93	29,21	7,08
Octubre	34,48	1392,70	103,44	1,97	35,32	7,46
Noviembre	15,70	924,90	47,10	1,77	32,01	7,36
Diciembre	5,29	878,07	15,87	1,82	42,27	7,58

Tabla 54. Balance de masa de la OD escenario 1 año 2019 **Fuente:** Autores.

2018	Vol (Mm ³ /mes)	W (Ton/mes)	KV (Mm ³ /mes)	Evaporación (Mm ³ /mes)	Qs (m ³ /s)	C ₁ (mg/L)
Enero	4,26	782,17	12,780	2,000	41,81	5,75
Febrero	4,1	961,73	12,300	2,150	47,89	6,32
Marzo	3,88	1014,22	11,640	2,400	54,75	5,94
Abril	8,84	831,87	26,520	2,200	50,53	4,78
Mayo	9,36	704,07	28,080	2,130	56,33	4,00
Junio	7,29	629,77	21,870	2,130	51,58	3,98
Julio	17,41	786,29	52,230	2,120	50,82	4,18
Agosto	16,83	795,60	50,490	2,210	43,16	4,72
Septiembre	23,6	831,77	70,800	2,060	19,85	5,88
Octubre	16,96	986,17	50,880	2,160	29,27	6,93
Noviembre	17,49	877,42	52,470	1,760	22,80	7,09
Diciembre	4,49	1024,92	13,470	1,900	49,05	6,75

10.2 Anexo 2: Balance de masa escenario 2

Tabla 55. Balance de masa de la DBO escenario 2 año 2015. **Fuente:** Autores.

2015	Vol (Mm ³)	W (Ton/mes)	K (d ⁻¹)	C ₁ (mg/L)	Qs (Mm ³ /mes)	Q (m ³ /s)
Enero	4,26	1584,00	2,04	4,06	129,60	50,00
Febrero	4,10	1584,00	1,75	4,59	129,60	50,00
Marzo	3,88	1584,00	1,48	5,23	129,60	50,00
Abril	8,84	1584,00	0,34	7,23	129,60	50,00
Mayo	9,36	1584,00	0,28	7,63	129,60	50,00
Junio	7,29	1584,00	0,39	7,32	129,60	50,00
Julio	17,41	1584,00	0,13	7,94	129,60	50,00
Agosto	16,83	1584,00	0,07	9,64	129,60	50,00
Septiembre	23,60	1584,00	0,09	8,09	129,60	50,00
Octubre	16,96	1584,00	0,13	8,08	129,60	50,00
Noviembre	17,49	1584,00	0,13	8,25	129,60	50,00
Diciembre	4,49	1584,00	1,13	5,68	129,60	50,00

Tabla 56. Balance de masa de la DBO escenario 2 año 2016. **Fuente:** Autores.

2016	Vol (Mm ³)	W (Ton/mes)	K (d ⁻¹)	C ₁ (mg/L)	Qs (Mm ³ /mes)	Q (m ³ /s)
Enero	4,47	1584,00	3,79	2,47	129,60	50,00
Febrero	4,47	1584,00	1,59	4,62	129,60	50,00
Marzo	4,71	1584,00	1,22	5,30	129,60	50,00
Abril	8,44	1584,00	2,23	2,28	129,60	50,00
Mayo	21,12	1584,00	0,81	2,45	129,60	50,00
Junio	19,43	1584,00	0,74	2,82	129,60	50,00
Julio	56,43	1584,00	0,22	3,10	129,60	50,00
Agosto	57,50	1584,00	0,20	3,42	129,60	50,00
Septiembre	38,03	1584,00	0,36	2,93	129,60	50,00
Octubre	84,98	1584,00	0,13	3,31	129,60	50,00
Noviembre	96,81	1584,00	0,10	3,90	129,60	50,00
Diciembre	46,87	1584,00	0,20	3,70	129,60	50,00

Tabla 57. Balance de masa de la DBO escenario 2 año 2017. **Fuente:** Autores.

2017	Vol (Mm ³)	W (Ton/mes)	K (d ⁻¹)	C ₁ (mg/L)	Qs (Mm ³ /mes)	Q (m ³ /s)
Enero	4,47	1584,00	1,19	5,46	129,60	50,00
Febrero	4,47	1584,00	0,85	6,56	129,60	50,00
Marzo	4,71	1584,00	2,89	2,91	129,60	50,00
Abril	8,44	1584,00	0,53	6,12	129,60	50,00
Mayo	21,12	1584,00	0,60	3,05	129,60	50,00
Junio	19,43	1584,00	0,40	4,33	129,60	50,00
Julio	56,43	1584,00	0,09	5,18	129,60	50,00
Agosto	57,50	1584,00	0,04	8,05	129,60	50,00
Septiembre	38,03	1584,00	0,06	8,84	129,60	50,00
Octubre	84,98	1584,00	0,07	3,75	129,60	50,00
Noviembre	96,81	1584,00	0,02	8,64	129,60	50,00
Diciembre	46,87	1584,00	0,06	8,63	129,60	50,00

Tabla 58. Balance de masa de la DBO escenario 2 año 2018. **Fuente:** Autores.

2018	Vol (Mm ³)	W (Ton/mes)	K (d ⁻¹)	C ₁ (mg/L)	Qs (Mm ³ /mes)	Q (m ³ /s)
Enero	4,36	1584,00	1,83	4,30	129,60	50,00
Febrero	4,23	1584,00	2,58	3,47	129,60	50,00
Marzo	4,54	1584,00	3,71	2,49	129,60	50,00
Abril	6,10	1584,00	2,51	2,66	129,60	50,00
Mayo	10,06	1584,00	0,60	5,13	129,60	50,00
Junio	12,67	1584,00	0,61	4,33	129,60	50,00
Julio	7,96	1584,00	0,65	5,54	129,60	50,00
Agosto	33,20	1584,00	0,15	5,67	129,60	50,00
Septiembre	35,03	1584,00	0,11	6,55	129,60	50,00
Octubre	34,48	1584,00	0,10	6,49	129,60	50,00
Noviembre	15,70	1584,00	0,15	8,08	129,60	50,00
Diciembre	5,29	1584,00	1,27	4,79	129,60	50,00

Tabla 59. Balance de masa de la DBO escenario 2 año 2019. **Fuente:** Autores.

2019	Vol (Mm ³)	W (Ton/mes)	K (d ⁻¹)	C ₁ (mg/L)	Qs (Mm ³ /mes)	Q (m ³ /s)
Enero	4,36	1584,00	2,55	3,42	129,60	50,00
Febrero	4,23	1584,00	3,31	2,88	129,60	50,00
Marzo	4,54	1584,00	2,43	3,43	129,60	50,00
Abril	6,10	1584,00	1,42	4,04	129,60	50,00
Mayo	10,06	1584,00	0,62	5,00	129,60	50,00
Junio	12,67	1584,00	0,46	5,18	129,60	50,00
Julio	7,96	1584,00	0,58	5,92	129,60	50,00
Agosto	33,20	1584,00	0,12	6,24	129,60	50,00
Septiembre	35,03	1584,00	0,09	7,04	129,60	50,00
Octubre	34,48	1584,00	0,12	6,46	129,60	50,00
Noviembre	15,70	1584,00	0,35	5,42	129,60	50,00
Diciembre	5,29	1584,00		4,66	129,60	50,00

Tabla 60. Balance de masa de la SST escenario 2 año 2017. **Fuente:** Autores.

2017	Vol (Mm ³)	W (Ton/mes)	K (d ⁻¹)	C ₁ (mg/L)	Q _s (Mm ³ /mes)	Q (m ³ /s)
Enero	4,47	3326,40	-0,40	43,64	129,60	50,00
Febrero	4,47	3326,40	-0,43	46,82	129,60	50,00
Marzo	4,71	3326,40	-0,29	37,25	129,60	50,00
Abril	8,44	3326,40	-0,19	42,09	129,60	50,00
Mayo	21,12	3326,40	-0,05	33,21	129,60	50,00
Junio	19,43	3326,40	-0,03	32,07	129,60	50,00
Julio	56,43	3326,40	0,01	16,10	129,60	50,00
Agosto	57,50	3326,40	0,00	32,29	129,60	50,00
Septiembre	38,03	3326,40	0,04	20,44	129,60	50,00
Octubre	84,98	3326,40	0,03	12,21	129,60	50,00
Noviembre	96,81	3326,40	0,00	22,56	129,60	50,00
Diciembre	46,87	3326,40	0,02	24,25	129,60	50,00

Tabla 61. Balance de masa de la SST escenario 2 año 2018. **Fuente:** Autores.

2018	Vol (Mm ³)	W (Ton/mes)	K (d ⁻¹)	C ₁ (mg/L)	Q _s (Mm ³ /mes)	Q (m ³ /s)
Enero	4,36	3326,40	0,50	17,14	129,60	50,00
Febrero	4,23	3326,40	0,76	14,78	129,60	50,00
Marzo	4,54	3326,40	0,82	13,11	129,60	50,00
Abril	6,10	3326,40	-0,33	48,02	129,60	50,00
Mayo	10,06	3326,40	-0,19	50,06	129,60	50,00
Junio	12,67	3326,40	-0,03	28,58	129,60	50,00
Julio	7,96	3326,40	0,06	22,85	129,60	50,00
Agosto	33,20	3326,40	0,00	28,14	129,60	50,00
Septiembre	35,03	3326,40	0,02	21,55	129,60	50,00
Octubre	34,48	3326,40	0,01	22,78	129,60	50,00
Noviembre	15,70	3326,40	0,02	23,53	129,60	50,00
Diciembre	5,29	3326,40	-0,09	29,33	129,60	50,00

Tabla 62. Balance de masa de la SST escenario 2 año 2019. **Fuente:** Autores.

2019	Vol (Mm ³)	W (Ton/mes)	K (d ⁻¹)	C ₁ (mg/L)	Q _s (Mm ³ /mes)	Q (m ³ /s)
Enero	4,36	3326,40	0,68	15,01	129,60	50,00
Febrero	4,23	3326,40	-0,001	25,31	129,60	50,00
Marzo	4,54	3326,40	-0,30	37,06	129,60	50,00
Abril	6,10	3326,40	-0,27	42,22	129,60	50,00
Mayo	10,06	3326,40	-0,10	33,83	129,60	50,00
Junio	12,67	3326,40	-0,01	26,52	129,60	50,00
Julio	7,96	3326,40	0,03	24,18	129,60	50,00
Agosto	33,20	3326,40	0,01	24,16	129,60	50,00
Septiembre	35,03	3326,40	0,01	22,62	129,60	50,00
Octubre	34,48	3326,40	0,01	25,21	129,60	50,00
Noviembre	15,70	3326,40	0,05	22,23	129,60	50,00
Diciembre	5,29	3326,40		20,52	129,60	50,00

Tabla 63. Balance de masa de la OD escenario 2 año 2015. **Fuente:** Autores.

2015	Vol (Mm ³)	W (Ton/mes)	Evaporación (m ³ /mes)	K (d ⁻¹)	C ₁ (mg/L)	Q _s (Mm ³ /mes)	Q (m ³ /s)
Enero	4,26	848,19	2,00	0,70	3,76	129,60	50,00
Febrero	4,10	848,19	2,15	-0,15	7,61	129,60	50,00
Marzo	3,88	848,19	2,40	0,39	4,79	129,60	50,00
Abril	8,84	848,19	2,20	0,26	4,20	129,60	50,00
Mayo	9,36	848,19	2,13	0,27	4,09	129,60	50,00
Junio	7,29	848,19	2,13	0,42	3,78	129,60	50,00
Julio	17,41	848,19	2,12	0,14	4,12	129,60	50,00
Agosto	16,83	848,19	2,21	0,09	4,94	129,60	50,00
Septiembre	23,60	848,19	2,06	0,12	3,98	129,60	50,00
Octubre	16,96	848,19	2,16	0,23	3,39	129,60	50,00
Noviembre	17,49	848,19	1,76	0,14	4,11	129,60	50,00
Diciembre	4,49	848,19	1,90	0,56	4,09	129,60	50,00

Tabla 64. Balance de masa de la OD escenario 2 año 2016. **Fuente:** Autores.

2016	Vol (Mm ³)	W (Ton/mes)	Evaporación (m ³ /mes)	K (d ⁻¹)	C ₁ (Ton/L)	Qs (Mm ³ /mes)	Q (m ³ /s)
Enero	4,47	1651,50	1,88	1,95	4,15	129,60	50,00
Febrero	4,47	1651,50	1,96	0,44	8,74	129,60	50,00
Marzo	4,71	1651,50	2,33	1,04	5,95	129,60	50,00
Abril	8,44	1651,50	2,17	0,86	4,74	129,60	50,00
Mayo	21,12	1651,50	2,21	0,46	3,90	129,60	50,00
Junio	19,43	1651,50	2,00	0,59	3,47	129,60	50,00
Julio	56,43	1651,50	1,98	0,17	3,69	129,60	50,00
Agosto	57,50	1651,50	1,98	0,10	5,34	129,60	50,00
Septiembre	38,03	1651,50	1,91	0,16	5,37	129,60	50,00
Octubre	84,98	1651,50	1,79	0,10	4,27	129,60	50,00
Noviembre	96,81	1651,50	1,37	0,07	4,68	129,60	50,00
Diciembre	46,87	1651,50	1,71	0,10	5,60	129,60	50,00

Tabla 65. Balance de masa de la OD escenario 2 año 2017. **Fuente:** Autores.

2017	Vol (Mm ³)	W (Ton/mes)	Evaporación (m ³ /mes)	K (d ⁻¹)	C ₁ (mg/L)	Qs (Mm ³ /mes)	Q (m ³ /s)
Enero	4,47	1651,50	1,88	0,61	7,82	129,60	50,00
Febrero	4,47	1651,50	1,96	1,54	4,89	129,60	50,00
Marzo	4,71	1651,50	2,33	1,31	5,25	129,60	50,00
Abril	8,44	1651,50	2,17	1,44	3,34	129,60	50,00
Mayo	21,12	1651,50	2,21	0,71	2,80	129,60	50,00
Junio	19,43	1651,50	2,00	0,56	3,59	129,60	50,00
Julio	56,43	1651,50	1,98	0,20	3,58	129,60	50,00
Agosto	57,50	1651,50	1,98	0,20	3,46	129,60	50,00
Septiembre	38,03	1651,50	1,91	0,34	3,15	129,60	50,00
Octubre	84,98	1651,50	1,79	0,11	3,52	129,60	50,00
Noviembre	96,81	1651,50	1,37	0,06	6,23	129,60	50,00
Diciembre	46,87	1651,50	1,71	0,27	3,02	129,60	50,00

Tabla 66. Balance de masa de la OD escenario 2 año 2018. **Fuente:** Autores.

2018	Vol (Mm ³)	W (Ton/mes)	Evaporación (m ³ /mes)	K (d ⁻¹)	C ₁ (mg/L)	Qs (Mm ³ /mes)	Q (m ³ /s)
Enero	4,36	960,92	1,91	0,53	4,75	129,60	50,00
Febrero	4,23	960,92	2,00	0,08	6,75	129,60	50,00
Marzo	4,54	960,92	2,33	-0,004	7,45	129,60	50,00
Abril	6,10	960,92	2,34	0,73	3,62	129,60	50,00
Mayo	10,06	960,92	2,23	0,52	3,27	129,60	50,00
Junio	12,67	960,92	2,08	0,16	5,10	129,60	50,00
Julio	7,96	960,92	2,15	0,57	3,58	129,60	50,00
Agosto	33,20	960,92	2,08	0,09	3,84	129,60	50,00
Septiembre	35,03	960,92	1,93	0,01	6,72	129,60	50,00
Octubre	34,48	960,92	1,97	0,004	7,09	129,60	50,00
Noviembre	15,70	960,92	1,77	0,01	6,99	129,60	50,00
Diciembre	5,29	960,92	1,82	0,02	7,20	129,60	50,00

Tabla 67. Balance de masa de la OD escenario 2 año 2019. **Fuente:** Autores.

2019	Vol (Mm ³)	W (Ton/mes)	Evaporación (m ³ /mes)	K (d ⁻¹)	C ₁ (mg/L)	Qs (Mm ³ /mes)	Q (m ³ /s)
Enero	4,36	960,92	1,91	0,27	5,75	129,60	50,00
Febrero	4,23	960,92	2,00	0,16	6,32	129,60	50,00
Marzo	4,54	960,92	2,33	0,23	5,94	129,60	50,00
Abril	6,10	960,92	2,34	0,38	4,78	129,60	50,00
Mayo	10,06	960,92	2,23	0,34	4,08	129,60	50,00
Junio	12,67	960,92	2,08	0,28	4,03	129,60	50,00
Julio	7,96	960,92	2,15	0,41	4,18	129,60	50,00
Agosto	33,20	960,92	2,08	0,06	4,72	129,60	50,00
Septiembre	35,03	960,92	1,93	0,02	5,88	129,60	50,00
Octubre	34,48	960,92	1,97	0,01	6,93	129,60	50,00
Noviembre	15,70	960,92	1,77	0,01	7,09	129,60	50,00
Diciembre	5,29	960,92	1,82	0,10	6,75	129,60	50,00

10.3 Anexo 3: Balance de masa escenario 3

Tabla 68. Balance de masa de la DBO escenario 3 año 2015. **Fuente:** Autores.

2015	Vol (Mm ³)	W (Ton/mes)	K (d ⁻¹)	C ₁ (mg/L)	Q _s (Mm ³ /mes)	Q (m ³ /s)
Enero	4,26	576,00	0,295	4,06	103,68	40,00
Febrero	4,10	576,00	0,173	4,59	103,68	40,00
Marzo	3,88	576,00	0,044	5,23	103,68	40,00
Abril	8,84	609,34	0,075	7,23	103,68	40,00
Mayo	9,36	594,11	0,090	7,63	103,68	40,00
Junio	7,29	646,30	0,073	7,32	103,68	40,00
Julio	17,41	626,00	0,055	7,94	103,68	40,00
Agosto	16,83	720,14	0,052	9,64	103,68	40,00
Septiembre	23,60	816,48	0,004	8,09	103,68	40,00
Octubre	16,96	721,62	0,029	8,08	103,68	40,00
Noviembre	17,49	1106,30	0,068	8,25	103,68	40,00
Diciembre	4,49	874,46	0,393	5,68	103,68	40,00

Tabla 69. Balance de masa de la DBO escenario 3 año 2016. **Fuente:** Autores.

2016	Vol (Mm ³)	W (Ton/mes)	K (d ⁻¹)	C ₁ (mg/L)	Q _s (Mm ³ /mes)	Q (m ³ /s)
Enero	4,47	1146,85	2,660	2,47	103,68	40,00
Febrero	4,47	861,43	0,613	4,62	103,68	40,00
Marzo	4,71	576,00	0,054	5,30	103,68	40,00
Abril	8,44	581,79	0,596	2,28	103,68	40,00
Mayo	21,12	1514,30	0,807	2,45	103,68	40,00
Junio	19,43	655,68	0,218	2,82	103,68	40,00
Julio	56,43	827,34	0,093	3,10	103,68	40,00
Agosto	57,50	970,80	0,109	3,42	103,68	40,00
Septiembre	38,03	702,03	0,115	2,93	103,68	40,00
Octubre	84,98	1346,80	0,113	3,31	103,68	40,00
Noviembre	96,81	2592,00	0,195	3,90	103,68	40,00
Diciembre	46,87	1185,24	0,138	3,70	103,68	40,00

Tabla 70. Balance de masa de la DBO escenario 3 año 2017. **Fuente:** Autores.

2017	Vol (Mm ³)	W (Ton/mes)	K (d ⁻¹)	C ₁ (Ton/L)	Q _s (Mm ³ /mes)	Q (m ³ /s)
Enero	4,47	581,79	0,015	5,46	103,68	40,00
Febrero	4,47	1010,64	0,394	6,56	103,68	40,00
Marzo	4,71	627,42	0,753	2,91	103,68	40,00
Abril	8,44	867,21	0,167	6,12	103,68	40,00
Mayo	21,12	1873,39	0,791	3,05	103,68	40,00
Junio	19,43	1797,30	0,527	4,33	103,68	40,00
Julio	56,43	1145,40	0,051	5,18	103,68	40,00
Agosto	57,50	759,30	0,009	8,05	103,68	40,00
Septiembre	38,03	697,01	0,003	8,84	103,68	40,00
Octubre	84,98	834,56	0,003	3,75	103,68	40,00
Noviembre	96,81	765,06	0,005	8,64	103,68	40,00
Diciembre	46,87	741,90	0,004	8,63	103,68	40,00

Tabla 71. Balance de masa de la DBO escenario 3 año 2018. **Fuente:** Autores.

2018	Vol (Mm ³)	W (Ton/mes)	K (d ⁻¹)	C ₁ (mg/L)	Q _s (Mm ³ /mes)	Q (m ³ /s)
Enero	4,36	725,96	0,505	4,30	103,68	40,00
Febrero	4,23	576,71	0,501	3,47	103,68	40,00
Marzo	4,54	576,00	0,932	2,49	103,68	40,00
Abril	6,10	736,79	0,914	2,66	103,68	40,00
Mayo	10,06	882,44	0,231	5,13	103,68	40,00
Junio	12,67	972,97	0,309	4,33	103,68	40,00
Julio	7,96	695,53	0,091	5,54	103,68	40,00
Agosto	33,20	962,81	0,061	5,67	103,68	40,00
Septiembre	35,03	807,12	0,019	6,55	103,68	40,00
Octubre	34,48	1120,75	0,058	6,49	103,68	40,00
Noviembre	15,70	899,10	0,030	8,08	103,68	40,00
Diciembre	5,29	576,00	0,113	4,79	103,68	40,00

Tabla 72. Balance de masa de la DBO escenario 3 año 2019. **Fuente:** Autores.

2019	Vol (Mm ³)	W (Ton/mes)	K (d ⁻¹)	C ₁ (mg/L)	Q _s (Mm ³ /mes)	Q (m ³ /s)
Enero	4,36	576,00	0,499	3,42	103,68	40,00
Febrero	4,23	576,00	0,754	2,88	103,68	40,00
Marzo	4,54	576,00	0,466	3,43	103,68	40,00
Abril	6,10	577,45	0,206	4,04	103,68	40,00
Mayo	10,06	800,62	0,186	5,00	103,68	40,00
Junio	12,67	718,71	0,087	5,18	103,68	40,00
Julio	7,96	623,83	0,005	5,92	103,68	40,00
Agosto	33,20	801,33	0,021	6,24	103,68	40,00
Septiembre	35,03	758,53	0,007	7,04	103,68	40,00
Octubre	34,48	1164,90	0,080	6,46	103,68	40,00
Noviembre	15,70	682,49	0,052	5,42	103,68	40,00
Diciembre	5,29	613,67		4,66	103,68	40,00

Tabla 73. Balance de masa de la SST escenario 3 año 2017. **Fuente:** Autores.

2017	Vol (Mm ³)	W (Ton/mes)	K (d ⁻¹)	C ₁ (mg/L)	Q _s (Mm ³ /mes)	Q (m ³ /s)
Enero	4,47	2332,80	0,377	43,64	103,68	40,00
Febrero	4,47	2992,61	0,290	46,82	103,68	40,00
Marzo	4,71	2403,01	0,282	37,25	103,68	40,00
Abril	8,44	2771,94	0,142	42,09	103,68	40,00
Mayo	21,12	4320,00	0,043	33,21	103,68	40,00
Junio	19,43	4202,93	0,064	32,07	103,68	40,00
Julio	56,43	3199,94	0,023	16,10	103,68	40,00
Agosto	57,50	2605,90	0,001	32,29	103,68	40,00
Septiembre	38,03	2510,07	0,030	20,44	103,68	40,00
Octubre	84,98	2721,70	0,019	12,21	103,68	40,00
Noviembre	96,81	2614,77	0,002	22,56	103,68	40,00
Diciembre	46,87	2579,14	0,012	24,25	103,68	40,00

Tabla 74. Balance de masa de la SST escenario 3 año 2018. **Fuente:** Autores.

2018	Vol (Mm ³)	W (Ton/mes)	K (d ⁻¹)	C ₁ (mg/L)	Qs (Mm ³ /mes)	Q (m ³ /s)
Enero	4,36	2554,61	0,351	17,14	103,68	40,00
Febrero	4,23	2324,99	0,426	14,78	103,68	40,00
Marzo	4,54	2323,89	0,451	13,11	103,68	40,00
Abril	6,10	2571,28	0,275	48,02	103,68	40,00
Mayo	10,06	2795,37	0,144	50,06	103,68	40,00
Junio	12,67	2934,65	0,004	28,58	103,68	40,00
Julio	7,96	2507,79	0,018	22,85	103,68	40,00
Agosto	33,20	2919,03	0,008	28,14	103,68	40,00
Septiembre	35,03	2679,49	0,018	21,55	103,68	40,00
Octubre	34,48	3162,03	0,033	22,78	103,68	40,00
Noviembre	15,70	2821,00	0,026	23,53	103,68	40,00
Diciembre	5,29	2323,89	0,138	29,33	103,68	40,00

Tabla 75. Balance de masa de la SST escenario 3 año 2019. **Fuente:** Autores.

2019	Vol (Mm ³)	W (Ton/mes)	K (d ⁻¹)	C ₁ (mg/L)	Qs (Mm ³ /mes)	Q (m ³ /s)
Enero	4,36	2323,89	0,368	15,01	103,68	40,00
Febrero	4,23	2323,89	0,109	25,31	103,68	40,00
Marzo	4,54	2323,89	0,306	37,06	103,68	40,00
Abril	6,10	2326,13	0,259	42,22	103,68	40,00
Mayo	10,06	2669,48	0,075	33,83	103,68	40,00
Junio	12,67	2543,46	0,018	26,52	103,68	40,00
Julio	7,96	2397,48	0,019	24,18	103,68	40,00
Agosto	33,20	2670,58	0,009	24,16	103,68	40,00
Septiembre	35,03	2604,72	0,007	22,62	103,68	40,00
Octubre	34,48	3229,95	0,028	25,21	103,68	40,00
Noviembre	15,70	2487,74	0,020	22,23	103,68	40,00
Diciembre	5,29	2381,86	0,000	20,43	103,68	40,00

Tabla 76. Balance de masa de la OD escenario 3 año 2015. **Fuente:** Autores.

2015	Vol (Mm ³)	W (Ton/mes)	Evaporación (m ³ /mes)	K (d ⁻¹)	C ₁ (mg/L)	Q _s (Mm ³ /mes)	Q (m ³ /s)
Enero	4,26	619,76	2,00	0,428	3,76	103,68	40,00
Febrero	4,10	619,65	2,15	-0,186	7,61	103,68	40,00
Marzo	3,88	619,75	2,40	0,204	4,79	103,68	40,00
Abril	8,84	740,82	2,20	0,266	4,20	103,68	40,00
Mayo	9,36	753,15	2,13	0,282	4,09	103,68	40,00
Junio	7,29	689,05	2,13	0,347	3,78	103,68	40,00
Julio	17,41	943,04	2,12	0,229	4,12	103,68	40,00
Agosto	16,83	922,54	2,21	0,166	4,94	103,68	40,00
Septiembre	23,60	1076,73	2,06	0,238	3,98	103,68	40,00
Octubre	16,96	923,68	2,16	0,320	3,39	103,68	40,00
Noviembre	17,49	900,55	1,76	0,216	4,11	103,68	40,00
Diciembre	4,49	620,85	1,90	0,343	4,09	103,68	40,00

Tabla 77. Balance de masa de la OD escenario 3 año 2016. **Fuente:** Autores.

2016	Vol (Mm ³)	W (Ton/mes)	Evaporación (m ³ /mes)	K (d ⁻¹)	C ₁ (mg/L)	Q _s (Mm ³ /mes)	Q (m ³ /s)
Enero	4,47	622,09	1,88	0,293	4,15	103,68	40,00
Febrero	4,47	620,88	1,96	-0,247	8,74	103,68	40,00
Marzo	4,71	637,96	2,33	0,016	5,95	103,68	40,00
Abril	8,44	717,43	2,17	0,186	4,74	103,68	40,00
Mayo	21,12	1001,97	2,21	0,242	3,90	103,68	40,00
Junio	19,43	920,74	2,00	0,272	3,47	103,68	40,00
Julio	56,43	1761,76	1,98	0,205	3,69	103,68	40,00
Agosto	57,50	1914,76	1,98	0,146	5,34	103,68	40,00
Septiembre	38,03	1389,02	1,91	0,141	5,37	103,68	40,00
Octubre	84,98	2424,78	1,79	0,178	4,27	103,68	40,00
Noviembre	96,81	2682,12	1,37	0,154	4,68	103,68	40,00
Diciembre	46,87	1601,70	1,71	0,115	5,60	103,68	40,00

Tabla 78. Balance de masa de la OD escenario 3 año 2017. **Fuente:** Autores.

2017	Vol (Mm ³)	W (Ton/mes)	Evaporación (m ³ /mes)	K (d ⁻¹)	C ₁ (mg/L)	Q _s (Mm ³ /mes)	Q (m ³ /s)
Enero	4,47	653,20	1,88	-0,152	7,82	103,68	40,00
Febrero	4,47	651,93	1,96	0,204	4,89	103,68	40,00
Marzo	4,71	669,86	2,33	0,165	5,25	103,68	40,00
Abril	8,44	753,30	2,17	0,479	3,34	103,68	40,00
Mayo	21,12	1052,07	2,21	0,417	2,80	103,68	40,00
Junio	19,43	966,77	2,00	0,281	3,59	103,68	40,00
Julio	56,43	1849,85	1,98	0,244	3,58	103,68	40,00
Agosto	57,50	2010,49	1,98	0,279	3,46	103,68	40,00
Septiembre	38,03	1458,47	1,91	0,309	3,15	103,68	40,00
Octubre	84,98	2546,02	1,79	0,216	3,52	103,68	40,00
Noviembre	96,81	2816,22	1,37	0,137	6,23	103,68	40,00
Diciembre	46,87	1681,78	1,71	0,302	3,02	103,68	40,00

Tabla 79. Balance de masa de la OD escenario 3 año 2018. **Fuente:** Autores.

2018	Vol (Mm ³)	W (Ton/mes)	Evaporación (m ³ /mes)	K (d ⁻¹)	C ₁ (mg/L)	Q _s (Mm ³ /mes)	Q (m ³ /s)
Enero	4,36	619,87	1,91	0,175	4,75	103,68	40,00
Febrero	4,23	619,54	2,00	-0,113	6,75	103,68	40,00
Marzo	4,54	636,68	2,33	-0,134	7,45	103,68	40,00
Abril	6,10	691,83	2,34	0,469	3,62	103,68	40,00
Mayo	10,06	731,40	2,23	0,372	3,27	103,68	40,00
Junio	12,67	810,90	2,08	0,150	5,10	103,68	40,00
Julio	7,96	716,93	2,15	0,392	3,58	103,68	40,00
Agosto	33,20	1302,30	2,08	0,209	3,84	103,68	40,00
Septiembre	35,03	1233,63	1,93	0,072	6,72	103,68	40,00
Octubre	34,48	1289,54	1,97	0,074	7,09	103,68	40,00
Noviembre	15,70	882,91	1,77	0,043	6,99	103,68	40,00
Diciembre	5,29	626,72	1,82	-0,110	7,20	103,68	40,00

Tabla 80. Balance de masa de la OD escenario 3 año 2019. **Fuente:** Autores.

2019	Vol (Mm ³)	W (Mg/mes)	Evaporación (m ³ /mes)	K (d ⁻¹)	C ₁ (Ton/L)	Q _s (Mm ³ /mes)	Q (m ³ /s)
Enero	4,36	650,86	1,91	0,054	5,75	103,68	40,00
Febrero	4,23	650,52	2,00	-0,020	6,32	103,68	40,00
Marzo	4,54	668,51	2,33	0,054	5,94	103,68	40,00
Abril	6,10	726,42	2,34	0,257	4,78	103,68	40,00
Mayo	10,06	767,96	2,23	0,286	4,00	103,68	40,00
Junio	12,67	851,45	2,08	0,282	3,98	103,68	40,00
Julio	7,96	752,77	2,15	0,308	4,18	103,68	40,00
Agosto	33,20	1367,42	2,08	0,177	4,72	103,68	40,00
Septiembre	35,03	1295,31	1,93	0,103	5,88	103,68	40,00
Octubre	34,48	1354,02	1,97	0,086	6,93	103,68	40,00
Noviembre	15,70	927,05	1,77	0,055	7,09	103,68	40,00
Diciembre	5,29	658,06	1,82		6,75	103,68	40,00

11 REFERENCIAS

- Aguas de Cartagena. (2018). *MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA EN CIENAGA DE LA VIRGEN 2015 - 2018*.
- ARGOS. (2018). Viaducto Gran Manglar, un proyecto amigable con el entorno.
- Arrieta, A., & Retjman, P. (2003). Caudales reales medidos en la Bocana de marea estabilizadora de la Ciénaga de la Virgen. *Seminario Internacional: La Hidroinformática En La Gestión Integrada de Los Recursos Hídricos*, 336–343.
- ASEAN. (2008). *MARINE WATER QUALITY Management Guidelines and Monitoring Manual*.
- Bello, J. M. (1988). *Modelación del Balance Hidrico y de la calidad de agua de la Ciénaga de la Virgen de Cartagena*. Andes.
- Beltran, P. (2003). *BOCANA ESTABILIZADA DE MAREA COMO PROCESO AERÓBICO DE AUTODEPURACIÓN EN LA CIENAGA DE LA VIRGEN* Beltrán, P. *. 0–1.
- Canadian Council of Ministers of the Environment. (2003). *Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life*.
- Cantos, F. C. (2012). *Evaluación de tendencias de contaminantes en la masa de agua Bajo Guadalhorce (sur de España). Aplicación del test estadístico de Trend study and assessment of pollutants in Guadalhorce river basin . Application of statistical test of Mann-Kendall*. 157–160.
- Caracol. (2018). *Someten a intervención integral La Bocana de Cartagena*.
- CARDIQUE. (1997). *Proyecto Ciénaga de la Virgen*. Cartagena de Indias.
- CARDIQUE. (2004). *Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Hidrografica de la Ciénaga de la Virgen*.
- Contreras Arribas, E. (2012). *Influencia de los aportes fluviales en la calidad del agua del*

estuario del guadalquivir.

El Heraldo. (2011). *Alerta por posible colapso de La Bocana, en Cartagena.*

EL Universal. (2018a). *La Cienga de la Virgen esta en un constante daño ambiental.*
Retrieved from <https://www.eluniversal.com.co/politica/la-cienaga-de-la-virgen-esta-en-un-creciente-dano-ambiental-JB254290>

EL Universal. (2018b). *Recuperar la cienaga: Urgente e inmediato.* Retrieved from <https://www.eluniversal.com.co/cartagena/recuperar-la-cienaga-de-la-virgen-urgente-e-inmediato-288576-PUEU405930>

EL Universal. (2019, February 27). *Recogen doce toneladas de basura en la Cienaga de la Virgen.* Retrieved from <https://www.eluniversal.com.co/cartagena/recogen-doce-toneladas-de-basuras-en-la-cienaga-de-la-virgen-KH823408>

Experimentoscientificos. (2017). *Salinidad del Agua de Mar.*

IDEAM. (2018). *Información Aeronáutica.*

Instituto Alexander von Humboldt. (2015). *CARACTERIZACIÓN SOCIOECOLÓGICA EN LAS VENTANAS PILOTO CIÉNAGA DE LA VIRGEN, CIÉNAGA DE ZAPATOSA Y PAZ DE ARIPORO & HATO COROZAL A ESCALA 1:25.000. 014.*

Instituto Alexander von Humboldt. (2016). *Propuesta de limite del humedal en la ventana piloto Ciénaga de la Virgen. 014.*

Jim, P. (2016). *subterránea Fuente de Piedra (provincia de Málaga).*

Maldonado, W., Baldiris, I., & Diaz, J. (2011). *Evaluacion de la calidad del agua en la ciénega de la Virgen (Cartagena, Colombia) durante el período 2006-2010. 12.*

Margalef, R. (1991). *Ecología.* 951.

Martinez, E., & Alfonso, A. (2003). *Analisis espectral de corrientes en la bocana de marea*

estabilizada de la Ciénaga de la virgen de la ciudad de Cartagena. 9.

Matanza-riachuelo, E. L. R. C., Victoria, M., & Isabel, L. (2018). *ANÁLISIS DE TENDENCIAS DE VARIABLES INDICADORAS DE CALIDAD DE AGUA PARA EL RIACHUELO (CUENCA MATANZA-RIACHUELO, ARGENTINA)*. 34(4), 651–665. <https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.04.08>

MINAMBIENTE, MINHACIENDA, & CARDIQUE. (2014). *Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica arroyos directos al caribe sur – ciénaga de la virgen (código 1206-01) -bahía de cartagena.*

Minister of Health. (2017). *Guidelines for Canadian Recreational Water Quality.*

Nebel, B., & Wright, R. (1996). *Environmental Science: the way the world works*. 5.

Observatorio EPA Cartagena. (2015). *Cienaga de la Virgen.*

POMCA. (2014). *Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica arroyos directos al caribe sur – ciénaga de la virgen (código 1206-01) -bahía de cartagena.*

Ramos, S., Broca, L. F., Laines, J. R., & Carrera, J. M. (2013). *Tendencia de la calidad del agua en ríos de Tabasco , México Water quality trends in rivers of Tabasco , Mexico*. 16(3).

Reyes, P. (2007). *Metodología de análisis con Series de tiempo.*

Ryding, S., & Rast, W. (1992). *El control de la eutrofización en lagos y pantanos*. 375.

Salmi, T., Määttä, A., & Anttila, P. (2002). *DETECTING TRENDS OF ANNUAL VALUES OF ATMOSPHERIC POLLUTANTS BY THE MANN-KENDALL TEST AND SEN'S SLOPE ESTIMATES -THE EXCEL TEMPLATE APPLICATION MAKESENS.*

Tinoco, J. (2006). *Análisis Hidráulico y Sedimentológico de La Bocana de La Ciénaga de La Virgen.*

TuTiempo. (2015). *Datos climaticos 2015 Cartagena.*

TuTiempo. (2017). *Datos climaticos 2017 Cartagena.*

TuTiempo. (2018). *Datos climaticos 2018 Cartagena.*

Valencia, L. (2012). *AGUA EN LAGUNAS URBANAS DE VILLAHERMOSA , TABASCO.*

Vaughan, M. R. (2017). *Marine Water Quality Annual Report 2016.*