

**VARIABILIDAD DE CONTAMINANTES EMERGENTES EN EL RÍO
CESAR DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL STAR SALGUERO DEL
MUNICIPIO DE VALLEDUPAR**



**AMAYA SABOGAL INGRID JULIETH
BARRERA TORRES NATALY**

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR- CESAR
2021**



**VARIABILIDAD DE CONTAMINANTES EMERGENTES EN EL RÍO
CESAR DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL STAR SALGUERO DEL
MUNICIPIO DE VALLEDUPAR**



**AMAYA SABOGAL INGRID JULIETH
BARRERA TORRES NATALY**

**Proyecto de Grado presentado como requisito para optar al título de
Ingeniería Ambiental y Sanitaria**

Director:

ING. MSc: YIM JAMES RODRÍGUEZ DÍAZ

Codirector:

ING. OSCAR DAVID BELEÑO DÍAZ

Asesor:

QUIM. MANUEL MARIMON ANGULO

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR- CESAR
2021**



NOTA DE ACEPTACIÓN

El Trabajo de Grado “**VARIABILIDAD DE CONTAMINANTES EMERGENTES EN EL RÍO CESAR DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL STAR SALGUERO DEL MUNICIPIO DE VALLEDUPAR**” presentado por las estudiantes **AMAYA SABOGAL INGRID JULIETH** y **BARRERA TORRES NATALY** es aprobado el 25 de junio de 2021 para optar al título de Ingeniera Ambiental y Sanitaria cumple con los requisitos establecidos, es aprobado.

Director del proyecto de grado
Ing. Yim James Rodríguez Díaz

Evaluador del proyecto de grado
Ing. Amat David Zuluaga Guerra

Evaluador del proyecto de grado
Ing. Melissa Mileth Martínez

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios, por darnos la fortaleza de superar las pruebas y obstáculos que se presentaron durante la realización de esta investigación tras haber pasado momentos difíciles.

A nuestra Alma Mater Universidad Popular del Cesar por acogernos y ser el recinto donde adquirimos la orientación y conocimiento de nuestra carrera profesional.

A nuestro director Magíster e Ing. Yim Rodríguez Díaz, Co-director Ing. Oscar Beleño Díaz y Asesor Manuel Marimon por motivarnos a realizar esta investigación con miras a obtener un propósito mayor, incentivándonos a seguir un camino lleno de conocimientos para el servicio a la comunidad.

A nuestras familias, quedamos agradecidas, por el apoyo que nos brindaron durante este largo trayecto, quienes nos dieron una voz de aliento en los momentos más difíciles y críticos, acompañándonos en este camino para cumplir nuestros sueños viendo culminadas nuestras metas.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo especialmente a Dios, a mi madre, por ser el pilar más importante en mi vida, por su apoyo incondicional y por demostrarme su cariño cada día, por enseñarme que todo esfuerzo tiene su recompensa, lo cual me ha ayudado a salir adelante en los momentos más difíciles. A mi Padre por acompañarme en cada paso de mi vida con su gran humor y amor. A mi compañero de vida por estar en cada etapa de este proceso, por estar siempre dispuesto a escucharme y ayudarme en cualquier momento. A mi familia en general, porque han brindado su apoyo incondicional y por compartir buenos y malos momentos.

NATALY BARRERA TORRES.

A mis padres, por sus esfuerzos para educarme y brindarme la oportunidad de progresar, especialmente mi padre que siempre ha querido lo mejor para mí y con su ejemplo de perseverancia en sus proyectos, me mostró el camino a seguir para llegar a la culminación de mi carrera.

Gracias Papá.

INGRID JULIETH AMAYA SABOGAL

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1.INTRODUCCIÓN.	11
2.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	13
2.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.	15
2.2 SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA.	15
3.JUSTIFICACIÓN.	16
4.OBJETIVOS.	18
4.1. OBJETIVO GENERAL.	18
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	18
5.MARCO REFERENCIAL.	19
5.1. ANTECEDENTES.	19
5.1.1. Gonçalves Amanda, et al. (2019). Avaliação dos contaminantes emergentes cafeína e Bisfenol a em água bruta e água tratada.	19
5.1.2. Moya María, et al. (2016). Sistema combinado UASB+MBR para la eliminación biológica de contaminantes emergentes, materia orgánica y nutrientes en aguas residuales urbanas.	20
5.1.3. Souza E Silva Paula, et al. (2016). Identificação e quantificação de contaminantes emergentes em estações de tratamento de esgoto.	22
5.1.4. Guedes Alonso, et al. (2015). Determinación de hormonas esteroideas en aguas depuradas de la isla de Gran Canaria.	24

5.1.5. Peña y Castillo (2015). Identificación y Cuantificación de contaminantes Emergentes en Agua Residuales por Microextracción de Fase Sólida-Cromatografía de Gases-Espectrometría de masas (MEFS-CG-EM).	25
5.2. MARCO TEÓRICO.	27
5.3. MARCO CONCEPTUAL.	39
5.4. MARCO CONTEXTUAL.	46
5.5. MARCO LEGAL.	55
6. MARCO METODOLÓGICO.	59
6.1. LINEA Y SUBLINEA	59
6.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN	59
6.3. NIVEL DE INVESTIGACIÓN	60
6.4. POBLACIÓN DE ESTUDIO.	61
6.5. MUESTRA POBLACIONAL.	62
6.6. DESARROLLO METODOLÓGICO.	62
6.7 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.	65
7. RESULTADOS Y ANÁLISIS	66
7.1 CONTAMINANTES EMERGENTES	66
7.2 PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS.	71
7.2.1 Antes del vertimiento (E1).	71
7.2.2 Punto de vertimiento (E2).	75
7.2.3 Después del vertimiento (E3).	79
7.3 ETAPA 2: ESTABLECER CORRELACIONES ENTRE LAS CONCENTRACIONES DE LOS CONTAMINANTES EMERGENTES Y LOS	

PARÁMETROS FÍSICOS-QUÍMICOS DE CADA PUNTO DE ANÁLISIS DEL SISTEMA LÓTICO.	82
7.3.1 Temporada de lluvia.	84
7.3.1.1 Análisis de Componentes Principales (ACP).	84
7.3.1.2 Análisis de regresión entre las variables de cada factor del ACP.	88
7.3.2 Temporada de sequía.	94
7.3.2.1 Análisis de Componentes Principales (ACP).	94
7.3.2.2 Análisis de regresión entre las variables de cada factor del ACP.	98
7.4 ETAPA 3: DETERMINAR LA INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDROGRÁFICAS DEL RÍO CESAR DE LOS LINEAMIENTOS NECESARIOS DEL POMCA, EN LOS PUNTOS DE ANÁLISIS CON RESPECTO A LAS CONCENTRACIONES DE CONTAMINANTES EMERGENTES PARA LA PROSPECTIVA CAUSA-EFECTO Y POSIBLES SOLUCIONES.	106
7.4.1. Características morfométricas e hidrológicas	106
7.4.2. Alternativas para controlar y remover contaminantes emergentes en el río Cesar	112
7.4.2.1. Medidas de prevención	113
7.4.2.2. Medidas de control	114
7.4.2.3. Medidas de mitigación	115
7.4.2.4. Medidas de compensación	116
8 CONCLUSIONES	117
9. RECOMENDACIONES	118
9.REFERENCIAS	120
10. ANEXOS.	132

LISTA DE TABLA

Pág.

Tabla 1: Fuentes de generación de contaminantes emergentes	34
Tabla 2: Contaminantes emergentes fármacos típicos	36
Tabla 3: Riesgos ecotoxicológicos de algunos CEs.	38
Tabla 4: Estimación del índice de calidad del agua en las fuentes receptoras de los STAR tarullal y salguero.	54
Tabla 5: Normatividad recurso agua.	56
Tabla 6 : Normatividad biodiversidad.	57
Tabla 7: Normatividad referente a fármacos.	57
Tabla 8: Normatividad referente a pesticidas, plaguicidas.	58
Tabla 9: Detección y concentración de CEs encontrados en epoca de lluvia y sequia.	66
Tabla 10: Parámetros fisicoquímicos antes del vertimiento del star salguero.	72
tabla 11: Parámetros fisicoquímicos en el punto de vertimiento del star salguero.	76
Tabla 12: Parámetros fisicoquímicos después del vertimiento del star salguero.	80
Tabla 13: Características hidrológicas y morfométricas del río Guatapurí.	105

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Origen y flujos de las aguas residuales en entornos urbanos	28
Figura 2. Sistem. tratamiento para las aguas residuales producidas por hogares	29
Figura 3. Aguas residuales industriales	30
Figura 4. Clasificación de contaminantes medioambientales	32
Figura 5. Destino y transporte de fármacos en el medio	35
Figura 6. Zona de influencia del vertimiento puntual de aguas residuales por el star el Salguero al río Cesar	47
Figura 7. Ubicación del sistema de tratamiento de agua residuales, el Salguero de Valledupar	50

LISTA DE GRÁFICAS

Pág.

Gráfico 1. Sedimentos de las componentes principales en temporada de lluvia	85
Gráfico 2. Puntuaciones de los parámetros fisicoquímicos y contaminantes emergentes (CEs) en las CP1 y CP2 en temporada de lluvias	86
Gráfico 3. Puntuaciones de los parámetros fisicoquímicos y contaminantes emergentes (CEs) en las CP1 y CP3 en temporada de lluvias	86
Gráfico 4. Puntuaciones de los parámetros fisicoquímicos y contaminantes emergentes (CEs) en las CP2 y CP3 en temporada de lluvias	87
Gráfico 5. Puntuaciones de los parámetros fisicoquímicos y contaminantes emergentes (CEs) en las CP1 y CP4 en temporada de lluvia	88
Gráfico 6. Análisis de regresión lineal del bisfenol A con conductividad	89
Gráfico 7. Análisis de regresión lineal de la Carbamazepina con el pH	90
Gráfico 8. Análisis de regresión lineal del bisfenol A con cloruro	91
Gráfico 9. Análisis de regresión lineal del bisfenol A con turbiedad	92
Gráfico 10. Análisis de regresión lineal de la cafeína con el caudal	92
Gráfico 11. Análisis de regresión lineal de la progesterona con el caudal	93
Gráfico 12. Análisis de regresión lineal del gemfibrozilo con el caudal	93
Gráfico 13. Sedimentos de las componentes principales en temporada sequía	95
Gráfico 14. Puntuaciones de los parámetros fisicoquímicos y contaminantes emergentes (CEs) en las CP1 y CP2 en temporada de sequía	96

Gráfico 15. Puntuaciones de los parámetros fisicoquímicos y contaminantes emergentes (CEs) en las CP1 y CP3 en temporada de sequía	97
Gráfico 16. Análisis de regresión lineal del bisfenol a con caudal	99
Gráfico 17. Análisis de regresión lineal del Ibuprofeno con pH	100
Gráfico 18. Análisis de regresión lineal del Ibuprofeno con alcalinidad	101
Gráfica 19. Análisis de regresión lineal de la carbamazepina con turbiedad	102
Gráfico 20. Análisis de regresión lineal de la Ibuprofeno con dureza total	103
Gráfico 21 Análisis de regresión lineal de la cafeína con DQO	103
Gráfico 22. Análisis de regresión lineal de la cafeína con turbiedad	104
Gráfico 23. Análisis de regresión lineal de la triclosán con turbiedad	104

1. INTRODUCCIÓN.

Al pasar de los años ha aumentado en gran escala avances tecnológicos los cuales han dado paso para la creación y diseño de bienes y servicios que satisfacen y facilitan las actividades cotidianas de la sociedad. Esta actividad tecnológica es de gran importancia ya que influye para el progreso social y económico, pero desde el panorama ambiental se viene presentando un uso no sustentable del medioambiente siendo este crecimiento tecnológico uno de los factores principales para el empobrecimiento del ecosistema. De igual manera el crecimiento demográfico va de la mano con el desarrollo tecnológico, lo que quiere decir el aumento en la necesidad de bienes y servicios lo cual genera una cantidad significativa de residuos que contribuyen a la contaminación del medioambiente.

La contaminación es uno de los problemas ambientales que afectan a nuestro mundo y es el resultado de la introducción de cualquier sustancia al medio ambiente en cantidad tal que cause efectos negativos en los animales, en el hombre, vegetales o materiales expuestos a dosis que estén por encima de los niveles permisibles en la naturaleza (Nudelman, 2004). La contaminación se puede generar a partir de ciertas manifestaciones de la naturaleza o bien debido a los diferentes procesos productivos del que conforman las actividades de la vida diaria (González Clavero, 2007).

Entre los diferentes tipos de contaminantes, se encuentran los contaminantes emergentes son compuestos de distinto origen y naturaleza química, cuya

presencia en el medio ambiente no se considera significativa en términos de distribución y/o concentración, por lo que pasan inadvertidos, pero tienen el potencial de acarrear un impacto ecológico, así como efectos adversos sobre la salud.

Estos contaminantes emergentes no necesitan estar constantemente en el ambiente para causar efectos negativos (Barceló y López, 2012). Estos pueden encontrarse durante varias décadas en el recurso hídrico con escala de riesgo significativa, aun cuando se hayan tomado medidas para reducir o Eliminar los vertimientos de dichas sustancias, ya que algunos pueden también transportarse a largas distancias en el medioambiente.

Existe una amplia lista de contaminantes emergentes como los fármacos con gran variedad de compuestos de diferentes estructuras y usos como también metabolitos y productos de transformación. Muchos de éstos son tóxicos o son clasificados como descriptores endocrinos, lo que implica que una exposición a los mismos puede dar lugar a alteraciones en el crecimiento, desarrollo, reproducción y comportamiento de los organismos vivos. (Barceló y López, 2012).

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La presencia de los productos farmacéuticos en el medioambiente se observó por primera vez en la década de 1980 (Caviedes et al., 2017); La mayoría de los productos farmacéuticos son compuestos orgánicos molecularmente diminutos que presentan un bajo peso molecular, y son mesuradamente soluble, con el fin de ser activos y crecer su biodisponibilidad (Gabarrón et al, 2016). Colombia en los últimos años se ha identificado como país emergente con un alto potencial y capacidad para la fabricación de productos farmacéuticos, en el que los antibióticos fue la segunda tendencia creciente más fuerte del sector farmacéutico registrada entre los años 2010 y 2015 (Castrillón R., 2018).

De acuerdo con Snyder (2014) la cantidad de compuestos farmacéuticos registrados comercialmente superó los 65 millones en lo transcurrido del año 2013, mostrando así una tasa de aumento de 15.000 compuestos diarios. Esto demuestra el aumento de consumo de estos compuestos, por ende, el incremento estas sustancias en los cuerpos de agua. Estos medicamentos caducan en un promedio de 5 años después de su fabricación, lo cuales no pierden su principio activo y son desechados a través de los lavamanos o el inodoro (Semana, 2016), esto debido, la mayor parte por la falta de educación sobre la disposición final de estos fármacos y la inexistencia de puntos de recolección de estos.

La biodisponibilidad se conoce como el porcentaje de una dosis administrada de fármaco inalterado que llega al flujo sanguíneo, es en cada persona diferente, por lo que la absorción del sistema gastrointestinal puede ser insuficiente o inexistente

(EUPATI, 2015); esto ocasiona que el cuerpo elimine a través de la orina y heces, los compuestos activos de los medicamentos suministrados.

La cuenca del río Cesar en su trayecto pasa por el territorio del departamento del Cesar, en donde efectúa vertimientos en sus aguas. El Cesar se caracteriza por ser un departamento ganadero, donde más de un millón de hectáreas es destinada a la ganadería (Caro Daza, 2019). En las aguas superficiales, subterráneas y suelo se ha descubierto concentraciones medibles de hormonas y antibiótico, debido a la escorrentía de los campos fertilizados con el excremento y aguas de la industria ganadera en donde usan demasiados antibiótico y la variación en los últimos años de la concentración de alimento dado a los animales, ha llevado al aumento de desechos por unidad de superficie (Cai et al., 2012; Lee et al., 2007; Zambello y Verlicchi, 2015).

Las investigaciones realizadas en los últimos años han proporcionado información sobre ciertos contaminantes emergentes farmacéuticos, que no son eliminados de las aguas residuales por las Plantas de Tratamiento de Agua Residual, PTAR y que están pasando a las aguas superficiales (Lacina et al, 2013). Esto se debe a que la gran mayoría de estas plantas no cuentan con un tratamiento que elimine estos residuos, permitiendo su llegada a los cuerpos de agua, afectando la vida acuática.

El Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales el Salguero en el municipio de Valledupar, que aporta al río Cesar, presenta deficiencia en las reacciones biológicas, generando impactos negativos como formación de espumas y olores fuertes (Guzmán Finol, 2013), además de que sus tratamientos no son los correctos para eliminar sustancias emergentes como anticonceptivos, calmantes, hormonas, tensoactivos, antidepresivos entre otros. No se sabe con seguridad en qué grado

de concentración y composición de estos contaminantes emergentes, pueda causar una reacción con pesticidas y herbicidas que son utilizados en la actividad ganadera en diferentes tramos del cauce del río Cesar; produciendo compuestos que perjudiquen a bacterias, hongos y organismos superiores, ya que por sí solos se ha confirmado que presentan cambios en la fisiología de algunos peces (Colman et al., 2009).

2.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

¿Habrá variación de Contaminantes Emergentes en el río Cesar por la influencia del vertimiento puntual de la STAR el Salguero?

2.2 SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA.

¿Cuáles serían las sustancias Emergentes encontradas antes y después del vertimiento del STAR El Salguero?

¿Qué contaminante Emergente se encuentra en mayor concentración?

¿Qué influencia tiene las características biofísicas de cada zona con respecto a las concentraciones de los CEs?

¿Existirá alguna relación entre los contaminantes emergentes y los parámetros físico-químicos en los 3 puntos del río Cesar?

3. JUSTIFICACIÓN.

Se efectuó la búsqueda de información referente al tema de investigación, donde se verificó que no existe documentos o investigaciones sobre contaminantes emergentes en la zona del departamento del Cesar. A nivel Nacional solo hasta el año 2019 se había presentado menos de 5 artículos sobre el estudio de estas sustancias en aguas potables y aguas superficiales (Reichert et al., 2019). En el caso de América latina entre 1999 y 2018 se ha encontrado 57 investigaciones de CE's en el que Brasil y México presentan el 53 y 15%, respectivamente, de dichos estudios en aguas residuales. Estos análisis son similares a los que se realiza en otros países de Europa (Peña, et al., 2019).

La mayoría de las investigaciones consultadas presentan en sus análisis ciertos contaminantes emergentes en común, como la cafeína, fármacos, industriales y productos de cuidados personales (Peña y Castillo, 2015). Estas han comprobado en sus estudios, que el agua contaminada con residuos farmacéuticos que ingresa a la PTAR, no sufre una disminución de estos contaminante en el efluente de la planta (Souza E Silva et al., 2016) y que se necesita de nuevos tratamientos con membranas (Guedes et al., 2015) y de sistemas combinados (Moya Llamas et al., 2016) para la eliminación de estas sustancias emergentes; por lo que es claro que el Sistema de Tratamientos de Aguas Residuales El Salguero no es el adecuado para la remoción de dichos contaminantes.

Existen registros de investigaciones sobre el tema de contaminantes emergentes (CEs), debido a las afectaciones que se han provocado como mutaciones a organismos en ecosistemas acuáticos (Oropesa Jiménez et al., 2017) e incluso al

mismo ser humano produciendo efectos tales como: genotóxicos, estrogénicos, cancerígenos, teratogénicos y hasta resistencia antibiótica (Tejada et al., 2014). Los metabolitos de estos fármacos pueden llegar a penetrar en las aguas subterráneas y contaminar los acuíferos, acumularse en el suelo pudiendo perjudicar al ecosistema y a los humanos a través de la cadena trófica (Barceló y López, 2012).

Debido a la falta de información científica de estos contaminantes en el Río Cesar, deja una gran incógnita y preocupación sobre qué tanto se ha afectado a la comunidad y a la actividad pesquera, debido a que el departamento del Cesar emplea la ganadería y agricultura, en donde utilizan insecticidas y pesticidas los cuales influyen en malformaciones y aminoran la fertilidad, primordialmente de aves, peces y reptiles; e incluso cambiar el sexo de estas poblaciones. (Undiano et al, 2017). Por lo que es necesario plantear como línea base esta investigación a los contaminantes, como las Hormonas (Ethinilestradiol, progesterona); Industriales (Bisfenol A); Fármacos (Ibuprofeno, Carbamazepina, Gemfibrozil); Productos para el cuidado personal (Triclosán) y la cafeína.

Con esta Investigación se pretende mostrar la situación actual de los contaminantes emergentes presentes en las aguas del río Cesar y que dicha información acarree la toma de reglamentaciones sobre los niveles permisibles para estas sustancias, debido a que en el presente no existe ninguna regulación específica sobre los productos farmacéuticos en los cuerpos de agua de Colombia. Solo existe prevención y Gestión empresarial en el que se implementan Planes de Gestión para la devolución de medicamentos vencidos y de postconsumo en algunos departamentos de Colombia (Caviedes et al., 2017).

4. OBJETIVOS.

4.1. OBJETIVO GENERAL.

Analizar la variabilidad de contaminantes emergentes por medio de cromatografía líquida en el área de influencia de la cuenca media del río Cesar para la determinación de correlaciones entre las concentraciones de los contaminantes emergentes y las características fisicoquímicas relacionadas con el vertimiento puntual del STAR El Salguero, en el municipio de Valledupar, Cesar y el grado de influencia de las características hidrológicas en los puntos de estudio.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Identificar la presencia de los fármacos (Ibuprofeno, Etinilestradiol, Bis-fenol A, Progesterona, Gemfibrozil, Cafeína, Triclosán y Carbamazepina) a través de la técnica HPLC; antes, durante y después del vertimiento puntual del Sistema de Tratamiento de Agua Residual el Salguero al río Cesar.
- Establecer correlaciones mediante un software estadístico, entre las concentraciones de los contaminantes emergentes y los parámetros físico-químicos de cada punto de análisis del sistema lótico.
- Determinar la influencia de las características hidrográficas del río Cesar mediante los lineamientos necesarios del POMCA, en los puntos de análisis con respecto a las concentraciones de contaminantes emergentes para la prospectiva causa-efecto y posibles soluciones.

5. MARCO REFERENCIAL.

5.1. ANTECEDENTES.

5.1.1. Gonçalves Amanda, et al. (2019). Avaliação dos contaminantes emergentes cafeína e Bisfenol a em água bruta e água tratada.

Debido al grado de desarrollo industrial actualmente y la inmediata necesidad de extensión urbana, las aguas domésticas e industriales se vierten al ambiente sin considerar los posibles daños a los ecosistemas acuáticos y a la salud humana. En estas aguas pueden contener sustancias químicas que afectan el sistema endocrino tanto de los seres humanos como de otras especies, cambiando la salud, reproducción y crecimiento de estos. Los contaminantes Emergentes no están considerados en la ley, por lo que no hay control. Por consiguiente, las estaciones de tratamientos de agua y de efluentes, implementan tratamientos convencionales que no son eficiente para eliminar estos contaminantes.

El Propósito de este proyecto es evaluar la existencia de los contaminantes emergentes como la cafeína y el Bisfenol A en las aguas crudas y tratada de un mismo sistema. La metodología consiste en la realización de 3 campañas de muestra, en un intervalo de 7 días entre cada toma. En cada campaña se toman 2 puntos de muestreo: agua de admisión y de post tratamiento; luego se lleva a cabo técnicas de limpieza en todas las etapas del trabajo para no contaminar las muestras, después las muestras son filtradas en papel UNIFIL para quitar el material suspendido.

En la extracción en fase sólida, se emplea cartuchos SPE CERTIFY, BOND ELUT, bomba de vacío acoplada, filtro de jeringa Millex (diámetro 33 mm y diámetro de poro de 0,22µm). Se tiene cuidado la velocidad de paso con que el litro de muestra atraviesa los cartuchos, evitando el secado de este por parte de los disolventes y la muestra. Luego de la elución, se analizan las muestras por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) en fase móvil polar y fase no polar. Se identifica los iones analitos en el modo SCAN y en modo SIM (Single Ion Monitoring). Cada muestra y curva de calibración, se hace 4 veces para asegurar la cantidad del resultado.

Como resultado, las muestras de agua tratada apuntan a la presencia de cafeína, Bisfenol A y un interferidor que viene siendo el disolvente que se empleó durante la cuantificación. Las curvas analizadas muestran unos picos altos de cafeína y de Bisfenol A, por lo tanto, son satisfactorias y se evidencia que el tratamiento implementado en la PTA es ineficiente para la eliminación de estas sustancias. En las aguas crudas de igual forma se encuentran cafeína y Bisfenol A. Las concentraciones de cafeína en el agua tratada se encuentran entre 22,042 y 30,683 µg L⁻¹ y el Bisfenol A entre 23,513 y 54,538 µg L⁻¹.

Para la eliminación de contaminantes emergentes, se destaca los procesos oxidativos avanzados para el tratamiento de efluentes industriales y domésticos. Investigaciones como estas son fundamentales para llenar la escasa información sobre estos contaminantes y para las autoridades sea motivo de advertencia.

5.1.2. Moya María, et al. (2016). Sistema combinado UASB+MBR para la eliminación biológica de contaminantes emergentes, materia orgánica y nutrientes en aguas residuales urbanas.

El crecimiento de los contaminantes emergentes (CEs) se presentan de manera acelerada sin tener conocimiento sobre su origen y la permanencia durante cierto

tiempo. Las EDARs convencionales no son eficientes para la eliminación de estas sustancias contaminantes por lo que se opta por Biorreactores de membrana (MBR), sistemas biológicos que demuestran satisfactoriamente la eliminación de estos compuestos. Por esta razón se están implementando la combinación de procesos para mejorar los niveles de eliminación de los Contaminantes Emergentes. El objetivo principal de esta investigación es el análisis de un doble tratamiento biológico anaerobio y aerobio para la erradicación de CEs, nutrientes y materia orgánica de las aguas residuales urbanas.

En el desarrollo del proyecto se empleó en la planta, una recirculación entre el reactor UASB y el tanque aerobio, de forma que pudieran operar efectivamente. En la etapa 1, el funcionamiento de la planta se realizó con biomasa suspendida y luego se hizo lo mismo, pero con biomasa soportada con el fin de comprobar la eficiencia en la eliminación de las sustancias contaminantes, los nutrientes y la materia orgánica. Después en la etapa de puesta en marcha, se añadió los contaminantes emergentes, el día 56 de haber iniciado el proceso, se realizó de forma continua en la alimentación sintética hasta terminar el estudio. Prontamente en la fase 2 de operación se analiza el rendimiento de la eliminación o reducción de los CEs y demás elementos, debido a un lecho en los MBR de conformación externa en la planta.

Para establecer la dosis óptima de CEs se llevó a cabo ensayos de toxicidad para la introducción en la alimentación, por lo que resultó una concentración de 10 µg/L para cada contaminante y sustancias prioritarias. De esta forma no hay inhibición de los microorganismos, y luego de pasar por doble tratamiento biológico, la concentración de CEs sobrante pueda ser detectada por el equipo analizador GC-MS. Para el análisis, se extrajo cada día muestras de la alimentación, efluente del reactor anaerobio UASB, el licor-mezcla del tanque aerobio del reactor MBR y en la salida de la Planta. Para precisar los contaminantes, las muestras pasaron por el

proceso de extracción en fase sólida, concentración y luego reconstitución y análisis por los equipos GC-MS.

Como resultado, las muestras tomadas en las dos etapas (con y sin biosoporte), los compuestos como los parabenos estudiados, surfactantes, hormonas (estrone y 17- β -estradiol, el Bisfenol A y el ibuprofeno son disminuidos a más del 99% en el sistema combinado. La hormona 17- α -etinilestradiol presentó un 92,87% en el caso de biomasa soportada y no soportada un 99,34%. El Triclosán, tuvo una eliminación por poco en su totalidad, en donde el rendimiento fue de 99,7% y 98,7% para con biosoporte y sin biosoporte respectivamente. El diazepam y la Carbamazepina fueron difíciles de reducir; alrededor de un 70% sin biosoporte para los dos y para la Carbamazepina con biosoporte un 73.0%.

5.1.3. Souza E Silva Paula, et al. (2016). Identificação e quantificação de contaminantes emergentes em estações de tratamento de esgoto.

La investigación de los microcontaminantes orgánicos es uno de los ámbitos más importantes del área ambiental debido a los cambios que provocan en la reproducción de animales y humanos por las concentraciones muy bajas de estos contaminantes. En los micropoluyentes sobresalen las hormonas (Progesterona, Etinilestradiol), los plastificantes (dibutilftalato, dietilftalato) y los Tensioactivos (nonilfenol). La Evidencia de distintos estudios, durante muchos años, demuestra que estas sustancias encontradas en los cuerpos de agua, provienen de las aguas residuales municipales, agrícolas e industriales donde a través de la orina, heces y vertimientos son expulsados al ambiente. Las PTAR a pesar de contar con varias tecnologías no son eficientes para eliminar los contaminantes por lo que se recurre a tratamientos de pulido como los procesos oxidativos avanzados (POA).

El objetivo de esta investigación es la identificación y concentración de los Contaminantes Emergentes como Hormonas y Ftalatos a través de la cromatografía líquida acoplada a espectrómetro de masas y si las tecnologías implementada en las plantas de tratamiento son eficientes para la degradación de estas sustancias. La metodología implementada consiste en la recolección de muestras de 1 litro en botellas de polietileno en 4 estaciones de la PTAR (punto de entrada y salida) durante un lapso de 9 meses. Las muestras fueron llevadas a una temperatura cercana a los 4°C. Los implementos utilizados en el proceso de recolección y extracción fueron debidamente lavados con agua y Extran®, sumergidos en solución de HNO₃ para entonces mantenerse en agua desionizada.

Para la extracción de contaminantes, se filtró en membranas de 0,45µm para quitar las partículas suspendidas. Seguidamente el litro se repartió en embudos de separación de 2 L de volumen, adicionando 60 ml de diclorometano, moviendo vigorosamente en el transcurso de 2 minutos, se deja reposar hasta que se dé la separación completa de las fases; luego la fase orgánica se filtra 3 veces a través de un embudo que incluye lana de vidrio y sulfato de sodio anhidro para finalmente concentrarse en un roto-evaporador a 40 ±1 °C, el volumen de 1 ml de este extracto realizado con metanol se vierte a un matraz de 5 ml. Las muestras finales se examinaron en LC-MSMS / IT-TOF.

Para este último procedimiento se introdujo algunos estándares para saber la relación masa/ carga ion precursor e identificar las sustancias de la muestra y posteriormente realizar la curva de calibración. En los resultados del análisis cromatográficos muestra uno de los compuestos: la cafeína, la cual toman como indicador de presencia antrópica y posibilita el estudio a otros contaminantes. La mayoría de los contaminantes como plastificantes, medicamentos y tensioactivos se hallaron en la entrada, como en la salida de las PTAR, demostrando que la eficiencia para la eliminación de contaminantes emergentes no es satisfactoria. Las

hormonas, progesterona y etinilestradiol, están presentes en las muestras por lo que indica el amplio uso de anticonceptivos y de residuos de periodo menstrual.

5.1.4. Guedes Alonso, et al. (2015). Determinación de hormonas esteroideas en aguas depuradas de la isla de Gran Canaria.

Esta investigación se realizó debido al hecho de que las hormonas esteroideas, son expulsadas al exterior, a través de estaciones depuradoras de aguas residuales (EDARs) y producen efectos tóxicos sobre los organismos acuáticos y en la parte fisiológica de los peces debido a la presencia de estrógenos, ejemplo de ello es el daño en la reproducción de peces como el “Zebra fish” y en los niveles de Vitelogenina a concentraciones de 1 ng. L⁻¹ de estradiol.

Por tal motivo se desarrolló la determinación de 15 hormonas de cuatro familias de hormonas esteroideas como contaminantes emergentes a través del SPE-UHPLC MS/MS en aguas residuales de entrada y salida de estaciones depuradoras con diferentes tratamientos ubicadas en la isla de Gran Canaria. Para ello, se prepararon unas disoluciones patrón de 1000 mg·L⁻¹ de cada compuesto y de 10 mg·L⁻¹ para todos los compuestos hormonales de más del 95% de pureza, que fueron almacenadas a una temperatura de -20° C, y que a partir de estas se realizaron diariamente las del trabajo. Se utilizaron los compuestos como el agua ultra-pura a través del sistema Milli-Q, el metanol de calidad HPLC, agua LC-MS, Amoniaco del laboratorio Panreac Química.

Las muestras se cogieron del influente y efluente de dos estaciones depuradoras de agua residual al norte de la isla, en mayo y agosto del 2012 y mayo del 2013. La primera estación implementa un método de lodos activados y la segunda estación

un tratamiento de Biorreactores de membrana. Estas muestras fueron envasadas en botellas de vidrio ámbar, las cuales fueron previamente lavadas con agua ultra pura y metanol, luego se filtraron en membranas de 0,65 μm , precedido de un prefiltro de fibra de vidrio y se guardaron en oscuridad a 4°C hasta el momento de ser extraídas. Luego fueron analizadas en un sistema de (UHPLC-MS/MS).

En la EDAR 1 se detectó menos compuestos, pero con concentraciones mayores a 50 ng·L⁻¹ casi llegando a los 300 ng·L⁻¹, como el estriol, el dietilestilbestrol y la estrona. En EDAR2, nuevos compuestos se detectaron como el 17 β -estradiol, el estriol o el norgestrel en concentraciones bajas. La eliminación por parte de las depuradoras es mayor del 88%, a excepción del dietilestilbestrol en la EDAR 1 (eliminación parcial 5%- 34%) y el norgestrel en la EDAR 2.

5.1.5. Peña y Castillo (2015). Identificación y Cuantificación de contaminantes Emergentes en Agua Residuales por Microextracción de Fase Sólida-Cromatografía de Gases-Espectrometría de masas (MEFS-CG-EM).

Existen estudios y métodos que determinan contaminantes emergentes a través del MEFS, como productos farmacéuticos, disruptores endocrinos, fármacos antiinflamatorios, cosméticos, Triclosán, Bisfenol, entre otros, en diversos cuerpos de agua, pero no que se implementen dos métodos simultáneamente (MEFS seguido de CG-EM) para los contaminantes anteriores y los antisépticos/desinfectantes. Esta investigación busca proporcionar información sobre la identificación y cuantificación de compuestos como el ibuprofeno, Naproxeno, Bisfenol, clorofenol, etc. a través del desarrollo y optimización el método MEFS-CG-EM en el agua residual de la zona sur-oriente de la Ciudad de México.

Se utilizó una Barra magnética, Jeringas Hamilton de vidrio, fibras de polidimetilsiloxano/divinilbenceno, Poliacrilato, carboxen/polidimetilsiloxano, carbowax/divinilbenceno, carbowax/divinilbenceno stableflex, polietilenglicol que fueron acomodadas según las instrucciones del proveedor, matraces aforados, pipetas volumétricas, vasos de precipitado, embudo de filtración de tallo corto, matraz Kitasato, viales de vidrio con tapón horadado de polipropileno y septa de teflón (politetrafluoretileno), pipeta Pasteur de vidrio y botellas de vidrio ámbar. En reactivos, alcohol metílico, agua nanopure, Ácido clorhídrico 0.1N, ibuprofeno, Naproxeno, clorofenol y Bisfenol.

Se hizo un lavado del material con jabón líquido, agua destilada y secando a 100°C los implementos de vidrio no volumétrico, también se utilizó metanol y acetona para la eliminación de restos de materia orgánica. Se prepararon disoluciones patrón de ibuprofeno, Naproxeno, Triclosán, clorofenol y Bisfenol. Se guardaron a 4 °C, en los viales de vidrio con tapón y septa sellados con teflón para su luego uso. Se tomaron y analizaron 20 muestras simples por duplicado (12 influentes y 8 efluentes) provenientes de tres PTAR de la Zona Metropolitana del Valle de México: Ciudad Universitaria (CU) (4 influente), Coyoacán (4 influente y 4 efluente) y Cerro de la Estrella (4 influente y 4 efluente).

En todas muestras de influentes se encontraron los contaminantes en niveles concentraciones de $\mu\text{g/L}$, mientras que en los efluentes no pudieron ser cuantificados por su disminución en concentración. El método arrojó buena linealidad ($p \geq 0.99$) para ibuprofeno, Naproxeno y Bisfenol A y con $r > 0.94$ para clorofenol y Triclosán. La precisión del método fue aceptable (C.V.= 6.2 - 9.4%.) Los límites de cuantificación del método desarrollado se encuentran en niveles de ng/L .

El método es libre de disolventes, sencillo, rápido y aplicable para el análisis de PPCP's en muestras de aguas residuales utilizando la fibra PEG y controlando los parámetros de pH, fuerza iónica, tiempo y temperatura de extracción, así como el tiempo de silanización. Los PPCP's se identificaron en todos los influentes analizados encontrándose en niveles de $\mu\text{g/L}$, mientras que en los efluentes las concentraciones de los PPCP's disminuyen considerablemente al grado de no poder ser cuantificados en algunas muestras.

5.2. MARCO TEÓRICO.

5.2.1. SISTEMA LÓTICO

Son sistemas con corrientes fluviales que se caracteriza por ser de corrientes rápidas, constantes y en una sola dirección un claro ejemplo son los arroyos, manantiales y los ríos. (Carton, 2020)

En estos sistemas se encuentran una gran variedad de microorganismos que son productores y a su vez consumidores los cuales hacen parte del sistema lótico. (Cajal, 2017)

Características

- En condiciones fluviales la biota está capacitada para vivir.
- Cierta grado de turbidez
- Flujo unidireccional
- Expone un cambio físico-continuo
- En todo su recorrido transportan o llevan materiales disueltos (Carton, 2020)

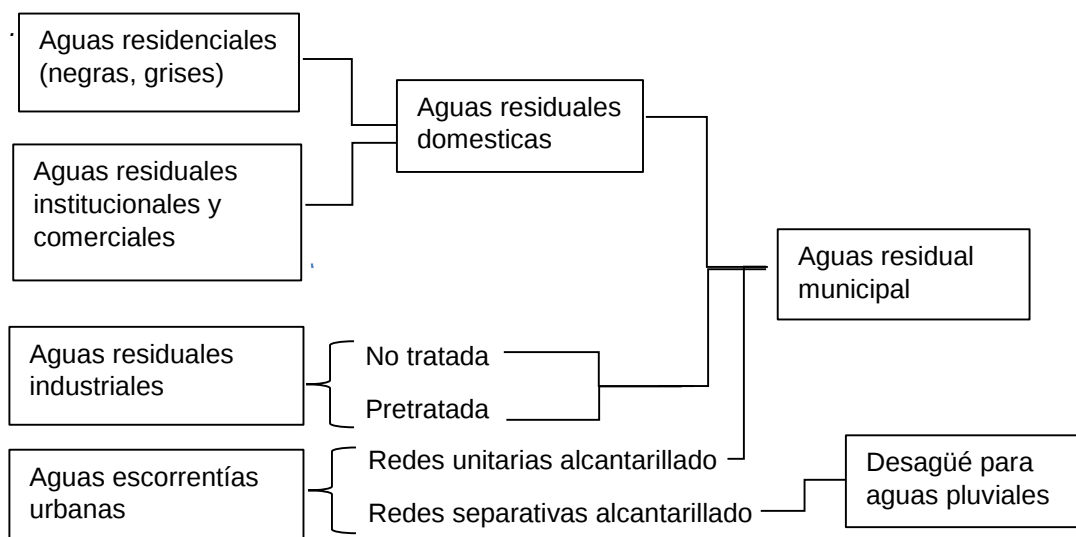
Agua cruda: es aquella agua que no ha recibido ningún tipo de tratamiento. (Díaz, 2019)

Aguas residuales: se refiere comúnmente a aguas industriales, escorrentías y domésticas. (González, 2015)

Origen y flujos de las aguas residuales en entornos urbanos

Figura 1.

Origen y flujos de las aguas residuales en entornos urbanos.

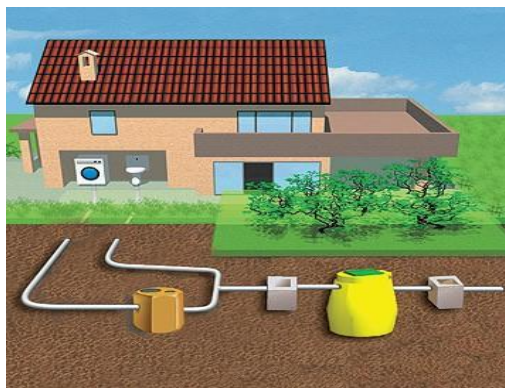


Nota. Este mapa conceptual representa los tipos de aguas residuales producidas en una zona urbana que pueden ser municipales sean tratadas o no, antes de su llegada a las plantas o sistema de tratamientos de aguas residuales. Tomada del estudio de la eliminación de contaminantes emergentes en aguas mediante procesos de oxidación avanzados (p.27) por De la Cruz, 2013.

Estas aguas *son* producto diferentes actividades cotidianas de las personas. Por ejemplo residuos de productos de aseo personal, cocina, detergentes para limpieza de casa, grasas, incluyendo desechos orgánicos, estos suelen contener gran cantidad de materia orgánica y microorganismos (Espigares y Pérez, 2011).

Figura 2.

Sistema de tratamiento para las aguas residuales producidas por hogares.



Nota. La imagen presenta una casa con la adaptación de un pequeño sistema de tratamiento de aguas residuales antes de ser entregadas al sistema de alcantarillado público. *Tomada de:* Tratamiento aguas residuales domésticas, por Tratamiento de Agua Residual.net, s.f., TAR.NET (<https://n9.cl/libsq>).

Aguas industriales

Estas aguas son originadas de los procesos realizados en fábricas industriales y en general donde se hace uso de aceites y grasas, ácidos, detergentes, antibióticos y entre otros productos de origen animal, vegetal, mineral o químico esto depende de las actividades industriales. (Espigares y Pérez, 2011). Estas aguas presentan una variedad de micro contaminante los cuales hacen que se incrementa la dificultad de tratamiento de estas aguas, estos inconvenientes son traducidos en una disminución de eficiencia de depuración (González, 2015).

Figura 3.

Aguas Residuales Industriales.



Nota. La imagen presenta el vertimiento puntual de aguas residuales al cuerpo de agua. Tomado de Aguas Industriales de Recytrans, 2015, Recytrans (<https://n9.cl/31zbs>).

Aguas escorrentías

Estas aguas son corrientes de aguas que son generadas de las precipitaciones que se riega o se esparcen sobre el suelo una vez que ha incrementado la capacidad de evaporación e infiltración de la misma (significados.es, 2018).

Contaminación de Fuente Puntual.

Esta contaminación puntual es fácil de identificar y localizar, controlar, y monitorear en un sitio determinado, Algunos ejemplos son:

Vertidos industriales, aguas mineras (carbón, oro, pozos petroleros), aguas domésticas, filtración de rellenos sanitarios etc. (pineda, 2017).

Contaminación Difusa

Es aquella contaminación que es difícil de localizar en un solo punto determinado, donde el contaminante impacta principalmente sobre el agua desde varios puntos diferentes o una zona la cual no hace que sea fácil de localizar.

El origen de esta contaminación es de una fuente puntual por diferentes factores que al final la convierte en fuente no puntual, algunos ejemplos son: (Pineda, 2017)

- Vertimientos de sustancias químicas en el agua superficiales
- Aguas residuales de zona petrolera
- Desagüe industrial
- Infiltración, escorrentía desde tierras de cultivo, ganadera y de construcción.
- Tanques sépticos

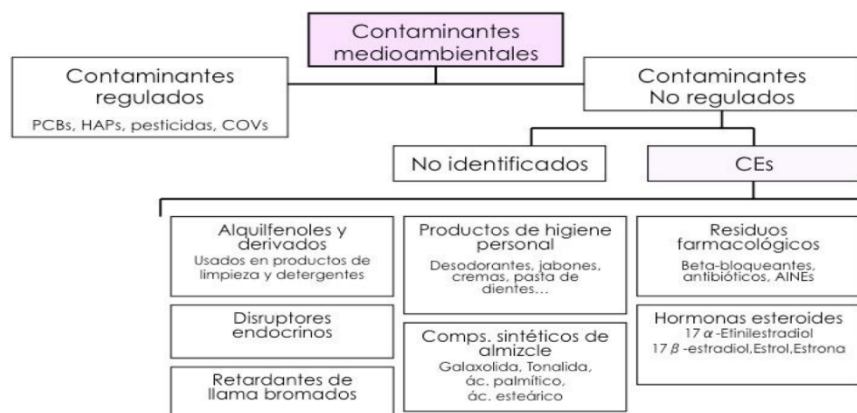
Las principales causas de estas fuentes de contaminación ambiental

Son la actividad humana, fenómenos naturales, infiltración, la escorrentía y precipitación de aguas contaminadas, las fábricas, plantas de tratamientos industriales, la agricultura, el tráfico y entre muchos otros factores. (Pineda, 2017)

Clasificación de contaminantes medioambientales

Figura 4.

Clasificación de contaminantes medioambientales.



Nota: El mapa conceptual presenta aquellos contaminantes que no pertenecen a los regulados por la normatividad española. Tomado del estudio de la eliminación de contaminantes emergentes en aguas mediante procesos de oxidación avanzados (p.30) por De la Cruz, 2013.

Contaminantes Emergentes

Son productos o compuestos cuya descarga al medio ambiente puede generar unas repercusiones desfavorables sanitarias y ambientales, estos CEs aún no están suficientemente investigados y regulados debido a la falta de técnicas de detección y análisis. Por tanto, estos contaminantes no requieren ser persistentes para generar efectos negativos, pero son solubles en agua por lo que estos son capaces de alcanzar las etapas del agua.

Principales focos de contaminación por contaminantes emergentes

Los principales focos de contaminación de las aguas son:

- 1. Contaminación urbana:** descargas urbanas, viviendas familiares, escuelas, hospitales, detergentes, fármacos y productos químicos de uso doméstico
- 2. Contaminación industrial:** Procesos de producción y de limpieza industrial
- 3. Contaminación agrícola:** Fertilizantes, pesticidas (Ainia, 2013).

Fuentes de generación de contaminantes emergentes

Una de las principales fuentes de CEs son las aguas residuales no tratadas y los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales, de igual importancia las siguientes fuentes producen un gran aporte de contaminantes emergentes. (González, 2015)

Tabla 1.

Fuentes de generación de contaminantes emergentes.

Fuentes de generación de contaminantes emergentes (CEs)	
hospitales	Liberación de desechos y fármacos caducados
Criadero de animales	Hormonas y fármacos inyectados a aves de corral y ganado
Acuicultura	Hormonas para peces, antibióticos en alimentos o aguas
Hogares	Liberación de fármacos caducados o excretados
Industrias farmacológicas	Desechos industriales conteniendo fármacos, aguas de escurrientías con fármacos pulverizados
Aguas residuales	Residuos de alcantarillado con fármacos y hormonas

Adaptado de: De la Cruz, 2013.

Tipos de contaminantes emergentes

Existen numerosas clasificaciones de los contaminantes emergentes. Estos son algunos de los grupos de sustancias más conocidas y algunos ejemplos de cada grupo: (Ainia, 2013)

Fármacos, incluidos los de uso humano y veterinario

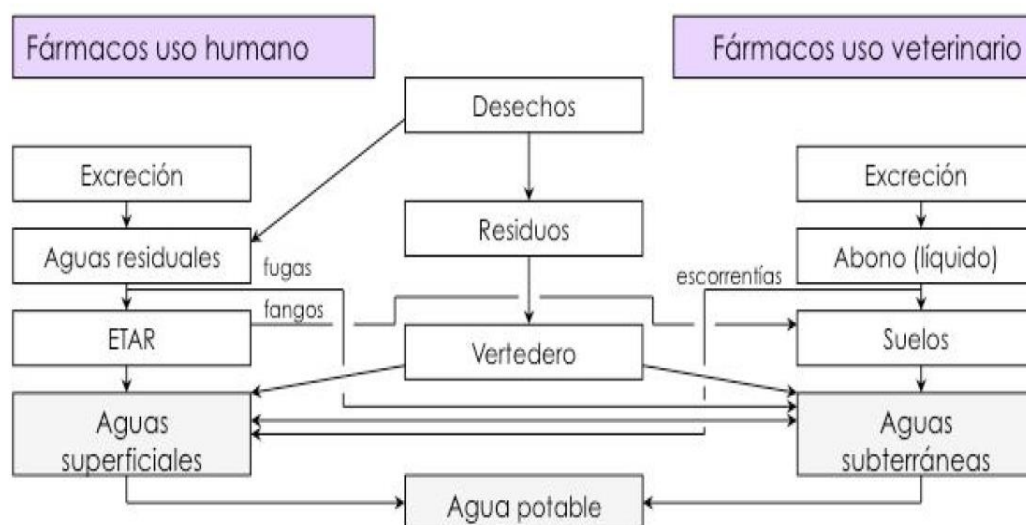
Son aquellos compuestos empleados para atender el ganado, como lo son analgésicos, antiinflamatorios, antibióticos, hormonas y esteroides etc.

Cabe la posibilidad que estos productos fármacos sean los CE's más importantes los cuales No son persistentes, y son poco biodegradables los cuales los sistemas convencionales de depuración no son capaces de eliminarlos, lo que es necesario el desarrollo de nuevos sistemas de eliminación. (Ainia, 2013)

Destino y transporte de fármacos en el medio

Figura 5.

Destino y transporte de fármacos en el medio.



Nota: Mapa conceptual que representa los diferentes usos de metabolitos de fármacos desde la excreción del cuerpo hasta su destino final en las aguas potables. Tomado de: De la Cruz, 2013.

Tabla 2.

Contaminantes emergentes fármacos típicos.

Grupo de contaminantes	Subgrupo	Compuesto de interés emergente
Fármacos	Antibióticos	Lincosamidas, macrólidos, sulfamidas, tetraciclinas, quinolonas
	Analgésicos y antiinflamatorios	Paracetamol, ácido acetil salicílico, Ibuprofeno, diclofenaco, oxicam.
	Psiquiátricos	Benzodiacepinas, barbitúricos
	B-bloqueantes	Metoprolol, propranolol, timolol
	Medios de contraste de rayos X	Iopromide, iopamidol, diatrizoato
	Esteroides y hormonas	Estradiol, estrona, estriol, Dietilestilbestrol
	Citostáticos	Vincristina, etopósido, cisplatino

Fuente: Arbeláez, 2016.

Antisépticos

Estas sustancias que, aplicadas de forma tópica, sobre los tejidos vivos, tienen la capacidad de destruir los microorganismos o de inhibir su reproducción. La aplicación más frecuente es sobre la piel, las mucosas y las heridas. Las sustancias que se emplean sobre objetos inanimados con el mismo objetivo se denominan desinfectantes. La diferencia entre antiséptico y desinfectante depende esencialmente de la concentración empleada. En dosis bajas, una sustancia puede comportarse como antiséptico, mientras que, en dosis más altas, que resultarían lesivas para los tejidos, se emplean como desinfectante. El Triclosán o el clorofenol es ejemplo de ello. (Benedí, 2005)

Estos fármacos son de un alto consumo a nivel mundial e igualmente de mayor medicación; como el diclofenaco los cuales se encontraron presentes en aguas residuales, el acetaminofén, el Naproxeno y el ibuprofeno se encontraron en vertimientos de aguas hospitalarias. Estos datos son indicadores importantes para entender las rutas metabólicas de cada compuesto y así de esta manera determinar o eliminar el origen de su toxicidad. (Gil M., Soto, Usma, y Gutiérrez, 2012)

Surfactantes, también denominados tensoactivos son y/o agentes de superficie

Estos productos son utilizados en diferentes sectores de la industria, y su uso es variado, compuestos como los alquilfenol etoxilados, y los sulfonatos bencénicos empleados en procesos industriales y domésticos como los detergentes, y en productos de higiene corporal.

Pesticidas o plaguicidas

Son compuestos de naturaleza química empleados para agredir a ciertos organismos considerados perjudiciales, produciendo les la muerte. Los de uso común son los insecticidas, los fungicidas, y los herbicidas (Ainia, 2013).

Efectos de los Contaminantes Emergentes

Los compuestos emergentes presentan efectos significativos alterando al sistema endocrino y bloqueando o perturbando las funciones hormonales, afectan a la salud de los seres humanos y de especies animales aun cuando se encuentran en tan bajas concentraciones. (Tejada, Quiñonez, y Peña, 2014)

En la siguiente tabla se resumen algunos estudios que dan idea sobre los rangos de concentraciones de CEs que resultan tóxicos y los test pertinentes.

Tabla 3.

Riesgos ecotoxicológicos de algunos CEs.

Número de compuestos estudiados.	Compuesto que causa daño (rango de dosis donde se observa riesgo)	Tipo de riesgo
27	Ibuprofeno, diclofenaco E2 y EE2; 0,01µg/L	Riesgo para el medio ambiente acuático, con efectos tóxicos crónicos (como la inhibición de la regeneración de pólipos y reducción en la reproducción de peces.
4	Etinilestradiol, zearalenol 17β-estradiol	El pez de agua dulce (phimepales promelas) experimento diferentes niveles de expresión sobre genes hepáticos.
1	17α etinilestradiol EE2; 5 - 50ng/l	Salmon juvenil regulación de la concentración y el tiempo de efecto sobre componentes de cerebro y riñones.

Fuente: De la Cruz, 2013.

5.3. MARCO CONCEPTUAL.

Acuífero: Es el conjunto de rocas que permiten la permeabilidad del agua y la pueden acumular en sus poros o grietas. A esta agua retenida en las estructuras rocosas se la conoce como agua subterránea y puede llegar hasta dos millones de kilómetros cuadrados de tamaño. Los acuíferos presentan dos partes diferenciadas: la zona de saturación, que retiene el agua e impide que esta siga circulando o filtrándose, y la zona de aireación que es la que se encuentra justo encima de la zona de saturación y se mantiene sin agua retenida.¹

Anticonceptivos: Son sustancias, objetos o procedimientos utilizados por la mujer y/o el hombre para evitar que se presente un embarazo.²

Antidepresivos: son medicinas que receta un médico para tratar la depresión. Estos medicamentos ayudan a mejorar la forma en que el cerebro utiliza ciertas sustancias químicas naturales. A veces, es necesario probar más de uno hasta encontrar el que surta un mejor efecto.³

Biodisponibilidad: es la fracción (porcentaje) de una dosis administrada de fármaco inalterado que llega al flujo sanguíneo (circulación sistémica).⁴

Biorreactor de Membrana- MBR: La tecnología de Biorreactor de Membrana (MBR) la integra la degradación biológica, la separación de fangos y el reciclaje en un solo paso. Por tanto, cuando se instala un BRM en una planta de tratamiento y regeneración de aguas residuales, no se necesita un segundo decantador para separar y reciclar los fangos activados.⁵

¹ Ingeoexpert, 2018. ¿Cómo se forma un acuífero?

² EAFIT, s.f. Métodos de concepción.

³ MedlinePlus, 2019. Antidepresivos.

⁴ EUPATI, 2015. Biodisponibilidad y Bioequivalencia.

⁵ Aware, 2017. Biorreactores de membrana (BRM).

Bisfenol A: (usualmente abreviado como BPA) es una sustancia química industrial que desde los años 60 se usa para fabricar plásticos y resinas.⁶

Cadena trófica: o ciclo alimenticio a la natural interconexión de todas las cadenas alimenticias pertenecientes a una comunidad ecológica.⁷

Cafeína: es una sustancia que se encuentra en ciertas plantas. También se puede producir de manera artificial (sintéticamente) y agregarse a los productos alimenticios. Es un estimulante del sistema nervioso central y un diurético (sustancia que le ayuda al cuerpo a eliminar líquidos).⁸

Cancerígeno: es un agente físico, químico o biológico potencialmente capaz de producir cáncer al exponerse a tejidos vivos. Los carcinógenos químicos se definen por la capacidad de desarrollo de tipos de tumores que no se ven en los controles.⁹

Carbamazepina: Se utiliza para controlar ciertos tipos de convulsiones en personas con epilepsia, neuralgia trigémina (una enfermedad que causa dolor en los nervios faciales), episodios de manía y con trastorno bipolar I. Su uso puede ser único o combinada con otros medicamentos.¹⁰

Coeficiente de reparto octanol-agua (Kow): Es la medida de la hidrofobicidad (capacidad de un material de repeler el agua de su superficie) o la afinidad hacia los lípidos de una sustancia disuelta en agua. Si este coeficiente es alto indica que hay adsorción en suelo o sedimento.¹¹

Compuestos orgánicos: todas aquellas sustancias químicas que contienen algún átomo de carbono en su molécula. La diferencia fundamental entre un compuesto

⁶ Unidad de Salud del Tiempo. 2019. Bisfenol A, el químico que preocupa, está donde usted menos se imagina.

⁷ Raffino, 2020. Concepto de red trófica.

⁸ MedlinePlus, 2019. Cafeína en la dieta.

⁹ Educalingo, 2018. Carcinógeno.

¹⁰ MedlinePlus, 2020. Carbamazepina.

¹¹ Dirección general de protección civil y emergencias, 2004. Comportamiento medio ambiental de las sustancias.

orgánico y uno inorgánico es que el primero cuenta con enlaces del tipo carbono-carbono, carbono-nitrógeno o carbono hidrógeno, mientras que los inorgánicos no tienen este tipo de enlaces.¹²

Contaminantes Emergentes: son todos aquellos contaminantes cuya presencia en el medio ambiente ha sido reconocida recientemente, debido a la preocupación existente por las consecuencias que conllevan dado su efecto contaminante para el medio y para la salud.¹³

Cromatografía Líquida de Alta Resolución - HPLC: Técnica que realiza la separación de una mezcla de compuestos a través de la interacción selectiva entre los solutos, una fase estacionaria y una fase móvil, haciendo uso de instrumentación automatizada de alta eficiencia.¹⁴

Disruptor Endocrino: Es la sustancia exógena o mezcla que altera la función del sistema endocrino y, por tanto, causa efectos adversos sobre la salud en un organismo intacto, o en su progenie, o en la población¹⁵

Ecosistemas acuáticos: Conforman de forma general los lagos, ríos, arroyos, lagunas, océanos, mares y todos aquellos hábitats donde se localiza agua que alberga vida, es una simbiosis que se produce tanto en agua dulce como en agua salada.¹⁶

Equipo GC-MS: En la unión de técnicas de cromatografía de gases (GC) y espectrometría de masas (MS), unidas en un poderoso tándem, GC-MS, son herramientas imprescindibles en los análisis ambientales, forense, de productos

¹² Cerdanya ecoresort, 2018. Compuestos orgánicos: qué son y para qué se utilizan.

¹³ Fernández, 2020. Contaminantes emergentes: definición, ejemplos y cómo nos afectan.

¹⁴ Camejo, 2017. Cromatografía de Líquidos de Alta Resolución HPLC.

¹⁵ Agencia catalana de seguridad alimentaria, 2019. Disruptor Endocrino.

¹⁶ Ovacen, 2018. Ecosistemas acuáticos; tipos, flora, fauna y características.

naturales, control de doping, alimentos, toxicología y en muchas más áreas de investigación.¹⁷

Etinilestradiol: Es un estrógeno esteroídico sintético, derivado del estradiol, para la administración oral. Ocasiona un aumento del grosor y la cornificación de la vagina y promueve la proliferación del endometrio; se utiliza en el tratamiento del hipogonadismo femenino y para prevenir o reducir los síntomas asociados a la menopausia. En combinación con gestágenos, forma parte de los anticonceptivos orales.¹⁸

Ganadería: Es una actividad económica de origen muy antiguo que consiste en la crianza de animales para su aprovechamiento. Dependiendo de la especie ganadera, se obtienen diversos productos derivados, como la carne, la leche, los huevos, los cueros, la lana y la miel, entre otros.¹⁹

Gemfibrozilo: Regulador lipídico, reduce la cantidad de colesterol y triglicéridos en la sangre en ciertas personas con concentraciones muy altas de triglicéridos y que además están en riesgo de enfermedad pancreática.²⁰

Genotoxicidad: es la capacidad relativa de un agente de ocasionar daño en el material genético, originando efectos biológicos adversos.²¹

Herbicida: Producto fitosanitario utilizado para matar plantas indeseadas. Los herbicidas selectivos matan ciertos objetivos, mientras preservan la cosecha relativamente indemne. Algunos actúan interfiriendo con el crecimiento de las malas hierbas y se basan frecuentemente en las hormonas de las plantas. Los herbicidas

¹⁷ Stashenko y Martínez, 2010. GC-MS: Más de un Analizador de Masas, ¿para qué?

¹⁸ Saludemia, s.f. Etinilestradiol.

¹⁹ Ecured, 2019. Ganadería.

²⁰ MedlinePlus, 2017. Gemfibrozilo.

²¹ Abrevaya, 2008. Genotoxicidad.

utilizados para limpiar grandes terrenos no son selectivos y matan toda planta con la que entran en contacto.²²

Ibuprofeno: Producto farmacéutico que pertenece a una clase de medicamentos llamados antiinflamatorios no esteroides (AINE). Actúa deteniendo en el cuerpo la producción de una sustancia que provoca dolor, fiebre e inflamación.²³

LC-MS: La espectrometría de masas de cromatografía líquida de alto rendimiento (HPLC-MS, o más comúnmente LC-MS) es una técnica analítica extremadamente versátil que combina las capacidades de separación física de la cromatografía líquida con las capacidades de análisis de masas de la espectrometría de masas.²⁴

LCMS-IT-TOF: Es un nuevo tipo de espectrómetro de masas que combina las tecnologías QIT (trampa de iones) y TOF (tiempo de vuelo). Al combinar QIT y TOF, los mayores desafíos tecnológicos fueron la introducción eficiente de iones en el QIT y la expulsión simultánea de iones atrapados al TOF.²⁵

Metabolito: es cualquier molécula intermediaria, simple o compleja, que se produce durante los distintos procesos metabólicos que tienen lugar en cualquier organismo. Estas moléculas son producto de un proceso químico y, a su vez, “desaparecen” por transformación en otras sustancias en el siguiente paso del proceso.²⁶

Método CG-EM: La Cromatografía de Gases acoplada a Espectrometría de Masas (GC/MS, por sus siglas en inglés) es una técnica analítica dedicada a la separación, identificación y cuantificación de mezclas de sustancias volátiles y semivolátiles. La separación de dichas sustancias depende de la diferente distribución de las

²² EcuRed, 2019. Herbicida.

²³ MedlinePlus, 2016. Ibuprofeno.

²⁴ Merck, s.f. Water for LC-MS.

²⁵ SHIMADZU, s.f. LCMS-IT-TOF: Liquid Chromatograph Mass Spectrometer.

²⁶ Magnaplust, s.f. Metabolito.

sustancias estudiadas entre las fases móvil y estacionaria que conforman el sistema.²⁷

Método MEFS: Microextracción en Fase Sólida (SPME) es una técnica de concentración que no necesita solventes y en la que la fase de preparación a menudo consiste solamente en la toma de la muestra. Esta técnica permite tratar muestras que presentan propiedades diferentes (sólidas, líquidas, gaseosas) y encuentra múltiples aplicaciones en numerosos campos como el farmacéutico y el agroalimentario.²⁸

Mutación: Es una variación espontánea e impredecible en la secuencia de genes que componen el ADN de un ser vivo, que introduce cambios puntuales de tipo físico, fisiológico o de otra índole en el individuo, los cuales pueden o no ser heredados a sus descendientes.²⁹

Pesticida: Los pesticidas no solo sirven para matar insectos, también incluyen sustancias químicas para el control de hierbas, roedores, moho, gérmenes y otros.³⁰

Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR): consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como objetivo eliminar los contaminantes presentes en el agua efluente del uso humano.³¹

Principio Activo: es, por lo tanto, toda sustancia o mezcla de sustancias (de origen animal, vegetal o sintetizado de modo artificial por el hombre) utilizadas en la fabricación de un medicamento para ejercer una acción farmacológica, inmunológica o metabólica.³²

²⁷ Universidad Veracruzana, 2019. Cromatografía de Gases/Espectrometría de Masas (GC/MS).

²⁸ Infowine, 2005. Aplicación de la microextracción en fase sólida (SPME) al análisis de los vinos.

²⁹ Concepto.de, 2019. Mutación.

³⁰ MedlinePlus, 2019. Pesticida.

³¹ Mobius, 2017. ¿Qué es una PTAR – Planta de Tratamiento de Aguas Residuales?

³² Engenérico, 2017. Hablemos de medicamentos genéricos: el principio activo.

Productos farmacéuticos: son sustancias químicas sintéticas o naturales que se pueden encontrar en medicamentos recetados, de venta libre y veterinarios.³³

Progesterona: Es una hormona con efecto antiinflamatorio, antiproliferativo y prepara el endometrio para poder acoger el óvulo fecundado en caso de embarazo y es un neurotransmisor ya que estimula el sistema gabaérgico del cerebro que tiene efectos calmantes y relajantes, reduce la angustia, la impaciencia, regula tu tolerancia al estrés y, consecuentemente, condiciona nuestra salud emocional, nuestra conducta y la forma de enfrentar la vida.³⁴

Tensioactivos: Son las sustancias que disminuyen la tensión superficial de un líquido o la acción entre dos líquidos. Se encuentran en las sustancias sintéticas que se utilizan regularmente en el lavado, entre las que se incluyen productos como detergentes para lavar la ropa, lavavajillas, productos para eliminar el polvo de superficies, gel de ducha y champús.³⁵

Teratogénico: Se trata de un adjetivo que califica a aquello que provoca una deformación o una anomalía en el feto.³⁶

Triclosán: Es un antimicrobiano utilizado en algunos dentífricos, colutorios y otros productos de higiene personal, inhibe el crecimiento de bacterias y hongos.³⁷

Vitelogenina: Es una L-fosfolipa glicoproteína con alto peso molecular, característica de las hembras debido a su utilización en como vitelo en el ovocito, constituyendo una reserva energética para los primeros estadios de desarrollo del individuo.³⁸

³³ OMS, 2020. Agua Saneamiento e Higiene.

³⁴ Verdaguer, 2017. Progesterona.

³⁵ Aula Natural, 2015. Tensioactivos.

³⁶ Pérez y Merino, 2014. Teratogénesis.

³⁷ Corbella, 2018. Triclosán.

³⁸ Martínez, et al. 2013. Inducción a la síntesis de vitelogenina plasmática en machos de pejelagarto (*Atractosteus tropicus*) mediante el uso de 17 β Estradiol.

5.4. MARCO CONTEXTUAL.

5.4.1. Generalidades

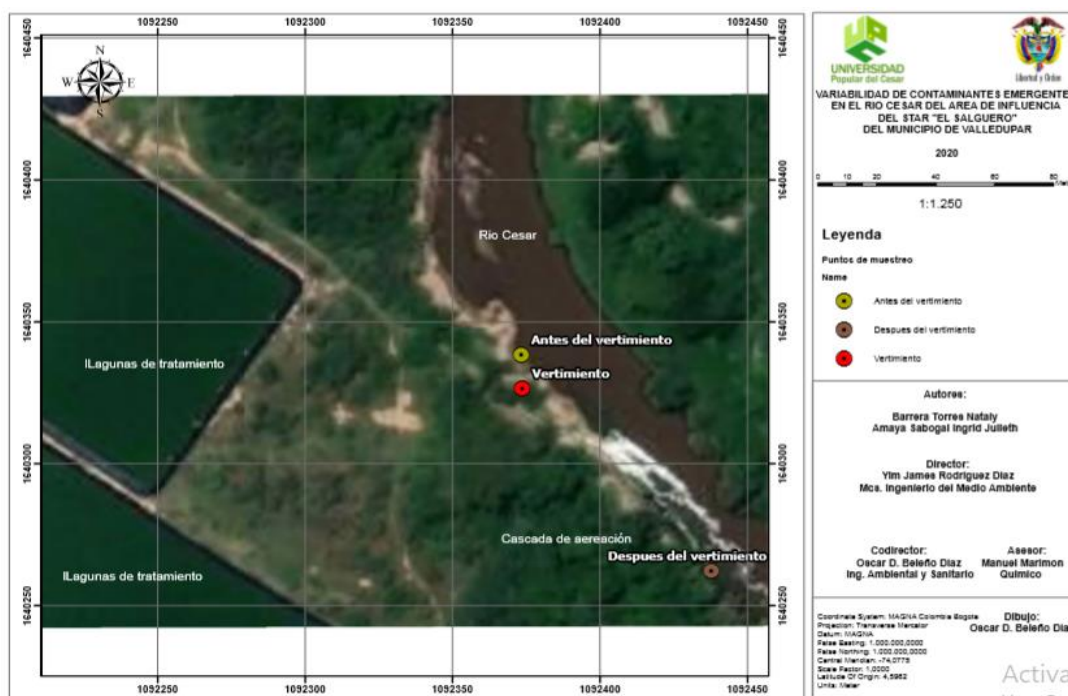
Colombia se destaca por ser uno de los países con mayor abundancia en el recurso hídrico, presentando un escurrimiento promedio mayor a $66,344 \frac{m^3}{s}$ en sus importantes regiones hidrográficas. En la región hidrográfica del norte de Colombia, presenta valores de $15,430 \frac{m^3}{s}$ de escurrimiento y acoge al macizo montañoso de la Sierra Nevada de Santa Marta, en el que aflora las fuentes de agua de corto trayecto, pero torrentosos, los cuales son empleados en el regadío y la generación de energías a través de hidroeléctricas. En esta cuenca se destacan los ríos Ranchería, Riohacha, Fundación y Cesar.³⁹

³⁹ Corporación Autónoma Regional del Cesar (Corpocesar), 2020. Caracterización e impactos ambientales por vertimientos en tramos de la cuenca media y baja del río Cesar, Valledupar.

5.4.2. Contexto.

Figura 6.

Zona de influencia del vertimiento puntual el STAR el Salguero al río Cesar.



Nota. En esta área se tomaron los 3 puntos de muestreo para la investigación de este proyecto. (Ver anexo 1). *Fuente:* Autores, 2021.

El nacimiento del Río Cesar se da a una altura aproximada de 1800 sobre el nivel del mar, recorriendo 79 706 km del departamento de la Guajira y abarca un área de 178 197,79 hectáreas.⁴⁰ El río Cesar, realiza su trayecto de 280 km entre los departamentos de La Guajira y el Cesar, sus ríos tributarios conforman una cuenca localizada al sureste de la Sierra Nevada de Santa Marta y al occidente de la

⁴⁰ Corporación Autónoma Regional de la Guajira (Corpoguajira), 2010. Registro de usuarios del recurso hídrico y reglamentación de la cuenca del río Cesar.

Serranía de Perijá que se extiende por una superficie aproximada de 1 776 900 hectáreas. La cuenca del río Cesar abarca 11 municipios donde inicia su recorrido en el municipio de San Juan del Cesar en La Guajira, dirigiéndose al sur, mojando el costado oeste de Villanueva, Urumita y La Jagua del Pilar, para después cruzar el Cesar, en su viaje por los municipios Valledupar, San Diego, La Paz, El Paso, Astrea, Chimichagua y Chiriguaná.

“Los municipios que conforman la cuenca hidrográfica presentan un promedio de 21 124 habitantes excluyen a Valledupar y la Jagua del Pilar”, según la tabla de población municipal en 2005 del Dane. En el Paso del río por el municipio de San Juan del Cesar, se encuentra a su margen izquierda un Parque Ecológico con 800 m de longitud⁴¹

Según Corpoguajira (2010) la actividad económica de los cuatro municipios que recorre la cuenca del río Cesar gira en torno a la agricultura y la ganadería. La ganadería está en forma extensiva. En el área se encuentran ovinos, bovinos, porcinos, caprinos y equinos. La actividad pesquera en toda la cuenca, es esporádica ya que depende de los cambios estacionales del caudal, la abundancia y localización de las especies.

El río Cesar luego de pasar por La Jagua del Pilar, entra al departamento del Cesar y sigue su recorrido hasta la Ciénaga de Zapatosa donde finaliza. Las principales actividades económicas del Cesar han sido la explotación de minas y canteras; la agricultura junto con la caza, la silvicultura y la pesca⁴² En el departamento del

⁴¹ Universidad de Pamplona (2009). Plan Básico de Ordenamiento Territorial. Documento Técnico de Soporte. San Juan del Cesar -La Guajira-.

⁴² Guzmán, (2013). La industria de lácteos de Valledupar: primera en la región

Cesar, los municipios de Valledupar y la paz, hacen vertimientos de aguas residuales en el río Guatapurí y este desemboca en el río Cesar ⁴³

En San Diego, las tierras del corregimiento están atravesadas al occidente por el río Cesar a una distancia de 300 metros de la población, dando a los residentes la posibilidad de pescar y obtener arena. En este corregimiento se destaca la ganadería extensiva, la agricultura, la venta de ladrillo y material de arrastre a los municipios de San Diego y Agustín Codazzi y la pesca. Las aguas del río Cesar en son usadas para el consumo de los animales.

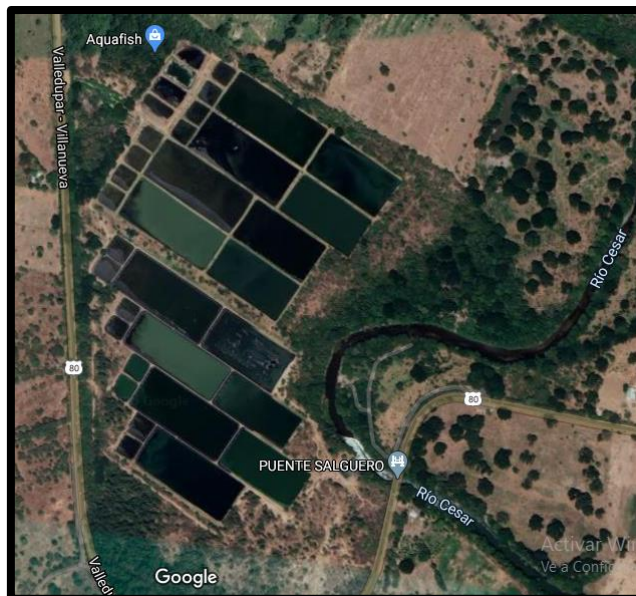
En el municipio de la Paz, Minguillo se utiliza como balneario, para alimentar el ganado y para la pesca, en donde abunda: el bocachico, el blanquillo, el comelón y el bagre. En tiempo de lluvias, el nivel del agua aumenta generando inundaciones. En casi todos los municipios las actividades económicas principales son la agricultura y la ganadería, excepto por El Paso y Chiriguaná, donde es la minería. En el Paso, el puerto Santa Elena se ubica al margen izquierdo del Río Cesar y es vecino de los puertos San Martín y Capricho. Astrea, en su corregimiento Santa Cecilia, presenta una quebrada llamada Arjona que confluye con el río, aportándole aguas residuales. Chiriguaná y Chimichagua son los últimos municipios en los que el río Cesar hace presencia, para fundirse en la Ciénaga de Zapatosa⁴⁴

Caribe.

⁴³ Universidad del Atlántico (2011). Caracterización e impactos ambientales por vertimientos en tramos de la cuenca media y baja del río Cesar, Valledupar.

⁴⁴ Guzmán, (2013). El río Cesar.

Ubicación del STAR el Salguero de Valledupar.



Nota. La imagen presenta posición del sistema de tratamiento El Salguero con respeto al trayecto del río Cesar. Adoptado de Google Earth. Fuente: Autor, 2021.

Sistema de Tratamiento de Agua Residual el Salguero.

Anteriormente Valledupar contaba con dos sistemas de tratamiento de agua residual, los cuales eran el Tarullal y el salguero. La planta Tarullal se creó por los años de 1983 para atender a una población de solo cien mil habitantes, pero en 1993 la población se había duplicado por lo que construyó un nuevo sistema lo suficientemente grande, que es el actual STAR el Salguero. (Guzmán Finol, 2013) El Tarullal recibía el 30% de las aguas residuales de la ciudad y el Salguero el 70%. Actualmente el Salguero recibe el 100% de las aguas residuales, Según Emdupar E.S.P.-S. A (2012):

El sistema de tratamiento de aguas Residuales EL SALGUERO, que vierte sus aguas tratadas directamente al río Cesar, se encuentra ubicado en el costado sur de la cabecera municipal, en inmediaciones de la llamada curva del Salguero, a unos 9 kilómetros del casco urbano de la Ciudad de Valledupar y a 116 m s. n. m; está constituida actualmente por una zona de cribado y desarenado, lagunas anaerobias, lagunas facultativas y de maduración. A esta se le descarga el mayor porcentaje de caudal de aguas residuales del acueducto del municipio de Valledupar.

Este sistema de tratamiento de aguas residuales del alcantarillado de la ciudad de Valledupar fue diseñado para una población final proyectada al año 2.015, de 360.000 habitantes, en dos módulos con capacidad para 180.000 habitantes cada uno presenta los siguientes procesos (p. 15):

Las aguas residuales procedentes de la ciudad, llegan a la planta de tratamiento, a través del colector final del alcantarillado, luego pasa a un aforador para la medición del caudal por medio de la canaleta Parshall, de allí hasta una división, donde el caudal de llegada se reparte en igual proporción hasta la zona de cribado. Las aguas residuales son conducidas hasta una estructura de entrada compuesta por cuatro módulos; cada uno de ellos consta de una estructura de cribado donde el agua pasa a través de un canal rectangular y allí atraviesa una rejilla metálica con una inclinación de 30°, donde quedan retenidos los sólidos gruesos, los cuales son removidos manualmente hacia una canaleta de escurrimiento, pasando por un aforador instalado donde se mide el caudal de las aguas residuales y posteriormente evacuados hacia la zona de disposición.(p. 16)

De la zona de cribado, el agua pasa a la unidad de desarenado, compuesta por cuatro módulos, cada uno de los cuales presentan dos cámaras de flujo horizontal, donde se retienen las partículas pesadas. Estos módulos de desarenado, están compuestos por dos canaletas parabólicas

de velocidad constante y disposición en paralelo, provistas de caja de fondo en donde se recolectan las arenas para su evacuación manual mediante palas y carretillas. (p. 19)

Las lagunas anaeróbicas se utilizan como primera fase en el tratamiento de aguas residuales, el agua procedente de los cuatro módulos de entrada, es conducida mediante tuberías de 27" y pendiente de 0.1% a cuatro módulos, compuestos cada uno de ellos por dos lagunas anaeróbicas en paralelo, una laguna facultativa y una de maduración. La tubería de 27" de diámetro que llega a los módulos anaeróbicos, se divide en dos ramales de 18" cada uno, los cuales disminuyen su diámetro hasta 12" en la medida en que permiten la entrada del flujo a las lagunas anaeróbicas; esta entrada se hace en tuberías de 12". Cada una de las lagunas anaeróbicas tiene cuatro metros de profundidad, de forma cuadrada con lados de 46 metros aproximadamente, cubriendo un área de 0.22 hectáreas. (p. 20)

Las lagunas anaeróbicas se interconectan con las lagunas facultativas por medio de tuberías de 12", con estructuras de entrada y salida en concreto armado. Estas lagunas tienen una profundidad de dos metros, forma rectangular. Los efluentes provenientes de las lagunas facultativas se interconectan por medio de tubería de 12" de diámetro y pendiente de 0.20%, para ser descargados a las lagunas de maduración, son 4 lagunas con un tiempo de retención de 5 días, remueve materia orgánica remanente en un porcentaje menor que las anaeróbicas. (p. 22)

En las lagunas facultativas pueden reconocerse tres zonas de descomposición:

- Una zona con oxígeno disuelto en la que predominan bacterias aerobias, especialmente en la parte superior de la laguna.

- Una zona con total ausencia de oxígeno disuelto, al fondo de la laguna, donde sedimenta gran parte de los sólidos suspendidos en el líquido: anaerobiosis.
- Una tercera zona intermedia en que el contenido de oxígeno disuelto puede ser muy variable y aun estar ausente.

Estas lagunas reciben el efluente de las lagunas facultativas tienen como objetivo primordial una mayor remoción de bacterias patógenas, virus, huevos de nemátodos intestinales, helmintos y áscaris lumbricoides, parásitos y demás organismos perjudiciales, permitiendo satisfacer la desinfección de las aguas residuales y garantizar así unos mejores caudales efluentes. Son 4 lagunas con un tiempo de retención de 5 a 10 días, profundidad de 1.5 y en cuanto a su aspecto físico, son muy similares a las facultativas, en forma y dimensiones. (p. 24)

Los barros generados durante el tratamiento de un líquido residual, generalmente no pueden ser dispuestos directamente. Esto se debe a dos características principales: el alto contenido de materia orgánica (susceptible de putrefacción) y el elevado contenido de agua, según el RAS 4 la humedad debe ser inferior al 70% (líquidos libres). (p. 26)

El tratamiento de lodos permite minimizar o evitar el impacto de características adversas, conservar nutrientes y preservar la salud y el medio ambiente. Dependiendo de cuál o cuáles sean los objetivos principales del tratamiento, será la metodología utilizada para el tratamiento de lodos el cual comprende las siguientes etapas. (p. 27):

- Espesamiento
- Estabilización
- Secado

Como se mencionó anteriormente, este colector está construido en tubería American Pipe de un metro de diámetro. En su recorrido actual de aproximadamente 500 m, transportando el agua residual tratada conducida hasta el efluente. Después de ser tratada, el agua residual debe ser evacuada al medio ambiente o reutilizada. El método más común para la evacuación de los efluentes tratados se basa en el vertido y dilución en corrientes, ríos, lagos, estuarios o en el mar. Para evitar impactos ambientales adversos, la calidad de los efluentes tratados y vertidos debe ser coherente con los objetivos locales en materia de calidad de agua. Los efluentes procedentes de las lagunas nuevas se vierten directamente al río Cesar, aproximadamente a unos 300 m aguas arriba del Puente Salguero. (p. 29)

Tabla 4.

Estimación del ICA en las fuentes receptoras de los STAR tarullal y salguero.

Cuerpo de agua	Uso como agua potable	Uso en agricultura	Uso en pesca y vida acuática	Uso industrial	Uso recreativo
Río Cesar (Aguas arriba y aguas abajo).	Tratamiento potabilizador necesario.	Utilizable en la mayoría de cultivos.	Dudosa la pesca sin riesgo de salud.	No requiere tratamiento para mayoría de industrias que requieran alta calidad de agua para operación.	Restringir los deportes de inmersión, precaución si se ingiere dada la posibilidad de presencia de bacterias.
Río Guatapurí (Aguas arriba /aguas abajo).	Purificación menor requerida/ Dudoso consumo sin purificación.	Purificación menor para cultivos que requieran de alta calidad de agua.	Pesca y vida acuática abundante.	Purificación menor para industrias que requieran de alta calidad de agua.	Cualquier tipo de deporte acuático.

Nota. ICA es el Índice de Calidad del Agua que señala el grado de calidad de un cuerpo de agua, en términos del bienestar humano independiente de su uso. Adaptado de: Emdupar S.A, 2011.

5.5. MARCO LEGAL.

Constitución de 1991.

Su propósito es el de asegurar al pueblo de Colombia la vida, punto de partida de la protección al medio ambiente como lo acepta buena parte de la doctrina especializada, por tanto, las normas ambientales son esenciales para el cumplimiento de esta garantía constitucional.

Art. 8. Riquezas culturales y naturales de la Nación. Es obligación del Estado y de las personas proteger las riquezas culturales y naturales de la Nación.

Art. 79. *Ambiente sano.* Consagra el derecho de todas las personas residentes en el país de gozar de un ambiente sano.

Art. 80. *Planificación del manejo y aprovechamiento de los recursos naturales.* El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución.

Art. 95. *Protección de los recursos culturales y naturales del país.* Establece como deber de las personas, la protección de los recursos culturales y naturales del país y velar por la conservación de un ambiente sano.

Tabla 5.

Normatividad recurso agua.

CLASE DE NORMA	NÚMERO	DESCRIPCIÓN
LEY	23 de 1973	Principios fundamentales sobre prevención y control de la contaminación del aire, agua y suelo y otorgó facultades al Presidente de la República para expedir el Código de los Recursos Naturales
LEY	99 de 1993	Funciones de Min ambiente para establecer normas de prevención y control y deterioro ambiental
DECRETO	1449 de 1977	Disposiciones sobre conservación y protección de aguas, bosques, fauna terrestre y acuática
DECRETO	1541 del 1978	La conservación de las aguas y sus cauces, en orden a asegurar la preservación cualitativa del recurso y a proteger los demás recursos que dependan de ella
DECRETO	1681 de 1978	Sobre recursos hidrobiológicos, especialmente para asegurar la conservación, el fomento y el aprovechamiento de los recursos hidrobiológicos y del medio acuático
DECRETO	79 de 1986	Conservación y protección del recurso agua
DECRETO	1575 de 2007	Establecer el sistema para la protección y control de la calidad del agua, con el fin de monitorear, prevenir y controlar los riesgos para la salud humana causados por su consumo.
DECRETO	1076 de 2015	Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible."

CLASE DE NORMA	NÚMERO	DESCRIPCIÓN
RESOLUCIÓN	631 de 2015	Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.

Fuente: Constitución Política Colombiana, 1991.

Fuente: Autores, 2021.

Tabla 6.

Normatividad biodiversidad.

CLASE DE NORMA	NÚMERO	DESCRIPCIÓN
LEY	611 de 2000	Por la cual se dictan normas para el manejo sostenible de especies de Fauna Silvestre y Acuática.
DECRETO	1608 de 1978	Regula la preservación, conservación, restauración y fomento de la fauna.

Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Fuente: Autores, 2021.

Tabla 7.

Normatividad referente a fármacos.

CLASE DE NORMA	NÚMERO	DESCRIPCIÓN
RESOLUCIÓN	0371 de 2009	Por la cual se establecen los elementos que deben ser considerados en los Planes de Gestión de Devolución de Productos Pos consumo de Fármacos o Medicamentos Vencidos.

Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Fuente: Autores, 2021.

Tabla 8.

Normatividad referente a pesticidas, plaguicidas.

CLASE DE NORMA	NÚMERO	DESCRIPCIÓN
LEY	09 de 1979	Sobre uso y manejo de plaguicidas.
DECRETO	557 de 1957	Que reglamenta el registro de pesticidas destinados al servicio de la agricultura
DECRETO	502 de 2003	Se dictaron normas para llevar el registro y control de los plaguicidas químicos de uso agrícola y el responsable de velar por el cumplimiento de la Decisión, su Manual Técnico y el presente Decreto.
RESOLUCIÓN	3079 de 1995	Por la cual se dictan disposiciones sobre la industria, comercio y aplicación de bioinsumos y productos afines, de abonos o fertilizantes, enmiendas, acondicionadores del suelo y productos afines; plaguicidas químicos, reguladores fisiológicos, coadyuvantes de uso agrícola y productos afines.

Fuente: ICA, 2006.

Fuente: Autores, 2021.

6. MARCO METODOLÓGICO.

En el Marco Metodológico se ordena y desarrolla cada etapa de la investigación; que a su vez conlleva actividades en donde se le da solución a cada objetivo, propuesto al inicio de este proyecto. Según (Riquelme 2018):

La función de la metodología de la investigación como herramienta de trabajo es otorgarles vigor y severidad científica a los resultados alcanzados en el proceso de estudio. Así mismo, como parte de un proyecto, la metodología de la investigación tiene la función de exponer y describir los criterios que se adoptarán según la elección del método de trabajo y la exposición de las razones que dan pie a dichos procedimientos, siendo los más calificados para emprender el estudio del objetivo.

6.1. LÍNEA Y SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN.

De acuerdo al desarrollo de la investigación que se basa en la identificación de contaminantes y determinación de los parámetros físico-químicos, para exponer el impacto que ocasiona las aguas residuales vertidas, en este caso, al río Cesar; Se toma la línea de investigación del programa: **Sostenibilidad y Gestión Ambiental** y la sublínea de investigación **Gestión Integral del Recurso Hídrico** con el eje temático de **Bioindicadores de la calidad del agua**.

6.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN.

Según Supo (2012), afirma que la intervención del investigador puede ser:

- ✓ Observacional: No existe intervención del investigador; los datos reflejan la evolución natural de los eventos, ajena a la voluntad del investigador

✓ Experimental: Siempre son prospectivos, longitudinales, analíticos y de nivel investigativo “explicativo” (causa –efecto); además de ser “controlados”.

Entonces de acuerdo con lo anterior, este proyecto se encamino a **una investigación experimental**.

6.3. NIVEL DE INVESTIGACIÓN.

El nivel de investigación se refiere a la magnitud de profundidad que conlleva el estudio de un tema de investigación determinado, en donde se examina la apariencia del objeto de estudio. A si mismo Supo (2012) clasifica el nivel de investigación de la siguiente forma:

1. Exploratorio: Se plantea cuando se observa un fenómeno que debe ser analizado, por tanto, es fenomenológico; su función es el reconocimiento e identificación de problemas. Desestima la estadística y los modelos matemáticos, se opone al estudio cuantitativo de los hechos, por tanto, es hermenéutico. Se trata de investigación cualitativa.
2. Descriptivo: Describe fenómenos sociales o clínicos en una circunstancia temporal y geográfica determinada. Su finalidad es describir y/o estimar parámetros. Se describen frecuencias y/o promedios; y se estiman parámetros con intervalos de confianza.
3. Relacional: No son estudios de causa y efecto; solo demuestra dependencia probabilística entre eventos.
4. Explicativo: Explica el comportamiento de una variable en función de otra(s); por ser estudios de causa-efecto requieren control y debe cumplir otros criterios de causalidad. El control estadístico es multivariado a fin de descartar asociaciones aleatorias, casuales o espurias entre la variable independiente y dependiente.

5. Predictivo: Se encarga de la estimación probabilística de eventos generalmente adversos, de ocurrencia como la enfermedad o en función al tiempo como el tiempo de vida media. Se aplican técnicas estadísticas específicas.

El nivel de investigación de este proyecto se ajusta a un estudio mixto en donde se implementó una metodología **exploratoria y explicativa**.

6.4. POBLACIÓN DE ESTUDIO.

La población hace referencia al conjunto total de objetos, individuos o medidas que presentan algunas características comunes que son observables en un lugar y en un momento determinado. Las características fundamentales al escoger la población de estudio según Wigodski (2010) son las siguientes:

- ✓ **Homogeneidad** - que todos los miembros de la población tengan las mismas características según las variables que se vayan a considerar en el estudio o investigación.
- ✓ **Tiempo** - se refiere al periodo de tiempo donde se ubicaría la población de interés. Determinar si el estudio es del momento presente o si se va a estudiar a una población de cinco años atrás o si se van a entrevistar personas de diferentes generaciones.
- ✓ **Espacio** - se refiere al lugar donde se ubica la población de interés. Un estudio no puede ser muy abarcador y por falta de tiempo y recursos hay que limitarlo a un área o comunidad en específico.
- ✓ **Cantidad** - se refiere al tamaño de la población. El tamaño de la población es sumamente importante porque ello determina o afecta al tamaño de la muestra que se vaya a seleccionar, además que la falta de recursos y tiempo también nos limita la extensión de la población que se vaya a investigar.

En este caso, *la población objeto* de estudio al corresponder a un espacio, será la **Cuenca del Río Cesar**.

6.5. MUESTRA POBLACIONAL.

La muestra poblacional seleccionada de la Cuenca del río Cesar fue 11.60 metros antes y 90.40 metros después del punto de vertimiento del Sistema de Tratamiento de Agua Residual.

6.6. DESARROLLO METODOLÓGICO.

Etapas 1: Identificación de presencia de contaminantes emergentes (Ibuprofeno, Etinilestradiol, Bis-fenol A, Progesterona, Gemfibrozil, Cafeína, Triclosán y Carbamazepina) a través de la técnica HPLC; antes, durante y después del vertimiento puntual del Sistema de Tratamiento de Agua Residual el Salguero al río Cesar.

Toma de Muestra.

Ya en las instalaciones, se ubicó los 3 puntos de muestreo: **ESTACIÓN 1 (E1):** 11,60 metros antes del vertimiento, **ESTACIÓN 2 (E2):** Canaleta Parshall (Vertimiento de las Aguas Residuales) y **ESTACIÓN 3 (E3):** 90.40 metros después del punto E2; en donde se procedió a la toma de las muestras. Se cogió dos muestras de agua, la primera muestra de 2 litros para los análisis fisicoquímicos y la segunda de un litro para la detección de los Contaminantes Emergentes. Todas debidamente rotuladas y conservadas en un contenedor (cava de icopor) a una temperatura de 4° C. Las alícuotas de 2 L fueron envasadas en recipientes plásticos y las de un litro en envases de vidrio, envueltas en papel aluminio, las cuales permanecieron de ese modo hasta ser analizadas.

El proceso de las muestras recogidas de los análisis de C.E. se llevó a cabo según el método 525.2 de la Environmental Protection Agency [EPA] (1995).

Con el fin de identificar ciertos parámetros fisicoquímicos, en cada estación, se recolectó datos sobre las características in situ como conductividad, pH, temperatura, el uso del agua, entre otras (Anexo 2 y 3).

Toma de datos para la Caracterización Biofísica del río Cesar.

Para esta actividad se realizó las mediciones del caudal del río Cesar con la ayuda de implementos como metros y varilla de hierro para la obtención del área transversal; un molinete y flotador para el valor de la velocidad y la colaboración de personas que se encontraban en una chalupa cerca del área de influencia, practicando la actividad de pesca.

Área Transversal

Para la mensuración del área transversal del punto E1 en la primera salida de campo (temporada de lluvia) se procedió a medir varios segmentos desde la orilla hasta el otro lado del Río, obteniendo 5 mediciones de la profundidad y el valor del ancho del lecho. En el caso de la segunda salida de campo (temporada de sequía) en el mismo punto, se tomó 7 datos de profundidad y la respectiva longitud transversal del cauce (anexo 4). En el punto E3 solo se hizo la medición del área transversal en la temporada de lluvias (anexo 5).

Análisis de las Muestras en los laboratorios.

Laboratorio de toxicología y gestión ambiental - U. de Córdoba.

Extracción de las muestras de agua

En las instalaciones de la Universidad de Córdoba, los análisis se efectuaron según la metodología utilizada por Santos et al. (2005) en que se procedió a apartar un volumen de 500 ml de la alícuota, para ser filtrada mediante filtros de membrana de cuarzo de 0,45 μm y se realizó la extracción de la muestra en fase sólida (SPE) con

cartuchos de octadecilo (C18) adecuados con acetato de etilo, acetonitrilo y agua de un pH 2. El extracto eluido con una mezcla de proporciones 50:50 de diclorometano y acetonitrilo, se llevó a sequedad en corriente de nitrógeno en donde se concentra.

Análisis Cromatográficos

Para finalizar se llevó el extracto al Cromatógrafo líquido de Ultra – Alta Eficacia (UHPLC) Dionex Ultimate 3000 de Thermo Scientific, el cual cuenta con una bomba cuaternaria, un automuestreador Splitloop con compartimientos de columna termostatzado, detector de arreglo de diodos (DAD) y detector de fluorescencia (FLD). Al momento de analizar el bis-fenol A, Etinilestradiol y la Progesterona se utilizó una columna cromatográfica C16 de 150mm de longitud, 4,6mm ID y 5 µm de tamaño de partícula marca Aclaim (USA) y para el caso del ibuprofeno, gemfibrozilo, cafeína, carbamazepina y triclosán, una columna C18 de 150mm de longitud, 4,6mm ID y 5 µm de tamaño de partícula de Restek. Todos estos CE se llevaron a cabo en fase inversa en la que se efectuó en elución isocrática con agua y acetonitrilo. Para el análisis de datos se empleó el software Chromeleon 7.0.

Laboratorio Química Sanitaria - U. Popular del Cesar.

Para ciertos análisis fisicoquímicos, se emplearon equipos como el Medidor Orión Star A215 de Thermo Scientific para la medición de pH, temperatura y Conductividad y el tubímetro HACH 2100AN. EPA 180 para los valores de la turbiedad. Para el propósito de la cuantificación del Cloruro en la muestra de agua se realizó el método de Mohr. En el caso de los parámetros de dureza, demanda química de oxígeno (DQO), alcalinidad total, solidos sedimentables, solidos suspendidos totales, solidos fijos y volátiles, la preparación de los reactivos para los 3 primeros parámetros y los procedimientos empleados fueron tomados del Standard Methods (2005):

Dureza Total: Volumétrico con EDTA, SM 2340C.

Demanda Química de Oxígeno (DQO): Reflujo Cerrado y Volumetría, SM 5220C.

Alcalinidad total: Volumétrico, SM 2320B.

Sólidos sedimentables: Volumétrico, Cono Imhoff, SM 2540F.

Sólidos suspendidos totales: Gravimétrico – Secado a 103-105°C, SM 2540B.

Sólidos fijos y volátiles: Gravimétrico – encendido a 550°C SM 2540E.

6.7 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.

El proyecto de investigación realizado en campo, no obedece a ningún diseño experimental debido a que no se tomó muestras durante todas las temporadas de lluvias del año (repetición del experimento), en cambio se obtuvo repeticiones de una misma alícuota lo que conduce a una caracterización en los puntos Antes, Durante y Después del Vertimiento Puntual del STAR El Salguero. Con esto se realizó el levantamiento de línea base de una de las características del agua como son los contaminantes emergentes en los puntos tomados en el río Cesar.

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Para el desarrollo investigativo de este estudio las muestras analizadas fueron tomadas en dos fechas: 12 de Diciembre de 2019 y 1 de Marzo de 2020, que corresponden a los meses de temporada de lluvias y de sequía, respectivamente.

7.1 CONTAMINANTES EMERGENTES

Tabla 9.

Detección y concentración de CE's encontrados en época de lluvia y sequía.

Parámetros (µg/L) / Estaciones	LCM (µg/L)	Época Lluviosa				Época Seca			
		E1	E2	E3	Media	E1	E2	E3	Media
Ibuprofeno	0,01	LID	LID	LID	LID	0,94	LID	LID	0,319
Etinilestradiol	0,01	LID	LID	LID	LID	LID	LID	LID	LID
Bis-fenol A	0,002	0,016	0,443	0,248	0,236	LID	LID	0,61	0,205
Progesterona	0,004	LID	LID	0,989	0,332	LID	LID	LID	LID
Gemfibrozilo	0,002	LID	LID	0,023	0,009	0,37	1,24	LID	0,537
Cafeína	0,004	LID	10,74	2811	940,581	LID	0,79	0,72	0,505
Triclosán	0,004	0,081	0,743	0,189	0,338	LID	0,91	0,24	0,385
Carbamazepina	0,004	0,125	LID	LID	0,0443	LID	0,3	0,19	0,165

Nota. *La media para cada contaminante se obtuvo tomando los respectivos valores mínimos al

LCM.* LID: Límites inferiores a los detectados. LCM: límites de cuantificación mínima. *Fuente:* Autores, 2021.

En la *Tabla 9*, se presenta las concentraciones del grado de µg/l de los CE's que se encontró en las muestras de agua de las dos épocas. En ella se puede observar que ciertas sustancias emergentes no fueron detectadas, esto no supone la

inexistencia del contaminante, sino que se encuentra en concentraciones de orden de ng/l (Madera y Vilorio, 2020). No existe un valor estandar de detección para los emergentes, esto, según Montagner y Jardim (2011):

Los valores límites de detección dependen tanto del tipo de detector utilizado como del factor de concentración proporcionado por el paso de extracción en fase sólida. Así, matrices más complejas, como las muestras de agua de ríos y lagos, así como las aguas residuales, dictan el volumen de muestra para la extracción y, en consecuencia, los valores de límites de detección y cuantificación. (Pág. 1457)

Durante las dos épocas se puede observar la detección de sustancias como el ibuprofeno, etinilestradiol, bis-fenol A, progesterona, gemfibrozilo, cafeína, triclosán y carbamazepina. Para el análisis de este estudio se tuvo en cuenta el ibuprofeno y la progesterona, a pesar de que muestran un solo dato de concentración en alguna de las dos temporadas y límites inferiores a los detectados (LID) de 0,01 y 0,004, respectivamente en las temporadas seca y lluviosa. El CE etinilestradiol por presentar LID no se puede saber con certeza cuál es la variabilidad de concentración en las tres estaciones de muestreo, tanto en las dos temporadas estudiadas.

En los valores arrojados por dichos análisis, se puede apreciar que destaca la concentración de 2811 µg/l de cafeína en la Estación 3 dado que dista en gran medida con las demás concentraciones de CEs en las dos temporadas. Según Zarrelli A et al (2014) la cafeína está presente en aguas residuales debido a su alta solubilidad y persistencia, por lo que es utilizado como indicador de contaminación antropogénica. En la temporada Seca, quien muestra un valor alto es el gemfibrozilo (1,24 µg/l) en estación 2 y en segundo lugar el ibuprofeno (0,94 µg/l) en la E1.

En ese sentido si comparamos la concentración de la cafeína en las diferentes estaciones estudiadas (E1, E2 y E3), se puede observar que la cafeína presenta mayores concentraciones a partir del punto de vertimiento del STAR El Salguero (E2) con 10,74 $\mu\text{g/l}$ en temporada lluviosa y 0,79 $\mu\text{g/l}$ en temporada seca, esto se presenta debido a la influencia de la densidad de población, y núcleos de habitantes cercanos al medio fluvial quienes a través del consumo de alimentos, medicamentos o bebidas que contienen esta sustancia como es la cafeína, excretan hacia los conductos de aguas residuales que llevan a los sistemas de depuración de aguas residuales ineficientes o los cuerpos de agua (Dafouz y Valcárcel, 2017).

Teniendo en cuenta que la cafeína en la E1 de las temporadas de lluvia y sequía presentan LID y que su LCM es de 0,004, podemos decir que valores menores a este, se pueden encontrar en un 70,38% menor que los valores máximos encontrados en la provincia de Madrid (13,167 ng/l) para aguas superficiales. Caso contrario sucede en las Estaciones 2 y 3 que presentan 10,74 y 2811 $\mu\text{g/l}$ para temporada de lluvia; 0,79 y 0,72 $\mu\text{g/l}$ para época de sequía, y los cuales superan en gran medida un 99,73% de la máxima concentración hallada en la provincia de Sevilla (3,840 ng/l) (Dafouz y Valcárcel, 2017) esto puede explicarse debido a la diversidad ecosistematica referenciada en el tipo de cuenca hidrografica y sus características, la concentración poblacional y el uso de suelo.

El gemfibrozilo presenta concentraciones por debajo del LCM para E1 y E2, con respecto a la E3 una concentración de 0,023 $\mu\text{g/l}$, según Abellán Soler et al. (2013) fue este el comportamiento que se observó en muchos estudios realizados en donde se muestran mayor concentración de este contaminante en los efluentes. En temporada de sequía, se presenta una conducta diferente en el que se encuentra concentraciones en las dos primeras estaciones pero en la E3 los valores son menores al límite de cuantificación mínima. En el estudio de Grenni et al. (2012) explica que este compuesto tiende a fijarse a los sedimentos ya que presenta un coeficiente de partición agua-octanol en equilibrio - Kow (4.77) y que además es

persistente en el medio por su baja biodegradabilidad; razón por la que se presenta ese comportamiento en época seca.

Al observar la *tabla 9* se puede determinar que el resultado de la concentración media de la carbamazepina para temporada de sequía (165 ng/l) supera las concentraciones en uno de los puntos estudiados en la fuente del río Apatlaco con resultado de 90 y 54 ng/l para el año 2015 y luego 62 y 19 ng/l para el siguiente año; resultados diferentes se encuentra en temporada de lluvia con una concentración de 44,3 ng/l comparada con la encontrada en la fuente del río Apatlaco (Rivera Jaimes, 2018). Aceña (2017) encontró la presencia de la carbamazepina, estudiando la bilis de los peces Carpa (*Cyprinus carpio*) y Barbus del Ebro (*Barbus graellsii*). Esto comprueba que puede generarse un impacto en la cadena trófica de los ecosistemas acuáticos cuando hay presencia de este CE.

El triclosán por otra parte se detecta en la época de lluvias con una concentración de 0,081 µg/l (E1) mientras que en época de sequía no es detectado por el equipo, esto se debe según Bermudez y Torres (2019) a que el Triclosán a temperaturas mayores de 25°C no presenta solubilidad en el medio, por lo que se suspende en el agua cuando esta se encuentra en reposo. El estudio de Gibson et al. (2007) demuestran que la infiltración del agua residual que presenta este compuesto, sobre pasa la zona vadosa del suelo y puede llegar al acuífero. Montes de Oca (2019) afirma que el triclosán tiene un efecto tóxico en concentraciones muy bajas que inhibe el crecimiento de bacterias como *Staphylococcus aureus* la cual es anaerobia facultativa.

Para el caso del Etinilestradiol EE2 que presentan límites inferiores a los detectados en las tres estaciones tanto para clima húmedo como para el clima seco, sus condiciones en el cuerpo de agua son de larga duración, ya que se categoriza como el más persistente del grupo de los estrógenos, debido a su baja tasa de fotodegradación y a una vida media aproximada de 17 días (Cunha, et al., 2016).

De acuerdo con la Directiva Marco del Agua (Directiva 2000/60/CE), el etinilestradiol debe presentar como limite máximo aceptable una concentración de 0,035 mg/l, a nivel de la Unión Europea (Rivera Jaimes, 2018).

El Ibuprofeno se detectó a una concentración de 0,94 µg/l para el antes del vertimiento en temporada de sequía, este valor supera en un 25,5% la concentración máxima (0,7 µg/l) registrada en el afluente de la planta de tratamiento de agua potable, La Florida Pereira, debido a los vertimientos del sistema de Tanque séptico-filtro anaerobio de la zona rural al río Otún (Arrubla et al., 2016), situación parecida a este estudio en el que aguas arriba del río Cesar, se encuentra el vertimiento del STAR Empaz. Los efectos del ibuprofeno sobre microalgas como la *Scenedesmus rubescens* son negativos en el crecimiento de dichos microorganismos cuando se presenta concentraciones de 1000 µg/l. (Moro et al., 2014). En hongos (*Sacharomyces cerevisiae*) y Bacterias (*Bacillus subtilis* y *Staphylococcus aureus*) no produce ninguna toxicidad. (Montes de Oca, 2019)

En la investigación de Gonçalves et al. (2019) las 3 campañas que se hizo al agua cruda del sistema de suministro de la ciudad de Porto Alegre, presentó variaciones en las concentraciones de bisfenol A de 3,76; 76,16 y 45,67 µg L⁻¹, en cambio en este estudio se determinó una concentración de 0,016 µg/l (E1) en temporada de lluvia. Este hecho puede estar asociado a que a la hora de muestrear en el punto de recolección se generó mayor cinética en el fluido resuspendiendo los sólidos sedimentados. El bisfenol A también presenta alteraciones en el crecimiento de microalga como lo es la *Tetraselmis Suecica* cuando la temperatura va en aumento, produciendo daños mayores en los pigmentos fotosintéticos (clorofila a y b y carotenoides) (Lorenzo, 2018).

Durante las dos épocas, solo fue detectada la progesterona después del punto de vertimiento (0,989 µg/l) en temporada de lluvia, en los demás puntos de muestreo se considera que se encuentra en cantidades más bajas del 0,004 µg/l. La

concentración de la estación 3 supera en un 53,3% el valor de 0,462 $\mu\text{g/l.}$, la cual se estima que afecta la supervivencia de las larvas de peces después de 28 días de haber eclosionado (Overturf et al., 2014). Esta Hormona esteroide que puede ser sintética (levonorgestrel) o natural (producida por la mujer) es encontrada en los cuerpos de agua por el vertimiento de aguas no tratadas, así como la gran mayoría de los contaminante hallados es esta investigación.

7.2 PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS.

7.2.1 Antes del vertimiento (E1).

En la *tabla 10.* se observa que el pH antes del punto de vertimiento se encuentra con valores neutros con tendencia a básico, sin embargo, el pH está ubicado dentro de los rangos aceptables para mantener la vida acuática; de acuerdo con Roldan (2003) el intervalo de la concentración adecuado para la proliferación y desarrollo de la vida acuática es bastante estrecha y crítico, la mayoría de los animales acuáticos prefieren un rango de pH de 6.5 a 8.0, fuera de este rango se reduce a la diversidad por estrés fisiológico y la reproducción. Además, hay que añadir que el pH cumple con el decreto 1594 de 1984.

Tabla 10.

Parámetros fisicoquímicos antes del punto de vertimiento del STAR el Salguero.

Parámetros	Unidades	Resultado	Resultado	Decreto 1594/84	Cumplimiento	
		T. Lluvia	T. Sequía		T. Lluvias	T. Sequía
pH	S.U.	7,9	7,45	4,5 – 9	Cumple	Cumple
Temperatura	°C	23,3	27,6	N.E.	S.E.	S.E.
Conductividad	µs/cm	447,204	326,177	N.E.	S.E.	S.E.
Turbidez	NTU	9,11	3,84	N.E.	S.E.	S.E.
Dureza total	mg/l de CaCO ₃	257,228	192,171	N.E.	S.E.	S.E.
Dureza cálcica	mg/l de CaCO ₃	151,468	139,791	N.E.	S.E.	S.E.
Dureza magnésica	mg/l de CaCO ₃	105,761	52,380	N.E.	S.E.	S.E.
Demanda Química de Oxígeno	mg O ₂ /l	100	186,67	N.E.	S.E.	S.E.
Cloruro	mg/l de CaCO ₃	0,333	0,999	N.E.	S.E.	S.E.
Alcalinidad	mg/l de CaCO ₃	38,034	50,044	N.E.	S.E.	S.E.
Sólidos suspendidos totales	mg/l	218,333	85	N.E.	S.E.	S.E.
Sólidos fijos	mg/l	180,072	75	N.E.	S.E.	S.E.
Sólidos volátiles	mg/l	38,261	10	N.E.	S.E.	S.E.

Nota. S.E.: Sin Establecer; N.E.: No Especificado; S.U.: Sin Unidad. *Fuente:* Autores, 2021.

La temperatura para este punto de muestreo E1 se tuvo de 23,3°C para el clima humedo y 27,6°C para clima seco, lo cual es de esperarse por las condiciones ambientales en donde se ubica la fuente hídrica. Dentro de la normatividad colombiana no se tiene establecido la temperatura permisible en los cuerpos de agua. Sierra (2011) propone una temperatura menor a 35° como idonea para una estabilidad ecologica; relacionando las temperaturas encontradas de las dos temporadas con esta, se asegura que se encuentra dentro del limite establecido. La variacion de la temperatura provoca cambios en el desarrollo de las comunidades acuaticas, aumentando el potencial tóxico de posibles sustancias disueltas en el cuerpo de agua. (Gualdrón Durán, 2016).

Según Gualdrón Durán (2016), los parámetros como la turbiedad y solidos suspendidos afectan la producción primaria de los organismos fotosintéticos la cual es la fuente de alimentación de los organismos acuáticos, reduciendo la llegada de los rayos solares a estas. En este estudio, la turbiedad presenta valores de 9,11 y 3,84 NTU para la temporada de lluvias y de sequia respectivamente. Según Sierra (2011) los resultados estadísticos de estas variables en ríos de Colombia, aportan un rango entre 4 a 126 NTU. Tomando este límite mínimo y máximo se puede asegurar que los valores de esta investigación se aproxima y entran a dichos datos.

Por otro lado, la dureza total presenta valores en temporada de lluvia de 257,228 mg/l de CaCO₃ superando este en un 25,3% la concentración de la temporada de sequía (192,171 mg/l). Al comparar la dureza total con el decreto 1594/84 se encuentra con que no se tiene especificado limites admisibles sobre este parámetro. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS) esta agua se puede considerar muy dura para la temporada humeda y seca, ya que supera la concentracion límite de 180 mg/l.

La conductividad en este punto de muestreo sobrepasa el rango determinado por Sierra (2011) que se encuentra entre 30 y 60 $\mu\text{S}/\text{cm}$, además de que la mayor conductividad se registró en temporada de lluvia presentando un valor de 447,204 $\mu\text{S}/\text{cm}$, superando en un 27% la conductividad de sequía, presentando más sales ionizadas (cloruro, iones de sodio, carbonatos, etc.).

Observando la tabla 10, la dureza cálcica y magnésica presentan un comportamiento normal en el sentido que se encuentra en mayor proporción la primera de la segunda. Los valores altos de estos parámetros (151,468 y 105,761 mg/l de CaCO_3 , respectivamente) se encuentra en la temporada de lluvia. Estos no presentan valores permisibles en el decreto 1594/84, por lo que no se puede entablar una discusión si sobrepasa o no los límites permisibles de la norma.

En cuanto a la DQO, este parámetro es la medida que indica la cantidad de oxígeno consumido por microorganismos, por medio del proceso de oxidación, que genera la degradación de la materia orgánica a productos inorgánicos (Herrera, 2020). La DQO presentó un valor de 100 y 186,67 mg de O_2/l para la época de lluvia y sequía respectivamente. Debido a que no existe una concentración establecida en el decreto 1594 de 1984, no se pudo determinar si sobrepasa o no la normatividad, pero de acuerdo a un estudio realizado en el área de influencia del STAR El Salguero por Cantillo et al. (2014), la demanda química de oxígeno antes del vertimiento dio una concentración de 55 mg de O_2/l , por lo que se puede decir que las concentraciones iniciales supera en un 45% y 70,54% respectivamente a la última carga.

En lo que se refiere al cloruro del agua, de acuerdo con la información de la tabla 10 este parámetro en época de lluvia fue de 0,333 mg/L y en verano 0,999 mg/L, teniendo en cuenta estos datos y de acuerdo con Osorio y Céspedes (2000) en aguas

naturales, las concentraciones típicas de cloruro están en el orden de 1mg/L a 100mg/L, esto quiere decir que el cloruro está dentro de los rangos permitidos. Por otro lado, la alcalinidad en las dos épocas del año (38,034 y 50,044 mg/l de CaCO_3 para Temp. de lluvia y Temp. Seca, respectivamente) son bajos y se encuentra dentro del rango en que Núñez y Reyes (2016) plantean en general, sobre los valores de alcalinidad en aguas tropicales (menores a 100 mg/L).

7.2.2 Punto de vertimiento (E2).

En la tabla 11 se observa que el parámetro pH presenta un valor más alto en época de lluvia que en sequía, sin embargo, para las dos épocas del año este parámetro cumple con lo estipulado en la resolución 0631 del 2015. Teniendo en cuenta los resultados, el pH del vertimiento es neutro con tendencia a la alcalinidad, de acuerdo con Hernández (2017) entre más alcalina es el agua tiene mayor capacidad para reaccionar con un ácido, esto se debe generalmente a la presencia de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos.

Por otra parte, Núñez y Reyes (2016) afirman que la temperatura está determinada por la cantidad de energía calórica que es absorbida por un cuerpo de agua y su valor depende de la profundidad y hora de toma. Esta variable juega un papel fundamental en todos los procesos biológicos, así como en el comportamiento de otras variables fisicoquímicas como pH, O.D, conductividad, entre otras. Con relación a los resultados, se pudo constatar que para la temporada de lluvias la temperatura fue de 24,67°C, y en sequía alcanzó los 27,8°C lo cual representa un aumento propio de la época del año. Estas temperaturas son las adecuadas según Sierra (2011) para el desarrollo de microorganismo que habitan en ecosistemas lóticos por lo cual el vertimiento no está afectando desde este punto de vista.

Tabla 11.

Parámetros fisicoquímicos en el punto de vertimiento del STAR el salguero.

Parámetros	Unidades	Resultado T. Lluvia	Resultado T. Sequía	Resolución 0631 del 2015	Cumplimiento	
					T. Lluvias	T. Sequía
pH	S.U.	7,66	7,16	6-sep	Cumple	Cumple
Temperatura	°C	24,67	27,83	N.E.	S.E.	S.E.
Conductividad	µs/cm	614,065	147,909	N.E.	S.E.	S.E.
Turbidez	NTU	99,8	37,4	N.E.	S.E.	S.E.
Dureza total	mg/L de CaCO ₃	284,920	90,080	0,01	No cumple	No cumple
Dureza cálcica	mg/L de CaCO ₃	89,079	44,373	0,01	No cumple	No cumple
Dureza magnésica	mg/l de CaCO ₃	195,841	45,707	N.E	S.E.	S.E.
Demanda Química de Oxígeno	mg O ₂ /L	140	306,67	180	Cumple	No Cumple
Cloruro	mg/L de Cl	3,33	0,33	0,01	No cumple	No cumple
Alcalinidad	mg/L de CaCo ₃	40,04	32,695	0,01	No cumple	No cumple
Sólidos suspendidos totales	mg/L	291,7	435	90	No cumple	No cumple
Sólidos fijos	mg/L	225,3	410	N.E.	N.E.	N.E.
Sólidos volátiles	mg/L	66,5	25	N.E.	N.E.	N.E.

Nota. N.E.: No Especificado; S.U.: Sin Unidad; S.E.: Sin Especificar. *Fuente:* Autores, 2021.

En cuanto a la turbiedad en temporada húmeda (99,8 NTU) casi que triplica el valor reportado en temporada de verano (37,4 NTU), sin embargo, la alta turbiedad en periodo lluvioso se debe probablemente al aporte de sólidos por efectos de la escorrentía y erosión de la ribera del río por acción de las lluvias, y extracción de material de arrastre en la zona. Según Bueno et al., (1997) la turbidez es un fenómeno óptico producido por las partículas insolubles que se encuentran en suspensión en un agua y consiste esencialmente en una absorción de la luz combinado con una difusión; además, el aumento de materia suspendida en los vertidos causa, directa e inmediatamente, una distorsión de la luz alterando, la productividad plantónica y bentónica del ecosistema (BARG, 1992).

La conductividad mide la capacidad del agua para transferir corriente eléctrica, la cual se incrementa principalmente con el contenido de iones disueltos y la temperatura (Núñez y Reyes, 2016), teniendo en cuenta este resultado y a la luz de la resolución 1207 del 2014 esta agua se puede utilizar para usos agrícolas dado que no sobrepasa el valor de 1.500 ms/cm establecido por dicha norma.

Tanto la dureza total como la calcita se encuentran por encima del valor establecido por la resolución 0631 del 2015. Al analizar los resultados llama la atención el valor tan alto que presenta la dureza en época de invierno (284,92 mg/L de CaCO_3) categorizándose como un agua dura por encontrarse dentro del rango de concentración entre 200 y 300 mg/l de carbonato cálcico; con relación a la época de verano (90,08 mg/L de CaCO_3) el agua es blanda debido a que la concentración del parámetro (dureza) se encuentra por debajo de 100 mg/l de carbonato cálcico.

En este punto de muestreo se puede observar en la tabla 11 un aumento de la dureza magnésica en un 54.5 % y 3% con respecto a la cálcica en las temporadas de lluvia y sequía respectivamente, presentando así un comportamiento anormal,

esto podría estar influenciado por la carga contaminante aportada por industrias químicas, lácteas, cerveceras, centros hospitalarios y floculantes para el tratamiento de aguas residuales (Lenntech, s.f.), aunque este último no se utiliza en el STAR el Salguero.

Por otro lado, para la Temp. de lluvia, la DQO con una concentración de 140 mg O₂/L cumple con lo establecido en la resolución 0631 del 2015, sin embargo, en el valor de la Temp. Seca, aumenta aproximadamente en un 54,2% con respecto a la Temp. de lluvia y sobrepasa en un 41.3 % el valor permitido el cual es 180 mg O₂/L. Teniendo en cuenta estos resultados, Mejía (2006) sostiene que la DQO mayor a 200 mg O₂/L son clasificadas como fuertemente contaminadas y se consideran como aguas superficiales con un fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales. Observando estudios anteriores en esta zona como el de Cantillo et al., (2014) que presentó una concentración de 385 mg O₂/L, podemos concretar que las concentraciones de este estudio, están por debajo de dicha concentración.

En cuanto al cloruro se observan valores superiores a los establecidos por la resolución 0631 del 2015 por lo cual se puede afirmar que no cumple con la normatividad y por ende una contaminación residual doméstica vertida al cauce del río Cesar, teniendo en cuenta que el cloruro es un indicador de este tipo de contaminación. Por otro lado, las concentraciones del cloruro en las dos temporadas en el río Cesar, se encuentran por debajo del umbral gustativo que va desde los 200 a 300 mg/l. si se toma para potabilizar el agua (OMS, 2006).

La alcalinidad presento valores de 40,04 mg/L de CaCO₃ para la temporada de lluvias y 32,695 mg/L de CaCO₃ para la temporada de sequía. De acuerdo con Núñez y Reyes (2016) en temporada seca este valor debería ser mayor en

comparación con época lluviosa debido a que esta variable tiende a estar más concentrada por el bajo volumen de agua y el bajo efecto de dilución, pese a esto la situación que muestra la tabla 11 es totalmente diferente porque se observan para las dos temporadas del año concentraciones distintas con 7.33 mg/l de diferencias entre estos resultados. Además, teniendo en cuenta el valor del pH (7,66 en Temp. lluvias y 7,16 en sequía) y lo afirmado por Gualdrón Durán (2016) si el pH del agua está entre 4.3 y 8.3 la alcalinidad se debe a bicarbonatos y carbonatos.

Por último, los sólidos suspendidos totales no están cumpliendo con el valor referente o tipificado en la resolución 0631 del 2015, de manera que esto tiene grave consecuencias sobre los organismos que requieren directamente las plantas para su alimentación debido a que estos reducen la entrada de los rayos solares suprimiendo la producción primaria. Asimismo, de acuerdo con Esquivel (2008) los sólidos suspendidos provocan turbidez en el agua lo cual dificulta la vida de algunos organismos, y los sedimentos que se van acumulando destruyen sitios de alimentación o desove de los peces, rellenan lagos y obstruyen ríos.

7.2.3 Después del vertimiento (E3).

En la gráfica 12, el pH con valores de 7,53 para temporada de lluvias y 7,21 para Temp. Sequía se encuentra dentro de los rangos permitidos por la normatividad, y dentro de las características de otras investigaciones (5,6 – 9,0) (Gualdrón Durán, 2016). Se puede afirmar que el vertimiento del salguero no impacta en este parámetro particularmente teniendo en cuenta que al estudiar las concentraciones de este, antes del vertimiento, las variaciones son mínimas, incluso se mantiene el agua antes y después en un punto neutro con tendencia a básico.

Tabla 12.

Parámetros fisicoquímicos después del vertimiento del STAR el salguero.

Parámetros	Unidades	Resultado T. Lluviosa	Resultado T. Sequía	Decreto 1594/84	Cumplimiento	
					T. Lluvia	T. Sequía
pH	S.U.	7,53	7,21	4,5 – 9	Cumple	Cumple
Temperatura	°C	25,3	25,8	N.E.	S.E.	S.E.
Conductividad	µs/cm	600,976	159,520	N.E.	S.E.	S.E.
Turbidez	NTU	133,333	26,8	N.E.	S.E.	S.E.
Dureza total	mg/L de CaCO ₃	222,531	118,439	N.E.	S.E.	S.E.
Dureza cálcica	mg/L de CaCO ₃	46,041	58,719	N.E.	S.E.	S.E.
Dureza magnésica	mg/l de CaCO ₃	176,490	59,720	N.E.	S.E.	S.E.
Demanda Química de Oxígeno	mg O ₂ /L	120	333,333	N.E.	S.E.	S.E.
Cloruro	mg/L de Cl	3,66	0,9998	N.E.	S.E.	S.E.
Alcalinidad	mg/L de CaCo ₃	43,038	40,703	N.E.	S.E.	S.E.
Solidos suspendidos totales	mg/L	333,333	370	N.E.	S.E.	S.E.
Solidos fijos	mg/L	261,667	78,333	N.E.	S.E.	S.E.
Solidos volátiles	mg/L	71,667	291,667	N.E.	S.E.	S.E.

Nota. N.E.: No Especificado; S.U.: Sin Unidad; S.E.: Sin Especificar. *Fuente:* Autores, 2021.

En cuanto a la temperatura comparando los valores con los datos de antes del vertimiento, se pudo notar que hubo una disminución en la temperatura en las dos temporadas de este estudio. En comparación con las temperaturas anuales descritas en el POMCA de la cuenca baja del río Guatapurí, las estaciones meteorológicas Apto Alfonso López y Callao El, presentan un rango de temperatura media anual de 23,1° C a 28,4°C, donde se podría confirmar que los valores de la tabla 12, se encuentran en este rango (Consortio Guatapurí - Cesar, 2018).

Sin embargo, la situación con la turbidez sí es muy diferente, ya que antes del vertimiento los valores de turbidez están por debajo de 10 NTU, y luego de generada la descarga se observan que estos valores son hasta 13 y 7 veces más alto que el reportada antes del vertimiento en temporada de lluvia y sequía, respectivamente como se puede observar en la tabla 12, por lo cual se puede inferir que esta situación viene dada por el vertimiento que realiza la STAR. Otra razón de estas concentraciones en temporada de lluvia, se puede deber a la erosión de la orilla del río cuando eventualmente el caudal aumenta producto de las precipitaciones.

En cuanto a la dureza total se observa que en época de lluvia hubo una mayor concentración con 222,531 mg/L de CaCO₃ con respecto a Temp. Seca cuyo valor fue de 118,772 mg/L de CaCO₃, además, se puede observar claramente que para las dos temporadas estudiadas hubo un descenso en la concentración de la dureza total con respecto a E2; este mismo comportamiento de descenso de la concentración del parámetro se observó para el caso de la dureza cálcica, por lo cual el vertimiento del salguero no impacta el agua del río en cuanto dureza total y cálcica corresponde.

Los cloruros y alcalinidad tuvieron concentraciones similares a los reportados antes del vertimiento. Por otra parte, de la DQO, se encuentran valores de 120 y 333,333

mg O₂/L los cuales superan la concentración hallada en el estudio de Cantillo et al. (2014) que fue de 75 mg O₂/L. En la tabla 12 se puede observar que la dureza cálcica y magnésica no tiene establecido límites permisibles por el decreto 1594 del 84, además de que se vuelve a presentar la misma situación que en la E2 en la que se presenta un aumento de 73,9% y 2% para la Temp. Lluviosa y seca, respectivamente de la dureza magnésica sobre la cálcica.

En cuanto a los sólidos suspendidos totales se puede inferir que el STAR influye en este parámetro debido a que antes del vertimiento la concentración de sólidos era menor a la encontrada después del tratamiento; este aumento de sólidos reduce la penetración de la luz en los cuerpos de agua; al disminuir la cantidad de luz, se afecta la fotosíntesis que realizan los organismos fitoplanctónicos, al igual que la vegetación que se encuentra sumergida. La productividad de los peces depende totalmente de la vida de las plantas y de la fauna del fondo (Borbolla, 2006). El comportamiento de los sólidos es el mismo presentado por la conductividad dado que estos dos parámetros se encuentran correlacionados, siendo así la conductividad después del vertimiento aumento considerablemente con relación a la concentración que tenía antes del vertimiento.

7.3 ETAPA 2: ESTABLECER CORRELACIONES ENTRE LAS CONCENTRACIONES DE LOS CONTAMINANTES EMERGENTES Y LOS PARÁMETROS FÍSICOS-QUÍMICOS DE CADA PUNTO DE ANÁLISIS DEL SISTEMA LÓTICO.

Existen métodos y modelos estadísticos que ayudan a establecer la importancia y correlación de las variables en un estudio determinado. En el caso de los análisis multivariados, Balzarini et al., 2015 manifiesta que permiten explorar, describir e interpretar datos recogidos de muchas variables de una misma investigación, en donde las variables presentan atributos de la misma unidad de análisis, por lo que

normalmente presentan una correlación ya sea entre cada par de variable o de una variable con respecto a todas las restantes o una dependencia grupal entre todas las variables. La metodología multivariada se fundamenta en la distancia y dependencia lineal de las variables. Esta contiene técnicas de ordenamiento y reducción de dimensiones que permite graficar los datos multivariados de grandes dimensiones en una escala menor dimensión.

De acuerdo con las características de los datos recolectados de los dos análisis de los laboratorios, los cuales algunos parámetros no presentan una tendencia lineal, además de concentraciones altas y bajas, se optó por realizar la técnica de análisis de componentes principales (ACP) ya que examina la interdependencia entre las variables, observando su estructura y así agrupándolas en nuevas variables llamadas: factores. Para este análisis no se tuvo en cuenta la variable de sólidos suspendidos, debido a la falta de datos obtenidos que no contribuyen a la realización de un análisis preciso por el software Infostat. En caso de aquellas variables que presentaron valores inferiores a los detectados se les asignó concentraciones por debajo de los límites de cuantificación mínima, para el análisis.

Iniciando, se debe estandarizar los datos recolectados, esto debido a que las variables presentan unidades de medida y/o varianzas diferentes, dando así variables centradas y escaladas.

7.3.1 Temporada de lluvia.

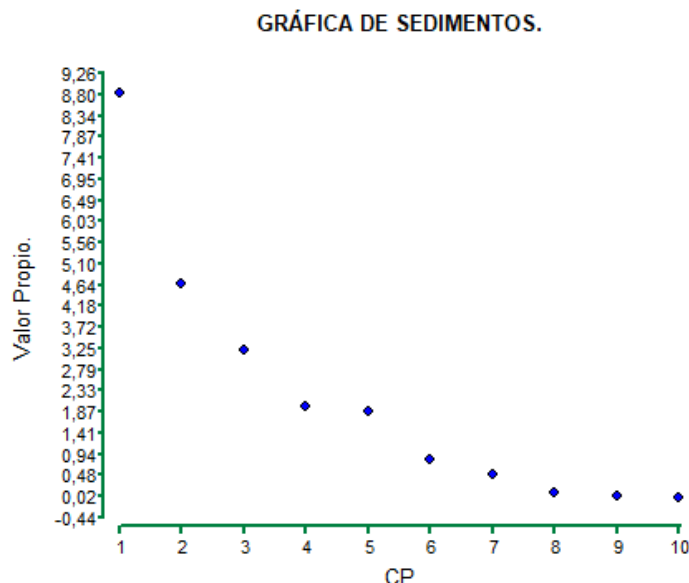
7.3.1.1 Análisis de Componentes Principales (ACP).

Para determinar el número de componentes principales que representa la mayoría de las variables se tiene en cuenta el criterio de Káiser en el que se toma los valores propios mayores que 1. Aquellos componentes que presentan una proporción acumulada de más del 80% son los que explican un nivel de varianza aceptable (Anexo 6). Según el gráfico 1 se aprecia 4 Componentes Principales que entran en dichos criterios. A partir del quinto componente principal en adelante comienza a descender hasta tener valores a cero.

Al mirar la Gráfica 2, 3, 4 y 5 se puede observar el porcentaje designados a cada componente. Para CP1 se obtuvo un valor de 40,1% el cual representa la mayor parte de la variabilidad de los datos, luego le sigue CP2 con 21,3%, CP3 (14,5%) y CP4 (9,1%). Solo con las dos primeras componentes del Biplot sería necesarias para explicar un porcentaje razonable de la variabilidad total (60-70%).

Gráfica 1.

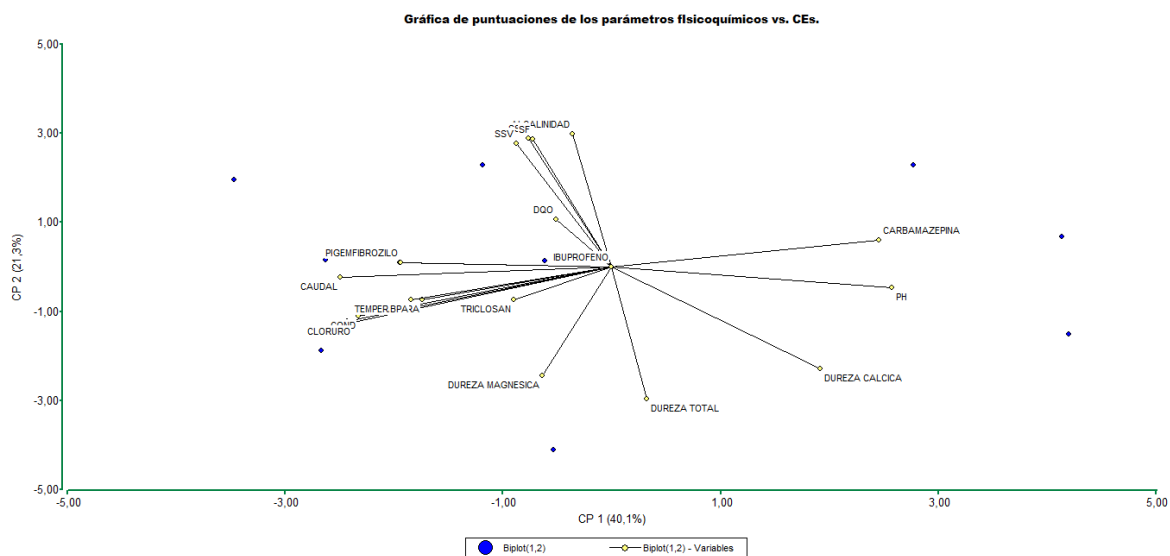
Sedimentos de las componentes principales en temporada de lluvia.



Fuente: Autores, 2021.

Observando la gráfica 2 y la matriz de correlación/coeficiente (anexo 7) se determinó que la carbamazepina presenta una comunalidad alta con el pH (0,911) y varianza media con la Dureza Cálctica (0,575), con el resto de variables muestra distanciamiento y coeficientes negativos. Este contaminante con respecto al caudal, turbiedad, conductividad y cloruro mostró una correlación altamente negativa, lo que indica que es inversamente proporcional a estos. Otro contaminante que tuvo relación con los parámetros fisicoquímicos fue el Bisfenol A (BPA), quien presentó coeficientes altos con conductividad (0,917), cloruro (0,814) y turbiedad (0,722) y ángulos agudos que indican una cercanía con estas variables según la gráfica 3. En relación con el pH, este arrojó un coeficiente de -0,677, a lo que se puede considerar como una relación inversa media, de estas dos variables.

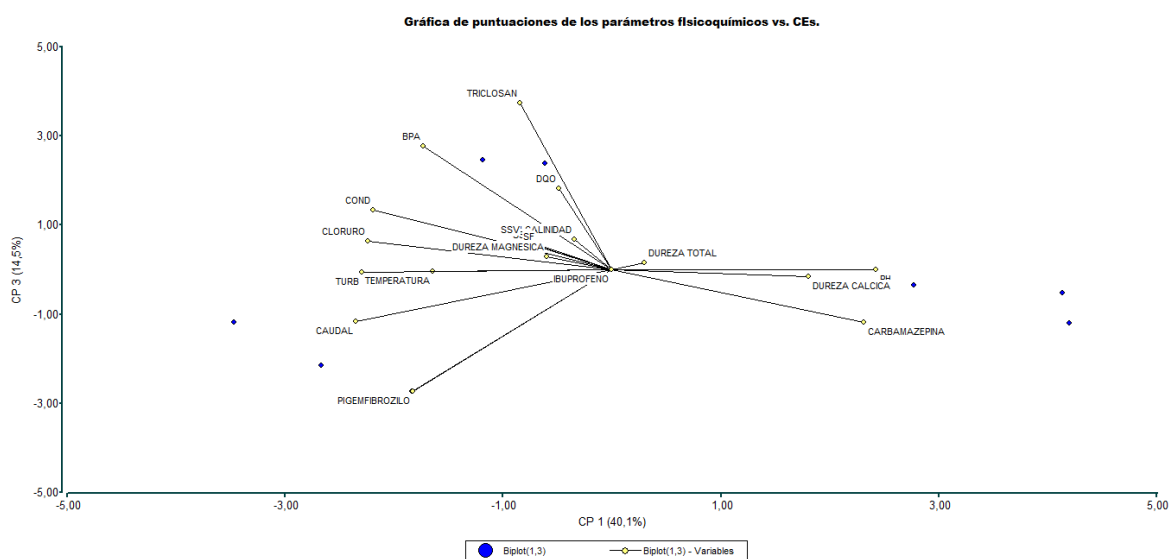
Puntuaciones de los parámetros fisicoquímicos y contaminantes emergentes (CEs) en las CP1 y CP2 en temporada de lluvia.



Fuente: Autores, 2021.

Gráfica 3.

Puntuaciones de los parámetros fisicoquímicos y contaminantes emergentes (CEs) en las CP1 y CP3 en temporada de lluvia.



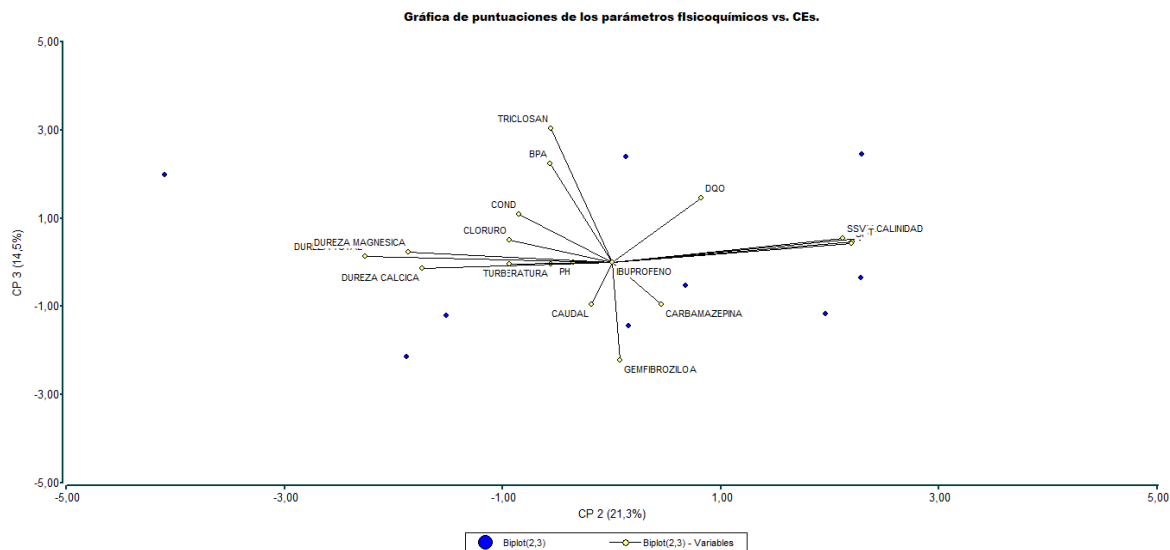
Fuente: Autores, 2021.

El triclosán dio como resultado una comunalidad media con las variables de conductividad (0,672) y cloruro (0,527), por lo que se refleja en la distancia de separación entre este CE y los parámetros fisicoquímicos (Gráfica 3), además tuvo una alta correlación positiva con el contaminante Bisfenol A (0,906) esto debido a que son compuestos xenobióticos derivados del fenol. (Martínez de Paz, 2014).

En el caso del caudal, 3 contaminantes emergentes mostraron una comunalidad fuerte con esta variable. La cafeína, progesterona y gemfibrozilo revelaron un valor de 0,9 lo que indica que dichos contaminantes, se encuentran en un mismo punto como se refleja en la gráfica 4 y que es una correlación positiva alta con respecto al caudal. Estas mismas variables dieron resultado a una correlación media con la turbiedad y el cloruro con coeficientes entre 0,681 - 0,683 y 0,550 - 0,553, respectivamente. Por otra parte con el único parámetro que presentaron una alta correlación negativa fue con el pH.

Gráfica 4.

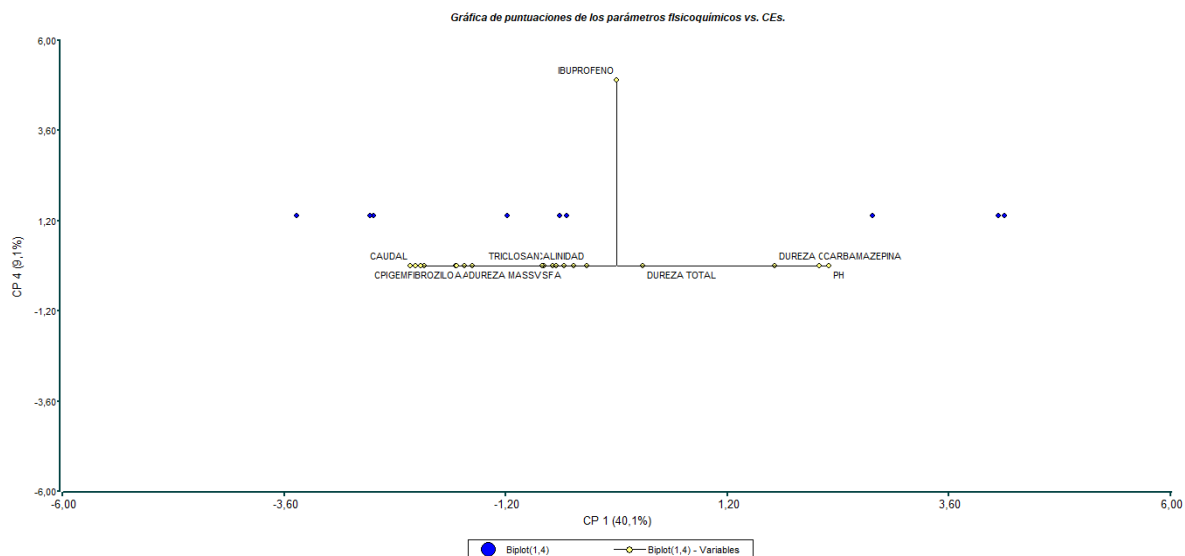
Puntuaciones de los parámetros fisicoquímicos y contaminantes emergentes (CEs) en las CP2 y CP3 en temporada de lluvia.



Fuente: Autores, 2021.

Grafica 5.

Puntuaciones de los parámetros fisicoquímicos y contaminantes emergentes (CEs) en las CP1 y CP4 en temporada de lluvia.



Fuente: Autores, 2021.

El ibuprofeno y el etinilestradiol (EE2) fueron los únicos contaminantes que presentaron una independencia a los parámetros fisicoquímicos y sustancias emergentes analizados, esto se muestra por el ángulo recto que se forma con las diferentes variables (Gráfica 5).

7.3.1.2 Análisis de regresión entre las variables de cada factor del ACP.

Teniendo en cuenta aquellos contaminantes emergentes que presentaron en la matriz de correlación valores mayores a 70% con los parámetros fisicoquímicos, se tiene al bisfenol A con la conductividad (0,917), turbiedad (0,722) y cloruro (0,814); la cafeína, progesterona y gemfibrozilo con el caudal (0,900) y la carbamazepina con el pH (0,911).

Análisis de regresión lineal del bisfenol A con conductividad.

Variable	N	R ²	R ² Ajustado	ECMP	AIC	BIC
BPA	9	0,86	0,81	0,01	-14,66	-13,87

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

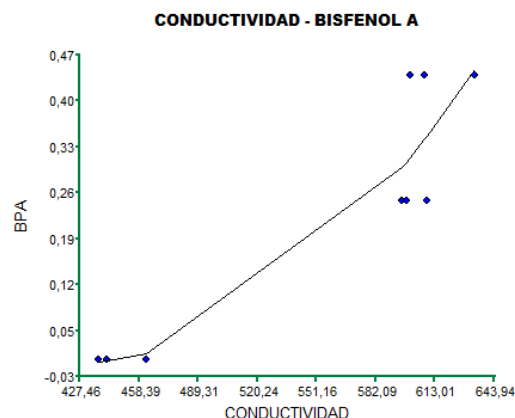
Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	1,90	3,69	-7,12	10,92	0,52	0,6245		
COND	-0,01	0,01	-0,04	0,03	-0,63	0,5535	1,39	1516,18
COND^2	1,1E-05	1,3E-05	-2,2E-05	4,4E-05	0,78	0,4655	1,61	1516,18

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,25	2	0,13	17,70	0,0030
COND	0,25	1	0,25	34,80	0,0011
COND^2	4,3E-03	1	4,3E-03	0,61	0,4655
Error	0,04	6	0,01		
Total	0,29	8			

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,25	2	0,13	17,70	0,0030
COND	0,25	2	0,13	17,70	0,0030
Error	0,04	6	0,01		
Total	0,29	8			



Fuente: Autores, 2021.

De acuerdo con la gráfica 6, el R^2 muestra un 86% de la variación total del BPA. Esto indica que la variación de este contaminante, tiene su origen en la variable regresora o independiente que es la conductividad. Observando los coeficientes de regresión y estadísticos asociados, los valores en la columna de p-valor de 0,5535 y 0,4655 para conductividad lineal y cuadrática, respectivamente; esto nos indica que los dos valores están por encima del 0,05 por lo que se interpreta que ninguno de los modelos de ajuste lineal y cuadrático representa la tendencia de los datos además de aceptar la hipótesis nula. Se puede apreciar el resultado de los errores del análisis como 0,01 para el modelo lineal y $1,3 \times 10^{-5}$ para el cuadrático, interpretándose como una imprecisión muy pequeña y confirmando la inexactitud de los datos al modelo arrojado por el software.

Análisis de regresión lineal de la carbamazepina con el pH.

Variable	N	R ²	R ² Adj	ECMP	AIC	BIC
CARBAMAZEPINA	9	0,97	0,96	4,2E-04	-48,93	-48,14

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

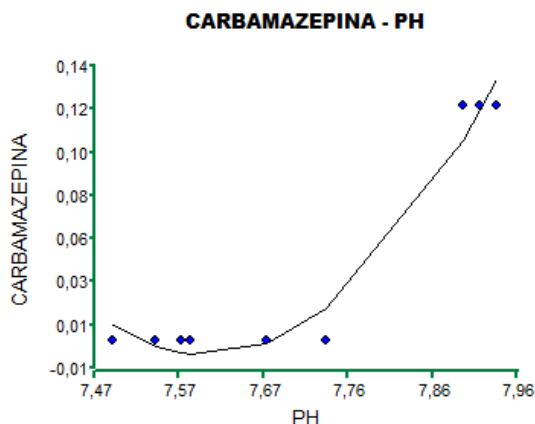
Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	70,98	14,48	35,54	106,41	4,90	0,0027		
PH	-18,68	3,75	-27,85	-9,50	-4,98	0,0025	25,82	22285,64
PH^2	1,23	0,24	0,64	1,82	5,07	0,0023	26,66	22285,64

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,03	2	0,01	90,29	<0,0001
PH	0,02	1	0,02	154,93	<0,0001
PH^2	4,0E-03	1	4,0E-03	25,66	0,0023
Error	9,4E-04	6	1,6E-04		
Total	0,03	8			

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,03	2	0,01	90,29	<0,0001
PH	0,03	2	0,01	90,29	<0,0001
Error	9,4E-04	6	1,6E-04		
Total	0,03	8			



Fuente: Autores, 2021.

El gráfico 7 muestra en el R^2 , un 0,97 de variabilidad de los datos de la carbamazepina al modelo o línea de regresión ajustada. En este caso se puede decir que la carbamazepina depende en un 97% del parámetro de pH. Para el error estándar E.E. mostró una imprecisión pequeña de 0.24 para el modelo cuadrático PH^2 y una alta de 3.75 para el modelo lineal PH indicando que las variables analizadas se ajustan mejor al modelo cuadrático. De acuerdo con los datos de p-valor, los cuales son menores a 0,05 indica que se anula la hipótesis $H_0 = 0$. Todo esto sustenta y consolida la hipótesis de la relación de la carbamazepina con el pH en los tres puntos de muestreo en la temporada de lluvias. La ecuación matemática que representa este modelo es: $y = 1.23 x^2 - 18.68 x + 70.98$

Análisis de regresión lineal del bisfenol A con cloruro.

Variable	N	R ²	R ² Ajustado	ECMP	AIC	BIC
BPA	9	0,72	0,63	0,03	-8,72	-7,93

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

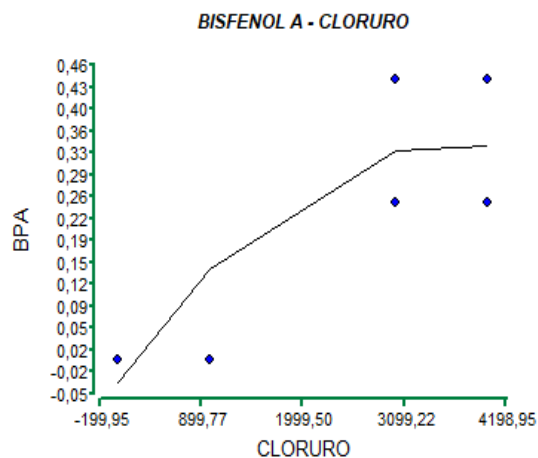
Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	-0,03	0,08	-0,23	0,16	-0,43	0,6845		
CLORURO	2,1E-04	1,1E-04	-5,4E-05	4,7E-04	1,94	0,1002	4,77	18,52
CLORURO^2	-2,9E-08	2,6E-08	-9,3E-08	3,5E-08	-1,10	0,3149	2,20	18,52

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,21	2	0,11	7,69	0,0221
CLORURO	0,19	1	0,19	14,18	0,0093
CLORURO^2	0,02	1	0,02	1,20	0,3149
Error	0,08	6	0,01		
Total	0,29	8			

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,21	2	0,11	7,69	0,0221
CLORURO	0,21	2	0,11	7,69	0,0221
Error	0,08	6	0,01		
Total	0,29	8			



Fuente: Autores, 2021.

Por otra parte, según los datos arrojados en la regresión lineal del bisfenol A con el cloruro (Gráfica 8), esta presenta un 72% de variación y errores estándares de 0.0001 y 2.6×10^{-8} , lo que demuestra la imprecisión de los datos pero no la exactitud con respecto a los modelos que plantea del software. Teniendo en cuenta la columna de p-valor se puede decir que dichos datos no presentan una tendencia lineal ($0,1 \geq \alpha = 0,05$) ni cuadrática ($0,3142 \geq \alpha = 0,05$), aceptando que ninguno de los modelos representan la tendencia de los valores en la gráfica y que a su vez, se encuentre la hipótesis nula de la causalidad de estas dos variables en la investigación.

Gráfica 9.

Análisis de regresión lineal del bisfenol A con turbiedad.

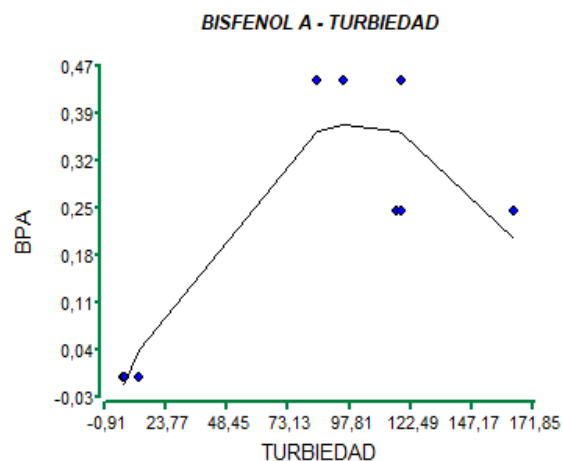
Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
BPA	9	0,84	0,78	0,04	-13,64	-12,85

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	-0,07	0,06	-0,22	0,08	-1,10	0,3128		
TURB	0,01	2,0E-03	4,0E-03	0,01	4,50	0,0041	21,27	12,99
TURB^2	-4,4E-05	1,3E-05	-7,5E-05	-1,2E-05	-3,42	0,0142	12,68	12,99

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,25	2	0,12	15,48	0,0043
TURB	0,15	1	0,15	19,27	0,0046
TURB^2	0,09	1	0,09	11,68	0,0142
Error	0,05	6	0,01		
Total	0,29	8			



Fuente: Autores, 2021.

Gráfica 10.

Análisis de regresión lineal de la cafeína con el caudal.

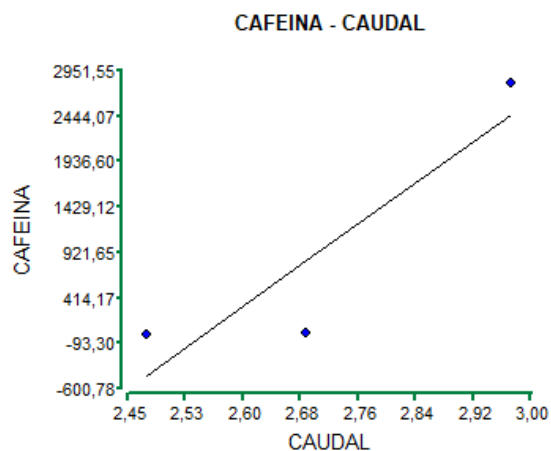
Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
CAFEINA	9	0,81	0,78	630421,55	145,93	146,52

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	-14812,78	2885,18	-21635,15	-7990,40	-5,13	0,0013		
CAUDAL	5808,05	1060,70	3299,89	8316,21	5,48	0,0009	29,98	1,00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	12763437,77	1	12763437,77	29,98	0,0009
CAUDAL	12763437,77	1	12763437,77	29,98	0,0009
Error	2979832,63	7	425690,38		
Total	15743270,41	8			



Fuente: Autores, 2021.

Gráfica 11.

Análisis de regresión lineal de la progesterona con el caudal.

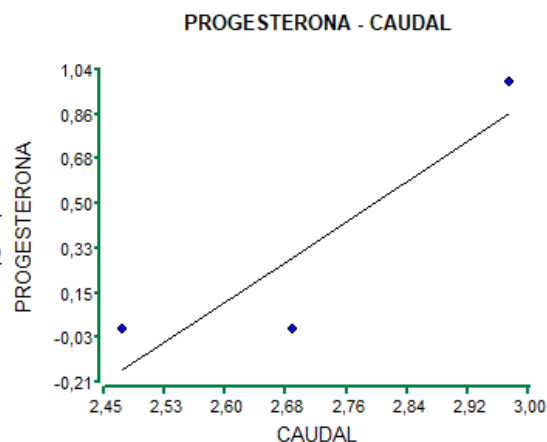
Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
PROGESTERONA	9	0,81	0,78	0,08	2,88	3,47

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	-5,19	1,02	-7,60	-2,78	-5,09	0,0014		
CAUDAL	2,04	0,37	1,15	2,92	5,43	0,0010	29,48	1,00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,57	1	1,57	29,48	0,0010
CAUDAL	1,57	1	1,57	29,48	0,0010
Error	0,37	7	0,05		
Total	1,94	8			



Fuente: Autores, 2021.

Gráfica 12.

Análisis de regresión lineal del gemfibrozilo con el caudal.

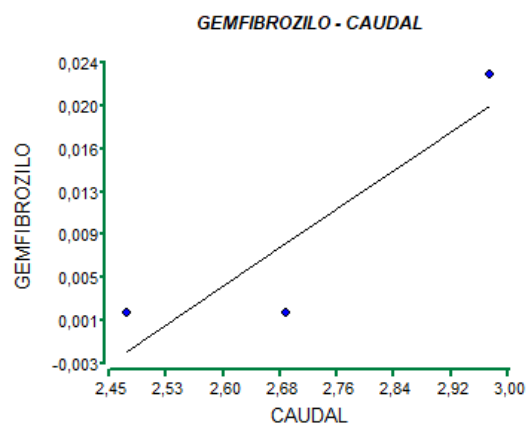
Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
GEMFIBROZILO	9	0,81	0,78	3,6E-05	-66,31	-65,71

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	-0,11	0,02	-0,16	-0,06	-5,01	0,0016		
CAUDAL	0,04	0,01	0,02	0,06	5,43	0,0010	29,48	1,00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	7,2E-04	1	7,2E-04	29,48	0,0010
CAUDAL	7,2E-04	1	7,2E-04	29,48	0,0010
Error	1,7E-04	7	2,4E-05		
Total	8,9E-04	8			



Fuentes: Autores, 2021.

En los gráficos 9, 10, 11 y 12 todos presentan valores menores a 0,05 en p-valores, lo que confirma la linealidad de los datos a estos modelos y aceptación de la hipótesis de que la cafeína, progesterona y gemfibrozilo tienen correlación con el caudal, al igual que el bisfenol A con la turbiedad. Estos p-valores sugieren que es probable que haya una adición significativa al modelo. En los errores presentados por las diferentes gráficas, corroboran la precisión de los datos recolectados a excepción de la cafeína (gráfica 10) que sugiere que los datos tienen una imprecisión muy alta, esto por la concentración de 2811 mg/l que se detectó en el después del vertimiento.

Para el caso de R^2 , el bisfenol A, la cafeína, progesterona y gemfibrozilo obtuvieron más 80% de variabilidad de los datos analizados con sus respectivas variables regresoras, lo que indica que son dependientes de estos parámetros fisicoquímicos. Cada gráfica al presentar $R^2 > 80\%$ a excepción de la gráfica 10 se puede establecer modelos matemáticos para dicho comportamiento quedando de la siguiente manera:

Gráfica 9: $y = 4,4e^{-5} x^2 + 0,01x - 0,07$

Gráfica 11: $y = 2,04x - 5,19$

Gráfica 12: $y = 0,04x - 0,11$

7.3.2 Temporada de sequía.

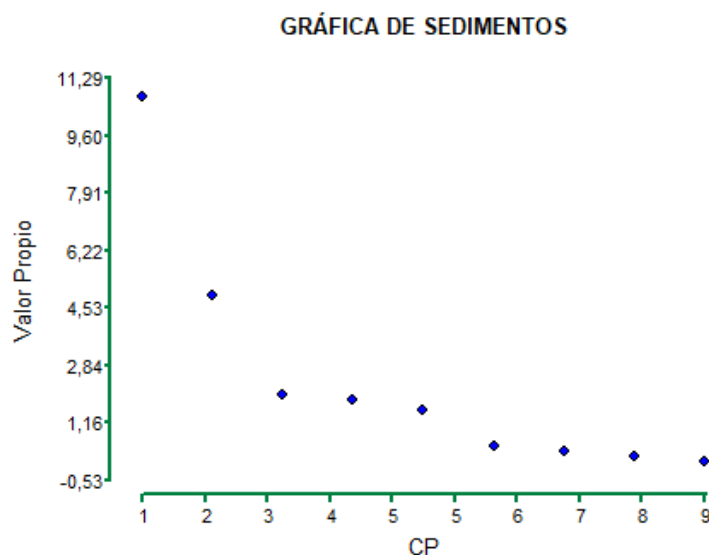
7.3.2.1 Análisis de Componentes Principales (ACP).

Cumpliendo con los criterios del 80% de la proporción acumulada y valores propios superiores a 1, se vio reflejado en este análisis que 4 componentes cumplen con

dichas condiciones. Según los Biplot arrojados por el software, estos factores o componentes principales presentan la combinación lineal entre variables originales. Los porcentajes fueron así: CP1 (10,75), CP2 (4,92), CP3 (2,00) Y CP4 (1,83).

Gráfica 13.

Sedimentos de las componentes principales en temporada de sequía.

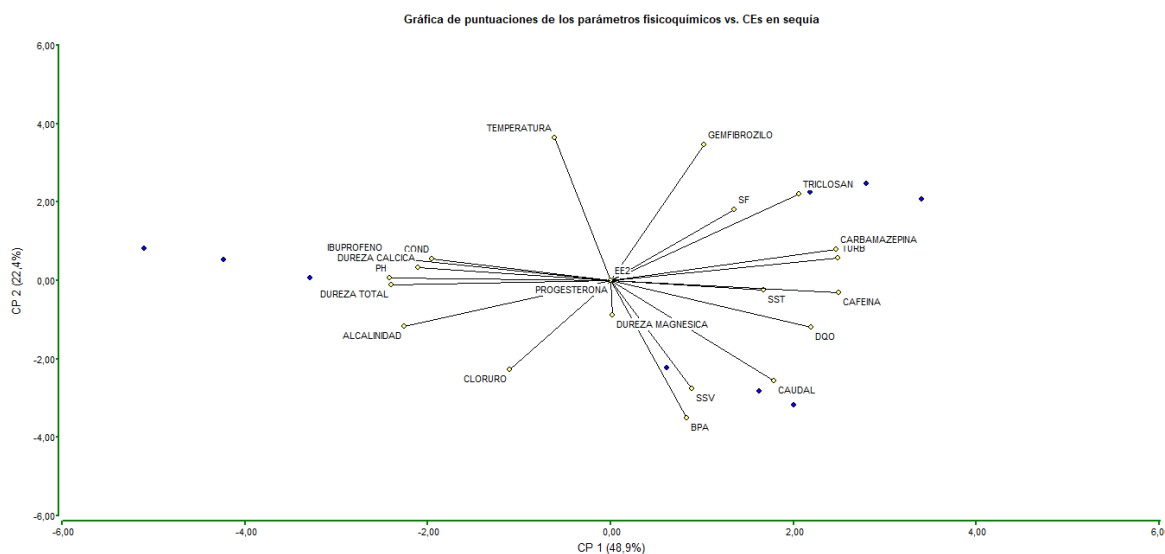


Fuente: Autores, 2021.

En la primera componente principal (CP) por su porcentaje podemos considerar que la gran mayoría de las variables son interdependientes en este nuevo factor. En este mismo CP1 se detecta los coeficientes de correlación más altos de las variables como lo muestra la matriz de correlación (anexo 9) y la gráfica 14 en donde se muestra ángulos agudos entre las variables además de una buena dispersión de estas sobre el espacio.

Gráfica 14.

Puntuaciones de los parámetros fisicoquímicos y contaminantes emergentes (CEs) en las CP1 y CP2 en temporada de sequía.



Fuente: Autores, 2021.

Para este análisis se tuvo presente seleccionar aquellos contaminantes emergentes que presentaron una alta correlación con las variables fisicoquímicas y una independencia comprobada con valores $\geq \pm 70\%$ de variabilidad. De acuerdo con los resultados el Bisfenol A, tuvo una fuerte comunalidad con el caudal (0,9) y los sólidos suspendidos volátiles (0,719) pero una alta correlación negativa con la temperatura (-0,988) lo que indica que cuando aumenta el bisfenol A, es por condiciones de temperatura menores. Con algunas de las variables presento una comunalidad media (DQO y cloruro) y baja (turbiedad, dureza magnésica y SST). Ya con las demás variables su comportamiento es inversamente proporcional.

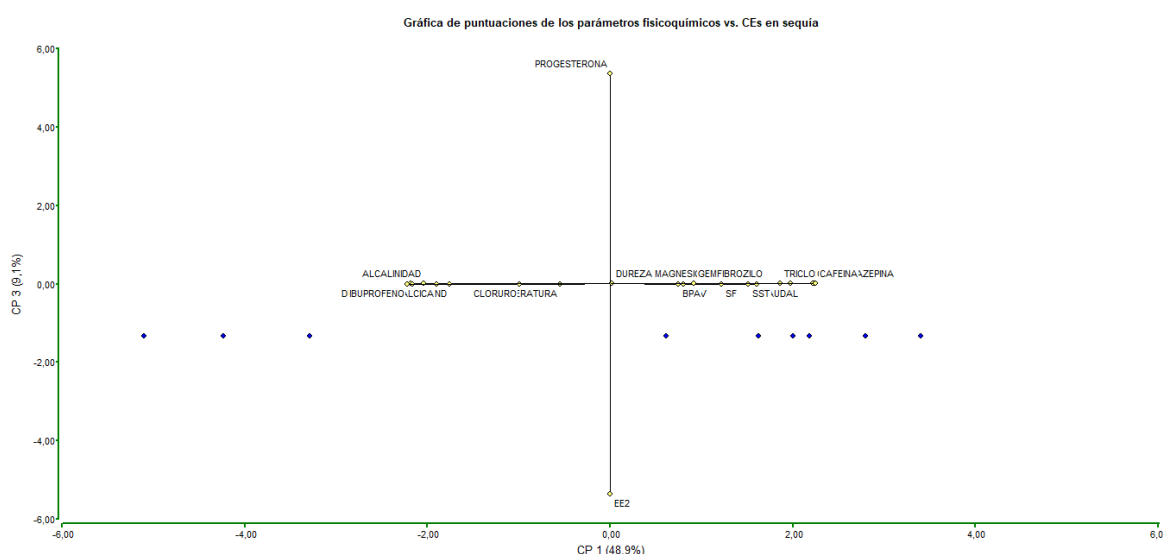
El triclosán solo con la turbiedad arrojó una correlación de 88% de varianza y correlaciones negativas para pH, alcalinidad, dureza total y cloruro los cuales se encuentra entre el rango de (-0,732 y -0,922). Con la Demanda Química de Oxígeno, SST y SF, este contaminante tuvo una relación positiva media. La

carbamazepina por otra parte, mostró una alta correlación positiva con la DQO y la turbiedad (0,760 y 0,998 respectivamente) y valores negativos para pH (-0,961), alcalinidad (-0,964) y D. Total (-0,855), lo que indica que mientras la concentración de la carbamazepina aumenta en el cuerpo de agua, estos parámetros presentarían una disminución.

En la matriz de correlación de coeficientes, anexo 9, para la sustancia de la cafeína solo presentó alta relación positiva con valores de 0,78; 0,862 y 0,973 para los parámetros de caudal, DQO y turbiedad, en el mismo orden descrito. La única similitud de este análisis con el realizado en temporada de lluvia, fue con el parámetro caudal, confirmando así que a mayor volumen de agua, este contaminante aumenta.

Gráfica 15.

Puntuaciones de los parámetros fisicoquímicos y contaminantes emergentes (CEs) en las CP1 y CP3 en temporada de sequía.



Fuente: Autores, 2021

Según la gráfica 15 de las puntuaciones, se puede ver que los contaminantes como la progesterona y el etinilestradiol se encuentran de extremo a extremo lo que indica que son inversamente proporcional entre si y presentan una independencia de las demás variables evaluadas. Posiblemente el comportamiento del Etinilestradiol en este estudio haya sido por lo anteriormente mencionado sobre su detección en los diferentes puntos de muestreo.

En este caso el gemfibrozilo, a diferencia que en el análisis de la temporada lluviosa, mostró una alta correlación de 0,793 para temperatura y una correlación negativa alta con el cloruro (-0,724) y una baja con el caudal (-0,35). Este cambio se ve reflejado por las concentraciones encontradas para el antes y punto de vertimiento de la temporada seca que son mayores a las de lluvia (tabla 9).

En la matriz de correlación y gráfica 14, se hace presente un cambio en la comunalidad para el ibuprofeno, el cual en la primera salida de campo (temporada lluviosa) no se logró detectar concentraciones, lo que influyó en que se caracterizara como una variable independiente por el software, pero en temporada seca, si hubo concentración en el antes del vertimiento, lo que dio como resultado una correlación alta para alcalinidad, dureza total y pH y a su vez una correlación negativa alta con caudal y turbiedad.

7.3.2.2 Análisis de regresión entre las variables de cada factor del ACP.

Para el análisis de regresión se tuvo en cuenta aquellas correlaciones positivas altas $\geq 80\%$ de variabilidad entre los componentes emergentes y los parámetros fisicoquímicos. Teniendo en cuenta la anterior condición se observó en el Anexo 9 que el triclosán, carbamazepina y cafeína están correlacionados con la turbiedad; de igual modo el ibuprofeno con el pH, alcalinidad y dureza total. Para el caso de la

Cafeína otro parámetro con el que tuvo una alta comunalidad fue con la Demanda Química de Oxígeno. El bisfenol A mostró una comunalidad alta con el caudal, y a su vez unos coeficientes de correlación media para la DQO y el cloruro.

Gráfica 16.

Análisis de regresión lineal del bisfenol A con caudal.

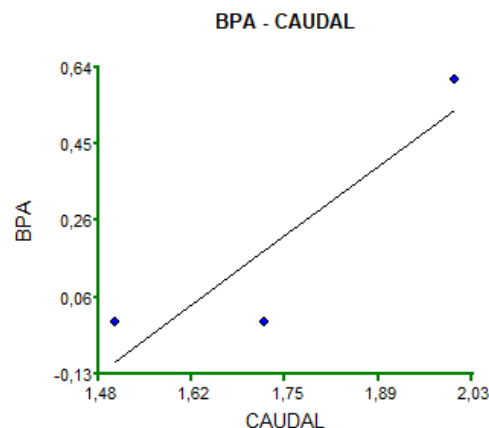
Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
BPA	9	0,81	0,78	0,03	-5,77	-5,18

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI (95%)	LS (95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	-1,99	0,41	-2,95	-1,02	-4,88	0,0018		
CAUDAL	1,26	0,23	0,71	1,81	5,42	0,0010	29,33	1,00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,60	1	0,60	29,33	0,0010
CAUDAL	0,60	1	0,60	29,33	0,0010
Error	0,14	7	0,02		
Total	0,74	8			



Fuente: Autores, 2021.

Se aprecia en la gráfica 16 que el coeficiente de determinación R^2 (0.81) se interpreta como un modelo confiable es decir que la mayor cantidad de variación total entre el bisfenol A y el caudal es explicada por el modelo de regresión, presentando una tendencia lineal en sus datos. El Coeficiente de correlación lineal $R \approx 0.93$ indica que dichas variables presentan una correlación excelente entre sí. Para el caso de los coeficientes de regresión y estadísticos asociados se aprecia una constante de -1.99 lo que indica la ordenada al origen y un valor de 1.26 que se analiza como el aumento del bisfenol A por m^3 de Caudal presentando así el siguiente modelo matemático: $y = 1.26x - 1.99$

En la columna de p-valores se presencia un valor menor a 0.05, en lo que se expresa como aceptación de la hipótesis de investigación de la relación entre este contaminante emergente con el parámetro de caudal.

Gráfica 17.

Análisis de regresión lineal del Ibuprofeno con pH.

Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
IBUPROFENO	9	0,93	0,91	0,11	-5,12	-4,33

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

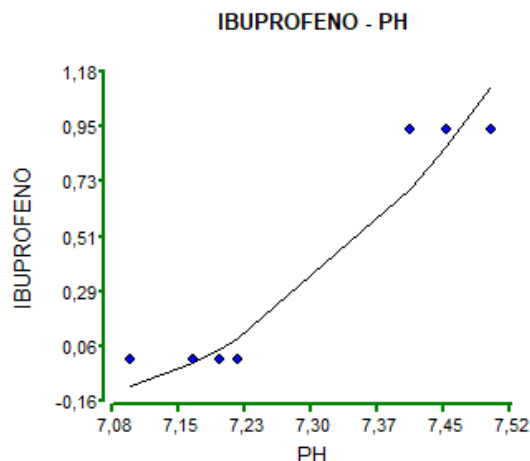
Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	251,43	209,12	-260,26	763,12	1,20	0,2745		
PH	-71,84	57,22	-211,84	68,17	-1,26	0,2560	2,58	25374,25
PH^2	5,13	3,91	-4,45	14,70	1,31	0,2379	2,72	25374,25

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,61	2	0,81	39,40	0,0004
PH	1,58	1	1,58	77,09	0,0001
PH^2	0,04	1	0,04	1,72	0,2379
Error	0,12	6	0,02		
Total	1,73	8			

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,61	2	0,81	39,40	0,0004
PH	1,61	2	0,81	39,40	0,0004
Error	0,12	6	0,02		
Total	1,73	8			



Fuente: Autores, 2021.

El R^2 presentó un coeficiente de 0.93 dando un coeficiente de correlación R de 0.96, el cual interpreta que es una fuerte relación que hay entre el Ibuprofeno y el pH. Las filas de PH y PH^2 presentan un error estándar E.E. menor en el modelo cuadrático (3.91) que en el lineal (57.22). En las tablas y gráfica dadas por el software, se puede verificar que la tendencia de los datos no representa un modelo cuadrático ni lineal, esto se verifica al momento de comparar la columna de p-valores lineal (0.2560) y cuadrático (0,2379) con $\alpha = 0.05$, los cuales son mayores, por consiguiente la aceptación de la hipótesis nula.

Análisis de regresión lineal del Ibuprofeno con alcalinidad.

Variable	N	R ²	R ² Ajustado	ECMP	AIC	BIC
IBUPROFENO	9	0,91	0,88	0,07	-2,82	-2,03

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

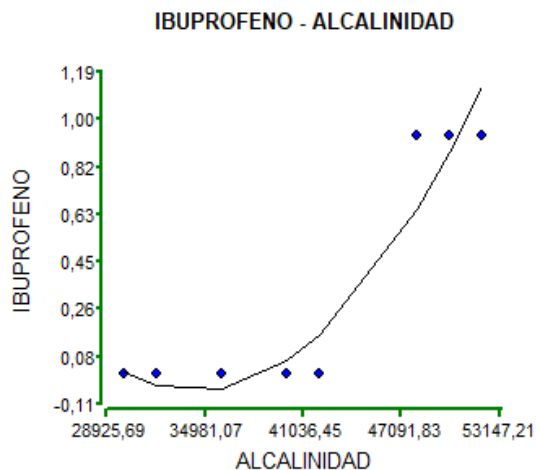
	Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	4,54		1,93	-0,18	9,25	2,35	0,0567		
ALCALINIDAD	-2,7E-04	9,6E-05	-5,0E-04	-3,2E-05	-2,78	0,0318	8,75	166,75	
ALCALINIDAD^2	3,9E-09	1,2E-09	1,0E-09	6,7E-09	3,33	0,0157	12,11	166,75	

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,58	2	0,79	29,83	0,0008
ALCALINIDAD	1,28	1	1,28	48,54	0,0004
ALCALINIDAD^2	0,29	1	0,29	11,11	0,0157
Error	0,16	6	0,03		
Total	1,73	8			

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,58	2	0,79	29,83	0,0008
ALCALINIDAD	1,58	2	0,79	29,83	0,0008
Error	0,16	6	0,03		
Total	1,73	8			



Fuente: Autores, 2021.

Al observar las tablas de la gráfica 18, se puede determinar que el coeficiente de correlación es del 95% a partir del R^2 obtenido. Además los errores estándares arrojados por el software presenta un porcentaje de imprecisión muy bajo y los p-valores indican que cualquiera de los dos modelos planteados, representan a la distribución de los datos en el gráfico y se confirma la anulación de H_0 . El modelo matemático para esta regresión es: $y = 3.9 e^{-9} x^2 - 2.7 e^{-4} x + 4.54$

Análisis de regresión lineal de la carbamazepina con turbiedad.

Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
CARBAMAZEPINA	9	1,00	1,00	2,8E-05	-72,15	-71,37

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

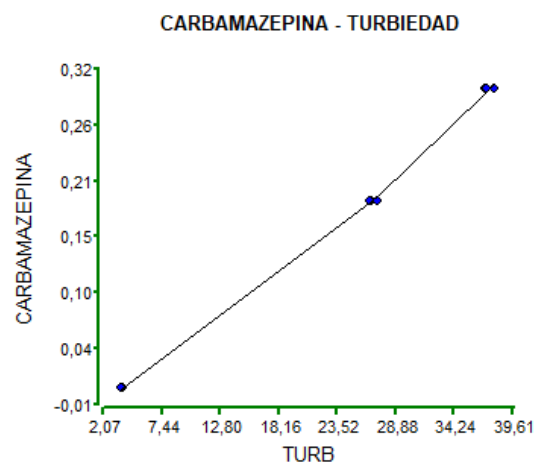
Coef	Est.	E.E.	LI (95%)	LS (95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	-0,02	2,9E-03	-0,03	-0,01	-7,05	0,0004		
TURB	0,01	4,1E-04	0,01	0,01	14,76	<0,0001	218,86	25,26
TURB^2	6,6E-05	1,0E-05	4,1E-05	9,1E-05	6,46	0,0007	42,78	25,26

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,13	2	0,07	5641,39	<0,0001
TURB	0,13	1	0,13	11240,99	<0,0001
TURB^2	5,0E-04	1	5,0E-04	41,78	0,0007
Error	7,1E-05	6	1,2E-05		
Total	0,13	8			

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,13	2	0,07	5641,39	<0,0001
TURB	0,13	2	0,07	5641,39	<0,0001
Error	7,1E-05	6	1,2E-05		
Total	0,13	8			



Fuente: Autores, 2021.

Para este análisis, el R^2 muestra el valor de 1 por lo que el coeficiente de correlación es 1, esto indica que las variables presentan una relación perfecta, es decir la carbamazepina está directamente correlacionada con la turbiedad. Esto se asegura con los valores de los errores y los p-valores los cuales confirman la precisión y la hipótesis de la investigación planteada en que este contaminante emergente tiene gran relación con el parámetro de la turbiedad. En la tabla de coeficientes de la gráfica 19 se determina una constante en la que el modelo se intersecta con la ordenada (-0.02) al igual que las variables de x^2 y x dando la siguiente ecuación: $y = 6,6 e^{-5}x^2 + 0,01x - 0,02$

Gráfica 20.

Análisis de regresión lineal de la Ibuprofeno con dureza total.

Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
IBUPROFENO	9	0,70	0,60	0,37	7,79	8,58

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

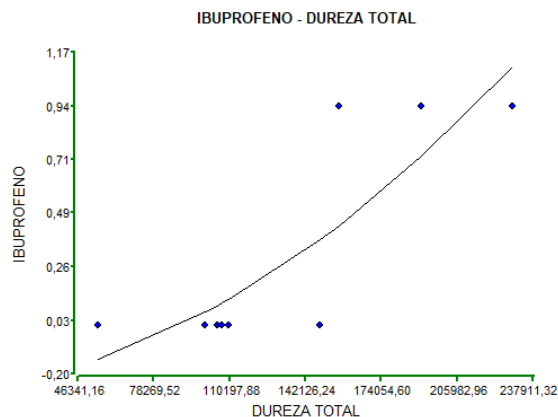
Coef	Est.	E.E.	LI (95%)	LS (95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	-0,27	0,71	-2,00	1,46	-0,38	0,7185		
DUREZA TOTAL	1,2E-06	1,0E-05	-2,4E-05	2,7E-05	0,12	0,9118	1,01	28,79
DUREZA TOTAL^2	2,1E-11	3,6E-11	-6,6E-11	1,1E-10	0,59	0,5775	1,35	28,79

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,22	2	0,61	7,10	0,0262
DUREZA TOTAL	1,19	1	1,19	13,86	0,0098
DUREZA TOTAL^2	0,03	1	0,03	0,35	0,5775
Error	0,51	6	0,09		
Total	1,73	8			

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,22	2	0,61	7,10	0,0262
DUREZA TOTAL	1,22	2	0,61	7,10	0,0262
Error	0,51	6	0,09		
Total	1,73	8			



Fuente: Autores, 2021.

Gráfica 21.

Análisis de regresión lineal de la cafeína con DQO.

Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
CAFEÍNA	9	0,76	0,68	0,41	2,12	2,90

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

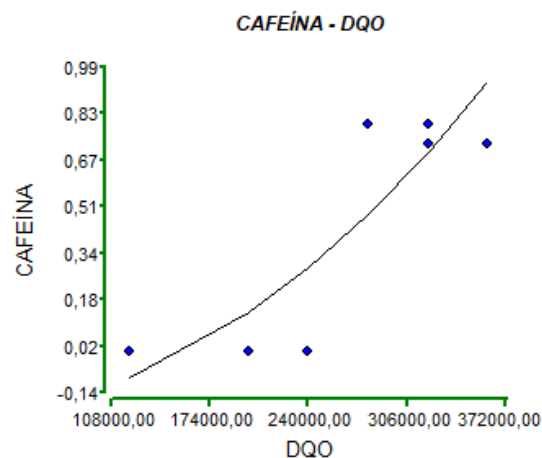
Coef	Est.	E.E.	LI (95%)	LS (95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	-0,21	0,80	-2,16	1,75	-0,26	0,8039		
DQO	-9,2E-08	7,1E-06	-1,7E-05	1,7E-05	-0,01	0,9900	1,00	50,52
DQO^2	9,1E-12	1,5E-11	-2,7E-11	4,5E-11	0,62	0,5556	1,39	50,52

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,86	2	0,43	9,43	0,0141
DQO	0,84	1	0,84	18,48	0,0051
DQO^2	0,02	1	0,02	0,39	0,5556
Error	0,27	6	0,05		
Total	1,14	8			

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,86	2	0,43	9,43	0,0141
DQO	0,86	2	0,43	9,43	0,0141
Error	0,27	6	0,05		
Total	1,14	8			



Fuente: Autores, 2021

Gráfica 22.

Análisis de regresión lineal de la cafeína con turbiedad.

Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
CAFEINA	9	1,00	1,00	3,1E-05	-70,84	-70,06

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

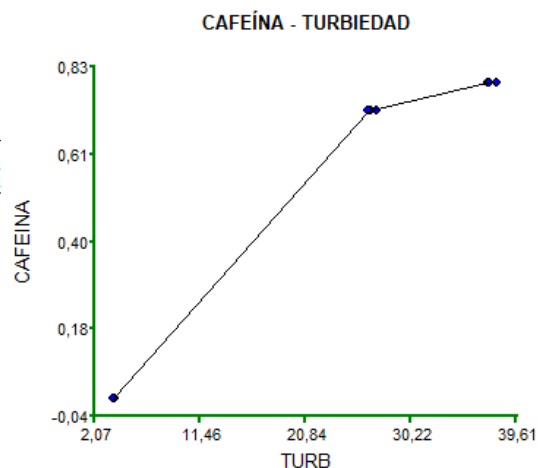
Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	-0,19	3,1E-03	-0,20	-0,18	-61,28	<0,0001		
TURB	0,05	4,4E-04	0,05	0,05	120,87	<0,0001	14611,41	25,26
TURB^2	-7,3E-04	1,1E-05	-7,6E-04	-7,1E-04	-66,63	<0,0001	4440,74	25,26

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,14	2	0,57	41230,27	<0,0001
TURB	1,07	1	1,07	78020,79	<0,0001
TURB^2	0,06	1	0,06	4439,74	<0,0001
Error	8,3E-05	6	1,4E-05		
Total	1,14	8			

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,14	2	0,57	41230,27	<0,0001
TURB	1,14	2	0,57	41230,27	<0,0001
Error	8,3E-05	6	1,4E-05		
Total	1,14	8			



Fuente: Autores, 2021

Gráfica 23.

Análisis de regresión lineal de la triclosán con turbiedad.

Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
TRICLOSAN	9	1,00	1,00	1,2E-03	-38,49	-37,70

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

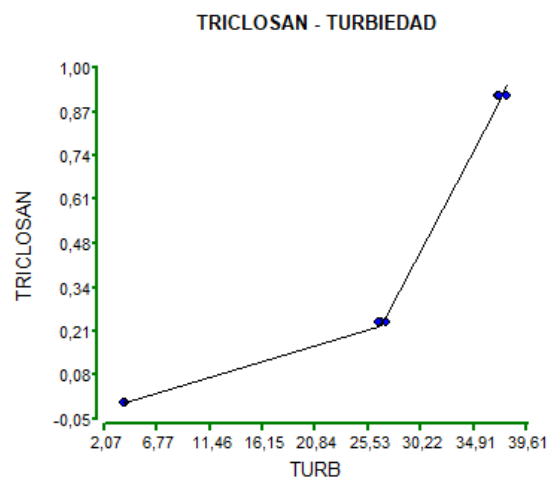
Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	0,13	0,02	0,08	0,17	6,65	0,0006		
TURB	-0,04	2,7E-03	-0,04	-0,03	-14,05	<0,0001	198,32	25,26
TURB^2	1,6E-03	6,6E-05	1,4E-03	1,7E-03	23,59	<0,0001	557,59	25,26

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,32	2	0,66	1318,15	<0,0001
TURB	1,04	1	1,04	2079,71	<0,0001
TURB^2	0,28	1	0,28	556,59	<0,0001
Error	3,0E-03	6	5,0E-04		
Total	1,33	8			

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,32	2	0,66	1318,15	<0,0001
TURB	1,32	2	0,66	1318,15	<0,0001
Error	3,0E-03	6	5,0E-04		
Total	1,33	8			



Fuente: Autores, 2021

Para las regresiones lineales de las gráficas 20 y 21 se puede evidenciar a través de sus coeficientes de p-valores que ni el ibuprofeno con la dureza total, ni la cafeína con la DQO muestran que los datos se ajustan a los modelos lineales y cuadráticos que el software plantea, a su vez se refleja en los valores de los R^2 , coeficientes ≥ 0.7 lo que implica una variabilidad considerables entre cada contaminante emergente con sus respectivos parámetros.

En las gráficas 22 y 23 presentan que los contaminantes emergentes muestran un 100% de variabilidad con respecto a sus parámetros fisicoquímicos. En los p-valores estas dos gráficas arrojan valores de 0.0001. Al observar dicho coeficiente se llega a concluir que es menor que 0.05 y confirma la significancia estadística que el modelo planteado representa la tendencia de los datos. El valor del error en estas 4 últimas gráficas (20, 21, 22 y 23) son muy pequeñas (≤ 0.0027) lo que demuestra un buen ajuste de los datos, en otros términos una alta precisión en estos.

A través de las regresiones lineales de las gráficas 22 y 23 se dio un modelo matemático que represente la relación entre el CE y el parámetro fisicoquímico:

Grafica 22: $y = -7,3 e^{-4}x^2 + 0,05x - 0,19$

Grafica 23: $y = 1,6 e^{-3}x^2 - 0,04x + 0,13$

7.4 ETAPA 3: DETERMINAR LA INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDROGRÁFICAS DEL RÍO CESAR DE LOS LINEAMIENTOS NECESARIOS DEL POMCA, EN LOS PUNTOS DE ANÁLISIS CON RESPECTO A LAS CONCENTRACIONES DE CONTAMINANTES EMERGENTES PARA LA PROSPECTIVA CAUSA-EFECTO Y POSIBLES SOLUCIONES.

7.4.1. Características morfométricas e hidrológicas

De acuerdo con Asocar y Unimagdalena (2011):

Los parámetros morfométricos son los diversos factores que intervienen en la compleja función del movimiento del agua en la naturaleza. Dichas características presuponen un comportamiento, de acuerdo a formas y geometrías específicas, que afectan en buena parte la respuesta de una cuenca en el régimen hidrológico.

Algunas de las características morfométricas e hidrológicas consideradas en este estudio son de la cuenca del río Guatapurí, que se describen a continuación en la tabla 13:

Tabla 13.

Características hidrológicas y morfométricas del río Guatapurí.

Característica	Datos	Descripción
Pendiente media	2,029%	Este parámetro influye en el tiempo de concentración de las aguas. Esta porción de la cuenca presenta pendientes suaves o ligeramente planas categorizadas como terreno accidentado.

Característica	Datos	Descripción
Índice de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales IVET	Medio	Indica que es moderada la variación que existe entre los caudales del río época de lluvia y sequía en cuenca baja. Además, que es media la probabilidad de que ocurran eventos de tipo torrencial.
Patrón de drenaje	Dendrítico, Paralelo, angular.	El patrón de drenaje refleja el material y la pendiente predominantes en la subcuenca. En este caso, dónde se evidencia que esta cuenca tiene un patrón de drenaje paralelo, lo cual puede indicar la presencia de una falla o un relieve escarpado.
Densidad de drenaje	1,343 (Km/Km ²)	Indica una densidad moderada, lo cual refleja una sub cuenca bien drenada, con regulares escorrentías superficiales.
Índice de Compacidad de Gravelius (Kc)	1,671	Su forma es de oval oblonga a rectangular oblonga. Esto significa que en la zona de baja pendiente los drenajes se dispersan a lo largo y ancho, y en la zona de alta pendiente en la que predomina la dispersión a lo largo.
Tiempo de concentración de las aguas	2,859 horas	El Tiempo de concentración de la cuenca baja del Guatapurí es de 2.859 horas, por lo que se puede afirmar que la pendiente accidentada de terreno suave influye en este tiempo de concentración.

Fuente: Adaptado de POMCA Guatapurí, 2018.

Fuente: Autores, 2021.

Se considera estos datos, ya que las características de esta subcuenca del río Cesar, son las más próximas a los puntos de muestreo de este estudio, además por la similitud morfológica e hidrológica que tiene la cuenca baja del río Guatapurí y la cuenca media del río Cesar (Anexo 10) ya que desde la desembocadura del Guatapurí hasta el primer punto de muestreo hay un recorrido de 11,17 km. Para hallar los tiempos de concentración en las diferentes estaciones se consideró la pendiente de la cuenca de río Cesar (1,27 %) la cual se tomó teniendo en cuenta la

longitud del Cauce desde el nacimiento de esta misma hasta el primer punto de muestreo E1.

A continuación, se presenta los tiempos de concentración (en horas) de los puntos de muestreo E1, E2 y E3, respectivamente. Para el cálculo de dichos tiempos se tuvo en cuenta lo siguiente:

- Longitud del cauce principal de la cuenca del río Cesar hasta desembocadura del río Guatapurí: 121,1757 Km.
- Longitud desde la desembocadura del río Guatapurí hasta el punto E1: 11,17 Km.
- Longitud del E1 hasta el punto E2: 0,0116 Km.
- Longitud del E2 hasta el punto E3: 0,0904 Km.

Dando lugar a las longitudes del cauce principal para E1, E2 y E3:

- * Longitud del cauce principal del río Cesar hasta E1: 132,3457 Km.
- * Longitud del cauce principal del río Cesar hasta E2: 132,3573 Km.
- * Longitud del cauce principal del río Cesar hasta E3: 132,4477 Km.

De acuerdo con Corpocesar y Corpoguajira (2019), “el método de Kirpich es utilizable en cuencas de tamaño medio, pendiente considerable y dedicados al cultivo” (pág.259). Debido a que la cuenca media del Rio Cesar, por “la presencia de cauces no tributarios a un cauce de mayor jerarquía, es tomada como una unidad hidrográfica de nivel III” (pág. 263) y dicho logaritmo se adecua más a las características de la cuenca media del río Cesar ya que presenta variedades de cultivos, además de su extensión.

Con los datos obtenidos y por medio de la ecuación Kirpich, se procedió a calcular los tiempos de concentración para cada punto:

$$T_c = 0,06628 L^{0,77} * S^{-0,385}$$

Dónde:

T_c: Tiempo de concentración (horas)

L: Longitud (Km)

S: Pendiente media (0,01273 m/m).

Por tanto,

$$T_{c_{E1}} = 0,06628 (132,3457 \text{ Km})^{0,77} * (0,01273 \text{ m/m})^{-0,385} = 15,3036 \text{ hrs.}$$

$$T_{c_{E2}} = 0,06628 (132,3573 \text{ Km})^{0,77} * (0,01273 \text{ m/m})^{-0,385} = 15,3046 \text{ hrs.}$$

$$T_{c_{E3}} = 0,06628 (132,4477 \text{ Km})^{0,77} * (0,01273 \text{ m/m})^{-0,385} = 15,313 \text{ hrs.}$$

Los tiempos de concentración obtenidos en las diferentes estaciones comprueban que entre cada punto de muestreo es mínima la diferencia, variando 0,001 horas entre el antes y punto de vertimiento y 0,0084 horas entre el punto E2 y E3. Esto indica que para los 3 puntos, se presenta el mismo tiempo de concentración ya que la pendiente no tiene cambios considerables ya que la distancia entre puntos es muy corta para causar un cambio en esta. Este tiempo indica la demora de una gota de agua en recorrer un tramo a otro, en este caso es un poco lento, y por tanto, la concentración del agua en estos sectores será más intensa, lo que genera que los contaminantes emergentes que transitan por este curso tengan mayor tiempo de interacción con los organismos presentes en la zona, incrementando su contaminación.

La pendiente del cauce en la cuenca media del río Cesar es suave o ligeramente plana. De acuerdo con el IGAC (2014) este terreno es apta para una amplia

diversidad de cultivos, así como para la práctica de ganadería intensiva con pastos de corte. Estas actividades se ven con frecuencia, aguas arriba, donde usan el agua del río Cesar para irrigación de cultivos como arroz, algodón, café, entre otros y donde los semovientes son llevados a la fuente hídrica para descansar y tomar agua (Guzmán Finol, 2013). Todo ello influye que se presente estos contaminantes en el cuerpo de agua.

La cuenca baja del río Guatapurí presenta un patrón dendrítico, paralelo, angular, es posible inferir que en el río Cesar se genera constantemente sedimentos producto de la descomposición de rocas sedimentarias blandas. En esta sección del río se presenta actividad de extracción de arenas y gravas (Corpocesar y Universidad del Atlántico, 2011). Los sedimentos ofrecen utilidad al ecosistema como depósito o sumidero de carbono, nutrientes y suspensión de contaminantes (Hernández et al., 2019) provocando que sean liberados dichos contaminantes tanto a corto como a largo plazo bajo condiciones físicas y químicas variables, resultando en su removilización (Zhu et al. 2014).

Los contaminantes emergentes encontrados en estos puntos del río Cesar en la zona del Sistema de Tratamiento de Agua Residual El Salguero tienden a acumularse en las zonas sedimentables. En el caso del estudio realizado por (Hernández et al., 2019), el Ibuprofeno se encontró en aguas intersticial en sedimentos de humedal, a concentraciones entre los 0,5 y 13,9 $\mu\text{g/L}$, rango en el que cabe el valor obtenido en este estudio de 0,94 $\mu\text{g/L}$; El triclosán no fue detectado, caso contrario a esta investigación en la que varía entre 0,081 y 0,91 $\mu\text{g/L}$; realizado todos dos estudios bajo la influencia de descargas de plantas de tratamiento, lo que puede explicar las altas concentraciones.

Por otro lado, tal como se puede observar en la tabla 13, el índice de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales (IVET), es moderado en la cuenca baja del río Guatapurí, lo cual según Cáceres (2017) representa el grado de susceptibilidad de la cuenca a presentar eventos de carácter torrencial. Por tanto, se considera que en época de lluvia la concentración de contaminantes emergentes en cuenca media del río Cesar disminuya por el incremento de caudal lo que facilita el flujo de estos contaminantes en esta parte de la cuenta y por consiguiente, que exista mayor acumulación en cuenca baja, además que en verano disminuya, lo anterior lo confirman con los resultados de este estudio.

En cuanto a densidad de drenaje de $1,343 \text{ Km/Km}^2$, este valor indica una densidad de drenaje moderada tal como se evidencia en la tabla 13, por tanto, se infiere que en la cuenca media del río Cesar, de acuerdo con Peña (2015) se da una respuesta hidrológica lenta lo que permite al fluido, en temporadas secas debido a los tiempos de concentración altos y pendiente baja, que los contaminantes emergentes sedimenten, por el contrario, en temporadas de lluvias, estos contaminantes que se depositaron en los sedimentos del río, son arrastrados por la cantidad de fluido, dando como resultado un menor tiempo de concentración y permitiendo que en estas épocas lluviosas, tiendan a circular en el curso dándose una distribución uniforme, sin alteraciones drásticas.

Por último, teniendo en cuenta que el Índice de compacidad de Gravelius (K_c) del río Guatapurí es de 1,671, lo que indica que la cuenca es de tipo oval oblonga a rectangular oblonga, tal como se observa en la tabla 13. Según Camino, et al. (2018) esto indica que las cuencas tienden a ser alargadas y un poco irregulares, así mismo, Moreno y Esquivel (2015) encuentran que este tipo de cuencas tendrá muy poca posibilidad a inundaciones y avenidas por contar con una buena red de drenaje y forma alargada, por tanto, se infiere que en la cuenca del río Cesar, los

contaminantes drenan a lo largo y ancho del curso hídrico, lo cual tiene un efecto positivo en cuanto a la no retención de los contaminantes en puntos determinados, no obstante, a lo largo de su recorrido va teniendo contacto con la biota presente, lo que puede generar afectación en esos ecosistemas.

7.4.2. Alternativas para controlar y remover contaminantes emergentes en el río Cesar

Debido a que existen pocos estudios que demuestren los impactos negativos que genera la presencia de contaminantes emergentes en el ambiente ya que anteriormente no se contaba con la tecnología necesaria para la detección de estos, adicionalmente, tampoco no existe una legislación que establezca los límites de vertimiento para los mismos. Este es un término que se acuña a todas aquellas sustancias que no están siendo reguladas y que por lo tanto, no son monitoreadas ambientalmente, ni son tenidas en cuenta dentro de los procesos de planificación de procesos de remoción de contaminación.

Es por ello, tal como afirman García, Gortáres y Drogué, P. (2011) que las plantas convencionales de tratamiento de aguas residuales o para uso potable no están diseñadas para eliminar estos tipos de contaminantes. Estos contaminantes emergentes comprenden los productos farmacéuticos, del cuidado personal, surfactantes, aditivos industriales, plastificantes, plaguicidas y una gran variedad de compuestos químicos que aunque se encuentran en bajas concentraciones son capaces de alterar las funciones endocrinas, es por esa razón que han llegado a ser en la actualidad un serio problema.

De acuerdo con Pinos (2019) “se debería prestar especial atención a los antibióticos y a los disruptores endocrinos u hormonales; pues los primeros han sido asociados

con resistencia bacteriana, y los segundos con ciertos tipos de cáncer y alteraciones hormonales en especies animales” (párr.5). Por lo anterior, se han planteado tratamientos fisicoquímicos y biológicos no convencionales y avanzados (Patiño et al 2014; Delgado et al., 2019; Vicenso et al., 2020) los cuales resultan bastante costosos siendo estos todavía tema de estudios.

7.4.2.1. Medidas de prevención

Para coordinar las iniciativas de prevención de la contaminación hídrica en los sectores del agua, será necesario poner en marcha mecanismos y medidas formales para la cooperación e intercambio de información; que a pesar de la falta de evidencia científica concluyente, no se puede aplazar las medidas que evitan los posibles daños ambientales debido a sustancias peligrosas (UNESCO, 2017). Esto se traduce en atacar la problemática desde la fuente, que para este caso, se encuentra en la comunidad, instituciones, etc., que es dónde parte la generación de contaminantes. De este punto, involucrar a todas las partes brindándoles información al respecto, de tal forma que se pueda sensibilizar y propiciar encuentros en dónde haya espacio para la proposición de ideas que vayan encaminadas a combatir en primera instancia la presencia de estos contaminantes y cómo desde cada posición se puede aportar a esa solución.

No obstante, es menester según UNESCO (2017) brindar acceso libre a la información en materia de contaminación hídrica. Una condición necesaria para la participación es el acceso libre a la información de que disponen las autoridades. Promover cultura ciudadana para reducir en cuanto sea posible el consumo de estos. Así mismo, promover el manejo adecuado de fármacos y hormonas mediante un adecuado manejo y disposición, todo esto para evitar el vertimiento directo de este tipo de contaminantes a sistema de alcantarillado y a los rellenos sanitarios.

Se propone a las industrias de detergentes producir productos biodegradables con el fin de que se degraden rápidamente (Barceló Damián, 2016), y de esta manera evitar que en los sistemas loticos halla presencia de espumas debido a productos que son utilizados diariamente.

7.4.2.2. Medidas de control

Una vez abordadas las medidas de prevención, lo que prosigue es tener control sobre la contaminación en la fuente hídrica. Un punto importante para establecer un debido control sobre estos contaminantes, es comenzar a regularlos, ya que de acuerdo a la UNESCO (2017) El enfoque normativo de la contaminación hídrica permite a las autoridades ejercer cierto control con respecto a cuáles objetivos ambientales se pueden lograr y cuándo se puede hacer. Su mayor desventaja es la falta de eficiencia económica. Las herramientas económicas incentivan a los contaminadores a cambiar su comportamiento en pos del control de la contaminación y, a la vez, generan ingresos para financiar estas actividades de control.

Así mismo, realizar un análisis más profundo para determinar la amplia gama de contaminantes emergentes que se están vertiendo y en que concentración se encuentran en el río Cesar. Además de evaluar las posibles alteraciones en los ecosistemas aledaños generadas por la presencia de este tipo de contaminantes. Por tal motivo, es importante que para que lo anterior se lleve a cabo oportunamente, un desarrollo e implementación esquemas de planificación y coordinación, programas de monitoreo, vigilancia del cumplimiento de los reglamentos, herramientas e instrumentos de gestión, tales como normas de calidad

del agua, sistemas de monitoreo, modelos de calidad del agua y evaluación del impacto.

7.4.2.3. Medidas de mitigación

Como los contaminantes emergentes son resistentes a procesos de biodegradación, estos pueden presentar problemas al entorno, y para eliminarlos no se utilizan tratamientos comunes como adsorción, osmosis inversa, cloración, entre otras, pues no son adecuadas para lograr la pureza deseada y algunos de ellos mantienen intactos a los contaminantes (Madera y Vilorio, 2020).

Es importante, establecer tratamientos previos en las aguas residuales provenientes del sector hospitalario e industrial, que permita mitigar las altas cargas de contaminantes farmacéuticos al sistema de alcantarillado y en consecuencia a los cuerpos de aguas. Asimismo plantear y ejecutar métodos de remoción de contaminantes emergentes en aguas residuales que sean económicamente viables y más amigable con el ambiente, entre ellos membranas de carbón activado, lodos activados, entre otros (Bolong et al., 2009).

Estudios han demostrado que la aplicación de procesos con carbón activado son efectivos para remover en un 90 % de contaminantes emergentes (Filale et al., 2004), este resulta ser el absorbente más eficaz, especialmente en aguas residuales que contienen materia orgánica y compuestos no biodegradables (westerhoff et al., 2005). De igual manera el proceso de oxidación avanzada es una buena alternativa para la reducción/eliminación de los CE que difícilmente son tratados mediante tratamientos convencionales, con el fin de disminuir la toxicidad de los efluentes y aumentar la biodegradabilidad de las aguas para poder ser tratadas mediante procesos biológicos convencionales (Vidal N., 2013).

El objetivo de este proceso es la eliminación de compuestos solubles no biodegradables que están presentes en las aguas residuales, estos tienen reactividad alta para poder eliminar todos los compuestos presentes logrando la reducción de la toxicidad en las aguas residuales tratadas (Madera y Vilorio, 2020).

7.4.2.4. Medidas de compensación

En cuanto a las medidas de compensación, cómo bien es sabido, lo que se busca es emplear acciones en pro de beneficios ambientales proporcional al daño o perjuicio que cause alguna actividad. Es por ello que aquellas instituciones que sean generadoras y responsables de incrementar la carga de estos contaminantes emergentes en la fuente hídrica y en dónde ya no se pueden adoptar más medidas de prevención y/o mitigación, compensen de alguna manera esta acción.

Una de las medidas que se pueden aplicar según la UNESCO (2017) es poner en práctica el principio de «el contaminador paga», según el cual quien contamina debe asumir el costo de las medidas de prevención, control y reducción de la contaminación. Con esta herramienta económica se intenta fomentar y promover aquellas conductas que supongan una presión menor para el medio ambiente. En ese sentido, aquellas empresas y/o instituciones que en la región contribuyan a elevar la carga contaminante de estas sustancias en el río Cesar, deberán compensar económicamente proporcional a la contaminación que generan, la cual se utilizará para implementar acciones que compensen de alguna manera los perjuicios que estos contaminantes causan al ambiente y a la comunidad que está en contacto con el recurso hídrico la que se ve afectada a nivel de salud.

8 CONCLUSIONES

Se confirma la existencia de contaminantes emergentes en el río Cesar como el bisfenol A, gemfibrozilo, cafeína, triclosán por la detección y su mayor concentración en las dos temporadas mientras que el ibuprofeno en temporada seca y la progesterona en temporada de lluvias.

Se determinó que la turbiedad al igual que el triclosán durante esta investigación tienen una fuerte relación. Ambos demuestran que producen afectaciones a bacterias como el *Staphylococcus Aureus* y a microorganismos fotosintéticos dificultando que este tramo del río Cesar sea apto como fuente de alimento para los peces y fitoplancton.

De acuerdo con la temperatura registrada en temporada de sequía en las que supera los 27° estaría influenciando en la toxicidad del triclosán, ya que a temperaturas mayores a 25° comienza su efecto. Para el etinilestradiol no se tuvo información sobre la relación de este CE con los parámetros fisicoquímicos debido a que no fue detectado con el cromatógrafo líquido de Ultra – Alta Eficacia (UHPLC).

Las características morfométricas del río Cesar demuestran que existe una influencia con el escurrimiento superficial presentando un mayor tiempo de concentración y prolongación de los contaminantes emergentes que afectan al ecosistema acuático y biótico de la zona; en especial la progesterona, cafeína y gemfibrozilo que se encontraron en mayor proporción.

9. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar un estudio a más profundidad respecto a la presencia de fármacos en las aguas que entran y salen del sistema de tratamiento de aguas residuales el Salguero, con el fin de establecer un programa de monitoreo que permita observar de manera detallada el comportamiento de los distintos sistemas de tratamiento o cuerpos receptores ante la presencia de fármacos. También un análisis profundo de la fauna acuática, en los peces, si hay presencia en su organismo de los mencionados contaminantes emergentes y sus posibles alteraciones en los ecosistemas. Profundizar en aquellos contaminantes emergentes que se han detectado en este estudio con mayor persistencia y de igual manera ampliar el número de muestras a analizar.

En Colombia, al inspeccionar la legislación, se certificó que no se encuentra normatividad para los límites permisibles de los Contaminantes Emergentes en agua cruda y residual como la existente para los parámetros fisicoquímicos de agua potable. Aumentar la atención que deben prestar las instituciones, corporaciones regionales y demás entes gubernamentales en cuanto al impacto real que genera la presencia de los productos farmacéuticos sobre los ecosistemas.

Para el caso del Ibuprofeno se recomienda estudiar a profundidad que tanta relación tiene este contaminante emergente con la alcalinidad, dureza total y cálcica que fueron los parámetros físicos químicos con los cuales tuvo una alta correlación debido a su presencia solo en temporada de sequía.

Será necesario brindar información a los consumidores de productos como (detergentes, artículos de limpieza, fármacos, pesticidas etc.) sobre el impacto

negativo que estos generan al medio ambiente con el fin de concientizar sobre el uso y disposición adecuada. Dado que estos son categorizados como Contaminantes Emergentes.

Se recomienda a la Universidad Popular del Cesar a adquirir equipos para las determinaciones y análisis de estos contaminantes emergentes y por consiguiente desarrollar esta línea de investigación que poco se ha estudiado, como puede verse reflejado en los antecedentes de este estudio.

9. REFERENCIAS

- Abellán Soler, M., Hernández, F., Ibáñez Martínez, M., Lardín Mifsu, C., Martínez Muro, J., Morales Caveró, E., . . Santos Asensi, J. (Diciembre de 2013). Eliminación de contaminantes emergentes en aguas residuales mediante oxidación avanzada con ozono y ultrasonidos. Obtenido de Tecnoaqua: <https://core.ac.uk/download/pdf/61460705.pdf>
- Abrevaya. (20 de Agosto de 2008). Genotoxicidad. Obtenido de IntraMed: <https://www.intramed.net/contenido.asp?contenidoid=47111>
- Aceña Sánchez, J. (2017). : *Transformación y metabolismo de fármacos al medio acuático mediante la espectrometría de masas de alta resolución*. Obtenido de Universidad de Barcelona. España.: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=153712>
- Agencia catalana de Seguridad Alimentaria. (16 de Diciembre de 2019). *Disruptor endocrino*. Obtenido de Agencia Catalana de Seguridad Alimentaria: <http://acsa.gencat.cat/es/detall/article/Disruptor-endocrino>
- Ainia. (2013). *Restos de antibióticos en aguas: El problema de los contaminantes emergentes*. Obtenido de Ainia: <https://www.ainia.es/noticias/restos-de-antibioticos-en-aguas-el-problema-de-los-contaminantes-emergentes/>
- American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. NewYork, Washington, DC.: 25 Ed, American Public Health Association.
- Arbeláez Salazar, P. (2016). *Contaminantes Emergentes en Aguas Residuales de río y Fangos de Depuradora (Tabla)*. Obtenido de: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/334397/Tesi%20Paula.pdf?sequence=1>
- Arrubla, J., Arias, C., Arredondo, J., Cubillos, J., Paredes, D. y Ramírez, C. (2016). Pharmaceutical and personal care products in domestic wastewater and their removal in anaerobic treatment systems: septic tank – up flow anaerobic filter. *SciELO. Ingeniería e Investigación*, 36(1). 70-78. Obtenido de SciELO. Ingeniería e Investigación: <http://dx.doi.org/10.15446/ing.investig.v36n1.53076>.
- Asocar y Unimagdalena. (2011). Ajuste del Plan de Ordenación y Manejo del Complejo de Humedales de la vertiente occidental del río magdalena en el departamento del Atlántico y determinación de la ronda hídrica de los humedales de Sabana grande, Santo tomas y Palmar de várela. Fase de Diagnóstico. Caracterización Morfométrica. Convenio de asociación. (p.19)

- Aula Natural. (15 de Diciembre de 2015). *Tensoactivo*. Obtenido de Aula Natural: <https://aula-natural.com/que-es-un-tensoactivo/>
- Aware. (13 de Agosto de 2017). *Biorreactores de membrana (BRM)*. Obtenido de Aware: Innovative hybrid MBR systems to promote water Rause: <http://www.life-aware.eu/es/proyecto/tecnologias-de-aware/Biorreactores-de-membrana-brm/>
- Balzarini, M., Bruno, C., Córdoba, M. y Teich, I. (2015). *Herramientas en el análisis estadístico multivariado*. Córdoba, Argentina: Escuela Virtual Internacional CAVILA. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba. Obtenido de: <https://n9.cl/re96u>
- Barceló, D. [We are water foundation]. (21 de Junio 2016). Emerging Contaminants, Episode 01 [Archivo de video]. Youtube. https://youtu.be/Hdri_pV574A
- Barceló, D. y López de Alda, M. J. (2012). *Contaminación y calidad química del agua: el problema de los contaminantes emergentes*. Obtenido de PANEL CIENTÍFICO-TÉCNICO DE SEGUIMIENTO DE LA POLÍTICA DE AGUAS: <http://www.unizar.es/fnca/variados/panel/15.pdf>. Consultado el 1 de mayo de 2014.
- Benedí, J. (2005). Antisépticos. *Revistas Elsevier*. 19(8), 58-61. ISSN 0213-9324.
- Bermudez Zuluaga, J. A. y Torres Romero, L. N. (26 de Septiembre de 2019). Aplicación de diferentes procesos físico-químicos para la remoción de compuestos emergentes (triclosán y cafeína) en aguas para consumo humano. Obtenido de Universidad Militar Nueva Granada: <http://hdl.handle.net/10654/32329>
- Bolong, N., Ismail, A., Salim, M. y Matsuura, T. (2009). A review of the effects of emerging contaminants in wastewater and options for their removal. *Desalination*, 239(1-3), 229-246. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.03.020>
- Cai, K., Elliott, C. T., Phillips, D. H., Scippo, M. L., Muller, M. y Connolly, L. (2012). Treatment of estrogens and androgens in dairy wastewater by a constructed wetland system. *Water Research*, 46(7), 2333-2343.
- Cáceres, C. (2017). Sistema de información geográfica para la evaluación regional del agua en el departamento del Huila. Universidad de Manizales. Recuperado de: https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/bitstream/handle/20.500.12746/3214/Caceres_Gonzalez_Carlos_Eduardo_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Cajal, a. (2017). *lifeder.com*. Obtenido de ecosistemas loticos: <https://www.lifeder.com/ecosistema-lotico/>
- Camejo, M. (19 de Abril de 2017). Cromatografía de Líquidos de Alta Resolución HPLC. Obtenido de Slide Player: <https://slideplayer.es/slide/3915531/>
- Camino, A., Bó, M., Cionchi, J. L., Del Río, L., López, A. y De Marco, G. (2018). Estudio morfométrico de las cuencas de drenaje de la vertiente sur del sudeste de

la provincia de Buenos Aires. Revista Universitaria de Geografía, vol. 27, núm. 1, Universidad Nacional del Sur, Argentina.

- Cantillo, G., Cortés, G., Cotes, A., Oñate, H. y Pacheco, A. (2014). Evaluación de asimilación de carga contaminante y calidad microbiológica del río Cesar por el efluente residual del municipio de Valledupar. " *La investigación científica en el tercer milenio*". *Memorias encuentro internacional de investigación.*, 884-892.
- Caro Daza, D. (20 de Agosto de 2019). El campo del Cesar, dominado por la ganadería. *El Pilón*, págs. <https://elpilon.com.co/el-campo-del-cesar-dominado-por-la-ganaderia/>.
- Carton, a. (07 de 02 de 2020). *Ecología verde*. Obtenido de ecosistema lotico: <https://www.ecologiaverde.com/ecosistemas-loticos-que-son-y-ejemplos-2419.html>
- Castrillón R., M. L. (28 de Junio de 2018). Estudio sobre bioeconomía como fuentes de nuevas industrias basadas en el capital natural de Colombia Fase II. *Análisis Sector Farmacéutico*. Medellín, Antioquia, Colombia.
- Caviedes, D. I., Delgado, D. R. y Olaya, A. (2017). Normatividad Ambiental dirigida a regular la presencia de los productos farmacéuticos residuales en ambientes acuáticos. *Piélagus*, 16(1), 121-130.
- Cerdanya ecoresort. (10 de Marzo de 2018). *Compuestos orgánicos: qué son y para qué se utilizan*. Obtenido de cerdanya ecoresort: <https://blog.cerdanyaecoresort.com/compuestos-organicos-que-son/>
- Cilia, Abad, Piñero, Sandy, Teresa, Proverbio, Proverbio, Fulgencio y Marín, Reinaldo. (2005). SULFATO DE MAGNESIO: ¿UNA PANACEA? *Interciencia*, 30(9), 36-50. Recuperado de scielo: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442005000900007&lng=es&tlng=es.
- Colman, J. R., Baldwin, D., Johnson, L. L. y Scholz, N. L. (2009). Effects of the synthetic estrogen, 17 α -ethinylestradiol, on aggression and courtship behavior in male zebrafish (*Danio rerio*). *Aquatic Toxicology*, 91(14), 346-354.
- Concepto.de. (28 de Octubre de 2019). *Mutación*. Obtenido de Concepto.de: <https://concepto.de/mutacion/>
- Consorcio Guatapurí - Cesar. (2018). Caracterización del medio físico- biótico de la cuenca. En CORPOCESAR, *Formulación del POMCA del río Guatapurí. Fase diagnóstico*, 1 - 1101. Valledupar: CORPOCESAR.
- Corbella. (30 de Mayo de 2018). Triclosán. Obtenido de La Vanguardia: <https://www.lavanguardia.com/ciencia/20180530/443950625496/alerta-triclosan-dentifrico-colutorio.html>Core
- Corpocesar y Corpoguajira. (2019). Caracterización biofísica de la cuenca. En J. Suarez Luna, & L. Medina Toro, *Formulación POMCA ríos Chiraimo y Manaure*, 1-591. Valledupar, Colombia.

- Corpocesar y Universidad del Atlántico. (2011). Determinación de la composición y variación espacio-temporal de los sedimentos. En Caracterización e impacto ambientales por vertimientos en tramos de la cuenca media y baja del río Cesar, Valledupar. 98-108. Barranquilla.
- Cunha, D. L., Camargo da Silva, S. M., Bila, D. M., Lopes da Mota Oliveira, J., Sarcinelli, P. y Larentis, A. (2016). Regulation of the synthetic estrogen 17 α -ethinylestradiol in water bodies in Europe, the United States, and Brazil. *Cadernos de Saúde Pública*, 32(3), 1-12.
- Dafouz Ramírez, R., y Valcárcel Rivera, Y. (2017). Cafeína como contaminante Ambiental. *Revista de Toxicología*, 34(2), 136-142. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91954641014>
- De la Cruz González, N. (2013). Estudio de la eliminación de contaminantes emergentes en aguas mediante procesos de oxidación avanzados. Barcelona, España.
- Delgado, N., Capparelli, A., Navarro, A. y Marino, D. (2019). Pharmaceutical emerging pollutants removal from water using powdered activated carbon: Study of kinetics and adsorption equilibrium. *Journal of Environmental Management*, 236, 301-308. Doi: 10.1016/j.jenvman.2019.01.116.
- Díaz, I. (06 de 04 de 2019). *tapasmagazine.es*. Obtenido de que es el agua cruda: <https://tapasmagazine.es/que-es-el-agua-cruda/>
- Dirección general de protección civil y emergencias. (2004). Comportamiento medio ambiental de las sustancias. En M. d. interior., *Guía para la realización del análisis del riesgo medio ambiental*. (pág. 114). España. Obtenido de http://www.proteccioncivil.org/catalogo/carpeta02/carpeta22/gprarm/109_116.pdf
- EAFIT. (s.f). *Métodos de Concepción*. Obtenido de Universidad EAFIT: <http://www.eafit.edu.co/minisitios/tallerdesalud/anticonceptivos/Paginas/que-son-los-metodos-anticonceptivos.aspx>
- EcuRed. (21 de Agosto de 2019). *Ganadería*. Obtenido de EcuRed: <https://www.ecured.cu/Ganader%C3%ADa>
- EcuRed. (22 de Mayo de 2019). *Herbicida*. Obtenido de EcuRed: <https://www.ecured.cu/Herbicida>
- Educalingo. (23 de Enero de 2018). *Carcinógeno*. Obtenido de Educalingo: <https://educalingo.com/es/dic-es/cancerigeno>
- Emdupar E.S.P. - S.A. (Marzo de 2012). *Manual de Operación y Mantenimiento del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales*. Valledupar.
- Engenérico. (24 de Mayo de 2017). *Hablemos de medicamentos genéricos: el principio activo*. Obtenido de Engenérico: <https://www.engenerico.com/medicamentos-genericos-el-principio-activo/>

- Environmental Protection Agency - EPA. (1995). *Method 525.2: Determination of Organic Compounds in Drinking Water by Liquid-Solid Extraction and Capillary Column Gas Chromatography/Mass Spectrometry*. Obtenido de United States Environmental Protection Agency: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/epa-525.2.pdf>
- Espigares, M. y Pérez, J. (2011). *Aguas residuales composición*. Obtenido de https://cidta.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf
- EUPATI. (08 de 07 de 2015). *Biodisponibilidad y bioequivalencia*. Obtenido de Academia Europea de Pacientes: <https://www.eupati.eu/es/desarrollo-farmaceutico/biodisponibilidad-y-bioequivalencia/>
- Fernández Roldán, L. (29 de Enero de 2020). Contaminantes emergentes: definición, ejemplos y cómo nos afectan. Obtenido de Ecología Verde: <https://www.ecologiaverde.com/contaminantes-emergentes-definicion-ejemplos-y-como-nos-afectan-2468.html>
- Filali, Y., Tyagi, R., Surampalli, R., Barata, C. y Riva, M. (2004). Endocrine-disrupting compounds in wastewater, sludge-treatment processes, and receiving waters: Overview. *Practice Periodical of Hazardous, Toxic and Radioactive Waste Management*. 8(1), 39-56. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-025X\(2004\)8:1\(39\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-025X(2004)8:1(39))
- Gabarrón, S., Gernjak, W., Valero, F., Berceól, A., Petrovic, M. y Rodríguez Roda, I. (2016). Evaluation of emerging contaminants in a drinking water treatment plant using electrodialysis reversal technology. *Journal of Hazardous Materials*. 309, 192-201.
- García, C. Gortáres, P. y Drogui, P. (2011). Contaminantes emergentes: efectos y tratamientos de remoción. *Revista Química Viva*. 2(10), 96-105 <https://www.redalyc.org/pdf/863/86319141004.pdf>
- Gibson, R., Becerril Bravo, E., Jiménez, B., y Silva Castro, V. (26 de Octubre de 2007). Determination of acidic pharmaceuticals and potential endocrine, disrupting compounds in wastewaters and spring waters by selective elution and analysis by gas chromatography-mass spectrometry. (ScienceDirect., Ed.) *Journal of Chromatography A*, 1169(1-2), 31-9. doi:10.1016/j.chroma.2007.08.056
- Gil, M. J., Soto, A. M., Usma, J. I. y Gutiérrez, O. D. (2012). Contaminantes Emergentes en Aguas, efectos y posibles tratamientos. *Producción + Limpia*. 7(2), 52-73.
- Gonçalves Kieling, A., Ludvig Vogt, H. y Kern, G. (2019). Avaliação dos contaminantes emergentes cafeína e bisfenol a em água bruta e água tratada. 30º congresso brasileiro de engenharia sanitária e ambiental da abes. 1-6. Brasil.
- González Clavero, M. (2007). Educación para la ciudadanía y los derechos humanos (Primera ed.). (P.d. Alarcón, Ed.) Madrid: Editex.
- González, N. (2015). Estudio de la eliminación de contaminantes emergentes en aguas mediante procesos de oxidación avanzados. Barcelona, España.

- Grenni, P., Patrolecco, L. y Ademollo, N. (Enero de 2012). Degradation of gemfibrozil and naproxen in a river water ecosystem. *Microchemical Journal* 107, 158-164. Obtenido de DOI: 10.1016/j.microc.2012.06.008
- Gualdrón Durán , L. E. (Diciembre de 2016). Evaluacion de la calidad de agua de ríos de Colombia usando parámetros físicoquímicos y biológicos. *Revista Dinamica Ambiental*, 83-102. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/229944869.pdf>
- Guedes Alonso, R. I., Sosa Ferrera, M. Z. y Santana Rodríguez, J. J. (2015). Determinación de hormonas esteroideas en aguas depuradas de la isla de Gran Canaria. // *Workshop "Estudio, aprovechamiento y gestión del agua en terrenos e islas volcánicas*, 401- 408. Isla Gran Canaria, España: Las Palmas de Gran Canaria.
- Guzmán Finol, K. (2013). El río Cesar. Cartagena: Banco de la República. N°188. ISSN 1692-3715. <https://n9.cl/b7al0>
- Hernández, J. (2017). Diagnóstico ambiental del manejo de vertimientos en nueve sectores empresariales ubicados en la zona urbana del municipio de Santiago de Cali. [Tesis de pregrado, Universidad Autónoma de Occidente] <https://red.uao.edu.co/handle/10614/9905>
- Hernández Quiroz, M., Ruiz Meza, D., Rojo Callejas, F., & Ponce de León-Hill, C. (Mayo de 2019). Determinación de la distribución de contaminantes emergentes en agua intersticial en sedimentos de humedal mediante la optimización y validación de un método analítico. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 35(2), 407-419. Doi: <https://doi.org/10.20937/rica.2019.35.02.12>
- Herrera, E. (2020). *Definición de las condiciones de operación que maximizan la producción de Ácidos Grasos Volátiles (AGV's), a partir del proceso de digestión anaeróbica, empleando aguas residuales mediante pruebas a escala de laboratorio*. [Tesis de pregrado, Universidad Cooperativa de Colombia]. https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/16591/2/2020_Operacion_Acidos_Grasos.pdf
- ICA, r. (2006). *ICA Instituto Colombiano Agropecuario*. Obtenido de <https://www.ica.gov.co/normatividad/normas-ica/resoluciones-oficinas-nacionales/2006.aspx?page=2>
- IGAC. (Abril de 2014). *Metodología para la clasificación de las tierras por su capacidad de uso*. En Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá, D.C. (2), 1 - 43 Obtenido de <https://n9.cl/ivjq>
- Infowine. (11 de Septiembre de 2005). *Aplicación de la microextracción en fase sólida (SPME) al análisis de los vinos*. Obtenido de Infowine: Revista en Internet de Viticultura y Enología: <https://n9.cl/6rkqo>
- Ingeoexpert. (24 de Agosto de 2018). *¿Cómo se forma un acuífero?* Obtenido de Ingeoexpert. Madrid, España: <https://ingeoexpert.com/blog/2018/08/24/acuifero-aguas-subterraneas/>

- Lacina, P., Mravcová, L. y Vávrová, M. (2013). Application of comprehensive two-dimensional gas chromatography with mass spectrometric detection for the analysis of selected drug residues in wastewater and surface water. *Journal of Environmental Sciences* 25(1), 204-212.
- Lee, L., Carmosini, N., Sassman, S. A. y Dion, H. M. (2007). Agricultural Contributions of Antimicrobials and Hormones on Soil and Water Quality. *Advances in Agronomy*, 93, 1-68.
- Lenntech. (s.f.). *Magnesio y agua: mecanismos de reacción, impacto ambiental y efectos en la salud*. Obtenido de Lenntech: <https://www.lenntech.es/magnesio-y-agua.htm>
- Lorenzo Rodríguez, M. (2018). *Efecto del contaminante bisfenol A, a distintas temperaturas sobre la microalga marina tetraselmis suecica*. Obtenido de Repositorio Universidad de Coruña: <http://hdl.handle.net/2183/21321>
- Madera López, D. y Vilorio Soto, M. F. (Noviembre de 2020). Contaminantes emergentes en diferentes matrices de aguas y tratamientos alternativos para su eliminación. *Departamento de química. U. de Córdoba*. Montería- Córdoba, Colombia. Recuperado de: <https://n9.cl/n4rs>
- Magnaplust. (s.f.). *Metabolito*. Obtenido de Plataforma Educativa- Magnaplust: <https://www.magnaplust.org/articulo/-/articulo/AD1318/metabolito>
- Martinez de Paz, P. (2014). *Evaluación de la actividad citotóxica y genotóxica del nonilfenol, triclosán y bisfenol A en Chironomus riparius: identificación y caracterización de biomarcadores moleculares de ecotoxicidad*. Obtenido de UNED: <https://n9.cl/mvozn>
- Martínez García, R., Hernández Vidal, U., Hernández Franyutti, A., Contreras Sánchez, W. M. y Álvarez González, C. A. (2013). Inducción a la síntesis de vitelogenina plasmática en machos de pejelagarto (*Atractosteus tropicus*) mediante el uso de 17 β Estradiol. *Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Revista de Divulgación.*, Vol. 19, N° 36, 27-30.
- MedlinePlus. (20 de Septiembre de 2019). *Antidepresivos*. Obtenido de MedlinePlus: información de salud para usted: <https://medlineplus.gov/spanish/antidepressants.html>
- Medlineplus. (15 de Mayo de 2020). *Carbamazepina*. Obtenido de MedlinePlus: <https://n9.cl/kn4sf>
- Medline Plus. (30 de Abril de 2019). *Cafeína en la dieta*. Obtenido de Medlineplus: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/002445.htm>
- Medlinplus. (15 de Septiembre de 2017). *Gemfibrozilo*. Obtenido de MedlinePlus: <https://medlineplus.gov/spanish/druginfo/meds/a686002-es.html>
- Medline Plus. (15 de julio de 2016). *Ibuprofeno*. Obtenido de Medline Plus: Información de salud para usted: <https://medlineplus.gov/spanish/druginfo/meds/a682159-es.html>

- MedlinePlus. (26 de Diciembre de 2019). *Pesticidas*. Obtenido de MedlinePlus: Información de salud para usted: <https://medlineplus.gov/spanish/pesticides.html>
- Merck. (s.f.). *Water for LC-MS*. Obtenido de Merck: líder en ciencias de la vida: <https://n9.cl/gbjv>
- Mobius. (29 de Agosto de 2017). *¿Qué es una PTAR – Planta de Tratamiento de Aguas Residuales?* Obtenido de Mobius: Valorizamos la biomasa residual: <http://mobius.net.co/que-es-una-ptar/>
- Montagner, C. C. y Jardim, W. d. (Agosto de 2011). Spatial and seasonal variations of pharmaceuticals and endocrine disruptors in the Atibaia River, São Paulo State (Brazil). *SciELO*, 22(8). 1452-1462. Obtenido de SciELO: <https://doi.org/10.1590/S0103-50532011000800008>
- Montes de Oca Méndez, E. (Septiembre de 2019). Toxicidad de contaminantes emergentes sobre microorganismos: estudio de la concentración inhibitoria mínima. Obtenido de Repositorio Universidad de Coruña: <http://hdl.handle.net/2183/24226>
- Moro, I., Matozzo, V., Piovan, A., Moschin, E., y Dalla Vecchia, F. (Septiembre de 2014.). Morpho-physiological effects of ibuprofen on *Scenedesmus rubescens*. *Elsevier*, 38(2). 379-387. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.etap.2014.06.005>
- Moya Llamas, M. J., Bernal Romero del Hombre Bueno, M., Vásquez Rodríguez, E., Trapote Jaume, A., López Ortiz, C. M. y Prats Rico, D. (2016). Sistema Combinado UASB+MBR para la eliminación biológica de contaminantes emergentes, materia orgánica y nutrientes en aguas residuales urbanas. *20th International Congress on Project Management and Engineering*, 1385-1397. Cartagena. Obtenido de Asociación Española de Dirección e Ingeniería de Proyectos.
- Nudelman, N. (2004). Química sustentable. Santa Fe: Ediciones UNL, Universidad Nacional del Litoral. . Obtenido de Ediciones UNL, Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe: <http://catalogosuba.sisbi.uba.ar/vufind/Record/201603080902035120/Details>
- Núñez, E y Reyes, J (2016). Determinación de los índices de calidad del agua del río Cesar en el tramo corregimiento Guacochito – corregimiento los calabazos en el departamento del Cesar. (Tesis de pregrado). Universidad Francisco de Paula Santander. Ocaña.
- OMS. (2020). *Productos farmacéuticos en el agua potable*. Obtenido de Organización Mundial de la Salud- OMS; Agua, saneamiento e higiene: https://www.who.int/water_sanitation_health/emerging/info_sheet_pharmaceuticals/es/
- Oropesa Jiménez, A. L., Moreno, J. J. y Gómez Gordo, L. J. (2017). Lesiones histopatológicas en peces originadas por la exposición a contaminantes emergentes: recopilando y analizando datos. *Revista Toxicología*. 34(2), 99-108.

- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura- UNESCO (2017). Aguas residuales, el recurso desaprovechado. *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017*.
- Ovacen. (2018). *Ecosistemas acuáticos; tipos, flora, fauna y características*. Obtenido de Ovacen: Periodismo al detalle: <https://ecosistemas.ovacen.com/acuaticos/>
- Overturf, M., Overturf, C., Carty, D., Hala, DM., y Huggett, D. (Marzo de 2014). Levonorgestrel exposure to fathead minnows (*Pimephales promelas*) alters survival, growth, steroidogenic gene expression and hormone production. *Elsevier science direct*, 148. 152-161. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2014.01.012>
- Patiño, Y., Díaz, E. y Ordoñez, S. (abril-junio 2014). Microcontaminantes emergentes en aguas: tipos y sistemas de tratamiento. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 5(2), 1-20. E-ISSN: 0718-8706. <https://www.redalyc.org/pdf/3236/323631115001.pdf>
- Peña-Álvarez, A. y Castillo-Alanís, A. (2015). Identificación y cuantificación de contaminantes emergentes en aguas residuales por microextracción en fase sólida-cromatografía de gases-espectrometría de masas (mefs-cg-em). *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 18(1), 29-42.
- Peña Urrea, C. (2015). Estudio Morfométrico y Estimación de caudal de creciente de la quebrada La Caya hasta la desembocadura en río San Pablín del municipio de Guican-Boyacá utilizando el método racional. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/11349/8331>
- Peña Guzmán, C., Ulloa Sánchez, S., Mora, K., Helena-Bustos, R., López-Barrera, E., Álvarez, J. y Rodríguez-Pinzón, M. (2019). Emerging pollutants in the urban water cycle in Latin America: A review of the current literature. En Elsevier, *Journal of Environmental Management*, 408-423. Bogotá, Colombia: Elsevier Ltd, 237(1). <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.02.100>.
- Pérez Porto, J. y Merino, M. (2014). Teratogénesis. Obtenido de Definición.de: <https://definicion.de/teratogenesis/>
- Pineda, j. (2017). *Contaminación de fuente puntual, difusa y lineal*. Obtenido de <https://encolombia.com/medio-ambiente/interes-a/contaminacion-de-fuente-puntual-difusa-y-lineal/>
- Pinos, V. (2019). *¿Contaminantes Emergentes en el agua?* Recuperado de: <https://normas-apa.org/referencias/citar-pagina-web/>
- Raffino, M. (12 de Febrero de 2020). *Concepto de Red Trófica*. Obtenido de Concepto.de: <https://concepto.de/red-trofica/>
- Recytrans. (04 de 11 de 2015). *RECYTRANS soluciones globales para el reciclaje*. Obtenido de <https://www.recytrans.com/blog/aguas-industriales/>
- Reichert, G., Hilgert, Stephan, Fuchs, Stephan T. y Rodrigues Azevedo, J. C. (2019). Emerging contaminants and antibiotic resistance in the different environmental

- matrices of Latin America. En Elsevier, *Environmental Pollution* (págs. 113-140). Brazil: Elsevier Ltd, 255(1). <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113140>.
- Riquelme, M. (6 de Marzo de 2018). *Metodología De La Investigación (Definición Y Conceptos)*. Obtenido de Web y Empresas: <https://www.webyempresas.com/metodologia-de-la-investigacion/>
- Rivera Jaimes, J. A. (Junio de 2018). *Investigación y evaluación de contaminantes emergentes (productos farmacéuticos) presentes en la cuenca del río Apatlaco en el estado de Morelos*. Obtenido de Universidad Autónoma del estado de Morelos: <http://riaa.uaem.mx/handle/20.500.12055/430>
- Roldán, G. (2003). Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Propuesta para el uso del método BMWP/Col. Universidad de Antioquia.
- Saludemia. (s.f). *Etinilestradiol*. Obtenido de Saludemia: Medicamentos: <https://www.saludemia.com/-/medicamento-etinilestradiol>
- Santos, J. L., Alonso, E., Aparicio, I. y Callejón Mochón , M. (2005). Simultaneous determination of pharmaceutically active compounds in wastewater samples by solid phase extraction and high-performance liquid chromatography with diode array and fluorescence detectors. *Analytica Chimica Acta*, 550(1-2), 116-122.
- Semana. (17 de 08 de 2016). ¿A dónde van a parar los medicamentos viejos? *Semana: Sostenible*, págs. Recuperado de: <https://sostenibilidad.semana.com/impacto/articulo/medicamentos-vencidos-a-donde-van-a-parar/35859>.
- Shimadzu. (s.f.). *LCMS-IT-TOF: Liquid Chromatograph Mass Spectrometer*. Obtenido de Shimadzu: Excellence in Science.: <https://www.shimadzu.com/an/lcms/lcmsittof/ittof.html>
- Sierra Ramírez, C. (2011). *Calidad del agua. Evaluación y diagnóstico*. Medellín: Universidad de Medellín. ISBN: 9789588692067.
- Significados.es. (2018). Obtenido de escorrentía: <https://www.significados.com/escorrentia/>
- Snyder, S. A. (2014). Emerging chemical contaminants: Looking for greater harmony. *Journal-American Water Works Association*, 106(8), 38-52.
- Souza E Silva, P. T., Silva, R. F., Silva, G. L. y Silva, V. L. (2016). Identificação e Quantificação de Contaminantes Emergentes em Estações de Tratamento de Esgoto. *Revista Virtual de Química*, 8(3), 702-715.
- Stashenko, E. y Martínez, J. R. (2010). GC-MS: Más de un Analizador de Masas, ¿para qué? *Scientia Chromatographica*, 2(4), 25-48.
- Supo, J. (2012). Tipos y Nivel de Investigación. En J. Supo, *Seminario de Investigación Científica* (págs. 1-2). Estados Unidos: Createspace. Obtenido de KUPDF: https://kupdf.net/download/investigacion-cientifica-jos-eacute-sup-pdf_58f42a6adc0d60c24cda983e_pdf

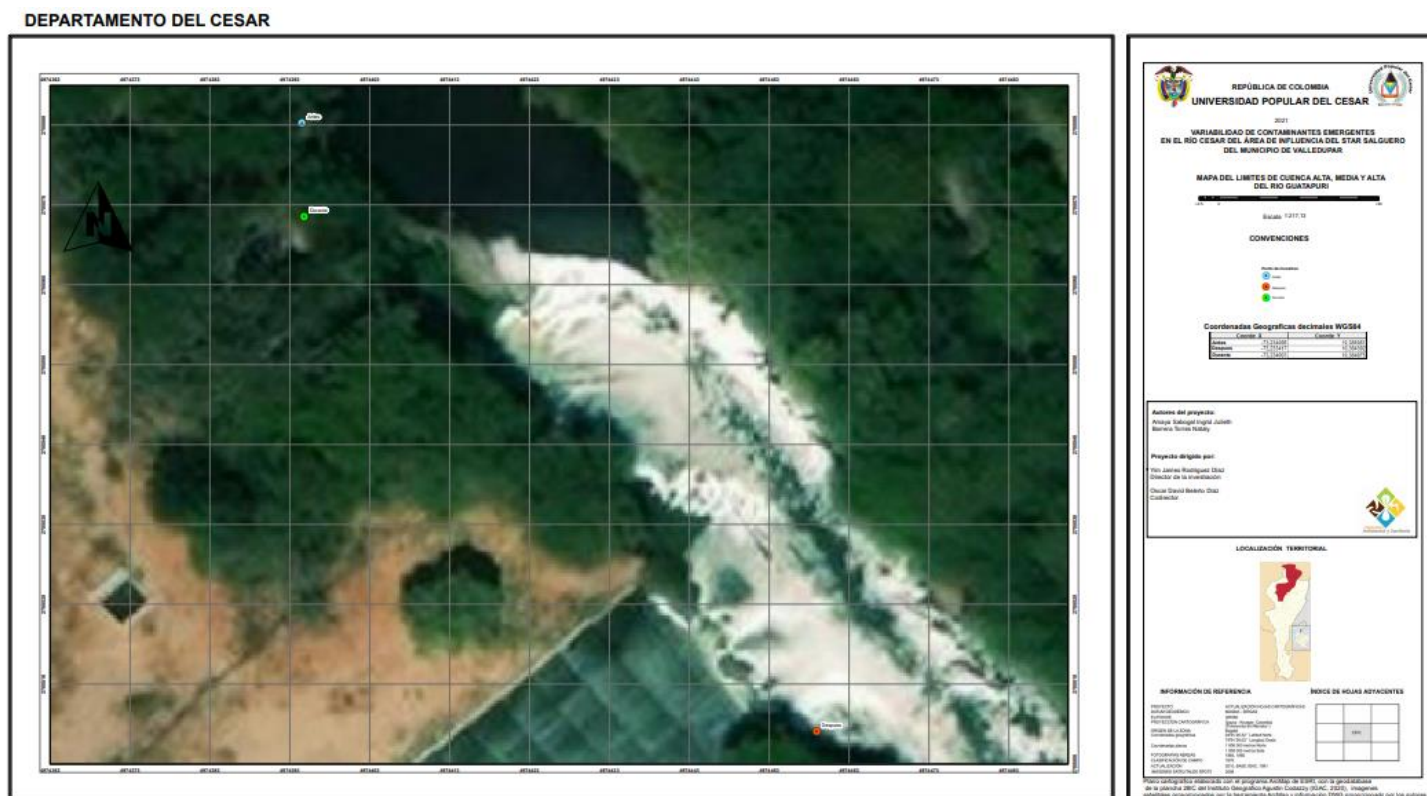
- Tejada, C., Quiñonez, E. y Peña, M. (2014). Contaminantes emergentes en aguas: Metabolitos de Fármacos. Una revisión. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*. Vol.10 N°1, 80-101.
- Tratamiento aguas residuales.net. (s.f.). Tratamiento aguas residuales domésticas. <https://n9.cl/libsq>
- Undiano, E., Arroyo, N. y Ayala, M. (1 de Marzo de 2017). Contaminantes emergentes, ¿qué son y cómo nos afectan? Obtenido de Investigación y Desarrollo ID: <https://invdes.com.mx/los-investigadores/contaminantes-emergentes-que-son-y-como-nos-afectan/>
- Unidad de Salud de El Tiempo. (6 de Septiembre de 2019). *Bisfenol A, el químico que preocupa, está donde usted menos se imagina*. Obtenido de El Tiempo: <https://www.eltiempo.com/salud/Bisfenol-a-o-bpa-donde-esta-y-por-que-es-peligroso-409448>
- Universidad Veracruzana. (11 de julio de 2019). *Cromatografía de Gases/Espectrometría de Masas (GC/MS)*. Obtenido de Universidad Veracruzana: <https://www.uv.mx/sara/facilidades/gcms/>
- Verdaguer. (3 de Julio de 2017). *Progesterona*. Obtenido de Instituto de Psiconeuroinmunología: <https://www.xeviverdaguer.com/es/la-progesterona-te-puede-cambiar-la-vida/>
- Vidal, N. (2013) ¿Cómo hacer frente a los contaminantes emergentes de las aguas en las industrias agroalimentarias? . Ainia. Recuperado de <https://n9.cl/i6zt1>
- Vincenzo, N., Secondes, M., Borea, L., Hasan, S., Ballesteros, F. y Belgiorno, V. (2020). Removal of contaminants of emerging concern from real wastewater by an innovative hybrid membrane process – UltraSound, Adsorption, and Membrane ultrafiltration (USAMe®). *Ultrasonics Sonochemistry*, 68, 105-237. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105237>
- Westerhoff, P., Yoon, Y., Snyder, S. y Wert, E. (2005). Fate of endocrine-disrupter, pharmaceuticals and personal care product chemicals during simulated drinking water treatment processes. *Environmental Science & Technology* 39 (17), 6649-6663. <https://doi.org/10.1021/es0484799>
- Wigodski S., J. (14 de julio de 2010). Población y muestra. Obtenido de Metodología de la Investigación: <http://metodologiaeninvestigacion.blogspot.com/2010/07/poblacion-y-muestra.html>
- Zambello, E. y Verlicchi, P. (30 de Agosto de 2015). Pharmaceuticals and personal care products in untreated and treated sewage sludge: Occurrence and environmental risk in the case of application on soil - A critical review. *Science of the total environment*, 538, 750-767.

- Zarrelli, A., DellaGreca, M., Iesce, M. R., Lavorgna, M., Temussi, F., Schiavone, L., . . . Isidori, M. (2014). Ecotoxicological evaluation of caffeine and its derivatives from a simulated chlorination step. *Elsevier Ltda.*, Vol. 470–471. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.10.005>
- Zhu H., Cheng P. y Wang D. (2014). Relative roles of resuspended particles and pore water in release of contaminants from sediment. *Water Sci. Eng.* 7(3), 344-350. Obtenido de DOI: 10.3882/j.issn.1674-2370.2014.03.009
- Zúñiga Carrasco, I. R., & Lozano, J. (2017). Controversia por el uso de triclosán en los productos antibacteriales de uso común. *Revista latinoamericana de Infectología Pediátrica*, 30(3), 93-96. Obtenido de <https://n9.cl/3pc94>

10. ANEXOS.

Anexo 1.

Zona de influencia del vertimiento puntual el STAR el Salguero al río Cesar.



Fuente: Autores, 2021.

Anexo 2.

Bitácora de la primera salida de campo (temporada de lluvias).

BITÁCORA DE CAMPO					
Primera salida de campo					
Valledupar –Cesar, Río Cesar (Agua cruda de fuente lótica)					
ESTACIÓN:	E1 Zona de influencia del vertimiento de aguas residuales EMDUPAR (antes del vertimiento).				
FECHA:	12-Dic-19	HORA:		10:43 a. m.	
COORDENADAS:	10° 23' 6,29" N	73° 14' 2,42" W	ALTITUD:	117m	
TIPO DE MUESTREO:	Manual	TIPO DE MUESTRA:	Simple		
MUESTRAS PARA ANÁLISIS:	Fisicoquímicas				
	SI X	NO			
MEDICIONES EN CAMPO.					
TEMPERATURA AGUA:	27,3°C	CONDUCTIVIDAD: 437,304 µs/cm		pH:	7,9
MEDICIÓN CAUDAL	SI X	NO			
MÉTODO	Velocidad superficie (Flotador) y Molinete				
CARACTERÍSTICAS GENERALES					
TIEMPO ATMOSFÉRICO:	Soleado	TEMPERATURA AMBIENTE: 28,5°C			
APARIENCIA DEL AGUA:	TRANSPARENTE X		TURBIA		
PRECIPITACIONES DURANTE EL MUESTREO:	SI		NO X		

OBJETOS FLOTANTES	SI	NO X	Cuál
USO DEL AGUA	Pesca Y Extracción de Agregados		
AMBIENTE DE INFLUENCIA	Natural Y Antrópico		
EVIDENCIA FOTOGRÁFICA			
			
RESPONSABLE DEL MUESTREO:			

BITÁCORA DE CAMPO					
Primera salida de campo					
Valledupar –Cesar, Río Cesar (Agua residual)					
ESTACIÓN:	E2 Zona de influencia del vertimiento de aguas residuales EMDUPAR (vertimiento).				
FECHA:	12-Dic-19	HORA:	10:10 a. m.		
COORDENADAS:	10° 23' 5,91" N	73° 14' 2,41" W	ALTITUD:	114,9m	
TIPO DE MUESTREO:	Manual	TIPO DE MUESTRA:	Simple		
MUESTRAS PARA ANÁLISIS:	Fisicoquímicas				
	SI ☒	NO ☐			
MEDICIONES EN CAMPO.					
TEMPERATURA AGUA:	27,8°C	CONDUCTIVIDAD:	600,1 µs/cm	pH:	7,58
MEDICIÓN CAUDAL	SI ☒	NO ☐			
MÉTODO	Velocidad superficie (Flotador) y Molinete				
CARACTERÍSTICAS GENERALES					
TIEMPO ATMOSFÉRICO:	Soleado	TEMPERATURA AMBIENTE:	28,5°C		
APARIENCIA DEL AGUA:	TRANSPARENTE		TURBIA ☒		
PRECIPITACIONES DURANTE EL MUESTREO:	SI ☐		NO ☒		
OBJETOS FLOTANTES	SI ☐	NO ☒	Cuál		
USO DEL AGUA	Agua residual				
AMBIENTE DE INFLUENCIA	Natural Y Antrópico				

EVIDENCIA FOTOGRÁFICA



RESPONSABLE DEL MUESTREO:

BITÁCORA DE CAMPO					
Primera salida de campo					
Valledupar –Cesar, Río Cesar (Agua cruda de fuente Lótica)					
ESTACIÓN:	E3 Zona de influencia del vertimiento de aguas residuales EMDUPAR (después del vertimiento).				
FECHA:	12-Dic-19	HORA:	11:10 a. m.		
COORDENADAS:	10° 23' 3,81" N	73° 14' 0,31" W	ALTITUD:	114m	
TIPO DE MUESTREO:	Manual	TIPO DE MUESTRA:	Simple		
MUESTRAS PARA ANÁLISIS:	Fisicoquímicas				
	SI ☒	NO			
MEDICIONES EN CAMPO.					
TEMPERATURA AGUA:	26,5°C	CONDUCTIVIDAD:	598,1 µs/cm	pH:	7,49
MEDICIÓN CAUDAL	SI ☒	NO			
MÉTODO:	Velocidad superficie (Flotador) y Molinete				
CARACTERÍSTICAS GENERALES					
TIEMPO ATMOSFÉRICO:	Soleado	TEMPERATURA AMBIENTE:	28,5°C		
APARIENCIA DEL AGUA:	TRANSPARENTE		TURBIA	☒	
PRECIPITACIONES DURANTE EL MUESTREO:	SI		NO ☒		
OBJETOS FLOTANTES	SI	NO ☒	Cuál		
USO DEL AGUA	Agua Residual y Pesca.				
AMBIENTE DE INFLUENCIA	Natural Y Antrópico				

EVIDENCIA FOTOGRÁFICA



RESPONSABLE DEL MUESTREO:

Anexo 3.

Bitácoras de la segunda salida de campo (temporada de sequía).

BITÁCORA DE CAMPO					
Segunda salida de campo					
Valledupar –Cesar, Río Cesar (Agua cruda de fuente lótica)					
ESTACIÓN:	E1 Zona de influencia del vertimiento de aguas residuales EMDUPAR (antes del vertimiento).				
FECHA:	1-Marzo-20	HORA:		10:43 a. m.	
COORDENADAS:	10° 23' 6,29" N	73° 14' 2,42" W	ALTITUD:	117m	
TIPO DE MUESTREO:	Manual	TIPO DE MUESTRA:	Simple		
MUESTRAS PARA ANÁLISIS:	Fisicoquímicas				
	SI X	NO			
MEDICIONES EN CAMPO.					
TEMPERATURA AGUA:	27,6°C	CONDUCTIVIDAD: 112,1 µs/cm		pH:	7,45
MEDICIÓN CAUDAL	SI X	NO			
MÉTODO	Velocidad superficie (Flotador) y Molinete				
CARACTERÍSTICAS GENERALES					
TIEMPO ATMOSFÉRICO:	Soleado	TEMPERATURA AMBIENTE: 28,5°C			
APARIENCIA DEL AGUA:	TRANSPARENTE X		TURBIA		
PRECIPITACIONES DURANTE EL MUESTREO:	SI		NO X		

OBJETOS FLOTANTES	SI	NO X	Cuál
USO DEL AGUA	Pesca Y Extracción de Agregados		
AMBIENTE DE INFLUENCIA	Natural Y Antrópico		
EVIDENCIA FOTOGRÁFICA			
   			
RESPONSABLE DEL MUESTREO:			

BITÁCORA DE CAMPO					
Segunda salida de campo					
Valledupar –Cesar, Río Cesar (Agua residual)					
ESTACIÓN:	E2 Zona de influencia del vertimiento de aguas residuales EMDUPAR (vertimiento).				
FECHA:	1-Marzo-20	HORA:	10:10 a. m.		
COORDENADAS:	10° 23' 5,91" N	73° 14' 2,41" W	ALTITUD:	114,9 m	
TIPO DE MUESTREO:	Manual	TIPO DE MUESTRA:	Simple		
MUESTRAS PARA ANÁLISIS:	Fisicoquímicas				
	SI X	NO			
MEDICIONES EN CAMPO.					
TEMPERATURA AGUA:	27,7°C	CONDUCTIVIDAD: 133,45 µs/cm	pH:	7,17	
MEDICIÓN CAUDAL	SI X	NO			
MÉTODO	Velocidad superficie (Flotador) y Molinete				
CARACTERÍSTICAS GENERALES					
TIEMPO ATMOSFÉRICO:	Soleado	TEMPERATURA AMBIENTE: 28,5°C			
APARIENCIA DEL AGUA:	TRANSPARENTE		TURBIA X		
PRECIPITACIONES DURANTE EL MUESTREO:	SI		NO X		
OBJETOS FLOTANTES	SI	NO X	Cuál		
USO DEL AGUA	Agua residual				

**AMBIENTE DE
INFLUENCIA**

Natural Y Antrópico

EVIDENCIA FOTOGRÁFICA



RESPONSABLE DEL MUESTREO:

BITÁCORA DE CAMPO					
Segunda salida de campo					
Valledupar –Cesar, Río Cesar (Agua cruda de fuente Lótica)					
ESTACIÓN:	E3 Zona de influencia del vertimiento de aguas residuales EMDUPAR (después del vertimiento).				
FECHA:	1-Marzo-20	HORA:	11:10 a. m.		
COORDENADAS:	10° 23' 3,81" N	73° 14' 0,31" W	ALTITUD:	114m	
TIPO DE MUESTREO:	Manual	TIPO DE MUESTRA:	Simple		
MUESTRAS PARA ANÁLISIS:	Fisicoquímicas				
	SI ☒	NO			
MEDICIONES EN CAMPO.					
TEMPERATURA AGUA:	26,5°C	CONDUCTIVIDAD:	106,045 µs/cm	pH:	7,2
MEDICIÓN CAUDAL	SI ☒	NO			
MÉTODO:	Velocidad superficie (Flotador) y Molinete				
CARACTERÍSTICAS GENERALES					
TIEMPO ATMOSFÉRICO:	Soleado	TEMPERATURA AMBIENTE:	28,5°C		
APARIENCIA DEL AGUA:	TRANSPARENTE		TURBIA	☒	
PRECIPITACIONES DURANTE EL MUESTREO:	SI		NO ☒		
OBJETOS FLOTANTES	SI	NO ☒	Cuál		
USO DEL AGUA	Agua Residual y Pesca.				
AMBIENTE DE INFLUENCIA	Natural Y Antrópico				

EVIDENCIA FOTOGRÁFICA

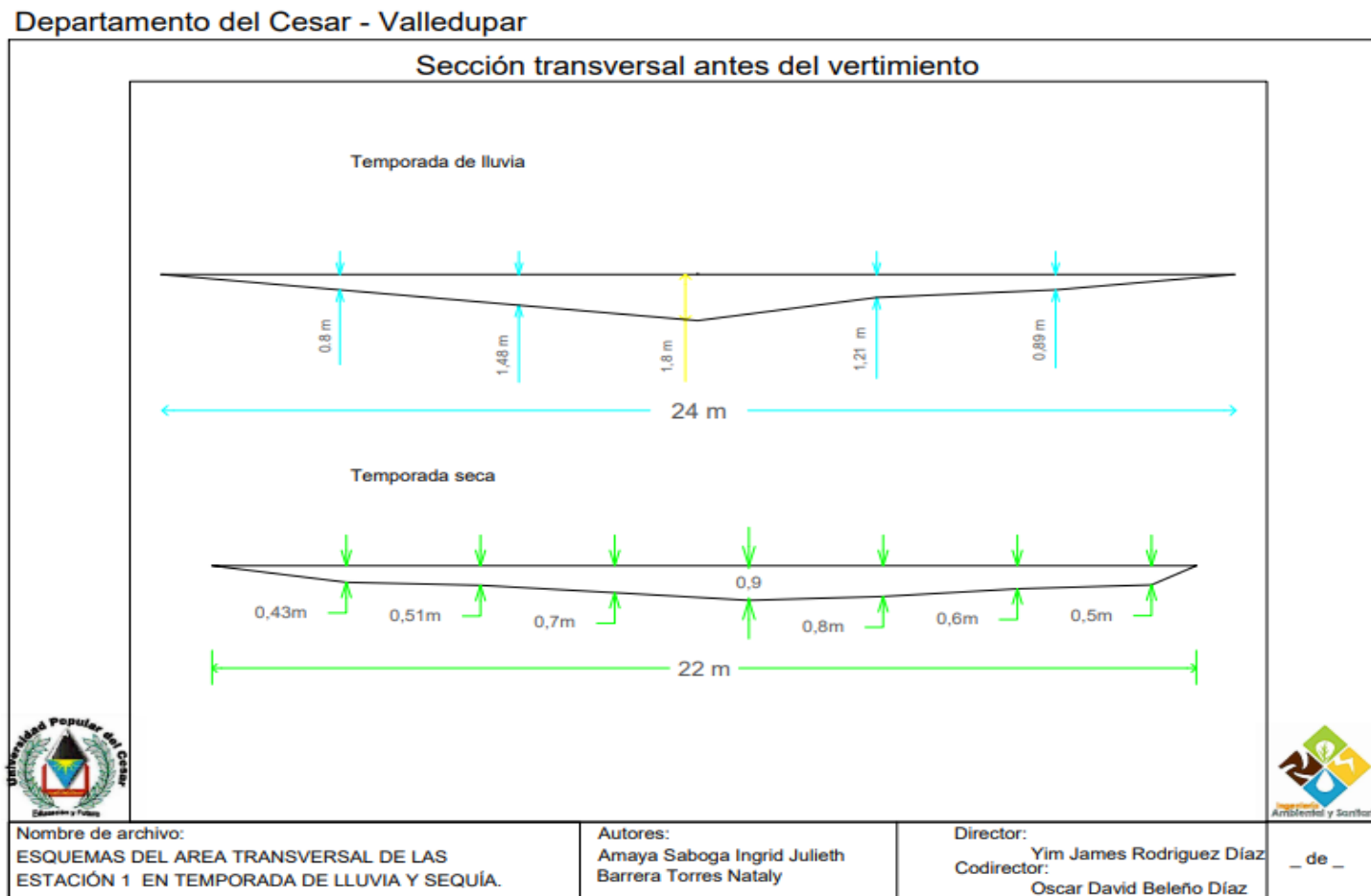


RESPONSABLE DEL MUESTREO:

Fuente: Autores, 2021.

Anexo 4.

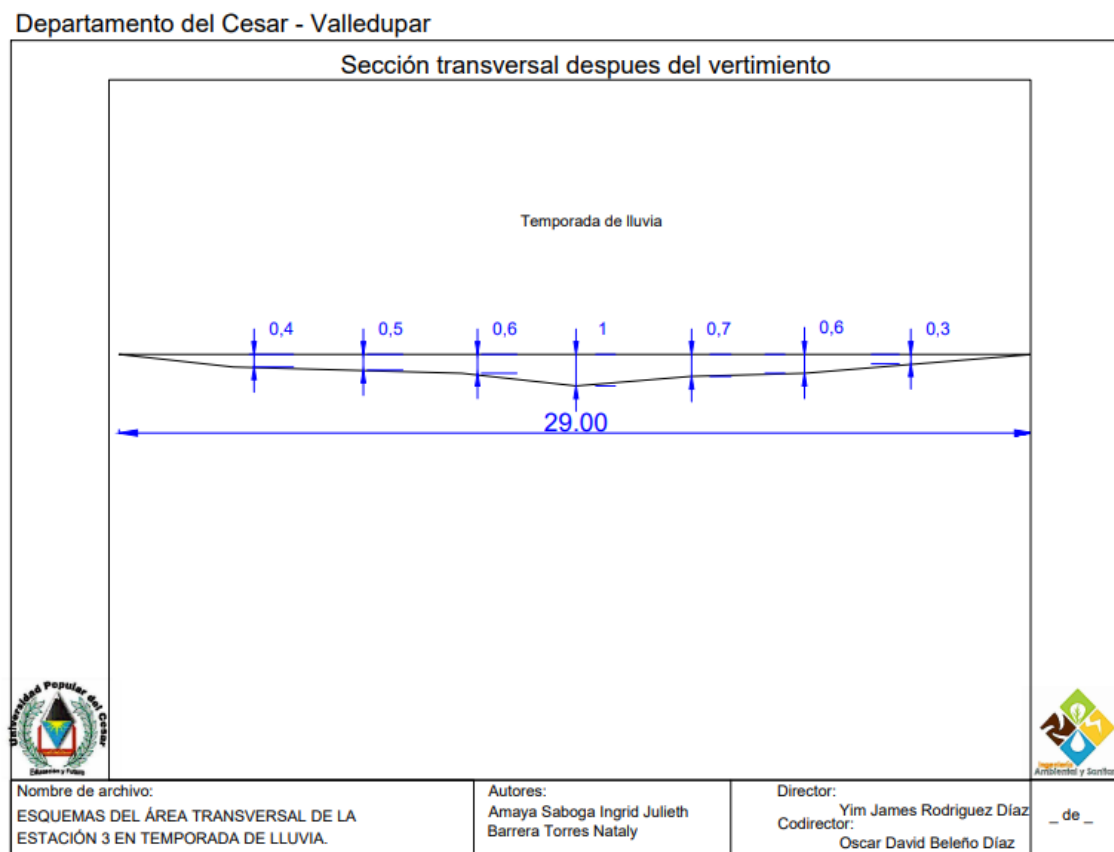
Esquemas del área transversal de las estación 1 (E1) en temporada de lluvia y sequía.



Fuente: Autores, 2021.

Anexo 5.

Esquemas del área transversal de las estación 3 (E3) en temporada de lluvia.



Fuente: Autores, 2021.

Anexo 6.

Correlaciones, autovectores y autovalores del ACP en temporada de lluvias.

CORRELACIONES CON LAS VARIABLES ORIGINALES.

VARIABLES	CP1	CP2	CP3	CP4
CAUDAL	-0,95	-0,07	-0,28	0
PH	0,98	-0,13	0	0
TEMPERATURA	-0,66	-0,2	-0,01	0
DQO	-0,2	0,3	0,44	0
ALCALINIDAD	-0,14	0,83	0,16	0
TURB	-0,93	-0,34	-0,01	0
COND	-0,89	-0,31	0,33	0
DUREZA TOTAL	0,12	-0,82	0,04	0
DUREZA CÁLCICA	0,73	-0,63	-0,04	0
DUREZA MAGNÉSICA	-0,24	-0,68	0,07	0
CLORURO	-0,9	-0,34	0,15	0
SST	-0,29	0,8	0,14	0
SF	-0,28	0,8	0,13	0
SSV	-0,33	0,77	0,17	0
BPA	-0,7	-0,21	0,67	0
TRICLOSAN	-0,34	-0,2	0,91	0
CARBAMAZEPINA	0,93	0,17	-0,29	0
CAFEINA	-0,74	0,03	-0,66	0
PROGESTERONA	-0,74	0,03	-0,67	0
GEMFIBROZILO	-0,74	0,03	-0,67	0
EE2	0	0	0	1
IBUPROFENO	0	0	0	1

AUTOVECTORES

VARIABLES	e1	e2	e3	e4
CAUDAL	-0,32	-0,03	-0,16	0
PH	0,33	-0,06	0	0
TEMPERATURA	-0,22	-0,09	-0,01	0
DQO	-0,07	0,14	0,25	0
ALCALINIDAD	-0,05	0,38	0,09	0
TURB	-0,31	-0,16	-0,01	0
COND	-0,3	-0,14	0,18	0
DUREZA TOTAL	0,04	-0,38	0,02	0
DUREZA CÁLCICA	0,25	-0,29	-0,02	0
DUREZA MAGNÉSICA	-0,08	-0,31	0,04	0
CLORURO	-0,3	-0,16	0,09	0
SST	-0,1	0,37	0,08	0
SF	-0,09	0,37	0,07	0
SSV	-0,11	0,36	0,09	0
BPA	-0,24	-0,1	0,38	0
TRICLOSAN	-0,11	-0,09	0,51	0
CARBAMAZEPINA	0,31	0,08	-0,16	0
CAFEINA	-0,25	0,01	-0,37	0
PROGESTERONA	-0,25	0,01	-0,37	0
GEMFIBROZILO	-0,25	0,01	-0,37	0
EE2	0	0	0	0,71
IBUPROFENO	0	0	0	0,71

AUTOVALORES

Lambda	Valor	Proporción	Prop. Acumulada
1	8,82	0,4	0,4
2	4,68	0,21	0,61
3	3,2	0,15	0,76
4	2	0,09	0,85
5	1,87	0,08	0,93
6	0,82	0,04	0,97
7	0,5	0,02	0,99
8	0,09	0	1
9	0,02	0	1
10	0	0	1
11	0	0	1
12	0	0	1
13	0	0	1
14	0	0	1
15	0	0	1
16	0	0	1
17	0	0	1
18	0	0	1
19	0	0	1
20	0	0	1
21	0	0	1
22	0	0	1

Fuente: Autores, 2021.

Anexo 7.

Matriz de correlación del ACP en temporada de lluvia.

VARIABLES	CAUDAL	PH	TEMP.	DQO	ALCAL.	TURB.	COND.	D. TOTAL	D. CÁLCICA	D. MAG.	CLORU.	S.S.T.	S.F.	S.S.V.	BPA	TRICLO.	CARBAMA.	CAFEINA	PROGES.	GEMFIB.	EE2	IBUP.
CAUDAL	1																					
PH	-0,33	1																				
TEMPERATURA	0,6	-0,517	1																			
DQO	0,1	-0,216	0,204	1																		
ALCALINIDAD	0,07	-0,245	-0,072	0,745	1																	
TURB.	0,91	-0,870	0,685	0,085	-0,172	1																
COND.	0,78	-0,846	0,577	0,222	-0,074	0,927	1															
DUREZA TOTAL	-0,1	0,256	0,126	-0,381	-0,715	0,097	0,128	1														
DUREZA CALCICA	-0,62	0,778	-0,446	-0,253	-0,559	-0,461	-0,454	0,615	1													
DUREZA MAGNESICA	0,21	-0,102	0,396	-0,335	-0,584	0,368	0,402	0,906	0,222	1												
CLORURO	0,84	-0,855	0,583	0,036	-0,191	0,952	0,967	0,193	-0,433	0,471	1											
SST	0,14	-0,361	0,071	0,053	0,562	-0,042	0,032	-0,462	-0,752	-0,166	0,060	1										
SF	0,13	-0,339	0,094	0,060	0,559	-0,055	0,012	-0,456	-0,738	-0,167	0,048	0,997	1									
SSV	0,19	-0,426	-0,017	0,028	0,545	0,010	0,102	-0,457	-0,768	-0,152	0,104	0,960	0,936	1								
BPA	0,5	-0,677	0,438	0,366	0,033	0,722	0,917	0,062	-0,403	0,293	0,814	0,098	0,078	0,170	1							
TRICLOSAN	0,08	-0,322	0,212	0,372	0,003	0,385	0,672	0,119	-0,161	0,234	0,527	0,044	0,027	0,104	0,906	1						
CARBAMAZEPINA	-0,830	0,911	-0,586	-0,286	-0,057	-0,928	-0,987	0,010	0,575	-0,296	-0,950	-0,135	-0,114	-0,204	-0,897	-0,626	1					
CAFEINA	0,900	-0,734	0,467	-0,070	0,066	0,683	0,436	-0,144	-0,510	0,096	0,553	0,113	0,107	0,128	0,070	-0,359	-0,503	1				
PROGESTERONA	0,900	-0,732	0,466	-0,071	0,066	0,681	0,433	-0,145	-0,508	0,095	0,550	0,112	0,107	0,128	0,067	-0,363	-0,5	0,99999	1			
GEMFIBROILO	0,900	-0,732	0,466	-0,071	0,066	0,681	0,433	-0,145	-0,508	0,095	0,550	0,112	0,107	0,128	0,067	-0,363	-0,5	0,99999	1	1		
EE2	0	-4,81E-15	-5,58E-16	-8,61E-17	3,06E-17	3,45E-17	2,30E-16	-1,87E-17	-1,78E-16	2,08E-16	1,66E-16	8,31E-17	-5,12E-17	4,81E-17	4,79E-17	-3,41E-17	-1,84E-16	2,69E-17	1,22E-16	6,62E-17	1	
IBUPROFENO	0	-4,81E-15	-5,58E-16	-8,61E-17	3,06E-17	3,45E-17	2,30E-16	-1,87E-17	-1,78E-16	2,08E-16	1,66E-16	8,31E-17	-5,12E-17	4,81E-17	4,79E-17	-3,41E-17	-1,84E-16	2,69E-17	1,22E-16	6,62E-17	1	1

Correlación alta positiva
Correlación alta negativa
Correlación media positiva

Fuente: Autores, 2021.

Anexo 8.

Correlaciones, autovectores y autovalores del ACP en temporada de sequía.

CORRELACIONES CON LAS VARIABLES ORIGINALES.

VARIABLE	CP1	CP2	CP3	CP4
CAUDAL	0,7	-0,68	0	0
PH	-0,94	0,02	0	0,24
TEMPERATURA	-0,24	0,96	0	0,01
DQO	0,86	-0,31	0	0
ALCALINIDAD	-0,88	-0,31	0	0,03
TURB	0,97	0,15	0	0,01
COND	-0,76	0,15	0	-0,43
DUREZA TOTAL	-0,94	-0,03	0	0,04
DUREZA CALCICA	-0,82	0,09	0	-0,41
DUREZA MAGNESICA	0,01	-0,23	0	0,92
CLORURO	-0,43	-0,6	0	-0,4
SST	0,65	-0,06	0	-0,46
SF	0,53	0,48	0	-0,36
SSV	0,35	-0,73	0	-0,26
BPA	0,32	-0,93	0	-0,01
TRICLOSAN	0,81	0,58	0	0,01
CARBAMAZEPINA	0,96	0,21	0	0,01
CAFEINA	0,97	-0,08	0	0
PROGESTERONA	0	0	1	0
GEMFIBROZILO	0,4	0,91	0	0,01
EE2	0	0	-1	0
IBUPROFENO	-0,96	0,16	0	0

AUTOVECTORES

VARIABLE	e1	e2	e3	e4
CAUDAL	0,21	-0,31	0	0
PH	-0,29	0,01	0	0,18
TEMPERATURA	-0,07	0,43	0	0,01
DQO	0,26	-0,14	0	0
ALCALINIDAD	-0,27	-0,14	0	0,02
TURB	0,3	0,07	0	0,01
COND	-0,23	0,07	0	-0,32
DUREZA TOTAL	-0,29	-0,01	0	0,03
DUREZA CALCICA	-0,25	0,04	0	-0,3
DUREZA MAGNESICA	0	-0,11	0	0,68
CLORURO	-0,13	-0,27	0	-0,29
SST	0,2	-0,03	0	-0,34
SF	0,16	0,22	0	-0,27
SSV	0,11	-0,33	0	-0,19
BPA	0,1	-0,42	0	-0,01
TRICLOSAN	0,25	0,26	0	0,01
CARBAMAZEPINA	0,29	0,1	0	0,01
CAFEINA	0,3	-0,04	0	0
PROGESTERONA	0	0	0,71	0
GEMFIBROZILO	0,12	0,41	0	0,01
EE2	0	0	-0,71	0
IBUPROFENO	-0,29	0,07	0	0

AUTOVALORES

Lambda	Valor	Proporción	Prop. Acumulada
1	10,75	0,49	0,49
2	4,92	0,22	0,71
3	2	0,09	0,8
4	1,83	0,08	0,89
5	1,55	0,07	0,96
6	0,46	0,02	0,98
7	0,31	0,01	0,99
8	0,17	0,01	1
9	0	0	1
10	0	0	1
11	0	0	1
12	0	0	1
13	0	0	1
14	0	0	1
15	0	0	1
16	0	0	1
17	0	0	1
18	0	0	1
19	0	0	1
20	0	0	1
21	0	0	1
22	0	0	1

Fuente: Autores, 2021.

Anexo 9.

Matriz de correlación del ACP en temporada de sequía.

VARIABLES	CAUDAL	PH	TEMP	DQO	ALCAL.	TURB	COND	D. TOTAL	D. CÁLCICA	D. MAGNÉ	CLORURO	SST	SF	SSV	BPA	TRICLO	CARBAM	CAFEINA	PROG	GEMFI	EE2	IBUP
CAUDAL	1																					
PH	-0,72	1																				
TEMPERATURA	-0,84	0,265	1																			
DQO	0,81	-0,783	-0,491	1																		
ALCALINIDAD	-0,46	0,889	-0,079	-0,669	1																	
TURB	0,62	-0,947	-0,102	0,784	-0,954	1																
COND	-0,53	0,542	0,281	-0,673	0,497	-0,639	1															
DUREZA TOTAL	-0,56	0,833	0,156	-0,817	0,770	-0,854	0,841	1														
DUREZA CÁLCICA	-0,54	0,615	0,242	-0,712	0,588	-0,719	0,993	0,877	1													
DUREZA MAGNÉSICA	0,12	0,232	-0,220	-0,001	0,174	-0,053	-0,539	-0,009	-0,489	1												
CLORURO	0,05	0,320	-0,453	-0,182	0,593	-0,567	0,244	0,277	0,321	-0,164	1											
SST	0,38	-0,642	-0,199	0,485	-0,390	0,525	-0,543	-0,761	-0,546	-0,246	0,017	1										
SF	-0,04	-0,522	0,324	0,226	-0,434	0,500	-0,389	-0,637	-0,422	-0,276	-0,203	0,777	1									
SSV	0,66	-0,332	-0,740	0,472	-0,048	0,176	-0,350	-0,371	-0,311	-0,028	0,294	0,565	-0,080	1								
BPA	0,9	-0,361	-0,988	0,570	-0,043	0,208	-0,297	-0,214	-0,274	0,182	0,378	0,182	-0,328	0,719	1							
TRICLOSAN	0,18	-0,764	0,365	0,507	-0,922	0,887	-0,492	-0,746	-0,581	-0,144	-0,732	0,435	0,647	-0,159	-0,266	1						
CARBAMAZEPINA	0,57	-0,936	-0,040	0,760	-0,964	0,998	-0,629	-0,855	-0,712	-0,071	-0,592	0,523	0,526	0,139	0,147	0,914	1					
CAFEINA	0,78	-0,961	-0,328	0,862	-0,893	0,973	-0,663	-0,844	-0,731	-0,011	-0,429	0,531	0,383	0,339	0,429	0,757	0,957	1				
PROGESTERONA	0	1,11E-14	-1,75E-15	-1,39E-16	-7,69E-17	4,53E-17	-5,12E-17	6,19E-17	-5,28E-17	-1,75E-16	-1,42E-16	2,96E-17	-9,14E-17	3,72E-18	-1,79E-16	1,05E-16	-1,88E-16	-1,61E-16	1			
GEMFIBROZILO	-0,35	-0,347	0,793	0,052	-0,631	0,517	-0,188	-0,414	-0,265	-0,200	-0,724	0,210	0,636	-0,501	-0,729	0,854	0,570	0,305	2,55E-17	1		
EE2	0	-1,11E-14	1,75E-15	1,39E-16	7,69E-17	-4,53E-17	5,12E-17	-6,19E-17	5,28E-17	1,75E-16	1,42E-16	-2,96E-17	9,14E-17	-3,72E-18	1,79E-16	-1,05E-16	1,88E-16	1,61E-16	-1	-2,55E-17	1	
IBUPROFENO	-0,83	0,953	0,402	-0,877	0,860	-0,951	0,662	0,828	0,725	-0,006	0,378	-0,525	-0,338	-0,389	-0,500	-0,701	-0,930	-0,997	-1,76E-16	-0,228	1,76E-16	1

Correlación alta positiva
Correlación alta negativa
Correlación media positiva

Fuente: Autores, 2021.

