

**ANÁLISIS DE LAS INUNDACIONES EN EL HUMEDAL SICARARE A TRAVÉS DE  
LA MODELACIÓN HIDROLÓGICA EN LA CIUDAD DE VALLEDUPAR,  
DEPARTAMENTO DEL CESAR**



**AUTORES:**

FRANCY LORENA CARREÑO BELEÑO

JHON FRED ROJAS RODRÍGUEZ

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA**

**VALLEDUPAR – CESAR**

**2024**

**ANÁLISIS DE LAS INUNDACIONES EN EL HUMEDAL SICARARE A TRAVÉS DE  
LA MODELACIÓN HIDROLÓGICA EN LA CIUDAD DE VALLEDUPAR,  
DEPARTAMENTO DEL CESAR**

**AUTORES:**

FRANCY LORENA CARREÑO BELEÑO  
JHON FRED ROJAS RODRÍGUEZ

**DIRECTORA**

KARINA PAOLA TORRES CERVERA  
CONCURSANTE DOCTORADO EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS**  
**PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA**  
**VALLEDUPAR – CESAR**

**2024**

## DEDICATORIA

DEDICADO A Rosa beleño, mi madre quien me ha impulsado a cumplir cada una de mis metas su compromiso y apoyo a seguir mis sueños no desfallecen, su amor y voz de aliento siempre me han impulsado.

*Francy Lorena Carreño Beleño*

A mis padres Efrén Rojas y Esperanza Rodríguez, por qué gracias a su esfuerzo, educación y amor sembraron en mi la semilla de superación, responsabilidad y los deseos de triunfar en todos los objetivos propuestos en la vida; por los valores morales y espirituales para poder servir a Dios y a los que necesitan de mi ayuda.

*Jhon Fred Rojas Rodríguez*

## AGRADECIMIENTO

Dios gracias por la vida sin ti nada sería posible, mi Fe siempre puesta en ti cuando busque refugio y no desfallecer en esta meta que me trace. Gracias a mi Madre por su paciencia en todo el proceso su amor incondicional, su ayuda infinita ella es mi motivación A mis hermanos por la ayuda recibida y confianza que me brindaron me dieron aliento, ánimos para seguir avanzando en este proceso y me impulsaron a insistir hasta lograr este anhelado sueño de ser una profesional. A mi hermano Johnnys le agradezco su comprensión y atención. Gracias a mis abuelos que me apoyaron tanto al iniciar mi proceso educativo y manifestaron su orgullo al demostrar mis capacidades; Los amo mucho.

Mis agradecimientos con mucho amor a toda mi familia que en algún momento me dieron su consejo para mejorar, preguntaron por el proceso y fueron amables lo valore mucho al pasar los años sus palabras de motivación a seguir esforzándome por lograr mis objetivos.

A la directora del proyecto Ingeniera Karina Torres que se mostró satisfecha por hacer parte de esta idea, compartir su conocimiento; a mi compañero Jhon Fred por permanecer conmigo en este proceso y mostrarse positivo, paciente, perseverante en el transcurso del camino. A Víctor García quien nos brindó asesoría, esfuerzo, tiempo dedicado a ayudar como amigo de toda la vida. A todos los profesores y compañeros en el transcurso de la carrera que ayudaron en mi crecimiento. A todo aquel que apporto de algún modo en que esta meta se cumpliera.

*Francy Lorena Carreño Beleño*



## AGRADECIMIENTO

Principalmente a Dios que ha sido mi guía en todo mi recorrido, acompañándome en cada etapa de mi vida y brindándome su fortaleza para seguir siempre adelante.

A toda mi familia por su comprensión y estímulo constante, además su apoyo incondicional a lo largo de mis estudios. Pero en especial a mi abuela María Rengifo que me acompañó en todo este proceso y ahora desde el cielo me ilumina para seguir adelante con todos mis proyectos. A mis tías Nohemí, Diana, Lilia y piedad que me acogieron y me apoyaron en todo este camino.

A mis hermanos Felipe Rojas y Edwin Rojas, por la confianza, el cariño y el apoyo incondicional que han tenido conmigo.

A mis compañeros de universidad que de una u otra manera contribuyeron en mi formación como profesional resaltando a mi compañera Alexandra Velásquez por acompañarme en todo este recorrido, apoyarme en cada momento que la necesite y a mi compañera Francis Carreño por confiar en mí, apoyarme y ayudarme a lo largo en todo este proceso y a todas las personas que me ayudaron en la Realización de este trabajo; A mi directora de proyecto la ingeniera Karina torres por brindarnos todo su conocimiento y consejos, a nuestro amigo y compañero de carrera Víctor García, gracias por disposición, tiempo y conocimiento brindado con nosotros.

*Jhon Fred Rojas Rodríguez*



## RESUMEN

El Humedal Sicarare, ubicado en Valledupar, Colombia, es una zona de vital importancia ecológica y socioeconómica. Sin embargo, se encuentra amenazado por diversos factores, entre ellos, las inundaciones exacerbadas por el cambio climático y la intervención humana. Esta investigación se propuso modelar la dinámica hídrica del humedal y comprender mejor la relación entre las precipitaciones y los caudales. Para ello, se utilizó el software ArcScene, con el cual se generaron modelos tridimensionales del terreno, permitiendo una visualización precisa de las zonas más propensas a inundaciones. Se analizó un conjunto de datos de precipitación registrados durante treinta y tres años (1990-2022) a partir de estos datos, se modelaron caudales para el humedal, identificando tendencias claras y una relación directa entre las precipitaciones y la generación de caudales. Las zonas de inundación identificadas a través del modelado tridimensional concordaron en gran medida con las áreas históricamente afectadas. Estos resultados tienen implicaciones significativas para la gestión y conservación del Humedal Sicarare, ya que proporcionan una herramienta visual para identificar áreas de alto riesgo y priorizar intervenciones.

**Palabras Clave:** Humedal Sicarare, modelado hidrológico, inundaciones, precipitaciones, caudales, ArcScene, gestión ecosistémica, cambio climático, ecosistemas propensos a la inundación.

## ABSTRACT

*The Sicarare Wetland, located in Valledupar, Colombia, is an area of vital ecological and socioeconomic importance. However, it is threatened by various factors, among them, flooding exacerbated by climate change and human intervention. This research aimed to model the wetland's hydrological dynamics and better understand the relationship between precipitation and flow rates. For this purpose, the ArcScene software was used, with which three-dimensional terrain models were generated, allowing a precise visualization of the areas most prone to flooding. A dataset of precipitation recorded over thirty-three years (1990-2022) was analyzed, and from this data, flow rates for the wetland were modeled, identifying clear trends and a direct relationship between precipitation and flow generation. The flood zones identified through the three-dimensional modeling largely agreed with the historically affected areas. These results have significant implications for the management and conservation of the Sicarare Wetland, as they provide a visual tool to identify high-risk areas and prioritize interventions.*

*Keywords: Sicarare Wetland, hydrological modeling, flooding, precipitation, flow rates, ArcScene, ecosystemic management, climate change, flood-prone ecosystems.*

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN	14
1. 16	
2. 19	
3. 21	
3.1. OBJETIVO GENERAL	21
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
4. 22	
4.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	22
4.1.1. 22	
4.1.2. 23	
4.2. MARCO TEÓRICO	26
4.2.1. 26	
4.2.2. 26	
4.2.3. 27	
4.2.4. 28	
4.2.5. 28	
4.2.6. 30	
4.3. MARCO CONCEPTUAL	31
4.4. MARCO CONTEXTUAL	32
4.5. MARCO LEGAL	34
5. 39	
5.1. LÍNEA, SUBLÍNEA Y ÁREA TEMÁTICA DE INVESTIGACIÓN	41
5.2. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	41
5.3. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	41

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

5.4. POBLACIÓN DE ESTUDIO	42
5.5. MUESTRA POBLACIONAL	42
5.6. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	42
5.7. ESTRATEGIA Y DESARROLLO METODOLÓGICO	43
Fase I. Caracterización de los componentes físicos, bióticos y abióticos para obtener datos relevantes de los efectos de la inundación del Humedal Sicarare.	43
Fase II. Realización de un modelo de simulación y respuesta hidrológica ante eventos extremos de precipitación en el área de influencia a las lagunas del Humedal Sicarare.	44
Fase III. Evaluación de los efectos de las inundaciones mediante el análisis de los resultados del modelo hidrológico para la gestión sostenible del agua en la zona y la conservación de los servicios ecosistémicos y la biodiversidad del Humedal Sicarare.	44
6. 43	
6.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS COMPONENTES FÍSICOS, BIÓTICOS Y ABIÓTICOS PARA OBTENER DATOS RELEVANTES DE LOS EFECTOS DE LA INUNDACIÓN DEL HUMEDAL SICARARE	45
6.1.1. 43	
6.1.2. 56	
6.1.3. 68	
6.2. REALIZACIÓN DE UN MODELO DE SIMULACIÓN Y RESPUESTA HIDROLÓGICA ANTE EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITACIÓN EN EL ÁREA DE INFLUENCIA A LAS LAGUNAS DEL HUMEDAL SICARARE	81
6.2.1. 82	
6.2.2. 99	
6.3. EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DE LAS INUNDACIONES MEDIANTE EL ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL MODELO HIDROLÓGICO PARA LA GESTIÓN SOSTENIBLE DEL AGUA EN LA ZONA Y LA CONSERVACIÓN DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS Y LA BIODIVERSIDAD DEL HUMEDAL SICARARE	124
6.3.1. 131	
6.3.2. 143	

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

7.	162	
8.	165	
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		164
ANEXOS		171
ANEXO 1. <i>Datos de Precipitación</i>		171
ANEXO 2. <i>Levantamiento Topográfico-geodésico</i>		171
ANEXO 3. <i>Números Aleatorios Generados</i>		191
ANEXO 4. <i>Precipitación Efectiva Mensual</i>		191
ANEXO 5. <i>Caudales Generados en milímetros por día</i>		192
ANEXO 6. <i>Caudales Generados en metros cúbicos por segundo</i>		192
ANEXO 7. <i>Caudales Generados en litros por segundo con datos atípicos</i>		193
ANEXO 8. <i>Caudales Generados en litros por segundo sin datos atípicos</i>		193

**LISTA DE FIGURAS**

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Localización Geográfica del Humedal Sicarare.	33
Figura 2. Descripción de los elementos que integran el paisaje biofísico del Humedal Sicarare	45
Figura 3. Tubo de alimentación de la Laguna No. 1: suministro de agua subterránea	46
Figura 4. Bio obra hidráulica No. 1 de conexión de la Laguna No. 1 con canal de excesos	47
Figura 5. Zona de brote y recarga de la Laguna No. 2 del humedal Sicarare	48
Figura 6. Canal Trapezoidal que intercepta y dispone residuos sólidos a la Laguna No. 1	49
Figura 7. Laguna No. 1 del humedal Sicarare	50
Figura 8. Bio obra Hidráulica de conexión de la Laguna No. 1 hacia Arroyo Sicarare	51
Figura 9. Laguna No. 2 del humedal Sicarare	52
Figura 10. Proyección del Arroyo Sicarare por alimentación de la Laguna No. 1 y 2	53
Figura 11. Zona inundable con un suelo movedizo y de difícil tránsito	54
Figura 12. Hidrograma de Precipitaciones Mensuales Totales estación meteorológica aeródromo Alfonso López Pumarejo de Valledupar	57
Figura 13. Matriz de correlaciones de las precipitaciones totales mensuales del primer semestre del año	58

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

Figura 14. Matriz de correlaciones de las precipitaciones totales mensuales del segundo semestre del año	59
Figura 15. Gráfica de Cajas y Bigotes de las Precipitaciones Totales Mensuales	60
Figura 16. Histograma de Precipitaciones Totales Anuales	62
Figura 17. Distribución de los puntos topográficos-geodésicos en el humedal Sicarare	66
Figura 18. Distribución de las Curvas de Nivel en las Lagunas del Humedal Sicarare	67
Figura 19. Roca de canto rodado posicionada cerca al nacimiento de la Laguna No. 2	68
Figura 20. Distinciones de nivel de agua común en la roca de la Laguna No. 2	69
Figura 21. Roca altamente meteorizada por la agresividad hídrica a la cuál fue sometida	70
Figura 22. Arroyo Sicarare, lugar donde se convierte en subsuperficial	71
Figura 23. Representación del tubo de alimentación de la laguna No. 1 del humedal Sicarare	72
Figura 24. Clasificación climática del Humedal Sicarare con el Triángulo de Holdridge	73
Figura 25. Geomorfología locativa del Humedal Sicarare	74
Figura 26. Geología locativa del Humedal Sicarare	75
Figura 27. Suelos regionales aplicables al Humedal Sicarare	76
Figura 28. Vegetación característica entre seca espinosa y tropical del humedal Sicarare	78
Figura 29. <i>Megaceryle torquata</i> hembra en humedal Sicarare	79
Figura 30. Longitud recta entre la cota más elevada a la cota mínima del humedal Sicarare	82
Figura 31. Representación del Balance Hídrico de la Estación Alfonso López Pumarejo	89
Figura 32. Hidrogramas de los caudales simulados por el método de Lutz Schulz	97
Figura 33. Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia de incidencia en la zona de estudio	106
Figura 34. Fotografía de alta resolución del Parque de la Leyenda Vallenata Consuelo Araujo Noguera	111
Figura 35. Visor de trabajo del ArcMap: Superposición de imagen de trabajo	112
Figura 36. Triangulación Irregular del Terreno del Parque de la Leyenda Vallenata	112
Figura 37. Curvas de Nivel redistribuidas en un intervalo inferior	113
Figura 38. Simulación del nivel del agua del Humedal Sicarare en su estado común.	116
Figura 39. Simulación del nivel del agua del Humedal Sicarare a un mínimo de precipitación	117
Figura 40. Simulación del nivel del agua del Humedal Sicarare al cuartil 25% de precipitación	118
Figura 41. Simulación del nivel del agua del Humedal Sicarare a un promedio de precipitación	119
Figura 42. Simulación del nivel del agua del Humedal Sicarare al cuartil 50% de precipitación	120
Figura 43. Simulación del nivel del agua del Humedal Sicarare al cuartil 75% de precipitación	121
Figura 44. Simulación del nivel del agua del Humedal Sicarare a un máximo de precipitación	122
Figura 45. Cambio en la calidad del agua de las lagunas del Humedal Sicarare	124
Figura 46. Clasificación porcentual de los Factores de riesgo del Humedal Sicarare	144

**LISTA DE TABLAS**

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Clasificación de Humedales Naturales según la Convención Ramsar	29
Tabla 2. Normativa Aplicable a la Investigación.	34
Tabla 3. Especies de fauna identificados durante el recorrido	55
Tabla 4. Volumen de agua para las lagunas No 1 y 2 del humedal Sicarare	72
Tabla 5. Valores de la Radiación Solar Extraterrestre por Latitud y Meses	83
Tabla 6. Cálculo de la Evapotranspiración Potencial Diaria y Mensual (mm)	84
Tabla 7. Preliminares para la construcción del modelo Lutz Schulz	86
Tabla 8. Coeficientes para el Cálculo de la Precipitación Efectiva	87
Tabla 9. Precipitación Efectiva Mensual para el Modelo Hidrológico	87
Tabla 10. Balance Hídrico para la Estación Alfonso López Pumarejo	88
Tabla 11. Factores de Contribución de la Retención del Modelo Hidrológico	90
Tabla 12. Caudales Generados para el Modelo Hidrológico	91
Tabla 13. Variables destinadas a la Regresión Lineal Múltiple	92
Tabla 14. Estadísticas de la Regresión del Modelo Hidrológico Lutz Schulz	93
Tabla 15. Análisis de Varianza – ANOVA de la Regresión	94
Tabla 16. Validación de los Coeficientes de la Regresión	94
Tabla 17. Coeficiente de Precipitación del Modelo Hidrológico	95
Tabla 18. Caudales obtenidos de la simulación por el método de Lutz Schulz	97
Tabla 19. Resumen de cálculo de los parámetros preliminares	99
Tabla 20. Corrección del Intervalo Fijo de las Precipitaciones Determinadas	99
Tabla 21. Acumulación porcentual probabilística de las precipitaciones por hora	100
Tabla 22. Precipitación máxima Pd (mm) anual por tiempos de duración (horas)	100
Tabla 23. Intensidad de la lluvia (mm /hr) según el Periodo de Retorno	101
Tabla 24. Regresión potencial de la duración versus precipitación para T = 2 años	101
Tabla 25. Regresión potencial de la duración versus precipitación para T = 5 años	102
Tabla 26. Regresión potencial de la duración versus precipitación para T = 10 años	102
Tabla 27. Regresión potencial de la duración versus precipitación para T = 25 años	103
Tabla 28. Regresión potencial de la duración versus precipitación para T = 30 años	103
Tabla 29. Regresión potencial de la duración versus precipitación para T = 50 años	104
Tabla 30. Regresión potencial de la duración versus precipitación para T = 100 años	104
Tabla 31. Regresión potencial de la duración versus precipitación para T = 500 años	105
Tabla 32. Regresión Potencial Global para la ecuación de la Curva IDF	105
Tabla 33. Intensidades calculadas para valores de tiempo de retorno y duración dados	106
Tabla 34. Intensidad para los Periodos de Retorno y duraciones de mayor interés y frecuencia	107
Tabla 35. Profundidad de la lluvia por ocurrencia de los eventos de precipitación	108

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

Tabla 36. Fecha de eventos de máximo interés por registros históricos de presentación	108
Tabla 37. Eventos de máxima precipitación para diferentes años de retorno	109
Tabla 38. Caudales de inundación del Parque de la Leyenda Vallenata Consuelo Araujo Noguera	110
Tabla 39. Cambios de profundidad de la laguna con base a los caudales de simulación	114
Tabla 40. Caudales determinados para los cambios de cota	123
Tabla 41. Factores de Riesgo, Amenazas y Vulnerabilidades del Humedal Sicarare	135
Tabla 42. Criterios para la calificación del Riesgo	141
Tabla 43. Calificación de la Probabilidad, Impacto y Riesgo	142
Tabla 44. Medidas para factores de riesgos climatológicos y meteorológicos	145
Tabla 45. Medidas para factores de riesgos hidrológicos y del suelo	147
Tabla 46. Medidas para factores de riesgos humanos y actividades antrópicas	149
Tabla 47. Medidas para factores de riesgos biológicos y ecológicos	151
Tabla 48. Medidas para factores de riesgos contaminación y químicos	153
Tabla 48. Medidas para factores de riesgos gestión del agua y estructurales	155
Tabla 48. Medidas para factores de riesgos condiciones físicas y del hábitat	157



## INTRODUCCIÓN

El proyecto de modelación hidrológica de las lagunas del humedal Sicarare en Valledupar es una investigación relevante y útil para la gestión sostenible del agua en la zona y la conservación de los servicios ecosistémicos del humedal. Como indica Silva-Casarín et al. (2019), los humedales son ecosistemas de gran importancia para la regulación del ciclo hidrológico y la protección de la biodiversidad acuática. Sin embargo, estos ecosistemas se encuentran en peligro debido a la degradación y la fragmentación del hábitat, lo que ha afectado su capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos a la sociedad.

En este contexto, la modelación hidrológica de las lagunas del humedal Sicarare puede contribuir a la evaluación de los efectos de los eventos extremos de precipitación en la zona y a la adopción de medidas adecuadas para la gestión del agua en la región, lo que puede mejorar la disponibilidad y calidad del agua para los ecosistemas acuáticos y la vida humana. Además, la investigación puede ayudar a prevenir o reducir los daños causados por los eventos extremos de precipitación en la zona, y a minimizar los riesgos para la salud y la seguridad de la población.

Este proyecto de investigación se llevó a cabo en tres objetivos específicos, cada uno de ellos con actividades específicas que se ejecutaron en un orden lógico y secuencial. En el primer objetivo, se realizaron mediciones de campo en el Humedal Sicarare para obtener datos hidrológicos relevantes, como caudales, niveles de agua y precipitaciones, que permitieron calibrar y validar el modelo hidrológico de las lagunas del humedal. Esto se llevó a cabo a través de una visita preliminar de inspección, la recolección de información y la toma de información en campo.

En el segundo objetivo, se desarrolló un modelo hidrológico de las lagunas del Humedal Sicarare, el cual permitió simular la respuesta hidrológica del humedal a los eventos extremos de precipitación. Para ello, se empleó el Modelo Lutz Schols para modelar los caudales y se realizaron simulaciones de inundación en el software ArcScene del paquete ArcGIS para evaluar cómo responde el humedal a diferentes escenarios de precipitación y cómo esto afecta los niveles de agua en las lagunas.

Finalmente, en el tercer objetivo, se evaluaron los efectos de las inundaciones en el Humedal Sicarare mediante el análisis de los resultados del modelo hidrológico, con el fin de contribuir a la gestión sostenible del agua en la zona y la conservación de los servicios ecosistémicos del humedal. Esto se llevó a cabo a través del análisis del impacto de las inundaciones en los servicios ecosistémicos del humedal y la identificación de factores que influyen en la vulnerabilidad del humedal a las inundaciones.

Este documento de proyecto de grado estará conformado por cuatro capítulos. En el Capítulo 1 se presentará el Planteamiento del Problema, Justificación y Objetivos de la investigación. En el Capítulo 2 se abordará el Marco Referencial, el cual incluirá los antecedentes de la investigación, el marco teórico, marco conceptual, marco contextual y marco legal. En el Capítulo 3 se detallará el Marco Metodológico, el cual estará conformado por la línea, sublínea y área temática de investigación, el Enfoque de la Investigación, el Alcance de la Investigación, la Población de Estudio, la Muestra Poblacional, el Diseño de la Investigación y el Desarrollo Metodológico. Finalmente, el Capítulo 4 incluye los Resultados y Análisis, Conclusiones y Recomendaciones del proyecto. Este último capítulo es fundamental ya que permitió establecer la viabilidad de la investigación y su posible factor de decisor para futuras actividades en el Humedal Sicarare.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El acceso al agua dulce se ha convertido en uno de los mayores desafíos a nivel mundial. Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU), más de 2.200 millones de personas en todo el mundo no tienen acceso a agua potable, lo que equivale a aproximadamente un tercio de la población mundial (UN Water, 2021). Además, el cambio climático, la creciente demanda de agua para la agricultura, la industria y la generación de energía, así como la contaminación de las fuentes de agua, son factores que amenazan la disponibilidad de agua dulce en todo el mundo. Estos factores están afectando no solo a la población humana, sino también a los ecosistemas y la biodiversidad, lo que puede tener consecuencias graves e impredecibles para la vida en el planeta.

En muchos lugares del mundo, los ecosistemas están experimentando la escasez de agua y los efectos adversos que esto conlleva. De acuerdo con el informe del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), los ecosistemas acuáticos son los más amenazados por la falta de agua dulce (PNUMA, 2020). La reducción del caudal de los ríos y arroyos, la disminución del nivel de las aguas subterráneas, la sequía y las inundaciones son algunos de los efectos que están afectando a la salud de los ecosistemas acuáticos. Estos ecosistemas son vitales para el mantenimiento de la biodiversidad, el equilibrio ecológico y la producción de bienes y servicios para la humanidad, por lo que su pérdida o degradación podría tener graves consecuencias para la vida en el planeta (PNUMA, 2020).

En Latinoamérica, la disponibilidad de agua dulce también se ha visto afectada por factores como la deforestación, la sobreexplotación de acuíferos y la contaminación de las fuentes de agua. Según el informe del Banco Mundial (2019), cerca del 40% de la población de Latinoamérica no tiene acceso a servicios de agua potable y saneamiento adecuados, lo que aumenta el riesgo de enfermedades y mortalidad infantil. Además, los desafíos que enfrentan las ciudades en cuanto al acceso al agua potable se ven exacerbados por la rápida urbanización y la creciente demanda de agua para usos domésticos, comerciales e industriales (Banco Mundial, 2019). Estas tendencias están poniendo en riesgo la disponibilidad de agua dulce para los ecosistemas y la vida humana en Latinoamérica.

Los ecosistemas acuáticos de Latinoamérica también están siendo afectados por la falta de agua dulce. La disminución del caudal de los ríos y arroyos, la degradación de humedales y la sequía son algunos de los factores que están afectando a la biodiversidad y los servicios ecosistémicos en la región (PNUMA, 2020). Además, la sobreexplotación de acuíferos y la contaminación de las fuentes de agua están amenazando la calidad del agua y la salud de los ecosistemas acuáticos en Latinoamérica (Banco Mundial, 2019).

Los ecosistemas acuáticos de Colombia también están siendo afectados por la indisponibilidad del agua dulce. La degradación de humedales, la disminución del caudal de los ríos y arroyos y la alteración del régimen hidrológico son algunos de los efectos que están afectando a la biodiversidad y los servicios ecosistémicos en el país (IDEAM, 2018). Además, la contaminación de las fuentes de agua está afectando la salud de los ecosistemas acuáticos y la calidad del agua para el consumo humano y animal (MINAMBIENTE, 2020)

La disponibilidad de agua dulce es un recurso vital para la vida en nuestro planeta, pero desafortunadamente, la indisponibilidad del agua está afectando tanto a los ecosistemas acuáticos como a la salud humana. Además, la falta de acceso a agua potable y saneamiento adecuado está incrementando la aparición de enfermedades relacionadas con la falta de agua, lo que puede tener graves consecuencias para la salud humana.

Esta problemática también es evidente en el humedal Sicarare, en la ciudad de Valledupar. La disminución de la disponibilidad y calidad del agua en este humedal ha afectado los servicios ecosistémicos y la biodiversidad acuática de las dos lagunas que lo conforman. La escasez de agua y la contaminación de las fuentes de agua pueden provocar la reducción del caudal de los ríos y arroyos que alimentan al humedal, lo que termina por afectar el equilibrio hidrológico y la supervivencia de las especies que habitan en el lugar. (UT-ASOPROASA. CORPOCESAR, 2023)

El análisis de inundaciones en el humedal Sicarare es un tema de gran relevancia que requiere una consideración profunda de varios ejes temáticos. En primer lugar, es esencial entender los riesgos asociados a las inundaciones mediante el análisis planteado en esta

investigación, puesto que no solo amenazan la integridad del ecosistema del humedal, sino que también pueden tener impactos significativos en las comunidades circundantes.

En segundo lugar, la vulnerabilidad del humedal Sicarare es un aspecto crítico que debe ser abordado. Este ecosistema, rico en biodiversidad, es susceptible a los cambios en los patrones de inundación, lo que puede alterar su equilibrio y poner en peligro las especies que lo habitan.

Finalmente, la mitigación de daños es un componente crucial en el análisis de inundaciones. Es imperativo desarrollar e implementar estrategias efectivas para minimizar los daños causados por las inundaciones, proteger el ecosistema del humedal y garantizar la seguridad de las comunidades locales, puesto que actualmente no existen estrategias encaminadas para prevenir o mitigar los riesgos que pueden surgir por consecuencia del mencionado fenómeno.

Por otra parte, el Plan de Gestión del Riesgo del Desastre Municipal no contempla la importancia de los ecosistemas de humedales urbanos, incluyendo el Humedal Sicarare, como medios de mitigación de inundaciones, esto puede ser asociado a las fallas de los sistemas de drenaje pluvial que impiden la separación de aguas contaminadas y cargadas de residuos sólidos y otros constituyentes de alta peligrosidad y que estratégicamente van a dar a estos importantes lugares, afectando su entorno y la calidad de los recursos ecosistémicos que brinda. El Humedal Sicarare, si bien, se separa en gran magnitud de lo que podría ser el Humedal Maria Camila o el Humedal El Eneal o El Edén, mas, sin embargo, sus aguas portan el flujo de heces producto del establo municipal, que se encuentra aguas arriba del mismo.

Tomando como consideración la situación planteada, entonces se permitió formular la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo puede la modelación hidrológica de las lagunas del humedal Sicarare contribuir a la evaluación de los efectos de los eventos extremos de precipitación y la adopción de medidas adecuadas para la gestión del agua en la zona, en el contexto de la escasez y la indisponibilidad del agua para los ecosistemas y la vida humana en la ciudad de Valledupar, departamento del Cesar?

## 2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Este proyecto de investigación propuso la modelación hidrológica de las lagunas del humedal Sicarare en la ciudad de Valledupar, siendo relevante en el contexto del Plan de Desarrollo Municipal "Valledupar en Orden 2020 - 2023", puesto a que se enfocó en la necesidad de promover una gestión sostenible del agua, garantizando su disponibilidad y calidad para el uso humano y la conservación de los ecosistemas acuáticos, además, ratificando importancia complementaria con el vigente proceso de formulación del Plan de Manejo Ambiental y en las necesidades que debería cubrir el Plan de Gestión del Riesgo del Desastre del municipio de Valledupar, que no contempla la relevancia de este ecosistema urbano.

En este sentido, la modelación hidrológica de las lagunas del humedal Sicarare es una herramienta importante para evaluar los efectos de los eventos extremos de precipitación y la adopción de medidas adecuadas para la gestión del agua en la zona. Además, la investigación puede contribuir a la identificación de estrategias efectivas para la conservación de los humedales y la biodiversidad acuática, en línea con los objetivos del plan de desarrollo municipal y en la línea normativa y metodológica para la delimitación del límite funcional del humedal desde el componente hidrológico, de acuerdo con lo establecido en el Decreto 2245 de 2017 y en la Resolución 957 de 2018 "Por medio del cual se adopta la Guía Técnica de Criterios para el acotamiento de las rondas hídricas en Colombia y se dictan otras disposiciones". En este contexto, la investigación puede ser de gran utilidad para la toma de decisiones y la promoción del desarrollo sostenible en la ciudad de Valledupar.

En este sentido, el proyecto de investigación buscó evaluar los efectos de los eventos extremos de precipitación en las Lagunas del Humedal Sicarare, así como contribuir a la adopción de medidas adecuadas para la gestión del agua en la zona. La modelación hidrológica de las lagunas es una herramienta importante para el análisis de inundación y la identificación de estrategias efectivas para la conservación de los humedales y la biodiversidad acuática en la región.

La realización del análisis de inundación por modelamiento hidrológico de las Lagunas del Humedal Sicarare es necesaria para la gestión adecuada del agua en la zona y la conservación de los servicios ecosistémicos del humedal.

La disponibilidad y calidad del agua son fundamentales para la supervivencia de los ecosistemas acuáticos y la salud humana, y la disminución del caudal de los ríos y arroyos, así como la alteración del régimen hidrológico, han afectado gravemente la disponibilidad y calidad del agua en la región.

Por lo cual, el análisis de inundación por modelamiento hidrológico de las Lagunas del Humedal Sicarare puede contribuir a la investigación para la toma de decisiones y la promoción del desarrollo sostenible en la ciudad de Valledupar.

La realización del análisis de inundación por modelamiento hidrológico de las Lagunas del Humedal Sicarare puede producir beneficios significativos para la gestión adecuada del agua en la zona y la conservación de los servicios ecosistémicos del humedal. En primer lugar, la investigación puede contribuir a la identificación de estrategias adecuadas para la gestión del agua en la zona, lo que puede mejorar la disponibilidad y calidad del agua para los ecosistemas acuáticos y la vida humana. Además, el análisis de inundación puede ayudar a prevenir o reducir los daños causados por los eventos extremos de precipitación en la zona, y a minimizar los riesgos para la salud y la seguridad de la población.

El proyecto de investigación puede dar a entender una serie de problemáticas de desconocimiento, tales como la falta de información precisa sobre el comportamiento hidrológico de las lagunas, la falta de datos confiables sobre el caudal de los ríos y arroyos que alimentan el humedal, y la falta de estrategias adecuadas para la gestión del agua en la zona. Además, la investigación puede poner de manifiesto la necesidad de una mayor colaboración entre las instituciones gubernamentales, la comunidad local y los grupos de investigación para abordar la problemática de la indisponibilidad del agua en la región. En este sentido, la investigación puede ser un punto de partida para futuras investigaciones y acciones que contribuyan a la gestión sostenible del agua y la conservación de los ecosistemas acuáticos en la ciudad de Valledupar.

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1.OBJETIVO GENERAL

Realizar un Análisis de las Inundaciones en el Humedal Sicarare a través de la Modelación Hidrológica en la ciudad de Valledupar departamento del Cesar

#### 3.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Desarrollar caracterización de los componentes físicos, bióticos y abióticos para obtener datos relevantes de los efectos de la inundación del Humedal Sicarare.

Realizar un modelo de simulación y respuesta hidrológica ante eventos extremos de precipitación en el área de influencia a las lagunas del Humedal Sicarare.

Evaluar los efectos de las inundaciones mediante el análisis de los resultados del modelo hidrológico para la gestión sostenible del agua en la zona y la conservación de los servicios ecosistémicos y la biodiversidad del Humedal Sicarare.

## 4. MARCO REFERENCIAL

### 4.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

#### 4.1.1. Antecedentes Internacionales

Hernández-Uribe, R. E., Barrios-Piña, H., & Ramírez, A. I. (2017) desarrollaron la tesis denominada Análisis de riesgo por inundación: metodología y aplicación a la cuenca Atemajac, debido a la creciente problemática de las inundaciones en la cuenca Atemajac, en el área metropolitana de Guadalajara, México. El objetivo principal era desarrollar y aplicar una metodología de análisis de riesgo por inundaciones en una cuenca urbanizada, con el fin de ayudar a los tomadores de decisiones a generar proyectos que mitiguen o minimicen los daños causados por las inundaciones. La metodología propuesta se basa en dos enfoques complementarios: el determinista y el paramétrico. El modelo determinista permite cuantificar el riesgo a través de la estimación de daños, mientras que el modelo paramétrico-conjunta indicadores a diferentes escalas y magnitudes, proporcionando una visión integral y regionalizada de la zona de estudio. Los valores de los indicadores se obtuvieron de diversas fuentes, incluyendo el INEGI, gobiernos locales y encuestas aplicadas directamente a la población involucrada. La aplicación de la metodología permitió identificar las zonas de riesgo y de alta vulnerabilidad en diferentes tramos del río Atemajac. Los resultados muestran que el tramo T2 es el de mayor riesgo y el más vulnerable a las inundaciones. Los índices de vulnerabilidad generados logran reducir la complejidad ligada con la vulnerabilidad por la cantidad de factores involucrados, proporcionando una mayor cantidad de elementos de juicio para los tomadores de decisiones. La contribución de esta investigación es principalmente metodológica y práctica. La metodología desarrollada puede ser replicable para casos con problemas de inundación vinculados con cuencas urbanizadas. Además, los resultados obtenidos pueden ser utilizados de manera práctica para la toma de decisiones en la mitigación de los daños causados por las inundaciones.

Salazar (2013) llevó a cabo la investigación titulada "Metodología para el análisis y la reducción del riesgo de inundaciones: Aplicación en la Rambla del Poyo (Valencia) usando medidas de retención de agua en el territorio". Esta investigación fue desarrollada debido a la necesidad de proporcionar herramientas más efectivas para el análisis del riesgo de

inundaciones, más allá de solo considerar el caudal máximo. El objetivo era cuantificar el grado de reducción del riesgo de cada una de las medidas analizadas en la zona inundable. La metodología propuesta se basó en un enfoque compuesto que incluía la generación de tormentas sintéticas utilizando el modelo estocástico RAINGEN, el establecimiento del modelo hidrológico utilizando el modelo hidrológico distribuido TETIS, la generación de avenidas sintéticas y un análisis trivariado de frecuencia. También se utilizó información de diferentes fuentes para calcular los daños potenciales. Como resultado de la investigación, se logró una mejor herramienta de análisis que permitió cuantificar el grado de reducción del riesgo de cada una de las medidas analizadas en la zona inundable. Se demostró que la ubicación de los embalses distribuidos es un factor determinante de la efectividad de las medidas de retención de agua en el territorio. Sin embargo, se concluyó que la intervención exclusiva de la variable peligrosidad no es suficiente para la reducción del riesgo, incluso para escenarios que conllevan grandes inversiones económicas e impactos ambientales. El aporte de esta investigación es principalmente metodológico y práctico. La metodología desarrollada puede ser replicada para casos con problemas de inundación y los resultados obtenidos pueden ser utilizados de manera práctica para la toma de decisiones en la mitigación de los daños causados por las inundaciones.

#### **4.1.2. Antecedentes Nacionales**

Córdoba, L. & Losada, L. (2019). Desarrollaron el estudio titulado Modelación Hidrológica y Análisis de Escenarios de Cambio Climático en la Cuenca del Río Combeima, Colombia, en la Universidad del Tolima. Tuvo como objetivo evaluar los impactos del cambio climático en el régimen hidrológico de la cuenca del río Combeima y proponer estrategias de adaptación. Para ello, se utilizó la metodología del modelo hidrológico Soil and Water Assessment Tool (SWAT), la cual permitió simular el comportamiento del agua en la cuenca bajo distintos escenarios de cambio climático y determinar su impacto en la disponibilidad de agua. Los resultados obtenidos mostraron que, debido al cambio climático, la cuenca del río Combeima podría experimentar una disminución de los caudales en el futuro, lo que afectaría la disponibilidad de agua para los distintos usos del recurso en la región. Como producto de la investigación se generó un conjunto de escenarios hidrológicos para la cuenca del río Combeima bajo diferentes condiciones climáticas futuras, lo que permite diseñar estrategias de

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

adaptación al cambio climático que reduzcan su impacto en la disponibilidad de agua. El aporte del antecedente es principalmente metodológico y su selección se basa en criterios técnicos, ya que el modelo SWAT es una herramienta ampliamente utilizada en la modelación hidrológica y permite simular la respuesta hidrológica de cuencas hidrográficas ante cambios en las condiciones climáticas.

Álvarez, C. & Alzate, L. (2018), desarrollaron el trabajo de investigación Evaluación de los Impactos del Cambio Climático en el Régimen Hidrológico de la Cuenca del Río Quindío Mediante Modelación Hidrológica, en la Universidad del Quindío; con el objetivo de evaluar los efectos del cambio climático en la disponibilidad de agua en la cuenca del río Quindío y proponer medidas de adaptación. Para ello, se utilizó la metodología de modelación hidrológica del modelo SWAT, la cual permitió simular el comportamiento del agua en la cuenca en diferentes escenarios climáticos y evaluar su impacto en la disponibilidad de agua. Los resultados obtenidos indicaron que la cuenca del río Quindío podría enfrentar una disminución en los caudales en el futuro debido al cambio climático, lo que afectaría la disponibilidad de agua para los diferentes usos en la región. Como producto de la investigación se generó un conjunto de escenarios hidrológicos para la cuenca del río Quindío bajo diferentes condiciones climáticas futuras, lo que permitió diseñar estrategias de adaptación para mitigar el impacto del cambio climático en la disponibilidad de agua. En este sentido, el aporte del antecedente es principalmente metodológico y su selección se basa en criterios técnicos, ya que el modelo SWAT es una herramienta ampliamente utilizada en la modelación hidrológica y permite simular la respuesta hidrológica de cuencas hidrográficas ante cambios en las condiciones climáticas.

Orozco, M. & Ramos, O. (2017), desarrollaron la investigación titulada Simulación Hidrológica En La Cuenca Del Río Pance Utilizando El Modelo SWAT, tuvo como objetivo evaluar el comportamiento hidrológico en la cuenca del río Pance en Colombia, mediante el uso del modelo hidrológico SWAT (Soil and Water Assessment Tool), considerando diferentes escenarios de uso del suelo. La metodología utilizada en el estudio incluyó la recolección y análisis de datos meteorológicos, de suelos y topográficos, así como la calibración y validación del modelo para simular la escorrentía y la producción de sedimentos. Los resultados del estudio permitieron identificar las áreas más críticas de la cuenca y el impacto de diferentes

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

usos del suelo en la hidrología de la región. El aporte de este antecedente para la presente investigación radica en su enfoque metodológico y en la utilización del modelo SWAT para la simulación hidrológica, lo que puede servir como referencia para el modelamiento de las inundaciones en el humedal Sicarare.

Gómez, F. & Orozco, C. (2015), desarrollaron el trabajo de investigación Modelación Hidrológica Para La Evaluación De Escenarios De Cambio Climático En La Cuenca Del Río Zulia. en la Universidad de Antioquia, con el objetivo de evaluar los posibles impactos del cambio climático en la cuenca del río Zulia. Para ello, se utilizó la metodología de modelación hidrológica del modelo SWAT, que permitió simular el comportamiento del agua en la cuenca en diferentes escenarios climáticos y evaluar su impacto en la disponibilidad de agua. Los resultados obtenidos indicaron que la cuenca del río Zulia podría enfrentar una disminución en los caudales en el futuro debido al cambio climático, lo que afectaría la disponibilidad de agua para los diferentes usos en la región. Como producto de la investigación, se generó un conjunto de escenarios hidrológicos para la cuenca del río Zulia bajo diferentes condiciones climáticas futuras, lo que permitió diseñar estrategias de adaptación para mitigar el impacto del cambio climático en la disponibilidad de agua. El aporte del antecedente es principalmente metodológico y su selección se basa en criterios técnicos, ya que el modelo SWAT es una herramienta ampliamente utilizada en la modelación hidrológica y permite simular la respuesta hidrológica de cuencas hidrográficas ante cambios en las condiciones climáticas.

García, L. & García, J. (2013), emplearon el estudio titulado Modelación Hidrológica De La Cuenca Del Río Guáitara Para El Diseño De Estrategias De Adaptación Al Cambio Climático, en la Universidad del Valle, tuvo como objetivo principal modelar la hidrología de la cuenca del río Guáitara y diseñar estrategias de adaptación al cambio climático. Para ello, se utilizó el modelo hidrológico Soil and Water Assessment Tool (SWAT) y se llevó a cabo una evaluación de la calidad del agua y un análisis de sensibilidad. Los resultados obtenidos permitieron identificar las zonas más vulnerables ante los impactos del cambio climático y diseñar estrategias de adaptación adecuadas para la gestión del recurso hídrico. El aporte más destacado de este estudio es la aplicación del modelo SWAT en una cuenca hidrográfica colombiana y la obtención de información valiosa para el diseño de medidas de adaptación al

cambio climático, lo cual puede ser de gran utilidad para futuros estudios de gestión de recursos hídricos.

## 4.2. MARCO TEÓRICO

### 4.2.1. Modelo Hidrológico

El Modelo Hidrológico es una herramienta fundamental en la evaluación del comportamiento de los cuerpos de agua y su relación con las precipitaciones, ya que permite conocer la cantidad y calidad del agua disponible en un determinado tiempo y lugar. Según Chow et al. (2011), un modelo hidrológico es una representación matemática de los procesos hidrológicos que ocurren en una cuenca, los cuales se basan en principios físicos, químicos y biológicos. A través del modelo hidrológico es posible simular el comportamiento de la cuenca en diferentes condiciones climáticas y topográficas, permitiendo la evaluación de su vulnerabilidad a las inundaciones.

Dentro de los modelos hidrológicos existen diferentes métodos de modelamiento que permiten la representación de los procesos hidrológicos en la cuenca. Según Sahuquillo et al. (2015), los modelos hidrológicos pueden ser clasificados en modelos empíricos, modelos conceptuales y modelos basados en procesos. Los modelos empíricos se basan en el uso de relaciones estadísticas para la estimación de las variables hidrológicas, mientras que los modelos conceptuales utilizan la representación gráfica de los procesos hidrológicos. Por otro lado, los modelos basados en procesos utilizan la representación matemática de los procesos hidrológicos, permitiendo una simulación más precisa del comportamiento de la cuenca.

### 4.2.2. Métodos de Modelamiento Hidrológico

Existen varios métodos, pero los más conocidos son los siguientes, según (Claramunt, 2015):

- Modelo Hidrológico de Balance Hídrico (Water Balance Model, en inglés).
- Modelo Hidrológico de Infiltración (Infiltration Model, en inglés).
- Modelo Hidrológico de Escorrentía (Runoff Model, en inglés).
- Modelo Hidrológico de Red de Drenaje (Network Model, en inglés).

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

- Modelo Hidrológico de Cuenca (Watershed Model, en inglés).
- Modelo Hidrológico de Cuencas Transfronterizas (Transboundary Watershed Model, en inglés).
- Modelo Hidrológico de Sistemas de Información Geográfica (Geographic Information Systems, GIS Model, en inglés).
- Modelo Hidrológico de Calidad del Agua (Water Quality Model, en inglés).

Cada uno de estos métodos tiene sus propias ventajas y limitaciones y se utilizan para abordar diferentes aspectos del ciclo hidrológico en un área determinada.

Diferentes métodos pueden generar resultados diferentes, lo que afecta la calidad y la confiabilidad de las predicciones y estimaciones de los recursos hídricos. Como señalan Cibir et al. (2019), "el uso de modelos hidrológicos en la evaluación de los recursos hídricos es cada vez más importante debido a la creciente demanda de agua y la necesidad de gestión y planificación sostenible".

Es necesario considerar que la elección del método de modelamiento hidrológico adecuado depende de la disponibilidad de datos, la complejidad de la cuenca hidrográfica y los objetivos del estudio. Sin embargo, la selección inadecuada de un método de modelamiento puede llevar a una mala interpretación de los resultados y, en última instancia, a una mala gestión de los recursos hídricos.

#### **4.2.3. Análisis de Inundación**

La modelación e interpretación de los resultados o bien sea el análisis de la inundación se puede abordar desde dos contextos: temporal y espacial.

El análisis temporal se refiere a cómo cambia la inundación con el tiempo, mientras que el análisis espacial se refiere a cómo varía la inundación en diferentes lugares. Este análisis puede ayudar a identificar las áreas que están en mayor riesgo de inundación y cuándo es más probable que ocurran las inundaciones. Por otra parte, el análisis de inundación temporal y espacial a partir de una simulación matemática se lleva a cabo mediante la aplicación de una metodología que combina el enfoque determinista y el enfoque paramétrico. El enfoque

determinista se basa en la modelación numérica y la determinación de daños, mientras que el enfoque paramétrico homologa los factores que intervienen en la vulnerabilidad a través de índices adimensionales normalizados por los componentes de índoles social, económico, físico y ambiental. (Hernández-Uribe, Barrios-Piña, & Ramírez, 2017).

#### **4.2.4. Ecosistemas Estratégicos**

Los ecosistemas estratégicos son áreas naturales que proporcionan una amplia gama de servicios ambientales, incluyendo la conservación de la biodiversidad, la protección contra desastres naturales y la regulación del clima y el agua. Además, estos ecosistemas son esenciales para el bienestar humano y la supervivencia de muchas especies de plantas y animales. Según López-Camacho et al (2015), estos ecosistemas pueden ser identificados por su importancia ecológica, valor socioeconómico y vulnerabilidad. Estos autores resaltan la importancia de evaluar y proteger los ecosistemas estratégicos, así como desarrollar estrategias de conservación y restauración que permitan su sostenibilidad a largo plazo.

La pérdida y degradación de los ecosistemas estratégicos tiene un impacto negativo en la biodiversidad y los servicios ecosistémicos que proporcionan. Por ejemplo, la deforestación y la contaminación de los humedales pueden disminuir la calidad del agua y la capacidad de los ecosistemas para regular el clima y mitigar los efectos del cambio climático (Millennium Ecosystem Assessment., 2005). Además, la pérdida de la biodiversidad puede tener consecuencias negativas para la agricultura y la producción de alimentos, así como para la salud humana y el bienestar en general (Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial del Estado de México, 2017)

#### **4.2.5. Humedales**

Según la Convención Ramsar (1971), los humedales se definen como "zonas de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de agua, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, con agua estancada o corriente, dulce, salobre o salada, incluyendo las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros". Los humedales proporcionan beneficios importantes para la sociedad, incluyendo la regulación del clima, la protección contra inundaciones y sequías, la purificación del agua, la producción de alimentos y la recreación (Costanza, y otros, 1997). Sin embargo, a pesar de su

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

importancia, los humedales están siendo degradados y destruidos en todo el mundo debido a la urbanización, la agricultura intensiva, la minería y otros usos no sostenibles de la tierra (Davidson, Finlayson, & Roux, 2018)

Tabla 1. Clasificación de Humedales Naturales según la Convención Ramsar

Ámbito	Sistema	Subsistema	Clase	Subclase
Marino y Costero	Marino	Submareal		Aguas marinas someras
			Lecho acuático	Lecho marino
			Arrecife	Arrecifes de coral
		Intermareal	Roca	Playas rocosas
			No consolidado	Playas de arena y grava
		Estuarino	Submareal	Aguas estuarinas
	Intermareal		No consolidado	Planos lodosos intermareales
			Emergente	Pantanos salados
	Boscoso		Manglares	
	Lacustre/	Permanente/		Lagunas salinas y salobres
Palustre	Estacional		Lagunas costeras dulces	
Interior	Fluvial	Perenne		Ríos/arroyos permanentes
			Emergente	Deltas interiores
		Intermitente		Ríos/arroyos intermitentes
			Emergente	Planicies inundables
	Lacustre	Permanente		Lagos dulces permanentes

		Estacional		Lagos dulces estacionales	
		Permanente/ Estacional		Lagos y pantanos salinos permanentes/ estacionales	
Palustre	Permanente	Emergente		Pantanos y ciénagas dulces permanentes Turberas abiertas Humedales alpinos y de tundra	
			Arbustivo	Pantanos arbustivos	
			Boscoso	Bosque pantanoso dulce Turbera boscosa	
				Estacional	Emergente
		Geotérmico			Humedales geotérmicos

Nota: Tomado de Naranjo (1997). Humedales de Colombia. Ecosistemas amenazados. En: Sabanas, vegas y palmares. El uso del agua en la Orinoquia colombiana. Universidad Javeriana - CIPAV

#### **4.2.6. Servicios Ecosistémicos y Biodiversidad**

Los servicios ecosistémicos son los beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas, incluyendo la producción de alimentos, la regulación del clima, la purificación del agua y la recreación. La biodiversidad es esencial para la provisión de estos servicios y la sostenibilidad de los ecosistemas. La pérdida de la biodiversidad y la degradación de los ecosistemas pueden tener consecuencias negativas para la provisión de servicios ecosistémicos y la calidad de vida de las personas. Según la FAO (2018), la biodiversidad y los servicios ecosistémicos son fundamentales para la seguridad alimentaria, la salud humana y la adaptación al cambio climático.

La conservación de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos puede ser una estrategia efectiva para abordar los desafíos ambientales y mejorar el bienestar humano. La restauración y la gestión sostenible de los ecosistemas pueden mejorar la provisión de servicios ecosistémicos y aumentar la resiliencia de los ecosistemas frente a los impactos del cambio climático. La promoción de prácticas agrícolas y forestales sostenibles puede mejorar la biodiversidad y la producción de alimentos, así como reducir la deforestación y la degradación del suelo (FAO, 2018). En resumen, la conservación de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos es esencial para la sostenibilidad y el bienestar humano, y la gestión sostenible de los ecosistemas puede ser una estrategia efectiva para abordar los desafíos ambientales y mejorar la calidad de vida de las personas.

#### 4.3.MARCO CONCEPTUAL

**Adaptación al cambio climático:** se refiere a las medidas que se toman para hacer frente a las consecuencias del cambio climático en el medio ambiente y en la sociedad. Según (IPCC, 2014), la adaptación incluye acciones para reducir la vulnerabilidad y aumentar la resiliencia de los sistemas naturales y humanos.

**Biodiversidad:** se refiere a la variedad de seres vivos que habitan en un ecosistema determinado. Según la (Convención sobre la Diversidad Biológica, 1992), la biodiversidad es esencial para el funcionamiento de los ecosistemas y proporciona servicios ecosistémicos fundamentales para la vida humana.

**Cambio climático:** es un proceso que se refiere a las alteraciones en el clima del planeta debido a la actividad humana y que tiene consecuencias negativas en el medio ambiente y en la vida de las personas. Según el (IPCC, 2014), el cambio climático se manifiesta en forma de aumento de la temperatura media global, cambios en la distribución de las precipitaciones y del régimen de vientos, entre otros efectos.

**Desarrollo sostenible:** se refiere a un modelo de desarrollo que busca satisfacer las necesidades actuales de la sociedad sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades. Según la Comisión Brundtland (1987), el desarrollo sostenible implica un equilibrio entre el crecimiento económico, la justicia social y la protección del medio ambiente.

**Ecosistemas estratégicos:** son áreas naturales que proporcionan una amplia gama de servicios ambientales, incluyendo la conservación de la biodiversidad, la protección contra desastres naturales y la regulación del clima y el agua. Según López-Camacho et al. (2015), estos ecosistemas pueden ser identificados por su importancia ecológica, valor socioeconómico y vulnerabilidad.

**Gestión de cuencas hidrográficas:** se refiere a la planificación y manejo de los recursos hídricos en un área geográfica determinada. Según Bruijnzeel et al. (2011), esta gestión debe ser integrada, participativa y adaptativa para lograr una distribución equitativa del agua y asegurar su uso sostenible.

**Humedales:** son ecosistemas acuáticos que albergan una gran biodiversidad y proporcionan servicios ecosistémicos importantes, como la regulación del clima y el agua. Según Ramsar (1971), los humedales son áreas de tierra inundadas o saturadas de agua de forma temporal o permanente.

**Impacto ambiental:** se refiere a los efectos que tiene una actividad humana sobre el medio ambiente. Según Canter (1996), este impacto puede ser positivo o negativo y se evalúa mediante estudios de impacto ambiental que permiten identificar los posibles efectos de un proyecto en la salud humana, la biodiversidad y el clima, entre otros aspectos.

**Servicios ecosistémicos:** son los beneficios que los seres humanos obtienen de los ecosistemas, como la purificación del agua, la polinización de los cultivos y la regulación del clima. Según la FAO (2001), estos servicios son esenciales para el bienestar humano y la economía.

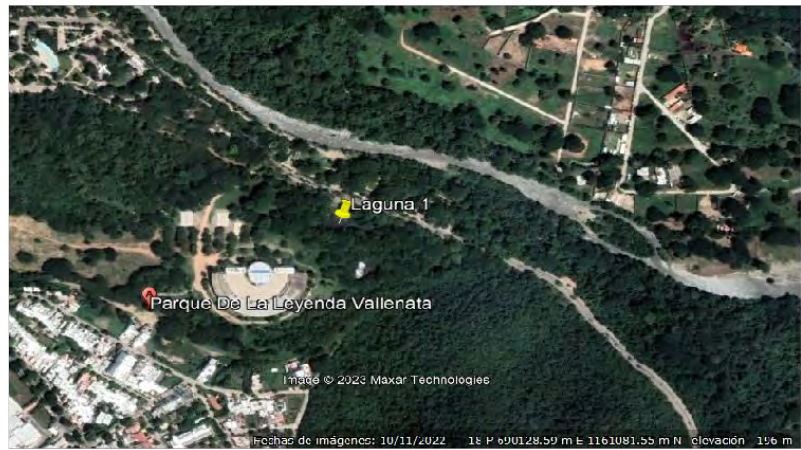
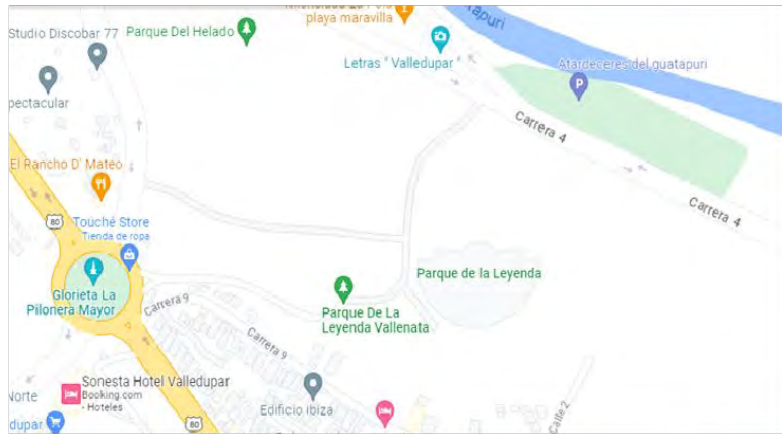
#### 4.4.MARCO CONTEXTUAL

El humedal Sicarare se localiza en la ciudad de Valledupar, capital del departamento de Cesar, Colombia. Con una población estimada de 483.672 habitantes en 2021, Valledupar es uno de los principales centros urbanos y económicos del norte del país. La ciudad se encuentra ubicada en la cordillera Oriental de los Andes, a una altitud de 169 metros sobre el nivel del mar y con las siguientes coordenadas geográficas: 10°28'40"N, 73°15'33"O. (Plan de Desarrollo Municipal, UT ASOPROASA, CORPOCESAR, 2023)

El humedal Sicarare se encuentra en el Parque de la Leyenda Vallenata Consuelo Araújo Noguera, que cuenta con una extensión territorial de 7,68 hectáreas. Este humedal es un corredor climático y ecológico que conecta la reserva forestal Cerro Hurtado y el río Guatapurí. Debido a su importancia ecológica y biodiversidad, el humedal Sicarare ha sido considerado como un ecosistema estratégico en la región. Además, es un sitio de interés turístico y recreativo para la comunidad local y regional. (Plan de Desarrollo Municipal, UT ASOPROASA, CORPOCESAR, 2023)

La importancia política, económica, social y legal de este humedal radica en su papel en la regulación del clima, la provisión de servicios ecosistémicos y la protección de la biodiversidad. En términos legales, el humedal Sicarare está protegido por la Ley 357 de 1997, que establece los mecanismos de protección, conservación y recuperación de los ecosistemas estratégicos del país. En cuanto a la importancia tecnológica, se debe destacar el uso de herramientas de modelamiento hidrológico para la gestión del agua y el monitoreo ambiental en la zona. (Plan de Desarrollo Municipal, UT ASOPROASA, CORPOCESAR, 2023)

Figura 1. Localización Geográfica del Humedal Sicarare.



Nota: Tomado y Adaptado por los Autores, 2023, de la página de la Alcaldía Municipal y Google Maps, Municipio de Valledupar.



#### 4.5.MARCO LEGAL

Tabla 2. Normativa Aplicable a la Investigación.

Título	Descripción	Aplicación
Constitución Política de Colombia: en su artículo 79 establece el derecho de todas las personas a gozar de un ambiente sano y a la protección de la diversidad biológica y cultural del país.	Establece el derecho de todas las personas a gozar de un ambiente sano y la protección de la diversidad biológica y cultural del país. Esto implica que el proyecto debe ser desarrollado de manera responsable y sostenible, teniendo en cuenta la preservación del medio ambiente y la biodiversidad de la zona.	Establece el derecho de todas las personas a gozar de un ambiente sano y proteger la diversidad biológica y cultural del país. En este sentido, la simulación de series de precipitaciones y la producción de caudales son actividades que pueden afectar el ambiente y la biodiversidad de los humedales, y por tanto es importante que se realicen de manera responsable y sostenible.
Política Nacional de Cambio Climático 2016	Promueve una gestión del cambio climático que contribuye a avanzar en una senda de desarrollo resiliente al clima y baja en carbono, que reduce los riesgos asociados a las alteraciones por efectos del cambio climático.	Se acoge puesto que incluye la reducción de la vulnerabilidad y el fortalecimiento de la adaptación de la población, los ecosistemas y los sistemas productivos ante los efectos del cambio climático, como las inundaciones, por lo cual, posee un marco de referencia para el análisis preliminar del ecosistema.
CONPES 3700 de 2011: Estrategia Institucional para la Articulación de Políticas y Acciones en materia de Cambio Climático en Colombia.	En este documento se adopta una estrategia que indica sobre la adaptación y mitigación al cambio climático que se requiere del desarrollo de estrategias de articulación a nivel interinstitucional e intersectorial tanto en el territorio nacional como en el nivel territorial.	Es un marco de referencia que permite una adecuada toma de decisiones para contrarrestar de manera efectiva la afectación a los ecosistemas frente a los impactos del cambio climático, reducir la vulnerabilidad de las comunidades y los efectos subyacentes.
Ley 99 de 1993: establece el régimen de gestión ambiental en Colombia, y establece las bases para la planificación, gestión y seguimiento ambiental en el país.	Establece el régimen de gestión ambiental en Colombia, y establece las bases para la planificación, gestión y seguimiento ambiental en el país. Esta ley es fundamental para el desarrollo del proyecto, ya que se deben seguir los lineamientos y requisitos establecidos en la misma para garantizar una gestión ambiental adecuada y responsable.	Establece el régimen de gestión ambiental en Colombia, lo que implica que cualquier proyecto que afecte el ambiente debe cumplir con las disposiciones establecidas en la ley y sus normativas complementarias. En el caso de la simulación de inundaciones, es necesario asegurar que se cumplan con los requisitos y procedimientos para la gestión ambiental.
Ley 357 de 1997: establece la categorización de los humedales en Colombia y su importancia como	Establece la categorización de los humedales en Colombia y su importancia como ecosistemas estratégicos para la conservación de la biodiversidad y la prestación de servicios	Categoriza los humedales como ecosistemas estratégicos para la conservación de la biodiversidad y la prestación de servicios ecosistémicos. Por lo tanto, cualquier actividad que afecte los

Título	Descripción	Aplicación
ecosistemas estratégicos para la conservación de la biodiversidad y la prestación de servicios ecosistémicos.	ecosistémicos. Esta ley es relevante para el proyecto, ya que se está trabajando específicamente en el Humedal Sicarare, y se debe garantizar la protección y conservación de este ecosistema estratégico.	humedales debe ser cuidadosamente evaluada para minimizar los impactos negativos y maximizar los beneficios para el ecosistema y las comunidades que dependen de ellos.
Ley 1523 de 2012: Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones.	La gestión del riesgo de desastres incluye el conocimiento del riesgo, la reducción del riesgo y el manejo de desastres. El conocimiento del riesgo implica la identificación, análisis y evaluación de los riesgos asociados a eventos naturales o antrópicos que puedan generar desastres. La reducción del riesgo implica la implementación de medidas para prevenir o mitigar los efectos adversos de los eventos peligrosos. El manejo de desastres implica la preparación, respuesta y recuperación ante situaciones de emergencia o desastre.	La Ley 1523 de 2012 es fundamental para el análisis de inundaciones porque establece el marco legal para la gestión del riesgo de desastres en Colombia, incluyendo el conocimiento, reducción y manejo del riesgo asociado a eventos como las inundaciones.
Decreto 3572 de 2011: establece el marco normativo para la protección y manejo de los humedales en Colombia, y regula las actividades que se pueden realizar en estas zonas.	Establece el marco normativo para la protección y manejo de los humedales en Colombia, y regula las actividades que se pueden realizar en estas zonas. Este decreto es de suma importancia para el proyecto, ya que establece las reglas y requisitos necesarios para garantizar la protección y conservación del Humedal Sicarare, y el adecuado manejo de las actividades que se realizarán en la zona.	Establece el marco normativo para la protección y manejo de los humedales en Colombia, y regula las actividades que se pueden realizar en estas zonas. En el caso de la simulación de inundaciones, es necesario cumplir con los requisitos y procedimientos establecidos en este decreto para garantizar que se realice de manera responsable y sostenible.
Decreto 1076 de 2015: reglamenta el sector ambiente y desarrollo en Colombia, siendo uno de los decretos únicos reglamentarios y sectoriales.	Reglamenta el sector ambiente y desarrollo en Colombia, siendo uno de los decretos únicos reglamentarios y sectoriales. Este decreto es relevante para el proyecto, ya que establece las reglas y requisitos para el desarrollo de actividades en el sector ambiental, y se deben seguir los lineamientos establecidos en el mismo para garantizar una gestión ambiental adecuada.	Reglamenta el sector ambiente y desarrollo en Colombia, lo que implica que cualquier proyecto que afecte el ambiente debe cumplir con las disposiciones establecidas en este decreto y sus normativas complementarias. En el caso de la simulación de inundaciones, es necesario asegurar que se cumpla con los requisitos y procedimientos para la gestión ambiental establecidos en este decreto.
Decreto 298 de 2016: Por el cual se establece la organización y funcionamiento del Sistema Nacional de	Este sistema es un conjunto de entidades estatales, privadas y sin ánimo de lucro, de políticas, normas, procesos, recursos, planes, estrategias, instrumentos y mecanismos, así como de información atinente al cambio climático, que se	El SISCLIMA tiene como objetivo coordinar y articular las políticas y acciones en materia de cambio climático en Colombia. Esto incluye la formulación, aplicación, publicación y actualización regular de programas nacionales y regionales

Título	Descripción	Aplicación
Cambio Climático y se dictan otras disposiciones	aplica de manera organizada para gestionar la mitigación de gases efecto invernadero y la adaptación al cambio climático en el país.	que contengan medidas orientadas a mitigar el cambio climático y facilitar la adaptación adecuada al mismo. Estas medidas pueden incluir acciones para prevenir o reducir el riesgo de inundaciones asociadas al cambio climático.
Decreto 2245 de 2017: Por el cual se reglamenta el artículo 206 de la Ley 1450 de 2011 y se adiciona una sección al Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en lo relacionado con el acotamiento de rondas hídricas.	Las rondas hídricas son las franjas de terreno aledañas a los cuerpos de agua, como ríos, quebradas, lagos y humedales, que deben ser protegidas para garantizar la conservación de los ecosistemas y prevenir desastres asociados a eventos hidrológicos extremos, como inundaciones. El acotamiento de las rondas hídricas implica la definición de su ancho y la implementación de medidas para su protección.	Es necesario para el análisis de inundaciones porque establece el marco legal para la delimitación y protección de las rondas hídricas en Colombia. La protección de las rondas hídricas es una medida importante para prevenir o reducir el riesgo de inundaciones asociadas a eventos hidrológicos extremos.
Resolución 0196 del 2006: establece los criterios para la protección y conservación de los cuerpos de agua, incluyendo los humedales.	Establece los criterios para la protección y conservación de los cuerpos de agua, incluyendo los humedales. Esta resolución es importante para el proyecto, ya que se debe garantizar la protección y conservación de las lagunas del Humedal Sicarare, y se deben seguir los criterios establecidos en la resolución para garantizar una adecuada gestión ambiental y de los recursos naturales.	Establece los criterios para la protección y conservación de los cuerpos de agua, incluyendo los humedales. En el caso de la simulación de inundaciones, es necesario asegurar que se cumpla con los criterios establecidos en esta resolución para proteger la calidad del agua y minimizar los impactos negativos sobre los ecosistemas acuáticos.
Resolución 957 de 2018: Por la cual se adopta la Guía Técnica de Criterios para el acotamiento de las rondas hídricas en Colombia y se dictan otras disposiciones.	Fija los criterios para establecer por parte de las autoridades ambientales desde donde se acotará la ronda hídrica, así como para la delimitación física de la misma son: el geomorfológico, el hidrológico y el ecosistémico. Estos criterios permiten a las autoridades ambientales realizar estudios para la delimitación de las rondas hídricas y definir medidas para su protección.	Es necesaria para el análisis de inundaciones porque establece el marco legal para la delimitación y protección de las rondas hídricas en Colombia. La protección de las rondas hídricas es una medida importante para prevenir o reducir el riesgo de inundaciones asociadas a eventos hidrológicos extremos.



**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**



#PorelResurgirdelaUPC

Nota: Nota: Tomado y adaptado por los Autores, 2023. A partir de la sección normativa del DAFP, del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo del Desastre



[www.unicesar.edu.co](http://www.unicesar.edu.co)  
Campus Universitario Sabanas, Of. 105 D. PBX (57) (5) 5848217 EXT. 1129  
Línea de atención al ciudadano 01 8000 400380  
Valledupar Cesar Colombia

## 5. MARCO METODOLÓGICO

### 5.1. LÍNEA, SUBLÍNEA Y ÁREA TEMÁTICA DE INVESTIGACIÓN

Conforme al acuerdo No. 003 de 08 de julio de 2021 expedido por el Consejo de Facultad de Ingenierías y Tecnológica, la línea de investigación correspondiente para esta investigación se denomina Sostenibilidad y Gestión Ambiental, asimismo, la sub línea de investigación a la cual se adscribe esta investigación se denomina Gestión Integral del Recursos Hídrico. Por último, el área temática en la cual sienta bases este trabajo se denomina Prospección y Exploración de aguas superficiales y subterráneas; los cuáles, corresponden al programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. (UNICESAR, 2021)

### 5.2. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

Desde la perspectiva de Hernández S., R., y Mendoza T., C. (2018), este proyecto tiene un enfoque de investigación cuantitativo porque se basa en el análisis y la interpretación de datos numéricos. Se utilizan técnicas estadísticas y matemáticas para medir y analizar las variables relacionadas con el problema de investigación, y se busca establecer relaciones y patrones entre ellas. Además, se enfoca en la recolección de datos objetivos y verificables a través de herramientas como encuestas, cuestionarios y mediciones físicas, para poder realizar generalizaciones y llegar a conclusiones precisas y confiables. En resumen, este proyecto adopta un enfoque cuantitativo al utilizar técnicas de medición y análisis de datos numéricos con el fin de obtener resultados cuantificables y confiables.

### 5.3. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

Según Hernández S., R., Fernández C., C., y Baptista L., P. (2014), este proyecto tiene un alcance de investigación correlacional porque busca establecer una relación entre dos o más variables y medir la fuerza y la dirección de esta relación. Se utiliza la correlación estadística para analizar la relación entre las variables y se busca determinar si existe una relación positiva, negativa o nula entre ellas. Además, se enfoca en el estudio de variables que no pueden ser manipuladas directamente, sino que se miden a través de su impacto en otras variables. En resumen, este proyecto adopta un enfoque correlacional al buscar establecer una relación entre variables y medir su fuerza y dirección, utilizando la correlación estadística como herramienta principal para el análisis de los datos.

#### 5.4. POBLACIÓN DE ESTUDIO

Los humedales pueden incluir diferentes tipos de cuerpos de agua como lagunas, ciénagas, pantanos y otros cuerpos de agua asociados con el sistema fluvial y perenne del Humedal Sicarare. En este caso, el análisis podría buscar identificar los procesos relacionados con las inundaciones en el Humedal Sicarare y cómo estos procesos afectan su biodiversidad, su capacidad de almacenamiento de agua y su importancia para el uso sostenible de los recursos naturales. Además, también podría explorar la relación entre estos humedales y otros aspectos ambientales y sociales de la zona, como, por ejemplo, el impacto de las inundaciones en las actividades económicas del ecosistema y la calidad de vida de las comunidades y especies locales.

#### 5.5. MUESTRA POBLACIONAL

Para este análisis de inundaciones causadas por las precipitaciones, la muestra poblacional se centrará en la precipitación en la zona norte del Humedal Sicarare. Se recopilará información sobre las precipitaciones en la zona, incluyendo la cantidad de lluvia, la intensidad y la duración de las precipitaciones. Se aplicará un diseño de muestreo adecuado para garantizar que la muestra sea representativa de la población objeto y que los resultados obtenidos puedan ser extrapolados de manera confiable a otras áreas de la zona norte del Humedal Sicarare. Al utilizar la precipitación como muestra poblacional, se espera obtener información valiosa sobre los procesos relacionados con las inundaciones en las lagunas del humedal y cómo estas están influenciadas por las precipitaciones en la zona. La información será obtenida de la plataforma DHIME del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, para una serie de aproximadamente 20 años para la estación meteorológica más cercana, en este caso, la del Aeropuerto Alfonso López Pumarejo.

#### 5.6. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño de investigación utilizado en este proyecto es no experimental transeccional, lo que implica la recopilación de datos en un momento específico y la observación de las variables tal como se presentan en su entorno natural, sin manipulación directa de las mismas. Según Hernández et al. (2014), este tipo de diseño se utiliza cuando el objetivo es describir o analizar los fenómenos tal como se presentan en la realidad, sin interferir con ellos.

La recopilación de datos se llevará a cabo a través de la observación directa de las lagunas del Humedal Sicarare y la recopilación de información histórica sobre las condiciones de inundación en el área. Además, se utilizarán modelos matemáticos para analizar la relación entre diferentes variables y su impacto en las inundaciones en las lagunas del humedal.

## 5.7. ESTRATEGIA Y DESARROLLO METODOLÓGICO

*Fase I. Caracterización de los componentes físicos, bióticos y abióticos para obtener datos relevantes de los efectos de la inundación del Humedal Sicarare.*

### Actividad 1.1. Visita Preliminar de Inspección

**Descripción:** Esta actividad implicó en realizar una visita inicial al Humedal Sicarare para conocer las condiciones y características del lugar, además, con la identificación de los puntos de medición de campo y establecer las bases para la recopilación de datos. Se realizó un registro fotográfico y un análisis de la estructura y la naturaleza de las lagunas del humedal. Se reitera que conforme a esto se tendrá muy en cuenta el camino o tránsito del agua.

### Actividad 1.2. Recolección de Información

**Descripción:** Esta actividad consistió en la búsqueda y recopilación de información relevante sobre el Humedal Sicarare, como mapas, planos, registros hidrológicos históricos, topográficos etc. documentos que puedan aumentar el conocimiento del comportamiento del recurso hídrico y principalmente el registro de precipitaciones a partir de la estación Meteorológica Alfonso López Pumarejo del aeródromo de la ciudad de Valledupar.

### Actividad 1.3. Medición de Variables de Campo

**Descripción:** En esta actividad se realizaron mediciones de campo en cuanto a características físicas, bióticas y abióticas del ecosistema y con énfasis en la probabilidad y magnitud del riesgo para la estabilidad ecológica y ambiental del Humedal por una situación de inundación. Además, se tomó información en cuanto a caudales y niveles de agua diferentes puntos del Humedal Sicarare, tomando como referencia características visuales del nivel variante de la cota de agua de la laguna, así como también la capacidad de almacenamiento hídrico de este ecosistema estratégico.

***Fase II. Realización de un modelo de simulación y respuesta hidrológica ante eventos extremos de precipitación en el área de influencia a las lagunas del Humedal Sicarare.***

**Actividad 2.1. Modelamiento de Caudales**

**Descripción:** Implicó la elaboración de un modelo hidrológico que incluyendo datos de precipitación, caudales y niveles de agua en las lagunas del Humedal Sicarare. Para este caso se elaboró el Modelo Lutz Schols, para poder obtener los caudales conforme a los eventos de precipitaciones simulados mediante números aleatorios. El resultado fue insumo para tener una idea de la capacidad de este ecosistema para los eventos de inundación, como una interpretación temporal de la situación presentada.

**Actividad 2.2. Simulación de Inundación**

**Descripción:** se realizaron simulaciones para evaluar cómo responde el humedal a diferentes escenarios de precipitación y cómo esto afecta los niveles de agua en las lagunas. Para ello se empleó el software ArcScene del paquete ArcGIS, con el cual se pudo tener una representación digital que ayudó a comprender de manera gráfica y visual como se aprecian los cambios de la disposición del agua con el modelo de inundación creado.

***Fase III. Evaluación de los efectos de las inundaciones mediante el análisis de los resultados del modelo hidrológico para la gestión sostenible del agua en la zona y la conservación de los servicios ecosistémicos y la biodiversidad del Humedal Sicarare.***

**Actividad 3.1. Análisis del Efecto en los Servicios Ecosistémicos y Biodiversidad**

**Descripción:** En esta actividad se evaluó el impacto de las inundaciones en los servicios ecosistémicos del humedal, como la calidad del agua, la biodiversidad y el suministro de agua para la población, para ello se tuvo en cuenta información con base a investigaciones recientes y que se hayan practicado con antelación.

**Actividad 3.2. Identificación de Factores en la Vulnerabilidad del Humedal**

**Descripción:** En esta actividad se identificaron los factores que influyen en la vulnerabilidad del humedal a las inundaciones y se propondrán medidas para reducir el riesgo de inundaciones en el futuro. Para ello se identificaron las amenazas y vulnerabilidades, y se evaluaron y valoraron conforme a la probabilidad y severidad del posible riesgo que representa la inundación.

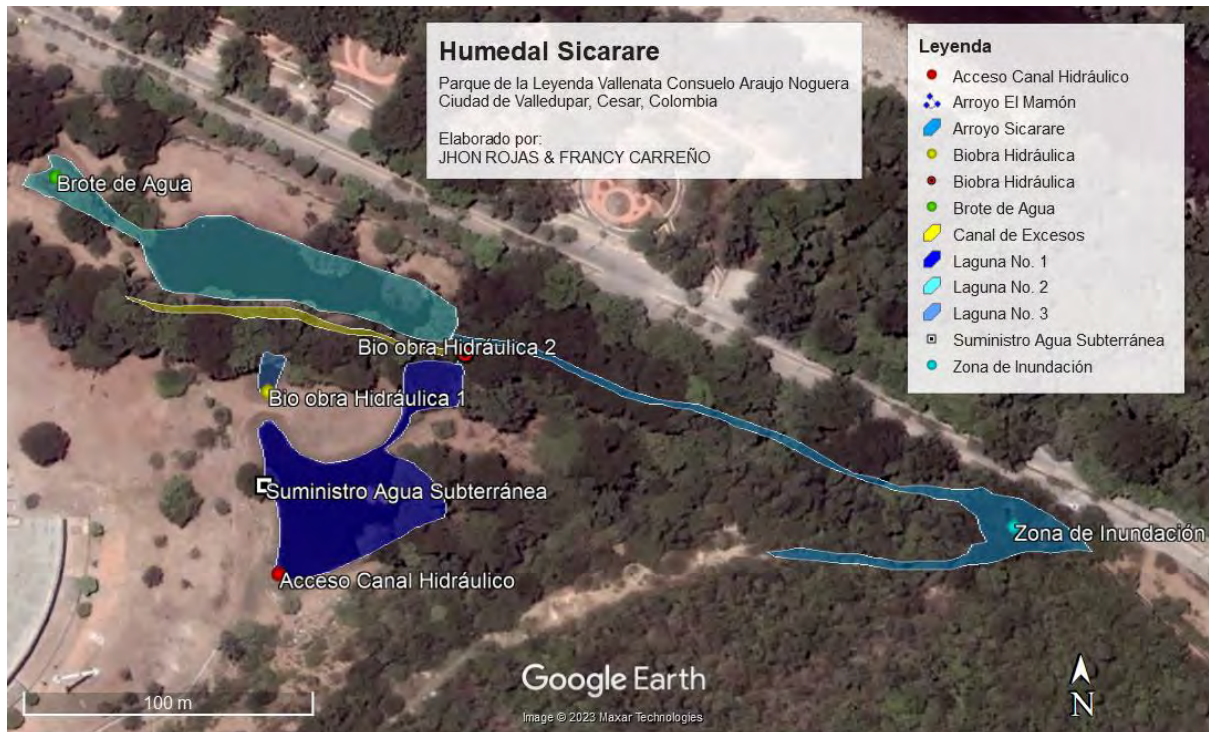
## 6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 6.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS COMPONENTES FÍSICOS, BIÓTICOS Y ABIÓTICOS PARA OBTENER DATOS RELEVANTES DE LOS EFECTOS DE LA INUNDACIÓN DEL HUMEDAL SICARARE

#### 6.1.1. Visita Preliminar de Inspección

Se llevó a cabo visita de inspección al humedal Sicarare, para identificar el complejo de Lagunas y su integridad biofísica, para esto, primero, hay que hacer referencia contextual y geográfica de este ecosistema. En la siguiente figura se esquematiza el Humedal Sicarare con los hallazgos distinguidos en el recorrido.

Figura 2. Descripción de los elementos que integran el paisaje biofísico del Humedal Sicarare



Nota: Elaborado por los Autores (2023) con la tecnología de Google Earth. La imagen presentada corresponde al mes de julio del año 2012, con la cual se puede apreciar mejor las lagunas del humedal Sicarare.

Durante el recorrido se pudo constatar que las lagunas son artificiales, y su origen se debe principalmente a la construcción del Parque de la Leyenda Vallenata Consuelo Araujo Noguera y hacían parte de un macroproyecto destinado para la amenización de la tradición denominada ‘Las Cargas’, buscando representar, durante época de festival vallenato, el momento mítico cuando los españoles fueron envenenados por los indígenas en la Laguna Sicarare (actualmente San Diego, Cesar), por lo cual el arquitecto Santander Beleño provocó la inundación de una zona socavada con maquinaria, creando obras de manejo y control erosivo y de estabilidad de talud, debido a la intersección del nivel freático del agua que sugerentemente proviene del río Guatapurí.

Figura 3. Tubo de alimentación de la Laguna No. 1: suministro de agua subterránea



Nota: Fotografía realizada por los investigadores, 2023.

En la fotografía presentada en la figura anterior, se aprecia un tubo corrugado de eliminación de exceso del agua subterránea, para la estabilidad del terreno del Parque de la

Leyenda Vallenata, siendo un canal francés que le da sostenibilidad hídrica y abastecimiento constante a las lagunas, ya que estas se encuentran interconectadas entre sí.

Figura 4. Bio obra hidráulica No. 1 de conexión de la Laguna No. 1 con canal de excesos



Nota: Fotografía realizada por los investigadores, 2023.

La laguna No. 1 y el canal francés se encuentran interconectados con una bio obra con tubos corrugados los cuales llevan hasta una pequeña laguna la cuál conlleva hasta un canal de excesos, el cuál ha sido preparado como una zona de encharcamiento que ayuda al control erosivo de las lagunas y transporta agua conectándolos por leve inundación hacia el arroyo Sicarare.

Por otra parte, la laguna más grande o Laguna No. 2, es paralela a la franja limítrofe con pared de encerramiento con el Parque de la Leyenda Vallenata Consuelo Araujo Noguera y carrera 4ta., y tiene su nacimiento por brote natural, aunque su sustento principal sigue siendo el suministro subterráneo por el tubo corrugado de acceso y transmisión y tránsito subsuperficial de la Laguna No. 1 a través de las bio obras presentadas anteriormente, debido

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

a que esta última se encuentra en una terraza geomorfológica superior a la Laguna No. 2, por lo cual, se hace posible que exista esta conexión.

Además, la Laguna No. 2 es un elemento paisajístico para el control de las inundaciones de la cara norte del denominado Parque. La siguiente figura presenta la fotografía de la zona en donde se presenta el brote del agua subterránea de la distinguida laguna:

Figura 5. Zona de brote y recarga de la Laguna No. 2 del humedal Sicarare



Nota: Fotografía realizada por los investigadores, 2023.

Por otra parte, es de mencionar que hay otros accesos de agua, principalmente por obra hidráulica de manejo a través de canal trapezoidal para la Laguna No. 1, el cual es el principal medio de contaminación de las aguas de este cuerpo hídrico debido a la gran cantidad de residuos sólidos que son depositados posteriormente a los eventos que se realizan en el punto de eventos del Parque de la Leyenda Vallenata Consuelo Araujo Noguera.

Actualmente, la Corporación Autónoma Regional del Cesar (CORPOCESAR) se encuentra en proceso de Formulación del Plan de Manejo Ambiental de este humedal Sicarare,

sin embargo, en consulta con el equipo consultor no se tiene contemplado el modelamiento de los caudales y proyección de inundación, sin embargo, han permitido un levantamiento topográfico-geodésico que ayudaría considerablemente para el propósito de este trabajo.

Figura 6. Canal Trapezoidal que intercepta y dispone residuos sólidos a la Laguna No. 1



Nota: Fotografía realizada por los investigadores, 2023.

La mayoría de los desechos son Tecnopor o Poliestireno Expandido (conocido comúnmente como icopor) y otros de un único uso como bolsas y botellas plásticas, además, hay otros residuos orgánicos provenientes de alimentos, que ratifica la contaminación que está sufriendo esta Laguna No. 1, debido a que actualmente no existe una buena gestión y manejo de los residuos sólidos producidos por los eventos que se desarrollan en el Parque de la Leyenda Vallenata Consuelo Araujo Noguera.

Además, como se aprecia en la fotografía este canal transporta constantemente agua que proviene del denominado Jagüey Sicarare, una Laguna que anteriormente era utilizada por los habitantes como abrevadero para los animales de corral, así como para el suministro de agua para otras actividades; Laguna no contemplada para este estudio debido a que su sustento de agua posiblemente se deba a fuga de tanque de almacenamiento en parte superior.

Figura 7. Laguna No. 1 del humedal Sicarare



Nota: Fotografía realizada por los investigadores, 2023.

Esta laguna tiene una menor dimensión y, además, muy cerca de su centro se sitúa un lecho de roca ignimbrita con rasgos de intervención o fracturas provocadas por maquinaria, sin embargo, su remoción fue poco posible, por lo cual, aún permanece como primer indicador para reconocer que este cuerpo de agua es artificial.

En esta Laguna No. 1 así como la Laguna No. 2, permanece la especie *Caiman crocodilus* comúnmente conocido como Caimán aguja, sin embargo, también es un cuerpo de

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

agua altamente conminado por la presencia inherente de residuos sólidos, también depositados en su fondo. La laguna No. 1 tiene una leve inclinación hacia su zona norte lo que permite el flujo de agua en sentido suroeste a noreste (SO-NE) hacia una bio obra hidráulica que transmite a través de rocas (cantos rodados) predisuestas de un nivel superior hacia un nivel inferior (Arroyo Sicarare), siendo un indicativo de que antes de provocar la inundación de la Laguna No. 1, se tuvo previsto el desarrollar este trabajo para causar el exceso de volumen en la terraza superior.

Figura 8. Bio obra Hidráulica de conexión de la Laguna No. 1 hacía Arroyo Sicarare



Nota: Fotografía realizada por los investigadores, 2023.

Esta zona es paso o tránsito habitual de la especie *Caiman crocodilus* hacia la Laguna No. 2, puesto que al descender por esta zona acceden fácilmente al anterior denominado cuerpo de agua.

En la fotografía presentada no se alcanza a apreciar con mucha claridad la diferencia de altitud entre el arroyo Sicarare (al fondo) y la terraza superior de exceso de la Laguna Sicarare, teniendo un desnivel aproximado de 1,5 a 2 metros. En esta zona se ve la acumulación de cantos rodados las cuales están predisuestas y depositadas de manera ordenada para conseguir que el tránsito y transmisividad del agua de la terraza superior hacia el agua en la terraza inferior.

Figura 9. Laguna No. 2 del humedal Sicarare



Nota: Fotografía realizada por los investigadores, 2023.

La laguna No. 2 es la de mayor representatividad, puesto que su condiciones ecológicas e hídricas tienen características más apetecibles para la mayoría de las especies, tanto de

frecuencia y permanencia de la especie *Caiman crocodilus* así como de otras especies de aves y peces, los cuales son fácilmente apreciables.

En este punto donde se realizó esta fotografía es la zona de reposo de algunas especies como el Martín Pescador y Garzas migrantes, que encuentran un suministro clave para su sustento y alimentación, además, es el paso de acceso del Caimán aguja. Por esta zona también se produce el arroyo Sicarare, debido al exceso y rebose de la Laguna No. 1 que es interceptado unos cuatro metros más adelante por la bio obra hidráulica de la Laguna No. 2., en la siguiente fotografía se aprecia el arroyo Sicarare:

Figura 10. Proyección del Arroyo Sicarare por alimentación de la Laguna No. 1 y 2



Nota: Fotografía realizada por los investigadores, 2023.

Este arroyo transita de manera paralela a la franja límite del Parque de la Leyenda Vallenata Consuelo Araujo Noguera, a la pared que divide con la carrera 4ta, retirado a unos 10 metros y en época de verano se hace subsuperficial, en época de lluvias es perenne y produce una zona inundable en la zona extrema NE del mencionado parque.

Las paredes del parque presentan tubos de PVC de 12 pulgadas incrustados y dispuestos de manera transversal, aunque usualmente se encuentran taponados por ramas y otros elementos que son elevados hasta una altitud de 1,5 metros en la denominada zona.

Acceder al sitio es verdaderamente difícil, por la densa vegetación y el suelo húmedo que dificulta llegar hasta ese punto. A continuación, se presenta una foto de la zona inundable.

Figura 11. Zona inundable con un suelo movedizo y de difícil tránsito



Nota: Fotografía realizada por los investigadores, 2023.

Finalmente, en esta visita preliminar de inspección se tuvo mucha cautela, debido a que además de especies de mamíferos pequeños y salvajes, también hay reptiles y serpientes como *Bothrops atrox* (conocida como Mapaná equis), *Bothrops jararacá* (conocida como Boquidorada) y *Clelia Clelia* (conocida como Víbora de sangre o vibrasangre), que son especies altamente peligrosas por el contenido de toxinas del veneno, cuya mordedura podría provocar muy rápidamente la muerte, por lo cual, durante el camino se tuvo mucha perseverancia y control, para evitar posibles problemas relacionados.

Es de añadir que durante el trabajo se observaron las especies mencionadas, algunas fueron fotografiadas, además se tuvo acompañamiento de otro grupo de investigación y de la Alcaldía de Valledupar, estas se presentan en la tabla presentada en la siguiente página:

Tabla 3. Especies de fauna identificadas durante el recorrido



Durante el recorrido se denotó la presencia de *Alouatta seniculus* (comúnmente, Mono Aullador), siendo un animal de gran envergadura, tamaño y dimensión, lo que significa que hay un gran sustento de alimentos y otros elementos que significan que el humedal Sicarare es un gran hábitat para estos.



Además, también se identificó la gran presencia y predominancia de la especie *Caiman crocodilus* habiendo pequeños caimanes agujas (neonatos), aunque también hay algunos de los cuales se distinguen dimensiones que pueden superar los 2 metros (información conforme al avance del proyecto de Bolaños A. y Rojas A., quienes nos acompañaron en este trabajo).



En la fotografía se aprecia un neonato de la especie *Boa constrictor* (comúnmente Boa), siendo un indicativo bastante alarmante considerando que su comportamiento fue muy calmado lo que indica que hay una gran presencia o densidad de serpientes de la misma connotación o de otro género o especie, por lo cual, se decidió finalizar la excursión hacia la zona extrema NE del Parque de la Leyenda Vallenata.



El grupo fue acompañado por integrantes del Semillero de Investigación Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, y el ingeniero Neftalí Méndez Cantillo, de la Secretaría de Desarrollo Económico, Medio Ambiente y Turismo de la Alcaldía de Valledupar.

Nota: Fotografías realizadas por los investigadores, 2023.

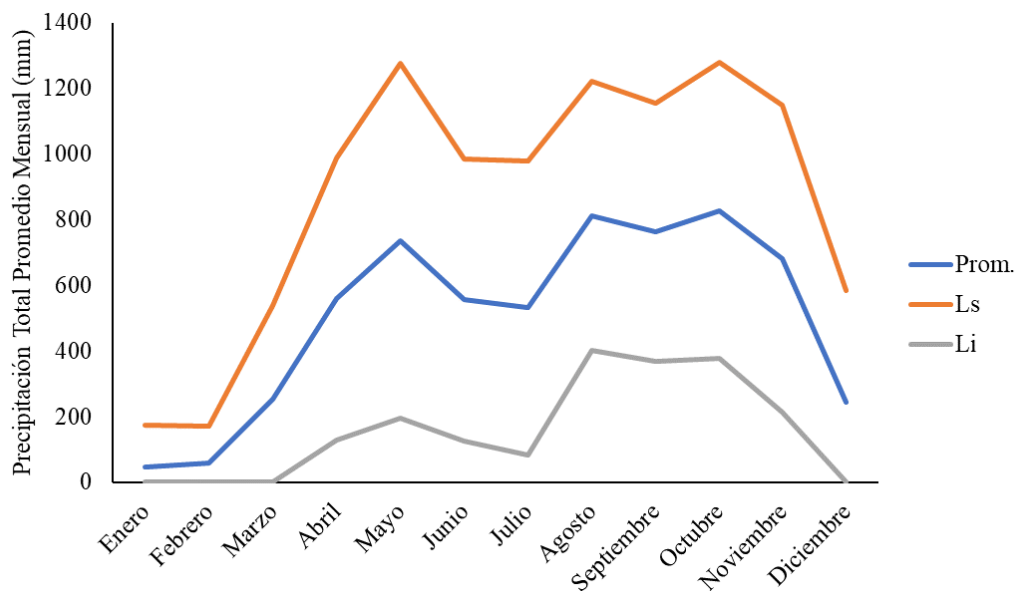
### 6.1.2. Recolección de Información

Para esta actividad se tuvieron dos insumos muy relevantes, primero, la información de las precipitaciones mensuales totales de la estación más cercana al humedal Sicarare, correspondiente a la estación meteorológica Alfonso López Pumarejo (ver ANEXO 1) y, por otra parte, la cartera topográfica del levantamiento topográfico-geodésico realizado por el grupo consultor Unión Temporal [UT] ASOPROASA de la Formulación del Plan de Manejo Ambiental del Humedal Sicarare (ver ANEXO 2).

#### 6.1.2.1. Precipitaciones Estación Meteorológica.

Se obtuvieron las precipitaciones mensuales totales desde el año 1990 hasta el año 2022, a través de la plataforma de descarga de datos hidrológicos, meteorológicos y de estudios ambientales (DHIME) del IDEAM, correspondientes a la estación meteorológica aeródromo Alfonso López Pumarejo de Valledupar. La siguiente gráfica presenta el hidrograma promedio de la serie de estudio y el límite inferior (Ls) y superior (Li) de las precipitaciones, con base a la desviación estándar de los datos:

Figura 12. Hidrograma de Precipitaciones Mensuales Totales estación meteorológica aeródromo Alfonso López Pumarejo de Valledupar



**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

Nota: Elaborado por los Investigadores a partir de la serie de precipitaciones totales mensuales en milímetros de la serie 1990 – 2022 a partir de datos descargados del IDEAM.

De la serie de precipitación, es importante destacar que se presentan campos vacíos, por cada mes se tiene lo siguiente:

- Enero: 0
- Febrero: 0
- Marzo: 0
- Abril: 2
- Mayo: 17
- Junio: 6
- Julio: 1
- Agosto: 4
- Septiembre: 6
- Octubre: 15
- Noviembre: 8
- Diciembre: 0

Estos números indican que los meses de Mayo y Octubre tienen la mayor cantidad de datos faltantes, mientras que varios otros meses tienen todos sus datos disponibles. Estos vacíos en los datos pueden ser significativos dependiendo del tipo de análisis que desees realizar, que, para este caso, por ser muy pocos no tienen una influencia notoria sobre las tendencias o patrones.

Aunque el análisis exploratorio propone conocer el comportamiento individual de cada uno de los meses, en esta investigación, se decide hacer una exploración transversal, para ello, se hizo una matriz de correlación, la siguiente figura presenta la primera parte:

Figura 13. Matriz de correlaciones de las precipitaciones totales mensuales del primer semestre del año



**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Enero	1.000000	-0.081013	0.185930	-0.057307	-0.250663	0.225734
Febrero	-0.081013	1.000000	-0.210879	-0.043746	-0.046246	-0.144295
Marzo	0.185930	-0.210879	1.000000	-0.022745	0.261857	0.177628
Abril	-0.057307	-0.043746	-0.022745	1.000000	0.187022	0.144342
Mayo	-0.250663	-0.046246	0.261857	0.187022	1.000000	0.014655
Junio	0.225734	-0.144295	0.177628	0.144342	0.014655	1.000000
Julio	-0.207486	-0.036868	0.303430	0.334876	0.401092	0.348812
Agosto	-0.021217	-0.291027	0.204226	-0.228409	0.281034	0.046275
Septiembre	0.222847	0.088853	-0.184190	0.038022	-0.547406	-0.155783
Octubre	0.051750	-0.134185	-0.457180	0.013929	0.359394	0.491159
Noviembre	0.365774	0.080822	0.100641	-0.055813	0.057321	0.225001
Diciembre	-0.037342	0.063336	-0.214777	0.071203	0.431746	-0.154861

Nota: Elaborado por los Investigadores con Python, 2023.

Figura 14. Matriz de correlaciones de las precipitaciones totales mensuales del segundo semestre del año

	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Enero	-0.207486	-0.021217	0.222847	0.051750	0.365774	-0.037342
Febrero	-0.036868	-0.291027	0.088853	-0.134185	0.080822	0.063336
Marzo	0.303430	0.204226	-0.184190	-0.457180	0.100641	-0.214777
Abril	0.334876	-0.228409	0.038022	0.013929	-0.055813	0.071203
Mayo	0.401092	0.281034	-0.547406	0.359394	0.057321	0.431746
Junio	0.348812	0.046275	-0.155783	0.491159	0.225001	-0.154861
Julio	1.000000	-0.007124	-0.295319	-0.088660	0.375970	0.217875
Agosto	-0.007124	1.000000	-0.423693	0.047698	-0.157614	-0.308657
Septiembre	-0.295319	-0.423693	1.000000	0.062208	0.007777	0.229535
Octubre	-0.088660	0.047698	0.062208	1.000000	-0.110469	-0.432453
Noviembre	0.375970	-0.157614	0.007777	-0.110469	1.000000	0.386163
Diciembre	0.217875	-0.308657	0.229535	-0.432453	0.386163	1.000000

Nota: Elaborado por los Investigadores con Python, 2023.

La matriz de correlación muestra cómo cada mes está relacionado con los demás en términos de valores de precipitación. A continuación, se presentan algunas observaciones clave:

- **Correlaciones positivas fuertes:** Estas sugieren que un aumento en la precipitación en un mes tiende a coincidir con un aumento en otro. *Por ejemplo, Julio muestra una*

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

correlación positiva con varios meses, lo que podría indicar patrones climáticos consistentes que afectan estos períodos.

- **Correlaciones negativas:** Una correlación negativa, como la observada entre Septiembre y Mayo, sugiere que un aumento en la precipitación en un mes tiende a coincidir con una disminución en el otro. Esto podría deberse a ciclos estacionales u otros factores.
- **Correlaciones cercanas a cero:** Estas indican que no hay una relación lineal clara entre los meses respectivos.

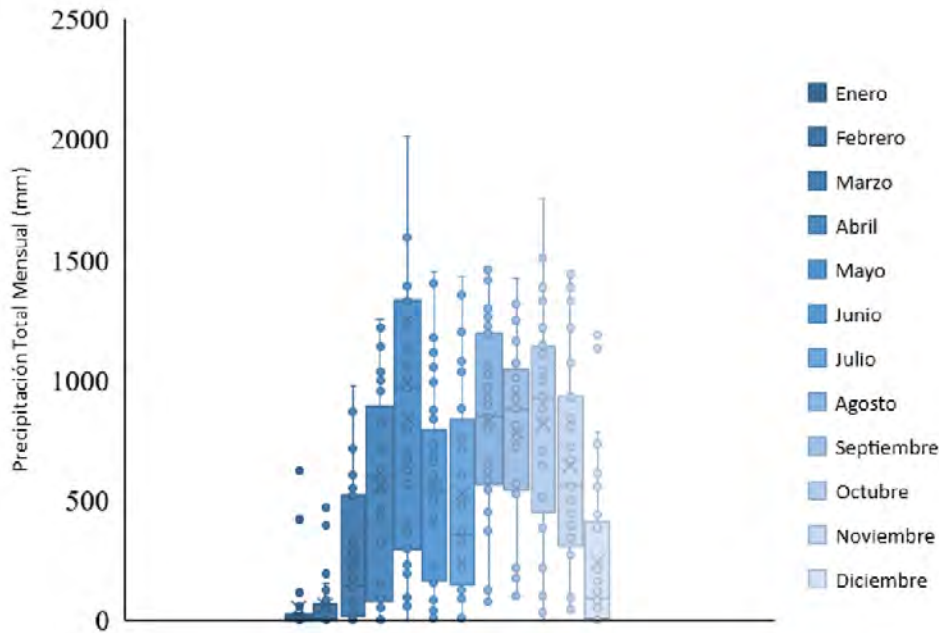
Algunos puntos destacados específicos incluyen:

- "Mayo" tiene una correlación negativa con "Septiembre", lo que sugiere que los patrones de lluvia en estos meses tienden a ser inversos.
- "Octubre" y "Junio" tienen una correlación positiva, lo que podría indicar patrones de precipitación similares en estos meses a lo largo de los años.
- "Marzo" y "Octubre" muestran una correlación negativa significativa, lo que podría ser indicativo de patrones estacionales.

Estas correlaciones pueden ser el resultado de patrones climáticos comunes, influencias geográficas, variaciones estacionales, entre otros factores, que son necesarios explorar de primera mano, antes de proceder a crear el modelo de inundación.

Ahora, con el objeto de entender a mayor claridad la distribución de los datos y sus comparativas, se realizará un gráfico de cajas y bigotes:

Figura 15. Gráfica de Cajas y Bigotes de las Precipitaciones Totales Mensuales



Nota: Elaborado por los Investigadores, 2023.

El gráfico de cajas y bigotes presentado ofrece varias inferencias sobre la precipitación mensual a lo largo de los años:

- *Variabilidad y Extremos:* Los meses de abril, mayo, agosto, septiembre, octubre y noviembre muestran una amplia gama de variabilidad en las precipitaciones, como se ve en la longitud de las cajas y los bigotes. Esto sugiere que estos meses han experimentado tanto sequías como períodos de lluvias intensas. Los puntos fuera de los bigotes indican eventos extremos, probablemente tormentas inusualmente fuertes.
- *Mediana y Cuartiles:* La línea dentro de cada caja muestra la mediana de la precipitación para ese mes. Se puede ver que, para la mayoría de los meses, la mediana tiende a estar más cerca del cuartil inferior, lo que indica que la precipitación suele estar en el extremo inferior del rango.
- *Meses Secos y Húmedos:* Diciembre, enero, febrero y marzo parecen tener las medianas más bajas de precipitación, lo que sugiere que estos podrían ser los meses más secos. Por otro lado, los meses que van desde abril hasta noviembre muestran una mayor mediana y variabilidad, lo que podría indicar la temporada de lluvias.

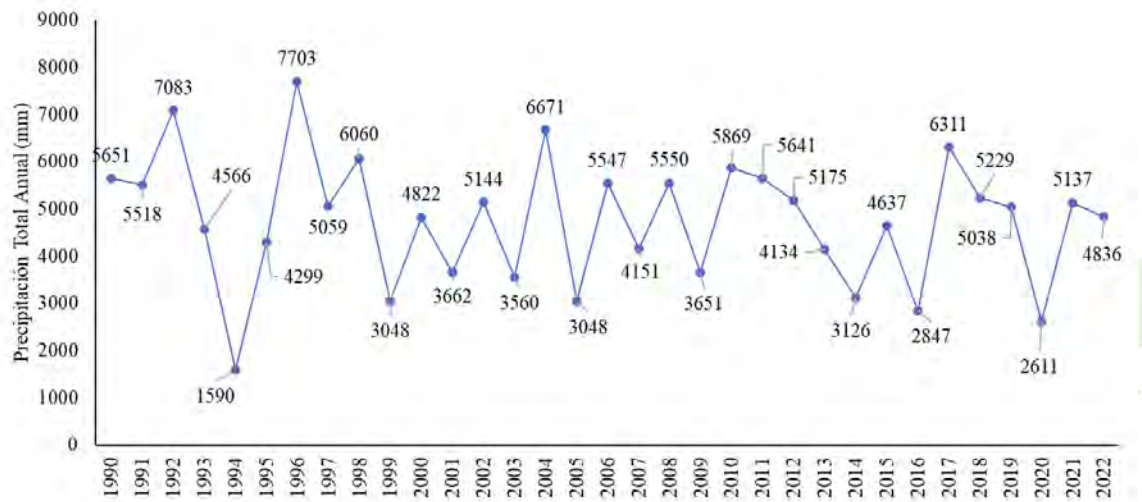
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

- *Valores Atípicos:* Hay varios valores atípicos, especialmente en los meses de la temporada de lluvias. Esto podría atribuirse a años particulares donde hubo eventos de precipitaciones significativamente altos, posiblemente debido a fenómenos climáticos.
- *Comparaciones Mensuales:* Al comparar los meses entre sí, es evidente que los meses de mediados de año tienden a tener no solo mayores precipitaciones sino también una mayor variabilidad. En contraste, los meses al comienzo y al final del año parecen ser más predecibles con menos lluvia.

Este gráfico es una herramienta poderosa para resumir la distribución y variabilidad de las precipitaciones y puede ser especialmente útil para la planificación en sectores como la agricultura, la gestión del agua, y la protección contra inundaciones (Íñiguez, et. Al., 2011).

Por otra parte, y haciendo un análisis integral de todos los datos, se procede a tener una gráfica de histograma de precipitaciones totales mensuales, en donde se visualiza el comportamiento de la tendencia de la precipitación (ver la siguiente página).

Figura 16. Histograma de Precipitaciones Totales Anuales



Nota: Elaborado por los Investigadores, 2023.



**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

El gráfico muestra la precipitación total anual desde 1990 hasta 2022, y permite observar varias tendencias y patrones:

- *Variabilidad:* Hay una variabilidad significativa en la precipitación total anual a lo largo de los años. Algunos años experimentaron niveles de precipitación muy altos, mientras que otros tuvieron cantidades mucho menores. Esta inconsistencia podría atribuirse a varios factores, incluidos los fenómenos climáticos naturales y el cambio climático.
- *Tendencias a largo plazo:* No parece haber una tendencia lineal clara (constante aumento o disminución) en la precipitación total anual a lo largo del tiempo. En cambio, hay fluctuaciones que podrían estar relacionadas con ciclos climáticos más amplios o eventos extremos.
- *Años de precipitación extrema:* Algunos años, como los tempranos 2000 y 2011, muestran picos significativos en la precipitación. Estos podrían corresponder a años en los que eventos climáticos específicos, como El Niño o La Niña, tuvieron un impacto significativo en las condiciones climáticas regionales.
- *Últimos años:* Si observamos los últimos años, parece que hay una disminución en la precipitación total anual. Sin embargo, se necesitaría un análisis más detallado para determinar si esta es una tendencia significativa o una parte normal de la variabilidad climática.

Además, se buscó determinar tendencias lineales en la presentación de los meses, para ello, se realizó la prueba de tendencia de Mann-Kendall, que es un método estadístico no paramétrico ampliamente utilizado para analizar tendencias en series temporales. Es particularmente útil porque no asume una distribución específica para los datos y es resistente a los valores atípicos.

La prueba de Mann-Kendall evalúa si hay una tendencia monótona (ya sea creciente o decreciente) en una serie temporal. La hipótesis nula ( $H_0$ ) de la prueba es que los datos son independientes y no muestran ninguna tendencia. La hipótesis alternativa ( $H_1$ ) es que hay una tendencia (ya sea positiva o negativa).

Además, se utiliza la estimación de la pendiente de Sen para cuantificar el cambio en la tendencia, si existe. Todos estos procedimientos realizados con Python.

Los resultados de la prueba de Mann-Kendall y la estimación de la pendiente de Sen para la serie temporal de la precipitación total anual son los siguientes:

- **Tau de Kendall:** -0.119 (un valor negativo indica una tendencia decreciente)
- **Valor P:** 0.329 (mayor que 0.05, el nivel de significancia típico)
- **Tendencia:** Sin tendencia (basado en el valor p, no rechazamos la hipótesis nula)
- **Pendiente de Sen:** -25.98 mm por año (indica una disminución en la precipitación, aunque la prueba de Mann-Kendall no la encontró estadísticamente significativa)

Estos resultados sugieren que, aunque la pendiente de Sen indica una disminución en la precipitación anual, la prueba de Mann-Kendall no encuentra esta tendencia lo suficientemente fuerte como para ser estadísticamente significativa. En otras palabras, no hay suficiente evidencia para afirmar una tendencia decreciente clara en la precipitación total anual durante el período analizado.

Esto podría deberse a la variabilidad interanual y a otros factores que contribuyen a la fluctuación en los niveles de precipitación. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la ausencia de una tendencia estadísticamente significativa no significa que no haya cambios importantes en el nivel local o que no se deban tomar medidas de adaptación y mitigación, especialmente en contextos sensibles al clima.

Con la finalidad de connotar aún más la aleatoriedad de los datos y las implicancias de fenómenos globales, se estudió la correlación de Pearson-spearman de las precipitaciones totales mensuales con el índice oceanográfico del niño (ONI) de la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos (NOAA).

La correlación entre la serie temporal de precipitación y el Índice ONI es aproximadamente -0.145. Se presentan algunas interpretaciones clave :

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

- *Fuerza de la Correlación:* El coeficiente de correlación está cerca de  $-0.145$ , lo que indica una correlación negativa débil entre la precipitación y el Índice ONI. Esto significa que, en general, cuando el Índice ONI aumenta (condiciones más cálidas, típicas de El Niño), la precipitación tiende a disminuir ligeramente, y viceversa (aunque la relación no es fuerte).
- *Significado de la Correlación Negativa:* La correlación negativa sugiere que los eventos de La Niña (que se caracterizan por temperaturas superficiales del mar más frías y un ONI negativo) podrían estar asociados con un aumento en la precipitación, mientras que los eventos de El Niño podrían estar asociados con una disminución. Sin embargo, dado que la correlación es débil, estos efectos no son pronunciados y podrían estar influenciados por otros factores climáticos y ambientales.
- *Variabilidad y Otros Factores:* La débil correlación también sugiere que hay una alta variabilidad en la precipitación que no se explica solo por El Niño y La Niña. Otros factores, como los patrones climáticos locales, las variaciones estacionales y los eventos climáticos extremos, también pueden jugar un papel importante.

En resumen, mientras que hay una tendencia indicativa de que La Niña podría estar asociada con una mayor precipitación y El Niño con menos, la relación no es fuerte. Esto subraya la complejidad de los sistemas climáticos y la importancia de considerar múltiples factores al analizar y predecir las precipitaciones y el clima.

### **6.1.2.2. Levantamiento Topográfico-Geodésico.**

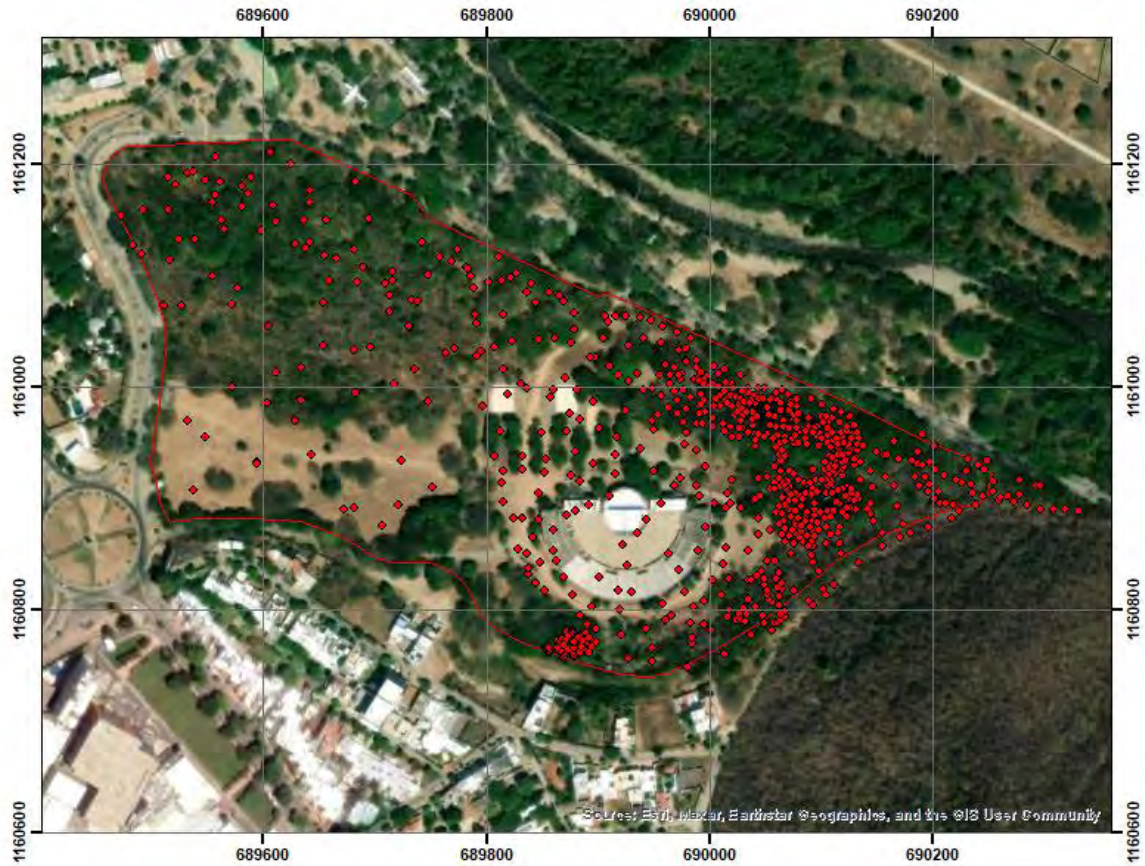
El trabajo de levantamiento topográfico fue realizado por el grupo de la UT ASOPROASA en contrato de consultoría No. CMA-015-2022 celebrado con la Corporación Autónoma Regional del Cesar – CORPOCESAR, los cuales fueron suministrados para la realización del Modelo de Inundación propuesto en este trabajo. La representación de este levantamiento topográfico-geodésico se hace de manera procedimental, cargando los puntos en el ArcMAP, luego creando una red irregular triangular (TIN, por sus siglas en inglés) y extrayendo las curvas de nivel y así obteniendo una representación más idónea, tanto de las elevaciones pronunciadas de las formaciones geológicas diferenciales, las zonas de

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

intervención humana y también las cotas negativas o de batimetría de las lagunas objeto de estudio.

Como tal, este levantamiento contiene 774 puntos, un análisis detallado de las curvas de nivel del Humedal Sicarare (ver figura 18) revela una notable coherencia en la variación de la altitud, evidenciada por una media de aproximadamente 205,16 metros y una mediana cercana de 204.12 metros, sugiriendo una distribución simétrica de las altitudes. La desviación estándar, relativamente baja, de 3,68 metros y una varianza de 13,57, indica que las altitudes están mayormente concentradas cerca de la media, con una variabilidad mínima, lo que se refleja en un rango de solo 19 metros. Aunque la curtosis sugiere una distribución bastante normal, el coeficiente de asimetría ligeramente superior a 1 apunta a una modesta proliferación de altitudes más elevadas, corroborada por una moda de 202 metros y un máximo que alcanza los 217 metros. Esta leve inclinación hacia altitudes más altas podría ser indicativa de características geográficas específicas o de procesos de sedimentación que han contribuido a una elevación desigual a lo largo del humedal. En conjunto, estos hallazgos subrayan la relativa uniformidad del terreno en el Humedal Sicarare, con pocas fluctuaciones extremas, lo que podría tener implicaciones significativas para la gestión del agua, la biodiversidad, y la conservación del ecosistema en general.

Figura 17. Distribución de los puntos topográficos-geodésicos en el humedal Sicarare



<b>Puntos de Levantamiento</b> <b>Topográfico-geodésico</b> 1 : 100.000			
<b>Leyenda</b> Parque de la Leyenda Vallenata Consuelo Araujo Noguera Humedal Sicarare			
Elaborado por: FRANCY LORENA CARREÑO BELEÑO JHON FRED ROJAS RODRÍGUEZ Semillero de Investigación Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible		Revisado por: KARINA TORRES CERVERA Msc. Medio Ambiente y DS.	
Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 18N Projection: Trans vers e Mercator Datum: WGS 1984 False Easting: 500.000.000 False Northing: 0,0000 Central Meridian: -75,0000 Scale Factor: 0,9996 Latitude Of Origin: 0,0000 Units : Meter			
		Sources : Esri, HERE, Garmin, USGS, Intermap, INCREMENT P, NRCan, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), Esri Korea, Esri (Thailand), NGCC, (c)	

Nota: Elaborado por los Investigadores, 2023.

Figura 18. Distribución de las Curvas de Nivel en las Lagunas del Humedal Sicarare



<b>Curvas de Nivel del Levantamiento Topográfico-geodésico</b> 1:1.500		
<b>Leyenda</b> Curvas Nivel Parque de la Leyenda Vallenata Consuelo Araujo Noguera		
Elaborado por: FRANCY LORENA CARREÑO BELEÑO JHON FRED ROJAS RODRÍGUEZ Semillero de Investigación Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible		Revisado por: KARINA TORRES CERVERA Msc. Medio Ambiente y DS.
Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 18N Projection: Trans vers e Mercator Datum: WGS 1984 False Easting: 500,000,000 False Northing: 0,000 Central Meridian: -75,000 Scale Factor: 0,9998 Latitude Of Origin: 0,000 Units : Meter		
		<p>Sources: Esri, HERE, Garmin, USGS, Intermap, INCREMENT P, NRCan, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), Esri Korea, Esri (Thailand), NGCC, (c)</p>

Nota: Elaborado por los Investigadores, 2023.



### 6.1.3. Medición de Variables de Campo

Se procedió a realizar la caracterización de los sistemas bióticos y abióticos, para ello, se tomó como base el procedimiento de Garmendia et. Al. (2005), para ello se procedió primeramente a hacer el inventario ambiental, considerando que estos sistemas se dividen en componentes o dimensiones.

#### 6.1.3.1. Agua.

El principal propósito de esta caracterización fue el realizar mediciones de campo, considerando principalmente las demarcaciones o registros que se tienen de inundaciones o momentos en los cuales se han presentado hitos históricos durante el corto tiempo de vida que tiene este humedal, sabiendo que aproximadamente desde 1998 se produjo la primera inundación por intercepción del nivel freático.

Durante la visita de campo se identificaron referentes relevantes, principalmente, en la demarcación de las rocas, resaltando una primordialmente, con la cual se tiene una historia contada de los momentos históricos del nivel del agua, lo que permite manifestar en una primera impresión que el humedal Sicarare tiene una gran capacidad de drenaje:

Figura 19. Roca de canto rodado posicionada cerca al nacimiento de la Laguna No. 2



Nota: Composición fotográfica y esquema elaborado por los Investigadores, 2023.

Esta roca tiene un alto de 1,08 metros y destaca porque fue posicionada en ese sitio con el objeto de tener una forma de tener una medida para el monitoreo de los niveles del agua en la laguna no. 2 del humedal Sicarare, puesto que esa zona de excavación recibe mayoritariamente los flujos de agua lluvia cuando precipita en zona norte y es favorable para el control de las inundaciones.

Con base a la distribución de los sedimentos adheridos a sus caras, se puede distinguir principalmente que los niveles de aguas comunes de inundación que maneja la laguna consiguen elevarse 0,85 metros respecto a la cota de la superficie en ese sitio de 204,46 metros.

Figura 20. Distinciones de nivel de agua común en la roca de la Laguna No. 2



Nota: Composición esquemática elaborada por los Investigadores, 2023.

Otro dato curioso en la cara NE del humedal Sicarare (de difícil acceso) es la presencia de rocas ignimbritas transformadas por la fuerte erosión hídrica sometidas:

Figura 21. Roca altamente meteorizada por la agresividad hídrica a la cuál fue sometida



Nota: Composición esquemática elaborada por los Investigadores, 2023.

De la fotografía anterior se puede manifestar con toda certeza de que el responsable de la transformación de estas es el río Guatapurí, el cual, algunos miles de años atrás estuvieron moldeando también la cara NE del cerro hurtado, con el cuál el humedal Sicarare comparte vecindario y conectividad ecosistémica. Rocas como las de fotografías son comunes observarlas con aristas y no tan moldeadas.

También es adecuado indicar que el arroyo Sicarare, en un recorrido no superior a los 100 metros se transforma en subsuperficial (situación en verano), creando un colchón de agua

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

y de suelo poco consistente y movedizo, encontrándose en una zona muy a la zona inaccesible del Humedal Sicarare (zona NE).

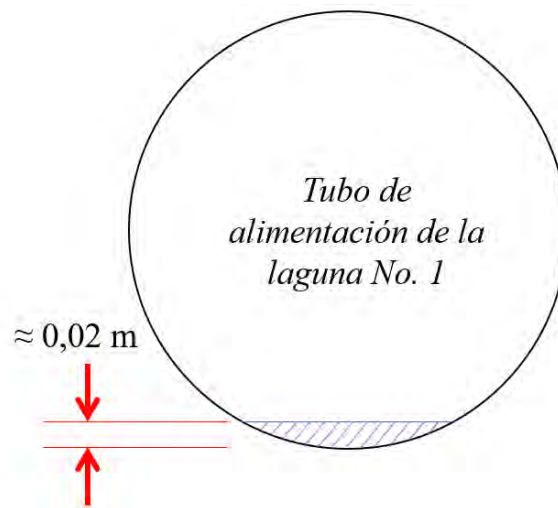
Figura 22. Arroyo Sicarare, lugar donde se convierte en subsuperficial



Nota: Fotografía realizada por los investigadores, 2023.

Por otra parte, el caudal de alimentación y sostenibilidad hídrica del complejo de las lagunas es dependiente en un 96% del agua proveniente del tubo corrugado de alimentación, otro porcentaje menor proviene de aguas subterráneas y también de agua contaminada del canal que ingresa a la laguna no. 1., en la siguiente figura se esquematiza y se define el caudal:

Figura 23. Representación del tubo de alimentación de la laguna No. 1 del humedal Sicarare



Nota: Elaborado por los Investigadores, 2023.

El agua que se drena este tubo conectado al canal francés produce un volumen equivalente a 1 litro de agua por durante 85 segundos, lo que significa un equivalente a 0,015 L/s (o bien sea 1,016470588 m<sup>3</sup> al día, considerando que esta medición se hizo en época de lluvias cuando hay mayor saturación del suelo).

Por otra parte, con la determinación de las curvas de nivel se pudo obtener el desnivel de la cota superficial de agua respecto a la cota batimétrica y también el área real de las lagunas. Concerniente al área para la Laguna No. 1 corresponde a 2.420 metros cuadrados y para la Laguna No. 2 corresponde a 2.750 metros cuadrados de agua estancada.

El volumen aproximado de la Laguna No. 1 corresponde a 2956,7366 metros cúbicos y el volumen aproximado de la Laguna No. 2 corresponde a 4752,1375 metros cúbicos

Tabla 4. Volumen de agua para las lagunas No 1 y 2 del humedal Sicarare

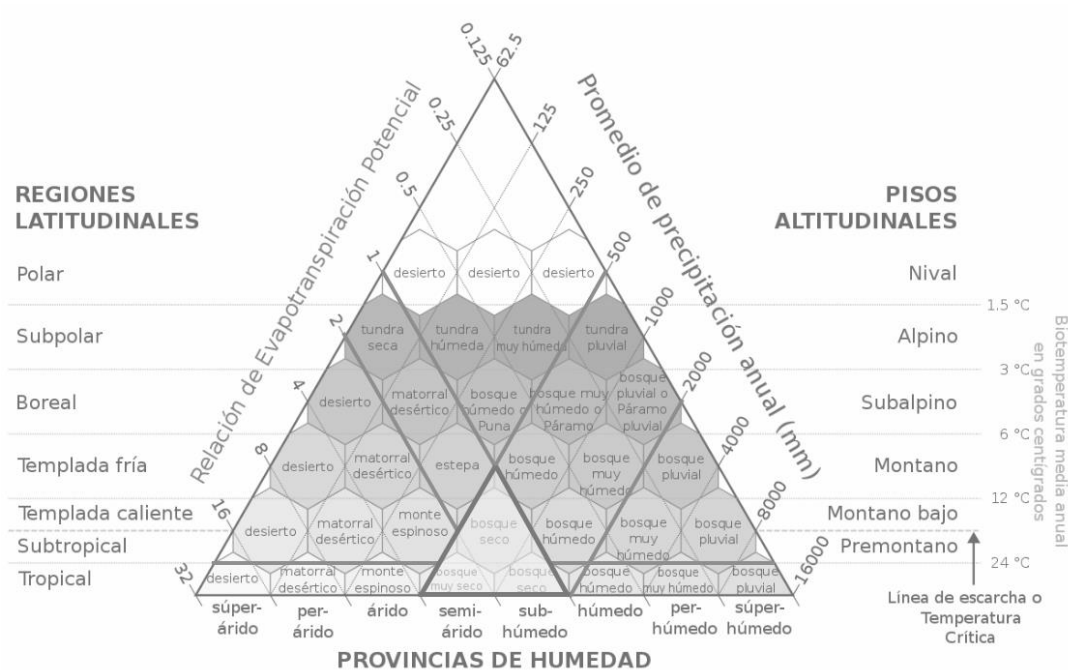
Cuerpos	Área Superf	Cota Batimétrica	Z inclinado	Corr. Incl	Vol. (m <sup>3</sup> )
Laguna 1	2420	1,76	0,78	0,89	2956,7366
Laguna 2	2750	2,14	0,95	0,85	4752,1375

Nota: Elaborado por los Investigadores con ArcGIS, 2023.

**6.1.3.2.Climatología.**

Para este aspecto importante, se consideró emplear el triángulo de clasificación de las zonas de vida de Holdridge, conforme a las regiones latitudinales, pisos altitudinales y provincias de humedad en la cual se localiza el humedal Sicarare, con base a esto, entonces se obtuvo la siguiente diagramación:

Figura 24. Clasificación climática del Humedal Sicarare con el Triángulo de Holdridge



Nota: Zonas de Vida de Holdridge (1982) para la caracterización climática conforme a los datos de las variables meteorológicas y la localización del ecosistema estratégico.

La región latitudinal es tropical, con precipitaciones media anuales que van desde los 500 a los 2000 milímetros lo que permite definir que la clasificación de la zona de vida

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

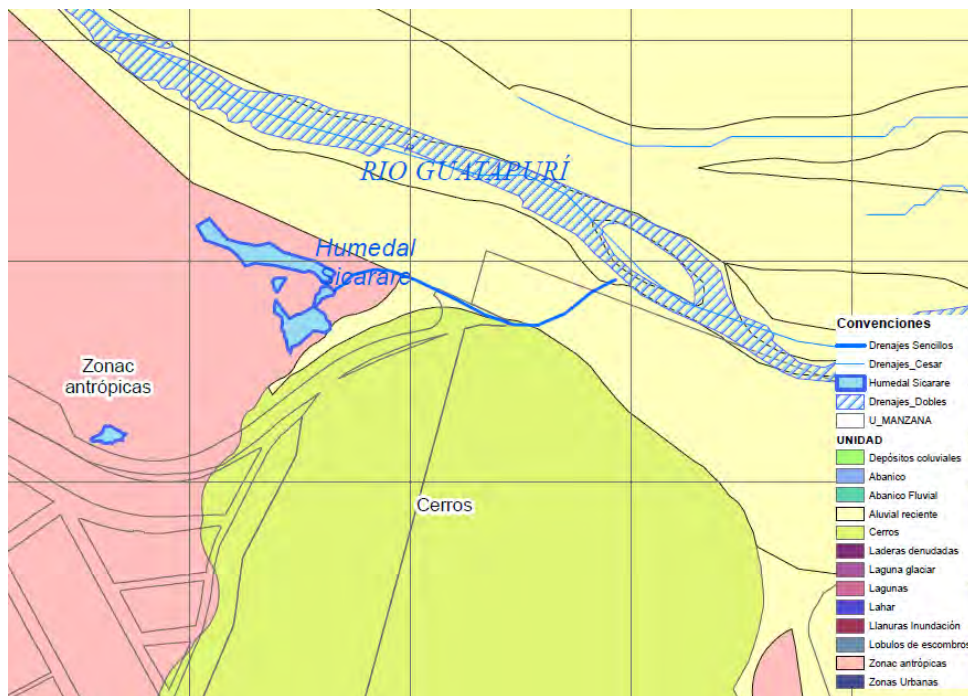
corresponde a una provincia de humedad semi árida situada entre bosque muy seco a bosque seco tropical – BST, característico de este tipo de ecosistema.

Siguiendo la clasificación de Köppen-Geiger, con base a la clasificación de la zona de vida, entonces, se puede manifestar que esta es equivalente a un clima tropical de sabana con una estación seca prolongada (*Aw*).

**6.1.3.3. Geomorfología.**

El humedal Sicarare, ubicado en el parque de la Leyenda Vallenata 'Consuelo Araujo Noguera', se caracteriza geomorfológicamente por ser un conjunto de lagunas artificiales (jagueyes) creadas entre 2000 y 2003. A pesar de su origen antrópico, han sido afectadas por factores meteorológicos y procesos erosivos desde su creación.

Figura 25. Geomorfología locativa del Humedal Sicarare



Nota: Tomado de la Corporación Autónoma Regional del Cesar – CORPOCESAR, 2023.

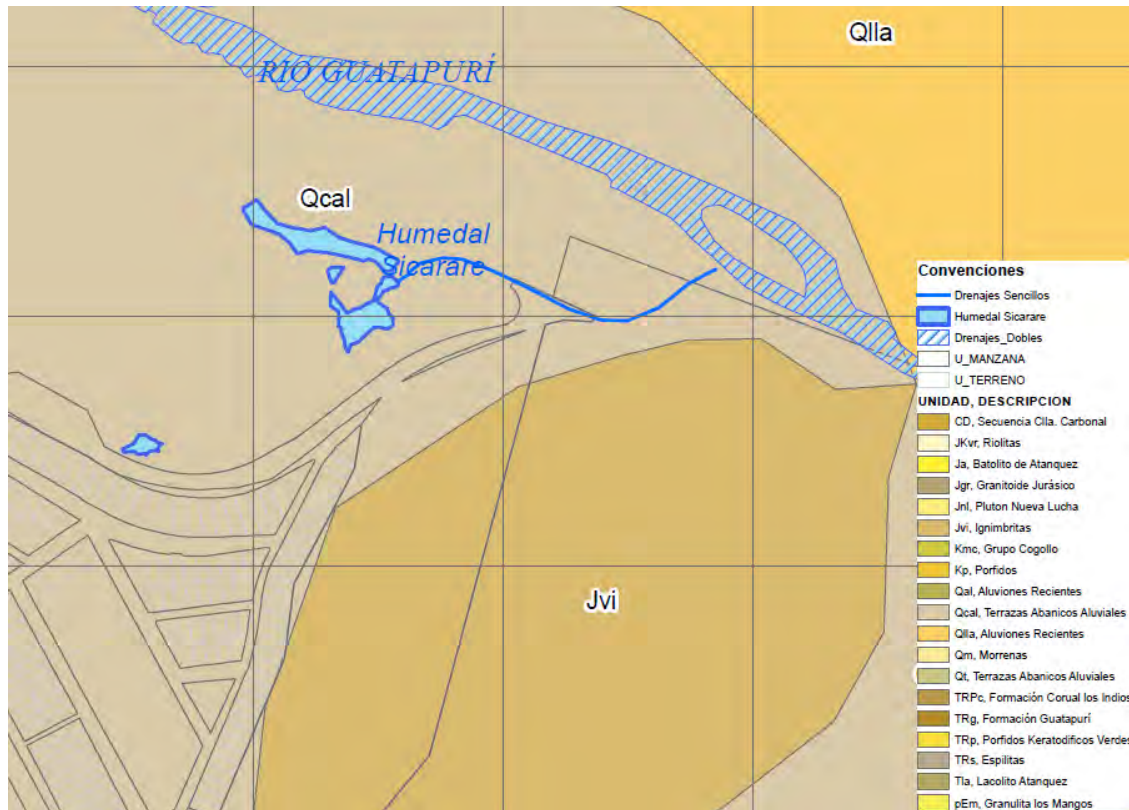
La descripción geográfica revela tres (3) tipos de formaciones geomorfológicas: estructurales (cerros de origen ígneo), denudativas (formaciones aluviales) y antrópicas (las lagunas y jagueyes artificiales).

Además, se observa un sistema de drenaje industrial creado por la empresa CICOLAC y cambios en la morfología del Río Guatapurí, incluyendo meandros abandonados y barras de arena. En el área del humedal Sicarare, la construcción de las lagunas artificiales implicó la creación de terrazas de entre 1,5 y 2 metros de altura. La expansión poblacional cercana y la actividad antrópica, como el pastoreo de caballos del estable municipal, han causado erosión y representan un riesgo de remoción en masa.

#### **6.1.3.4. Geología.**

La geología de Valledupar, incluido el humedal Sicarare, está modelada por la interacción tectónica y los procesos sedimentarios del Cuaternario compuesta por suelos sobre un abanico aluvial de conglomerados polimícticos. Estos conglomerados, formados por clastos de rocas ígneas y metamórficas, sugieren una deposición dinámica vinculada a la evolución geológica de la Sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía de Perijá.

Figura 26. Geología locativa del Humedal Sicarare



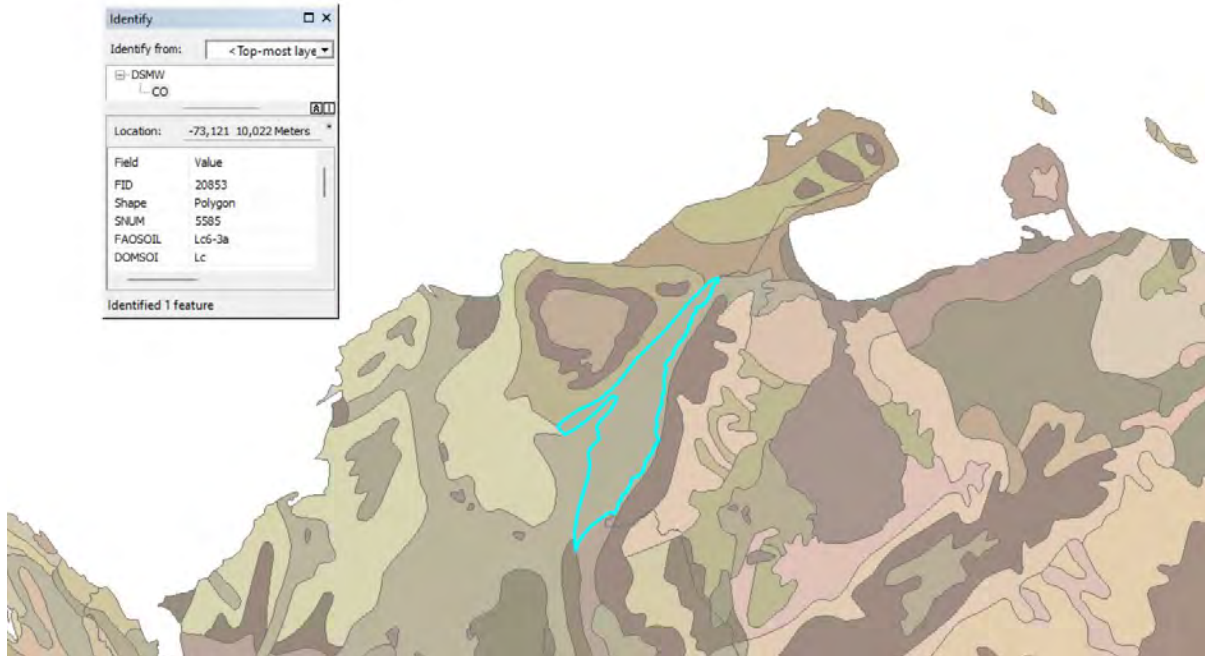
Nota: Tomado de la Corporación Autónoma Regional del Cesar – CORPOCESAR, 2023.

Los eventos de avenidas torrenciales históricas, marcados por clastos de variados tamaños en una matriz de arenisca gruesa, evidencian la influencia de cambios climáticos y movimientos tectónicos que han contribuido a la configuración geomorfológica y la formación de ecosistemas húmedos como el Sicarare en el contexto regional de la evolución orogénica desde el Proterozoico.

### 6.1.3.5.Suelos.

El suelo de un humedal integrado en un Bosque Seco Tropical, con la presencia de lagunas artificiales y cercano a formaciones de ignimbritas, presenta características distintivas. Este tipo de suelo, compuesto principalmente por depósitos aluviales, terrazas aluviales y abanicos de gravas, refleja una historia de deposición fluvial activa. La textura del suelo puede variar de franco arenosa a arcillosa, lo que indica una capacidad de retención de agua que fluctúa con la granulometría.

Figura 27. Suelos regionales aplicables al Humedal Sicarare



Nota: Tomado del Mapa Digital de Suelos del Mundo del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en Inglés) y adoptado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO, por sus siglas en inglés] y el Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC].

La compactación del suelo sugiere que ha habido presiones físicas o antrópicas que han condensado la matriz del suelo, posiblemente influenciando el movimiento del agua y el aire dentro del perfil del suelo. Sin embargo, el buen drenaje es una característica favorable, ya que previene la saturación prolongada que podría ser adversa para algunas plantas del bosque seco.

La abundante materia orgánica, resultado de la deposición continua de restos vegetales y animales, contribuye a la fertilidad del suelo y a la estructura del sustrato, favoreciendo la biodiversidad típica de los bosques secos tropicales, como papel crucial en la retención de humedad durante los períodos secos y en la liberación de nutrientes durante la descomposición, lo que apoya la vida tanto en las lagunas artificiales como en el bosque circundante. Estas características hacen que los suelos de este humedal sean complejos y dinámicos, con un rol esencial en la sustentación de los ecosistemas acuáticos y terrestres interconectados.

El suelo del Humedal Sicarare, identificado como Lc (Luvisoles crómicos) y Lc6-3a (con clase agrológica VI [6], de textura fina [3] y zona de llana a ondulada[a]) según el Digital Soil Map of the World (DSMW) de la FAO y la USDA, muestra una composición que refleja las condiciones del ecosistema de un Bosque Seco Tropical con influencias geomorfológicas significativas. Los datos tomados a partir de estas características definidas indican una predominancia de arena tanto en la capa superior (64,3%) como en el subsuelo (59%), lo que se traduce en una textura predominantemente arenosa que favorece un drenaje eficiente, coherente con la formación de terrazas aluviales y abanicos de gravas del área.

La presencia de limo y arcilla en cantidades menores confiere al suelo una capacidad moderada de retención de nutrientes y agua, con un contenido de arcilla que aumenta ligeramente en el subsuelo (29,8%), posiblemente reflejando los procesos de deposición y la influencia de las formaciones de ignimbritas adyacentes. El pH ligeramente ácido, tanto en la capa superior (6,4) como en el subsuelo (6,5), es típico de suelos bajo bosques secos y puede influir en la disponibilidad de nutrientes y la actividad biológica del suelo.

La materia orgánica y el nitrógeno, aunque no son muy altos (0,63% y 0,11% en la capa superior, respectivamente), son suficientes para sustentar la vegetación del bosque seco y las lagunas artificiales. Los valores de la capacidad de intercambio catiónico (CEC) en la capa superior (13,1 meq/100g) y en el subsuelo (14,7 meq/100g) indican una capacidad moderada del suelo para retener y suministrar cationes a las plantas, lo cual es crucial para la productividad del suelo. La relación carbono/nitrógeno (C/N) sugiere que la materia orgánica se descompone a una tasa que puede mantener un equilibrio entre la acumulación de materia orgánica y su descomposición, lo cual es esencial para la salud a largo plazo del suelo y el ecosistema.

La presencia mínima de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) y la densidad aparente (BD), que indica la compacidad del suelo ( $1,4 \text{ g/cm}^3$  en la capa superior y  $1,6 \text{ g/cm}^3$  en el subsuelo), contribuyen a la estructura del suelo y su comportamiento frente a la erosión y el asentamiento. En conjunto, estos factores del suelo, junto con la historia geológica y los procesos geomorfológicos regionales, configuran un entorno que soporta la biodiversidad del humedal

Sicarare y el Bosque Seco Tropical circundante, destacando la necesidad de prácticas de gestión sostenibles para preservar estas características únicas.

#### 6.1.3.6. Flora.

La vegetación del humedal Sicarare en Valledupar se alinea con la de un bosque seco tropical, caracterizado por su adaptabilidad a una pluviometría anual por debajo de los 1500 mm y una biotemperatura media de 24°C. El ecosistema, que ha sufrido una considerable intervención humana, alberga un bosque sucesional caducifolio que refleja un alto grado de perturbación antrópica. A pesar de las presiones como la tala y la contaminación, este entorno soporta una diversidad notable de flora adaptada a las condiciones secas y suelos pedregosos, particularmente en las áreas riparias y los cerros, donde especies como el Majagua dominan.

Figura 28. Vegetación característica entre seca espinosa y tropical del humedal Sicarare



Nota: Fotografías realizada por los Investigadores, 2024.

Este mosaico de vegetación es vital para la biodiversidad local, ofreciendo refugio y recursos a diversas especies animales, aunque la expansión urbana y la falta de cumplimiento de normativas ambientales amenazan su integridad. En este contexto, las zonas verdes urbanas

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

como el bosque Municipal y la Plaza principal desempeñan un papel crucial en la conservación de la fauna local, aunque su efectividad se ve mermada por la urbanización y la contaminación.

**6.1.3.7. Fauna.**

El humedal Sicarare es un refugio de vida silvestre con una biodiversidad notable, un espejo de la riqueza natural del bosque seco tropical. Este ecosistema acuático es hogar de una diversidad de mamíferos, con monos aulladores (*Alouatta seniculus*) liderando la lista. Estos primates son un indicador clave de la salud del bosque, y su presencia en grupos familiares sugiere un entorno propicio para su supervivencia. Las ardillas rojas (*Sciurus granatensis*), por su parte, son un testimonio de la abundancia de recursos disponibles, vital para especies que requieren alimentos variados a lo largo del año.

Figura 29. *Megaceryle torquata* hembra en humedal Sicarare



Nota: Fotografía realizada por la Corporación Autónoma Regional del Cesar – CORPOCESAR, 2023.

Las especies observadas por el equipo de la Corporación Autónoma Regional del Cesar – CORPOCESAR, incluyen también al tigrillo, el zorro-perro y el conejo común, cada uno desempeñando un rol vital en la cadena trófica del bosque seco tropical.

La presencia ocasional de mapaches (*Procyon cancrivorus*) refleja la complejidad del humedal, siendo un área que proporciona tanto refugio como una diversidad de fuentes alimenticias. La instalación de cámaras trampa ha revelado la presencia de otras especies esquivas como el tigrillo (*Leopardus tigrinus*) y el zorro-perro (*Cerdocyon thous*), enfatizando la importancia del humedal como corredor ecológico y área de caza para depredadores.

En cuanto a las aves, las 23 especies registradas son un testimonio de la vitalidad del humedal Sicarare. La abundancia de garzas blancas (*Ardea alba*) y el ibis afeitado (*Phimosus infuscatus*) sugiere que las condiciones del humedal son ideales para la anidación y el descanso. La variedad de especies, desde los psitácidos hasta los tiránidos, muestra una compleja red alimentaria y un nicho ecológico para cada ave, desde insectívoras hasta pescadoras.

Los reptiles del humedal reflejan aún más esta diversidad. Desde especies que se deslizan a través del suelo del bosque hasta aquellas que se sumergen en las aguas del humedal, cada una de ellas desempeña un papel en el equilibrio ecológico del área. La investigación en curso promete revelar aún más sobre estas especies, muchas de las cuales son indicadores clave de la salud ambiental.

Este ecosistema multifacético es un mosaico de interacciones entre flora y fauna. Sin embargo, la presencia humana y las actividades antrópicas amenazan su integridad. La basura, la tala y las quemadas son desafíos que este humedal enfrenta, lo que hace que la conservación y la educación ambiental sean fundamentales para su supervivencia. La biodiversidad del humedal Sicarare es un recordatorio del delicado equilibrio que debe mantenerse para preservar estos entornos naturales únicos.

## 6.2. REALIZACIÓN DE UN MODELO DE SIMULACIÓN Y RESPUESTA HIDROLÓGICA ANTE EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITACIÓN EN EL ÁREA DE INFLUENCIA A LAS LAGUNAS DEL HUMEDAL SICARARE

### 6.2.1. Modelamiento de Caudales

El principal insumo de modelamiento de caudales, empleando el método de números aleatorios de Lutz Schulz son las variables área de influencia (equivalente a 0,2038 kilómetros cuadrados, correspondiente a todo el Parque de la Leyenda Vallenata Consuelo Araujo Noguera), cota media (205,165 msnm), la pendiente del cauce (a determinar), precipitación media anual (≈6150,1019 mm/año), evapotranspiración potencial anual (a determinar), temperatura media anual (registrada en 22,775°C, según el IDEAM), almacenamiento de las lagunas (≈7708,874 m<sup>3</sup>), el área de las lagunas (5170 m<sup>2</sup>) y las precipitaciones totales mensuales, cuyos datos faltantes fueron completados utilizando una distribución normal considerando el promedio de los datos y la desviación estándar, siendo este el primer paso, haciendo una imputación de datos suponiendo sucesos similares. La forma funcional empleada para este procedimiento fue la siguiente:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

Ecuación 1

Dónde,

$f(x)$  corresponde a la función de densidad de probabilidad

$\mu$  es la media o expectativa (centro de distribución)

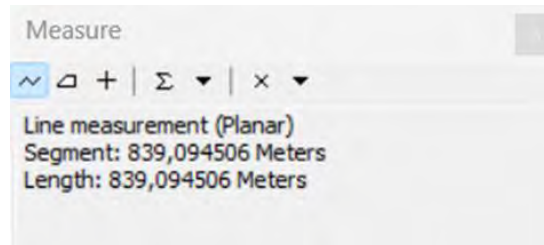
$\sigma$  es la desviación estándar (que mide la cantidad de variación o dispersión de un conjunto de valores).

$\pi$  es la constante Pi

$x$  es el valor para el cuál se está calculando la densidad de probabilidad

El siguiente paso, fue determinar la pendiente del cauce, la cual fue determinada por la simple relación entre la cota máxima con la cota mínima y el largo, desde la parte más elevada del Parque de la Leyenda Vallenata Consuelo Araujo Noguera hasta la zona NE, donde se encuentra la cota más baja, que respectivamente son los valores de 217 msnm y 198 msnm, obteniendo una distancia de 839,094506 metros.

Figura 30. Longitud recta entre la cota más elevada a la cota mínima del humedal Sicarare



Nota: Elaborado por los Investigadores con ArcGIS, 2023.

El resultado de la pendiente promedio se observa a continuación:

$$s(\%) = \frac{\nabla Max - \nabla Min}{L} \times 100 \quad \text{Ecuación 2}$$

$$s(\%) = \frac{217 \text{ msnm} - 198 \text{ msnm}}{839,094506 \text{ m}} \times 100$$

$$s(\%) = 2,26435 \cong 0,000226435$$

Por otra parte, se tiene la Evapotranspiración Potencial (ETP) Anual, para este caso, se utilizará el método de Hargreaves, puesto que tiene mayores variables implicadas y permite tener un resultado un poco más preciso, la fórmula matemática para determinar la ETP se define así:

$$ET_0 = 0,0023(t_{med} + 17,78)R_s \quad \text{Ecuación 3}$$

Dónde:

ETP: Evapotranspiración Potencial Diaria (mm/día)

R<sub>s</sub>: Radiación solar extraterrestre

$$R_s = R_0 \times K_t \times (t_{max} - t_{min})^{0,5} \quad \text{Ecuación 4}$$

Dónde:

R<sub>0</sub>: Radiación solar incidente (mm/día)

t<sub>max</sub>: Temperatura diaria máxima (°C)

t<sub>min</sub>: Temperatura diaria mínima (°C)

K<sub>t</sub>: valor constante (0,19 para regiones costeras y 0,16 para regiones continentales)

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

La Ro se obtiene a partir de la tabla de radiación solar extraterrestre para el hemisferio norte (en donde se sitúa el humedal Sicarare).

Tabla 5. Valores de la Radiación Solar Extraterrestre por Latitud y Meses

HEMISFERIO NORTE												
Latitud	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
70	0.0	1.1	4.2	9.4	14.4	17.3	16.1	11.4	6.1	2.0	0.0	0.0
68	0.0	1.5	4.8	9.8	14.4	17.1	15.9	11.7	6.6	2.4	0.3	0.0
66	0.2	2.0	5.3	10.1	14.5	16.9	15.8	12.0	7.1	2.9	0.6	0.0
64	0.6	2.4	5.8	10.5	14.7	16.8	15.8	12.2	7.5	3.5	1.0	0.2
62	0.9	2.9	6.3	10.9	14.8	16.8	15.9	12.5	8.0	4.0	1.4	0.5
60	1.3	3.4	6.8	11.2	14.9	16.8	16.0	12.8	8.4	4.4	1.8	0.9
58	1.8	3.9	7.2	11.6	15.1	16.9	16.1	13.1	8.9	4.9	2.2	1.3
56	2.2	4.4	7.7	11.9	15.3	16.9	16.2	13.3	9.3	5.4	2.7	1.7
54	2.7	4.9	8.2	12.2	15.4	16.9	16.2	13.6	9.7	5.9	3.2	2.1
52	3.1	5.4	8.6	12.6	15.6	17.0	16.4	13.8	10.1	6.4	3.7	2.6
50	3.6	5.9	9.1	12.9	15.7	17.0	16.4	14.0	10.5	6.9	4.2	3.1
48	4.1	6.4	9.5	13.1	13.8	17.1	16.5	14.2	10.9	7.4	4.7	3.6
46	46.1	6.9	9.9	13.4	16.0	17.1	16.6	14.4	11.2	7.8	5.1	4.0
44	5.1	7.3	10.3	13.7	16.0	17.1	16.6	14.7	11.6	8.3	5.7	4.5
42	5.6	7.8	10.7	13.9	16.1	17.1	16.7	14.8	11.9	8.7	6.2	5.1
40	6.1	8.3	11.1	14.2	16.2	17.1	16.7	15.0	12.2	9.2	6.7	5.6
38	6.6	8.8	11.5	14.4	16.3	17.1	16.7	15.1	12.5	9.6	7.1	6.0
36	7.1	9.2	11.8	14.6	16.3	17.0	16.7	15.3	12.9	10.0	7.6	6.6
34	7.6	9.7	12.2	14.7	16.3	17.0	16.7	15.3	13.1	10.4	8.1	7.1
32	8.1	10.1	12.5	14.5	16.3	16.9	16.6	15.5	13.4	10.9	8.6	7.6
30	8.6	10.5	12.8	15.0	16.3	16.8	16.6	15.5	13.6	11.3	9.1	8.1
28	9.1	10.9	13.1	15.1	16.3	16.7	16.5	15.6	13.8	11.6	9.5	8.6
26	9.6	11.3	13.4	15.3	16.3	16.6	16.4	15.6	14.1	12.0	10.0	9.1
24	10.0	11.8	13.7	15.3	16.2	16.4	16.3	15.6	14.2	12.3	10.4	9.5
22	10.5	12.1	13.9	15.4	16.1	16.3	16.2	15.7	14.4	12.7	10.9	10.0
20	10.9	12.5	14.2	15.5	16.0	16.1	16.0	15.6	14.6	13.0	11.3	10.4
18	11.4	12.9	14.4	15.5	15.9	16.0	15.9	15.6	14.7	13.3	11.7	10.9
16	11.8	13.2	14.6	15.6	15.8	15.8	15.7	15.6	14.9	13.6	12.1	11.4
14	12.2	13.5	14.7	15.6	15.7	15.6	15.6	15.5	15.0	13.8	12.5	11.8
12	12.6	13.8	14.9	15.5	15.5	15.3	15.3	15.4	15.1	14.1	12.9	12.2
10	13.0	14.1	15.1	15.5	15.3	15.1	15.1	15.3	15.1	14.3	13.2	12.7
8	13.4	14.4	15.2	15.4	15.1	14.8	14.9	15.2	15.2	14.5	13.6	13.1
6	13.8	14.6	15.3	15.3	14.9	14.6	14.7	15.1	15.2	14.7	13.9	13.4
4	14.1	14.9	15.3	15.3	14.7	14.3	14.4	14.9	15.2	14.9	14.2	13.8
2	14.4	15.1	15.4	15.1	14.4	14.0	14.1	14.7	15.2	15.1	14.5	14.2
0	14.8	15.3	15.5	15.0	14.2	13.6	13.8	14.6	15.2	15.3	14.8	14.5

Nota: Tomado por los Autores de la Universidad de Salamanca.

Con base a esto, entonces, se procede a determinar la evapotranspiración potencial diaria y mensual, aplicando las fórmulas del método de Hargreaves obteniendo la siguiente tabla con los resultados distinguidos (ver la siguiente página):

Tabla 6. Cálculo de la Evapotranspiración Potencial Diaria y Mensual (mm)

Parámetros	Ro (mm/día)	Tmin (°C)	Tmed (°C)	Tmax (°C)	ETP (mm/día)	ETP (mm/mes)
Enero	13	18,4	21,8	26	3,264173017	101,1893635
Febrero	14,1	18,6	22,4	26,8	3,733188574	104,5292801
Marzo	15,1	19,5	22,8	26,7	3,783528983	117,2893985
Abril	15,5	20,4	22,8	25,8	3,363430419	100,9029126
Mayo	15,3	20,9	23	25,4	3,045689926	94,4163877
Junio	15,1	20,8	23,2	26	3,247059986	97,41179958
Julio	15,1	20,5	23,4	26,9	3,619861767	112,2157148
Agosto	15,3	21,1	23,8	27,4	3,674369878	113,9054662
Septiembre	15,1	21,1	23,5	26,6	3,363846577	100,9153973
Octubre	14,3	20,5	22,6	25,3	2,911158538	90,24591469
Noviembre	13,2	20	22,1	24,7	2,626174572	78,78523715
Diciembre	12,7	19,1	21,9	25,4	2,91066577	90,23063886

Nota: Elaborado por los Investigadores con ArcGIS, 2023.

Al sumar los datos de la columna ETP (mm/mes), se tiene que, en promedio, la ETP anual es de 1202,038 mm, por lo cual se complementan los datos preliminares y se pueden determinar otras variables de entrada, como lo son el Coeficiente de Escorrentía (CE), el Coeficiente de Temperatura (L), el déficit de Ecurrimiento (DE), el Coeficiente de Escorrentía en condiciones extremas (CE2), el almacenamiento de las lagunas en litros por metro cuadrado al año (LL) y el área de la laguna en kilómetros cuadrados (AL), el coeficiente de Retención del Agua (R), el coeficiente de agotamiento (a) y la relación de caudales mensuales (bo).

Para el Coeficiente de Escorrentía (CE) se emplea la siguiente fórmula matemática:

$$CE = (3,16 \times 10^{12}) \times (P_{m-año}^{-0,571}) \times (ETP_{m-año}^{-3,686}) \quad \text{Ecuación 5}$$

Al reemplazar  $P_{m-año}$  (Precipitación Media Anual) y al  $ETP_{m-año}$  (Evapotranspiración Media Anual) se obtiene un  $CE = 0,096306912$ .

El coeficiente de temperatura está dado por la siguiente formulación matemática:

$$L = 300 + 25(T) + 0,05(T)^3 \quad \text{Ecuación 6}$$

Conociendo la temperatura (T), el valor resultante para  $L = 1460,045337$ .

El déficit de escurrimiento se determinar de la siguiente manera:

$$DE = \frac{P_{m-año}}{\left(0,9 + \frac{P^2}{L^2}\right)^{0,5}} \quad \text{Ecuación 7}$$

Teniendo el valor de la  $P_{m-año}$  (Precipitación Media Anual) y del coeficiente de temperatura (L), al reemplazar, este resultado es equivalente a  $DE = 1424,3676$  mm/año.

Para condiciones extremas, el coeficiente de esorrentía (CE2) se determina con la siguiente formulación matemática:

$$CE2 = 1 - \frac{DE}{P_{m-año}} \quad \text{Ecuación 8}$$

Al reemplazar los valores de la  $P_{m-año}$  (Precipitación Media Anual) y el déficit de escurrimiento (DE), el  $CE2 = 0,768399351$ .

Por otra parte, el almacenamiento de la laguna o la tasa de la laguna está dada por la siguiente relación dimensional:

$$Tasa \left(\frac{mm}{año}\right) = \frac{Volumen (m^3)}{Área (m^2)} \times 1000 \quad \text{Ecuación 9}$$

Al proceder a realizar este cálculo con los valores ya dados de volumen y área de las lagunas, se obtiene que la Tasa (LL) es equivalente a 1491,0782 mm/año, además, por una simple conversión se sabe también que el área de las lagunas (AL) es equivalente 0,00517 km<sup>2</sup>.

Por lo tanto, la retención del agua (R) será determinada con la siguiente fórmula:

$$R = \frac{LL \times AL}{A_{parque}} \quad \text{Ecuación 10}$$

Considerando esto, entonces  $R = 37,82568273$ . Continuamente, se determinó el coeficiente de agotamiento (a), con la siguiente fórmula matemática:

$$a = \frac{ETP_{m-año}}{P_{m-año}} \quad \text{Ecuación 11}$$

Al hacer el cálculo se tiene que  $a = 0,195450014$

Finalmente, se determinó la Relación de Caudales (bo) a 30 días, mediante la siguiente fórmula matemática:

$$bo = \frac{Qt}{Q_0} = e^{-a(t)} \quad \text{Ecuación 12}$$

Considerando  $t = 30$  días, entonces  $bo = 0,002841281$ . Antes de proceder a posteriores cálculos, se hace una presentación o resumen de los parámetros obtenidos, que son preliminares de cálculo:

Tabla 7. Preliminares para la construcción del modelo Lutz Schulz

<b>A (km<sup>2</sup>)</b>	0,2038	<b>LA (mm/año)</b>	0
<b>Hm (msnm)</b>	205,165	<b>A Max (km<sup>2</sup>)</b>	0
<b>Pdte Cauce (%)</b>	1,65%	<b>LL (mm/año)</b>	1491,0782
<b>Pm Anual</b>	6150,1019	<b>AL (km<sup>2</sup>)</b>	0,00517
<b>ETPm Anual</b>	1202,0375	<b>LN (mm/año)</b>	0
<b>T media Anual</b>	22,775	<b>AN (km<sup>2</sup>)</b>	0
<b>CE</b>	0,0963069	<b>R (mm)</b>	37,825683
<b>L</b>	1460,0453	<b>a</b>	0,19545
<b>DE</b>	1424,3676	<b>bo</b>	0,0028413
<b>CE2</b>	0,7683994		

Nota: Elaborado por los Investigadores, 2023.

El siguiente paso, será determinar la precipitación efectiva a partir del valor promedio de las precipitaciones, determinando el valor promedio multianual mes a mes. Para este procedimiento primero se valida que estas precipitaciones obtenidas cumplan con los siguientes supuestos de equilibrio entre gasto y abastecimiento, para aplicar a las curvas de ajuste de precipitaciones:

$$\text{Curva I: } PE = P - 120,6 \quad \text{para } P > 177,8 \quad \frac{mm}{mes}$$

$$\text{Curva II: } PE = P - 86,4 \quad \text{para } P > 152,4 \quad \frac{mm}{mes}$$

$$\text{Curva III: } PE = P - 59,7 \quad \text{para } P > 127,0 \quad \frac{mm}{mes}$$

En caso contrario, si no aplicasen, entonces tocaría determinarlo siguiendo la metodología USBR (de precipitación efectiva hidrológica para los cultivos)

$$PE = a_0 + a_1P + a_2P^2 + a_3P^3 + a_4P^4 + a_5P^5$$

Ecuación 13

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

De este polinomio de quinto grado se tienen los coeficientes de ajuste  $a_i$  en la siguiente tabla:

Tabla 8. Coeficientes para el Cálculo de la Precipitación Efectiva

Coeficiente	Curva I	Curva II	Curva III
a0	-0,0047	0,1065	-0,4177
a1	0,0094	0,1477	0,3795
a2	-0,0005	-0,0029	-0,0101
a3	0,00002	0,00005	0,0002
a4	-5,00E-08	-2,00E-07	-9,00E-07
a5	2,00E-08	2,00E-10	1,00E-09

Nota: Tomado por los Investigadores del método USBR hidrológico.

La aplicación de este método se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 9. Precipitación Efectiva Mensual para el Modelo Hidrológico

Mes	No. Días	Precipitación Mensual				
		P Total (mm/mes)	Curva I PE I (mm/mes)	Curva II PE II (mm/mes)	Curva III PE III (mm/mes)	PE (mm/mes)
Enero	31	46,27	5,35	4,81	11,42	5,53
Febrero	28	58,21	15,59	6,58	17,23	10,10
Marzo	31	252,03	131,43	131,43	131,43	100,99
Abril	30	558,90	438,30	438,30	438,30	336,79
Mayo	31	735,69	615,09	615,09	615,09	472,63
Junio	30	555,26	434,66	434,66	434,66	333,99
Julio	31	531,31	410,71	410,71	410,71	315,59
Agosto	31	810,97	690,37	690,37	690,37	530,48
Septiembre	30	762,30	641,70	641,70	641,70	493,08
Octubre	31	827,28	706,68	706,68	706,68	543,01
Noviembre	30	680,92	560,32	560,32	560,32	430,55
Diciembre	31	245,58	124,98	124,98	124,98	96,03

Nota: Elaborado por los Investigadores, 2023.

Hay que indicar que las columnas Curva I PE I, Curva II PE II y Curva III PE III, fueron calculadas con las nociones matemáticas indicadas anteriormente, mas, sin embargo, la PE (mm/mes) es determinada mediante el promedio ponderado con base a la sumatoria de cada valor de cada curva y la precipitación mensual. Explicado matemáticamente, queda definido así:

$$PE = CE2 \times \left[ PEI_{mes} \left( \frac{\sum_{i=1}^{12} Curva I PEI}{\sum_{i=1}^{12} P Total} \right) + PEII_{mes} \left( \frac{\sum_{i=1}^{12} Curva II PEII}{\sum_{i=1}^{12} P Total} \right) + PEIII_{mes} \left( \frac{\sum_{i=1}^{12} Curva III PEIII}{\sum_{i=1}^{12} P Total} \right) \right]$$

Ecuación 14

El tercer paso, será determinar la contribución a la retención, para ello, es necesario realizar el balance hídrico, para ello, se toma el método de balance en el suelo, adaptado de la Universidad de Salamanca, teniendo en cuenta que la Capacidad de Campo es similar a la Retención de agua (R) ya determinada, con base a esto, entonces, el balance hídrico se representa en la siguiente tabla:

Tabla 10. Balance Hídrico para la Estación Alfonso López Pumarejo

	Reserva Máxima (mm)												37,82568273
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
P	46,272727	58,21212	252,0303	557,1738	841,784153	556,6837	523,5444	833,4252	776,7677	813,0703132	645,56188	245,5758	6150,1019
ETP (Calc)	101,18936	104,5293	117,2894	100,9029	94,4163877	97,4118	112,2157	113,9055	100,9154	90,24591469	78,785237	90,23064	1202,0375
ETR	46,272727	58,21212	117,2894	100,9029	94,4163877	97,4118	112,2157	113,9055	100,9154	90,24591469	78,785237	90,23064	1100,8037
Déficit	54,916636	46,31716	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	101,2338
Reserva	0	0	37,82568	37,82568	37,8256827	37,82568	37,82568	37,82568	37,82568	37,82568273	37,825683	37,825683	378,25683
Excedentes	0	0	96,91522	456,2708	747,367765	459,2719	411,3287	719,5197	675,8523	722,8243985	566,77664	155,3451	5011,4725

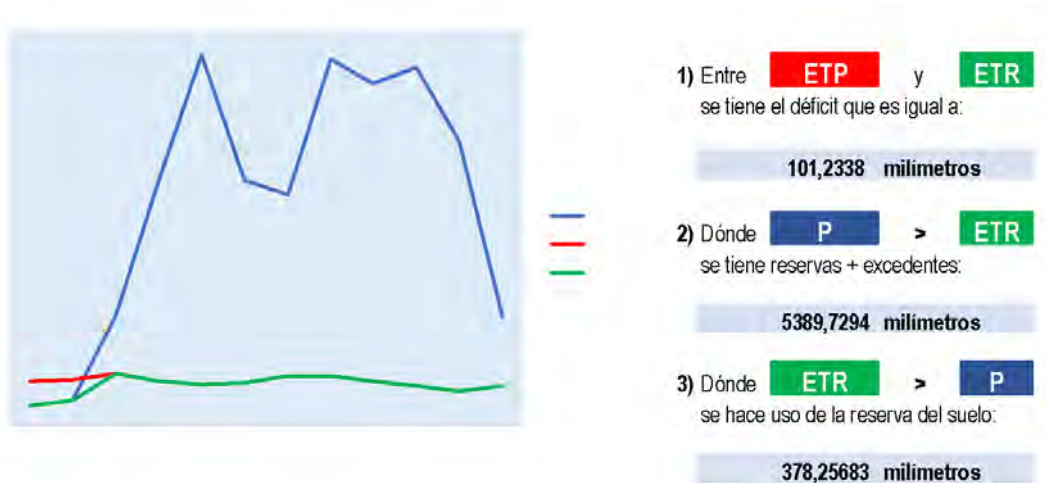
Nota: Elaborado por los Investigadores, 2023.

Con base a los resultados obtenidos se puede constatar primero que entre la evapotranspiración potencial (ETP) y la evapotranspiración real (ETR) se tiene un déficit de 101,2338 mm.

También, se adiciona que cuando la precipitación es mayor que la ETR se tienen reservas y excedentes que pueden alcanzar los 5389,7274 mm.

Por otra parte, en situaciones inversas (ETR > P), se hace uso de la reserva del suelo, que alberga 378,25683 mm.

Figura 31. Representación del Balance Hídrico de la Estación Alfonso López Pumarejo



Nota: Elaborado por los Investigadores, 2023.

Como la reserva es mayor que el déficit, las corrientes superficiales dependen exclusivamente de las precipitaciones y la reserva almacenada en los acuíferos o corrientes subterráneas, siendo representativo para corrientes irregulares o intermitentes, siendo el caso del Humedal Sicarare, cuya dinámica hidrológica se ve bien respaldada por lo definido en este balance hidrológico.

Considerando esto, entonces se entiende que Enero y Febrero son meses sostenidos por el gasto y los demás meses son de abastecimiento, entonces, se determina el gasto, considerando la ecuación 12, que con el cálculo mes a mes pasa de denominarse  $b_0$  a  $b_i$ , y se determina el Gasto ( $G_i$ ) en milímetros al mes (mm/mes) considerando la siguiente formulación matemática:

$$G_i = R \times \left( \frac{b_i}{\sum b_i} \right) \quad \text{Ecuación 15}$$

Por otra parte, para determinar el abastecimiento ( $A_i$ ) en milímetros al mes (mm/mes), se deben considerar los valores de reserva del balance hídrico (ver tabla 10) y presentarlos de manera porcentual, para ello se emplea la siguiente fórmula:

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

$$a_i = \frac{\text{reserva}_{\text{mes } i}}{\sum \text{reserva}_{\text{año } j}}$$

Ecuación 16

Luego de determinado  $a_i$ , se comprueba si su sumatoria de 1, constatado esto, entonces se determina  $A_i$  de la siguiente manera:

$$A_i = a_i \times R$$

Ecuación 17

Los resultados de la aplicación de las fórmulas del gasto y abastecimiento se ven indicados en la tabla que se muestra a continuación:

Tabla 11. Factores de Contribución de la Retención del Modelo Hidrológico

Mes	No. Días	Contribución de la Retención			
		Gasto		Abastecimiento	
		bi	Gi (mm/mes)	ai	Ai (mm/mes)
Enero	31	0,0023369	9,960900614		
Febrero	28	0,0042003	17,9038815		
Marzo	31			0,09507269	3,5961894
Abril	30			0,100547479	3,803277
Mayo	31			0,100547479	3,803277
Junio	30			0,100547479	3,803277
Julio	31			0,100547479	3,803277
Agosto	31			0,150821218	5,7049156
Septiembre	30			0,100547479	3,803277
Octubre	31			0,150821218	5,7049156
Noviembre	30			0,100547479	3,803277
Diciembre	31	0,0023369	9,960900614		

Nota: Elaborado por los Investigadores, 2023. (Los espacios vacíos corresponden efectivamente a los periodos cuando se depende de las reservas o se depende de las precipitaciones y reservas).

Por último, se determinan los caudales generados para cada mes ( $C_{mi}$ ), que corresponde a hacer un simple ejercicio aritmético que inmiscuye la precipitación efectiva (PE) presentada en la tabla 9, el gasto ( $G_i$ ) y el abastecimiento ( $A_i$ ), considerando la siguiente relación:

$$C_{mi} \left( \frac{\text{mm}}{\text{mes}} \right) = PE + G_i - A_i$$

Ecuación 18

Además, se puede determinar el caudal en metros cúbicos por segundo, con la siguiente fórmula matemática:

$$Q_i \left( \frac{m^3}{s} \right) = 0,0115141 \times C_{mi} \times \frac{A_{parque}}{días_{mes\ i}} \quad \text{Ecuación 19}$$

Dónde,

0,115141: corresponde a un factor de conversión de dimensión

Días<sub>mes i</sub>: corresponde al número de días del mes *i* (los días varían cada mes)

Además, este  $Q_i$  se puede tener en Litros por Segundo (L/s) al multiplicar por 1000, siendo un factor de conversión de dimensión. Los resultados se pueden ver en la siguiente tabla:

Tabla 12. Caudales Generados para el Modelo Hidrológico

Mes	No. Días	Caudales Generados		
		C <sub>mi</sub>	Q <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>
		mm/mes	m <sup>3</sup> /s	L/s
Enero	31	15,492343	0,0011727	1,1727072
Febrero	28	28,000575	0,0023466	2,3466218
Marzo	31	97,39477	0,0073724	7,3723869
Abril	30	332,98864	0,0260461	26,046078
Mayo	31	468,82956	0,0354885	35,488486
Junio	30	330,18862	0,0258271	25,827063
Julio	31	311,78794	0,0236011	23,601076
Agosto	31	524,7715	0,0397231	39,723062
Septiembre	30	489,27574	0,0382707	38,270718
Octubre	31	537,30583	0,0406719	40,67186
Noviembre	30	426,74625	0,0333797	33,379716
Diciembre	31	105,99219	0,0080232	8,0231767

Nota: Elaborado por los Investigadores, 2023.

Para construir el modelo matemático con el método de Lutz Schulz, hay que traer a consideración que la forma funcional de este se ve constituido por las siguientes variables:

$$Q_t = \beta_1 + \beta_2(Q_{t-1}) + \beta_3(PE_t) + z(S)\sqrt{1 - r^2}$$

Ecuación 20

Donde:

Qt: Caudal del mes *t*

Qt-1: Caudal del mes anterior *t-1*

PE<sub>t</sub>: Precipitación Efectiva del mes *t*

B1: Coeficiente de la regresión

B2: Coeficiente del Caudal del mes anterior *t-1*

B3: Coeficiente de la Precipitación Efectiva del mes *t*

r<sup>2</sup>: Coeficiente de ajuste de la regresión

S: Error típico de la regresión

z: Aleatorización por distribución normal probabilística ajustada (ver ecuación 1)

El siguiente paso es realizar el análisis de varianza (ANOVA) con la finalidad de constatar si con estos parámetros se puede construir una regresión lineal múltiple, entonces, se define el marco de disposición de datos:

Tabla 13. Variables destinadas a la Regresión Lineal Múltiple

Meses	Qt	Qt - 1	PEt
Enero	<u>15,49234282</u>	105,9921917	5,53144221
Febrero	28,00057495	<u>15,49234282</u>	10,09669346
Marzo	97,39477019	28,00057495	100,9909596
Abril	332,9886373	97,39477019	336,7919143
Mayo	468,8295589	332,9886373	472,6328359
Junio	330,1886158	468,8295589	333,9918928
Julio	311,7879415	330,1886158	315,5912185
Agosto	524,7715	311,7879415	530,4764156
Septiembre	489,2757407	524,7715	493,0790178
Octubre	537,3058304	489,2757407	543,010746
Noviembre	426,7462474	537,3058304	430,5495245
Diciembre	105,9921917	426,7462474	96,03129104

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

Nota: Elaborado por los Investigadores, 2023.  $Q_t$ : corresponde a la variable dependiente;  $Q_{t-1}$  y PE: corresponden a las variables independientes. Se subraya y se presenta en cursiva la noción del método cuando se refiere al caudal del mes anterior.

Al realizar la Regresión Lineal Múltiple por mínimos cuadrados ordinarios (MCO), lo primero a analizar son las estadísticas de la regresión:

Tabla 14. Estadísticas de la Regresión del Modelo Hidrológico Lutz Schulz

Coefficiente de correlación múltiple	0,999745267
Coefficiente de determinación $r^2$	0,999490599
$r^2$ ajustado	0,999377399
Error típico	4,890669786
Observaciones	12

Nota: Elaborado por los Investigadores, 2023

Con base a esto, se puede emitir un buen panorama preliminar:

- *Coefficiente de Correlación Múltiple (0,999745267)*: Este valor casi perfecto indica que hay una relación extremadamente fuerte entre el caudal del mes actual ( $Q_t$ ), el caudal del mes anterior ( $Q_{t-1}$ ) y la precipitación efectiva del mes actual (PEt). En la práctica, esto sugiere que el caudal histórico y la precipitación actual son predictores muy precisos del caudal actual en tu modelo.
- *Coefficiente de Determinación  $r^2$  (0,999490599)*: Un  $r^2$  tan elevado sugiere que casi toda la variabilidad en los caudales mensuales ( $Q_t$ ) puede ser explicada por cambios en los caudales del mes anterior y la precipitación efectiva. Esto implica que el modelo de Lutz-Schulz que será construido para predecir los caudales puede funcionar con una precisión excepcional, capturando casi todas las variaciones posibles utilizando estas variables.
- *$r^2$  Ajustado (0,999377399)*: El alto  $r^2$  ajustado refuerza la validez para el modelo, indicando que el número de predictores ( $Q_{t-1}$  y PEt) es adecuado y no introduce error significativo o variabilidad en la predicción de  $Q_t$ .

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

- *Error Típico (4.890669786)*: Aunque el error típico es bajo, indica que hay una pequeña cantidad de variabilidad en  $Q_t$  que no se explica por el modelo. En el contexto de la hidrología, esto podría deberse a otros factores que influyen en el caudal que no se han incluido en el modelo, como la evaporación, la infiltración, otros aportes de agua, o cambios en el uso del suelo.
- *Observaciones (12)*: Con 12 meses de datos, el modelo está proporcionando estimaciones extremadamente precisas. Sin embargo, es importante considerar si estos 12 meses representan diferentes condiciones estacionales y meteorológicas para asegurarse de que el modelo sea robusto en diferentes escenarios.

Antes de dar solución a las inferencias emitidas en el error típico (S) y las observaciones, primero se evalúa estadísticamente si es posible crear un modelo matemático con las variables  $Q_t$ ,  $Q_{t-1}$  y  $PE_t$ , el Análisis de Varianza presenta el siguiente resultado:

Tabla 15. Análisis de Varianza – ANOVA de la Regresión

	<b>Grados de libertad</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Promedio de los cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>Valor crítico de F</b>
Regresión	2	422374,9604	211187,48	8829,40	1,51974E-15
Residuos	9	215,2678586	23,918651		
Total	11	422590,2282			

Nota: Elaborado por los Investigadores, 2023

Como se aprecia, la F calculada (8829,40) es mayor que el valor crítico de F o F tabulada, por lo tanto, estadísticamente se corrobora que se puede constituir un modelo matemático con las variables mencionadas. Por lo cual, se chequea la probabilidad de los coeficientes para constituir el modelo, esperando una probabilidad  $< 0,05$ .

Tabla 16. Validación de los Coeficientes de la Regresión

<b><math>Q_t</math></b>	<b>Coefficientes</b>	<b>Error típico</b>	<b>Estadístico t</b>	<b>Probabilidad</b>
Intercepción	9,005373946	2,848920075	3,16097809	0,011532063
$Q_t - 1$	0,006964899	0,010210592	0,68212492	0,512331135

PE	0,963579896	0,009887932	97,4500968	6,39952E-15
----	-------------	-------------	------------	-------------

Nota: Elaborado por los Investigadores, 2023

La probabilidad de la  $Q_{t-1}$  no cumple, sin embargo, esto puede estar sujeto a la captura de información del modelo de regresión dispuesto, disminuirá su precisión.

Posteriormente a esto, entonces, se procede a aleatorizar números siguiendo la probabilidad inversa de la función normal tomando una desviación estándar de 1 y una media igual a 0, para esto, existe una función en Excel, con la cual se puede construir números aleatorios que cambian con cada acción que se realice en el software ofimático. Esto se hace para cada mes de cada año estudiado. En el ANEXO 3, se presentan los números aleatorios para el instante en que se redactó este documento. (Luego se amplía un apartado para explicar la relevancia de hacer este proceso como un elemento verificador del Modelo Lutz Schulz).

Posteriormente, en otra tabla, se hace el cálculo del coeficiente de precipitación (CP), dividiendo la PE respecto la P total, para cada mes  $t$  definido. Estas variables se presentaron en la tabla 9, de este documento. El resultado se presenta a continuación

Tabla 17. Coeficiente de Precipitación del Modelo Hidrológico

Meses	CP
Enero	0,1195400
Febrero	0,1734466
Marzo	0,4007096
Abril	0,6025943
Mayo	0,642437
Junio	0,6015062
Julio	0,5939842
Agosto	0,6541294
Septiembre	0,6468338
Octubre	0,6563826
Noviembre	0,6323056
Diciembre	0,3910455

Nota: Elaborado por los Investigadores, 2023

Luego, cada precipitación del ANEXO 1, es multiplicada por su Coeficiente de Precipitación (CP) respectivo para cada mes, así de esa forma se obtiene la Precipitación Efectiva Media para cada mes de estudio durante la serie 1990-2022, este resultado se ve indicado en el ANEXO 4, por lo cual entonces el cálculo estará dado por:

$$PE_t = P \times CP \quad \text{Ecuación 21}$$

Con el cálculo anterior entonces, se da solución a la problemática emitida en las inferencias del error típico y las observaciones del Modelo Hidrológico, ya que, con el Modelo Lutz Schulz, al aleatorizar los datos, se consigue efectivamente extender a través de la malla de precipitaciones totales mensuales los valores de la precipitación efectiva mensual, trabajado y pensado en mitigar el tamaño del error, es ahí cuando entra en juego los números aleatorios, como factor clave para reducir el sesgo en los resultados.

Ya con esto definido entonces se procede a aplicar la ecuación 20, sustituyendo los valores de los coeficientes y los valores del caudal del mes anterior  $t-1$  y la precipitación efectiva. La fórmula funcional del predictor de caudales totales mensuales (Cmi) será entonces:

$$Cmi = 9,00537 + 0,00696 * (Q_{t-1}) + 0,96357(PE_t) + z(4,89066)\sqrt{1 - 0,99937^2} \quad \text{Ecuación 22}$$

Teniendo en cuenta que los valores de  $z$  corresponden a los valores aleatorizados, presentados en el ANEXO 3, los valores de  $PE_t$  son los indicados en el ANEXO 4 y el valor de  $Q_{t-1}$ , corresponde a los valores del caudal del mes anterior, que para el inicio de la tabla, encabezan con la fila de valores correspondiente a los caudales Cmi de la tabla 13.

Finalmente, los resultados de los caudales se presentan en el ANEXO 5. Estos pueden ser convertidos en sus unidades a metros cúbicos por segundo (ANEXO 6) y litros por segundo (ANEXO 7).

Además, estos datos son sometidos a un análisis de evaluación de datos atípicos, con el método del z-score, obteniendo la media de los datos y la desviación estándar y determinando aquellos valores que son mayores a dos ( $>2$ ) y menores a menos dos ( $<-2$ ), tal como se aprecia en la siguiente formulación matemática:

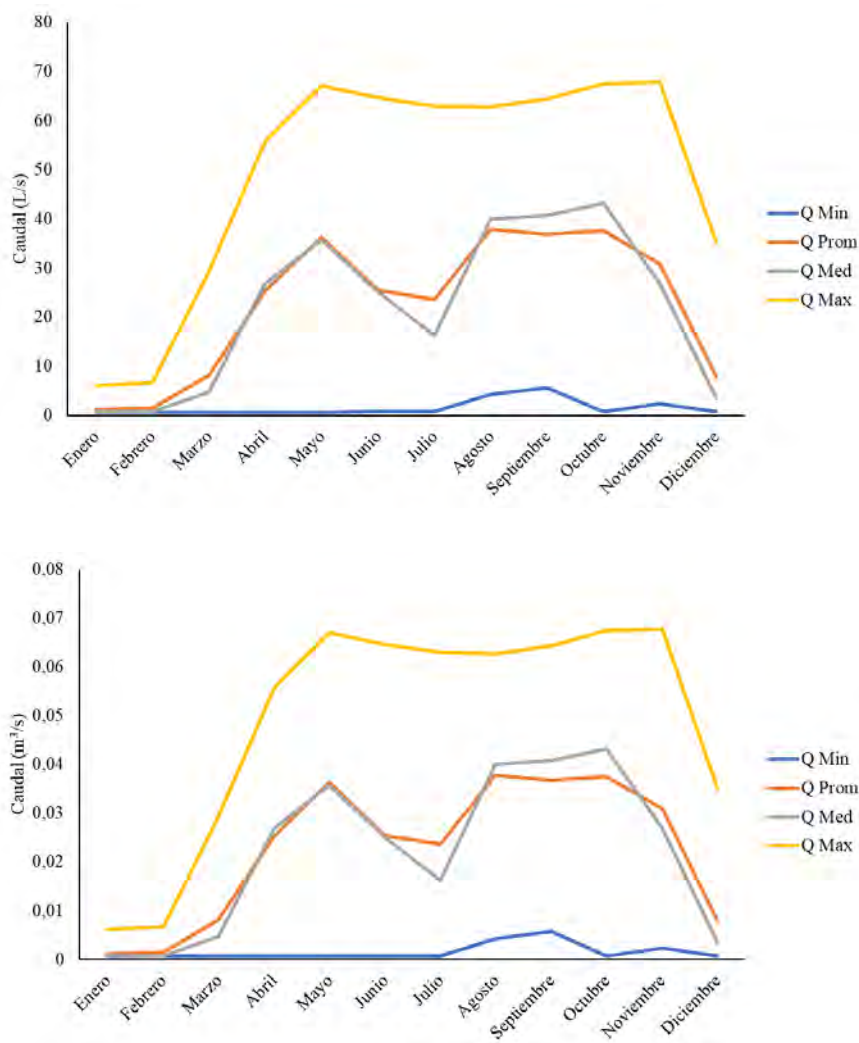
$$z - score = \frac{x - \bar{x}}{\sigma} \quad \text{Ecuación 23}$$

El resultado de esta evaluación permitió detectar como *outliers* o datos atípicos los valores de las fechas 08/1990, 08/2000, 05/2002, 05/2003, 05/2005, 10/2007, 10/2011, 08/2017

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

y 09/2022 (ver estos valores en el ANEXO 7, caudal en unidades de L/s, utilizado por su robustez en cuanto a valores antes del decimal), posteriormente, dispone nuevamente la malla de datos (ver ANEXO 8) y se representa la distribución de los caudales mínimo, mediano, promedio y máximo simulados (ver figura en la página siguiente).

Figura 32. Hidrogramas de los caudales simulados por el método de Lutz Schulz



Nota: Elaborado por los Investigadores, 2023. Se presenta en unidades de Litros por Segundo. En la siguiente tabla se presentan los valores de los caudales en litros por segundo:

Tabla 18. Caudales obtenidos de la simulación por el método de Lutz Schulz

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

Parámetros	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Q Min	0,68	0,67	0,68	0,68	0,68	0,69	0,70	4,28	5,69	0,73	2,34	0,72
Q Prom	1,15	1,43	8,10	25,36	36,31	25,52	23,66	37,88	36,85	37,55	30,89	7,94
Q Med	0,81	0,72	4,75	26,89	35,73	25,16	16,23	40,03	40,77	43,15	26,92	3,55
Q Max	6,13	6,62	29,25	55,79	67,14	64,64	63,00	62,74	64,40	67,54	67,84	35,21

Nota: Elaborado por los Investigadores, 2023. Las unidades de los valores son en L/s.

**6.2.2. Simulación de Inundación**

Para proceder a la simulación de inundación, es importante tener en cuenta algunos factores importantes del balance hídrico en las lagunas. Primeramente, es de definir que los caudales estimados son productos de una lluvia es necesario definir la Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF).

Para construir el Modelo IDF se extraen los valores máximos de las precipitaciones año tras año y se hace sumatoria y determina la media de los datos para calcular la desviación de los datos con base a la siguiente fórmula matemática:

$$\sigma = (x_i - \underline{x})^2 \quad \text{Ecuación 24}$$

Luego, se calculan el coeficiente Alpha ( $\alpha$ ) y el parámetro Niu ( $\mu$ ), de la distribución de Gumbel, la cual está definida por la siguiente formulación matemática:

$$f(x) = e^{-e^{-\frac{(x-\mu)}{\alpha}}} \quad \text{Ecuación 25}$$

Siendo,

$$\alpha = \frac{S_x}{\sigma_y} \quad \text{Ecuación 26}$$

$$\mu = \underline{x} - \mu_y \alpha \quad \text{Ecuación 27}$$

Dónde,

F(x) = Probabilidad de que se presente un valor igual o menor que x.

e = base de los logaritmos neperianos

$\underline{x}$  = media aritmética de la muestra

$s_x$  = desviación estándar de la muestra

La desviación estándar de la muestra se calcula así:

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum \sigma}{n - 1}} \quad \text{Ecuación 28}$$

Siendo  $n$  el número de datos o años, siendo 33 datos correspondientes a la serie temporal de análisis desde 1990 hasta el año 2022.

Entonces, para obtener los valores respectivos, se debe de saber que  $\sigma_y = 1,1285$  y  $\mu_y = 0,5403$ , considerando que estos valores son específicos para un  $n > 33$  datos, obtenidos de la función logística de parámetros de la distribución de Gumbel. Conforme a esto, entonces se tienen los siguientes resultados:

Tabla 19. Resumen de cálculo de los parámetros preliminares

<b>Suma</b>	1882044,2
<b>Sx (dv. Std.)</b>	242,51573
<b>alpha (a)</b>	214,90096
<b>Mniu (u)</b>	1198,2168

Nota: Elaborado por los Investigadores, 2023.

Con base a esto, se procede a determinar la probabilidad de ocurrencia para diferentes periodos de retorno ( $T = 2, 5, 10, 25, 30, 50, 100$  y  $500$  años), Se determina la variable reducida ( $YT$ ), la precipitación producida ( $XT'$ ), la probabilidad de ocurrencia (Ecuación 25) y la corrección del intervalo fijo ( $cf$ ) de la precipitación, para ello se emplean las siguientes:

$$YT = - \ln \ln \left( \ln \ln \left( \frac{T}{1-T} \right) \right) \quad \text{Ecuación 29}$$

$$XT' = \mu + \alpha \cdot YT \quad \text{Ecuación 30}$$

$$cf = XT' \left( 1 + \left( 1 - \left( \frac{1}{n} \right) \right) \right) \quad \text{Ecuación 31}$$

Los resultados se ven presentados en la siguiente tabla:

Tabla 20. Corrección del Intervalo Fijo de las Precipitaciones Determinadas

T	YT	XT'	F(x)	CF
2	0,36651	1276,9808	0,5000	1315,6772
5	1,49994	1520,5554	0,8000	1566,6328
10	2,25037	1681,8229	0,9000	1732,7873
25	3,19853	1885,5849	0,9600	1942,7239
30	3,38429	1925,5050	0,9667	1983,8536
50	3,90194	2036,7472	0,9800	2098,4668
100	4,60015	2186,7933	0,9900	2253,0598

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

500	6,21361	2533,5270	0,9980	2610,3005
-----	---------	-----------	--------	-----------

Nota: Elaborado por los Investigadores, 2023.

Posteriormente, se determina la relación de la duración con las precipitaciones corregidas en el intervalo fijo, asumiendo el comportamiento creciente de las probabilidades acumuladas de ocurrencia de lluvias por horas al día, definidas por Campos Aranda et. Al. (2010) así:

Tabla 21. Acumulación porcentual probabilística de las precipitaciones por hora

Horas	Coefficientes
24	1
18	0,91
12	0,8
8	0,68
6	0,61
5	0,57
4	0,52
3	0,46
2	0,39
1	0,3

Nota: Elaborado por los Investigadores, 2023.

Para las duraciones de 24 horas se multiplica el coeficiente respectivo por cada precipitación CF respectivo a los periodos de retorno obtenidos en la tabla 20.

Tabla 22. Precipitación máxima Pd (mm) anual por tiempos de duración (horas)

D (hora)	T (años)							
	2	5	10	25	30	50	100	500
24	1315,68	1566,63	1732,79	1942,72	1983,85	2098,47	2253,06	2610,30
18	1197,27	1425,64	1576,84	1767,88	1805,31	1909,60	2050,28	2375,37
12	1052,54	1253,31	1386,23	1554,18	1587,08	1678,77	1802,45	2088,24
8	894,66	1065,31	1178,30	1321,05	1349,02	1426,96	1532,08	1775,00
6	802,56	955,65	1057,00	1185,06	1210,15	1280,06	1374,37	1592,28
5	749,94	892,98	987,69	1107,35	1130,80	1196,13	1284,24	1487,87
4	684,15	814,65	901,05	1010,22	1031,60	1091,20	1171,59	1357,36

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

3	605,21	720,65	797,08	893,65	912,57	965,29	1036,41	1200,74
2	513,11	610,99	675,79	757,66	773,70	818,40	878,69	1018,02
1	394,70	469,99	519,84	582,82	595,16	629,54	675,92	783,09

Nota: Elaborado por los Investigadores, 2023.

Al dividir cada valor obtenido, se puede determinar la intensidad de la lluvia, medido en unidades de milímetros por hora, tal como se aprecia en la siguiente tabla:

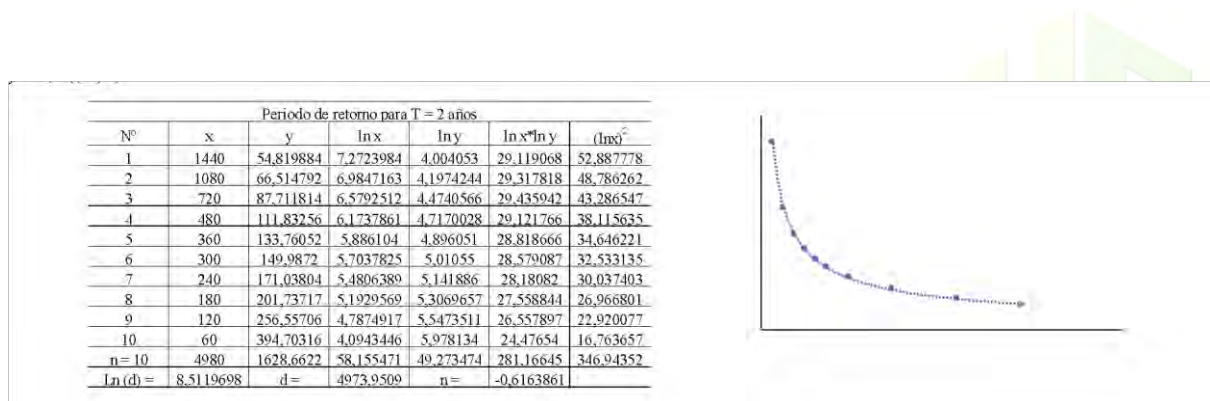
Tabla 23. Intensidad de la lluvia (mm /hr) según el Periodo de Retorno

D (hora)	T (años)							
	2	5	10	25	30	50	100	500
24	54,82	65,28	72,20	80,95	82,66	87,44	93,88	108,76
18	66,51	79,20	87,60	98,22	100,29	106,09	113,90	131,97
12	87,71	104,44	115,52	129,51	132,26	139,90	150,20	174,02
8	111,83	133,16	147,29	165,13	168,63	178,37	191,51	221,88
6	133,76	159,27	176,17	197,51	201,69	213,34	229,06	265,38
5	149,99	178,60	197,54	221,47	226,16	239,23	256,85	297,57
4	171,04	203,66	225,26	252,55	257,90	272,80	292,90	339,34
3	201,74	240,22	265,69	297,88	304,19	321,76	345,47	400,25
2	256,56	305,49	337,89	378,83	386,85	409,20	439,35	509,01
1	394,70	469,99	519,84	582,82	595,16	629,54	675,92	783,09

Nota: Elaborado por los Investigadores, 2023.

Posteriormente a esto, se diseñan los modelos potenciales para cada periodo de retorno:

Tabla 24. Regresión potencial de la duración versus precipitación para T = 2 años

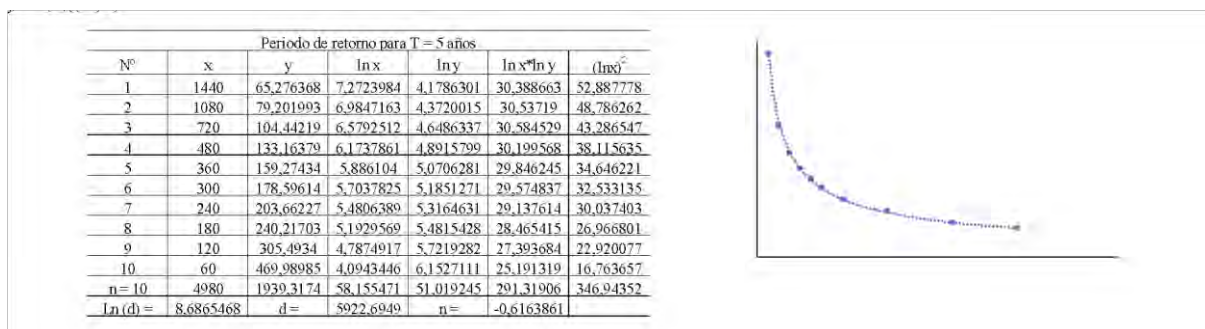


Nota: Elaborado por los Investigadores, 2023.

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

La tabla anterior presenta la gráfica donde se observa que a menor duración de los eventos de precipitación mayor es la intensidad, alcanzando un coeficiente de correlación aproximado a 1.

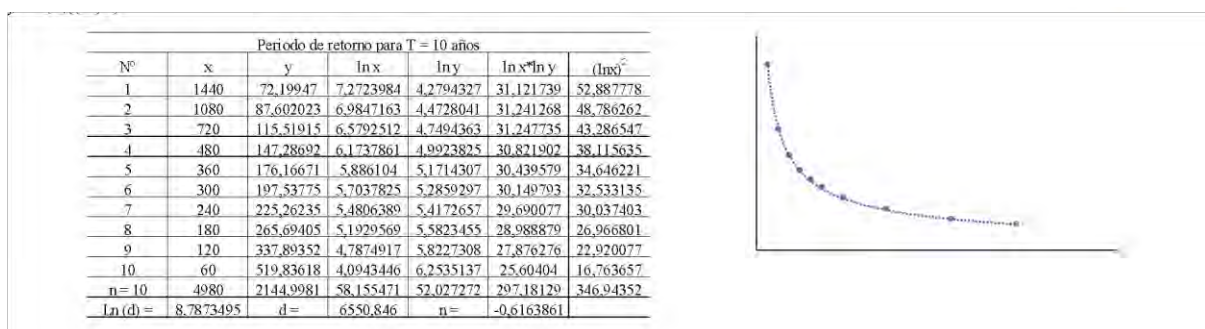
Tabla 25. Regresión potencial de la duración versus precipitación para T = 5 años



Nota: Elaborado por los Investigadores, 2023.

La tabla anterior presenta la gráfica donde se observa que a menor duración de los eventos de precipitación mayor es la intensidad, alcanzando un coeficiente de correlación aproximado a 1.

Tabla 26. Regresión potencial de la duración versus precipitación para T = 10 años

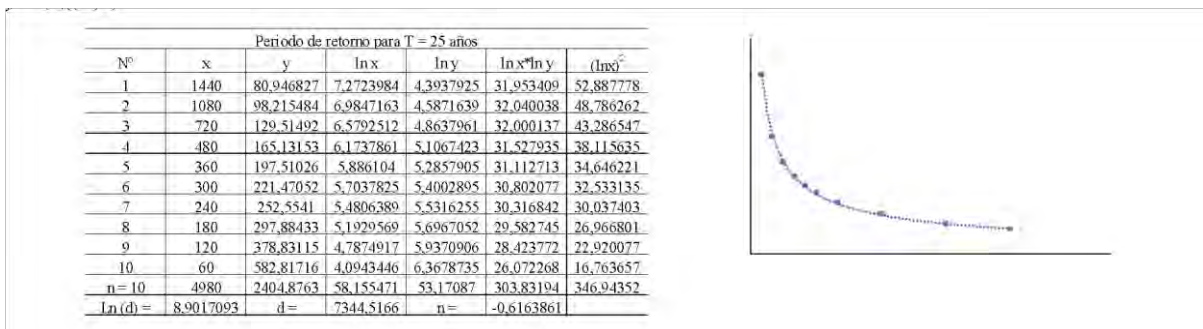


Nota: Elaborado por los Investigadores, 2023.

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

La tabla anterior presenta la gráfica donde se observa que a menor duración de los eventos de precipitación mayor es la intensidad, alcanzando un coeficiente de correlación aproximado a 1.

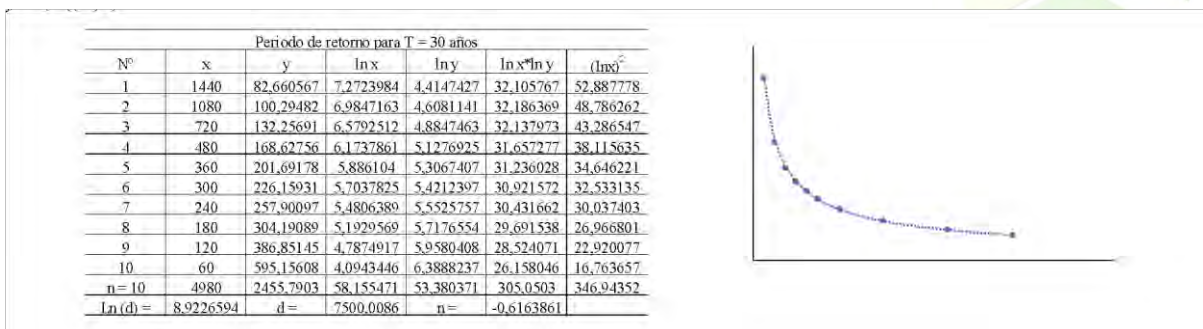
Tabla 27. Regresión potencial de la duración versus precipitación para T = 25 años



Nota: Elaborado por los Investigadores, 2023.

La tabla anterior presenta la gráfica donde se observa que a menor duración de los eventos de precipitación mayor es la intensidad, alcanzando un coeficiente de correlación aproximado a 1.

Tabla 28. Regresión potencial de la duración versus precipitación para T = 30 años



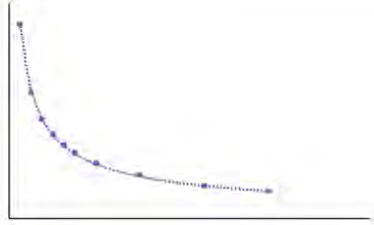
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

Nota: Elaborado por los Investigadores, 2023.

La tabla anterior presenta la gráfica donde se observa que a menor duración de los eventos de precipitación mayor es la intensidad, alcanzando un coeficiente de correlación aproximado a 1.

Tabla 29. Regresión potencial de la duración versus precipitación para T = 50 años

Periodo de retorno para T = 50 años						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx) <sup>2</sup>
1	1440	87,436117	7,2723984	4,4709084	32,514227	52,887778
2	1080	106,08916	6,9847163	4,6642798	32,578671	48,786262
3	720	139,89779	6,5792512	4,9409121	32,507502	43,286547
4	480	178,36968	6,1737861	5,1838582	32,004032	38,115635
5	360	213,34413	5,886104	5,3629065	31,566625	34,646221
6	300	239,22522	5,7037825	5,4774054	31,241929	32,533135
7	240	272,80069	5,4806389	5,6087414	30,739487	30,037403
8	180	321,76491	5,1929569	5,7738212	29,983204	26,966801
9	120	409,20103	4,7874917	6,0142065	28,792964	22,920077
10	60	629,54004	4,0943446	6,4449895	26,388008	16,763657
n = 10	4980	2597,6688	58,155471	53,942029	308,31665	346,94352
ln(d) =	8,9788252	d =	7933,3067	n =	-0,6163861	

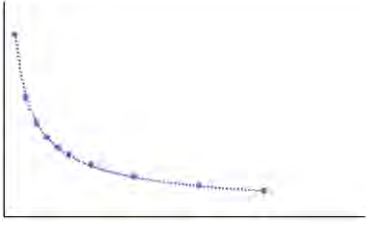


Nota: Elaborado por los Investigadores, 2023.

La tabla anterior presenta la gráfica donde se observa que a menor duración de los eventos de precipitación mayor es la intensidad, alcanzando un coeficiente de correlación aproximado a 1.

Tabla 30. Regresión potencial de la duración versus precipitación para T = 100 años

Periodo de retorno para T = 100 años						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx) <sup>2</sup>
1	1440	93,877491	7,2723984	4,5419906	33,031165	52,887778
2	1080	113,90469	6,9847163	4,735362	33,075161	48,786262
3	720	150,20399	6,5792512	5,0119943	32,975169	43,286547
4	480	191,51008	6,1737861	5,2549405	32,442878	38,115635
5	360	229,06108	5,886104	5,4339887	31,985023	34,646221
6	300	256,84882	5,7037825	5,5484876	31,647367	32,533135
7	240	292,89777	5,4806389	5,6798236	31,129063	30,037403
8	180	345,46917	5,1929569	5,8449034	30,352331	26,966801
9	120	439,34666	4,7874917	6,0852888	29,13327	22,920077
10	60	675,91794	4,0943446	6,5160717	26,679043	16,763657
n = 10	4980	2789,0377	58,155471	54,652851	312,45047	346,94352
ln(d) =	9,0499074	d =	8517,7494	n =	-0,6163861	




Nota: Elaborado por los Investigadores, 2023.

La tabla anterior presenta la gráfica donde se observa que a menor duración de los eventos de precipitación mayor es la intensidad, alcanzando un coeficiente de correlación aproximado a 1.

Tabla 31. Regresión potencial de la duración versus precipitación para T = 500 años

Periodo de retorno para T = 500 años						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx) <sup>2</sup>
1	1440	108,76252	7,2723984	4,6891668	34,101489	52,887778
2	1080	131,96519	6,9847163	4,8825382	34,103144	48,786262
3	720	174,02004	6,5792512	5,1591704	33,943478	43,286547
4	480	221,87555	6,1737861	5,4021166	33,351513	38,115635
5	360	265,38056	5,886104	5,5811649	32,851317	34,646221
6	300	297,57426	5,7037825	5,6956638	32,486827	32,533135
7	240	339,33907	5,4806389	5,8269998	31,935682	30,037403
8	180	400,24608	5,1929569	5,9920796	31,116611	26,966801
9	120	509,00861	4,7874917	6,2324649	29,837874	22,920077
10	60	783,09016	4,0943446	6,6632478	27,281633	16,763657
n = 10	4980	3231,262	58,155471	56,124613	321,00957	346,94352
ln(d) =	9,1970836	d =	9868,3071	n =	-0,6163861	



Nota: Elaborado por los Investigadores, 2023.

La tabla anterior presenta la gráfica donde se observa que a menor duración de los eventos de precipitación mayor es la intensidad, alcanzando un coeficiente de correlación aproximado a 1.

Con base al término constante de la regresión (d) y el coeficiente de regresión (n), de las regresiones anteriores para cada periodo de retorno T, se construye la regresión potencial:

Tabla 32. Regresión Potencial Global para la ecuación de la Curva IDF

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

Regresión potencial						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx) <sup>2</sup>
1	2	4973,9509	0,6931472	8,5119698	5,9000478	0,480453
2	5	5922,6949	1,6094379	8,6865468	13,980458	2,5902904
3	10	6550,846	2,3025851	8,7873495	20,23362	5,3018981
4	25	7344,5166	3,2188758	8,9017093	28,653497	10,361162
5	30	7500,0086	3,4011974	8,9226594	30,347726	11,568144
6	50	7933,3067	3,912023	8,9788252	35,125371	15,303924
7	100	8517,7494	4,6051702	9,0499074	41,676364	21,207592
8	500	9868,3071	6,2146081	9,1970836	57,15627	38,621354
n = 8	722	58611,38	25,957045	71,036051	233,07335	105,43482
ln(K) =	8,4837339	K =	4835,4714	m =	0,1219777	



Nota: Elaborado por los Investigadores, 2023.

Con los coeficientes K (constante), m (parámetro del tiempo de retorno) y el promedio de las n (parámetro de la duración de la precipitación) se construye la ecuación de la curva IDF para la estación aeródromo Alfonso López Pumarejo:

$$I = \frac{4835,471448 * F^{0,121977667}}{D^{0,616386088}} \quad \text{Ecuación 32}$$

Como ejercicio práctico, se propone el cálculo de las intensidades (mm/hr) a partir de cada periodo de duración de la lluvia (minutos) y los tiempos de retorno (años), con la ecuación anterior, los resultados permiten confeccionar la siguiente tabla:

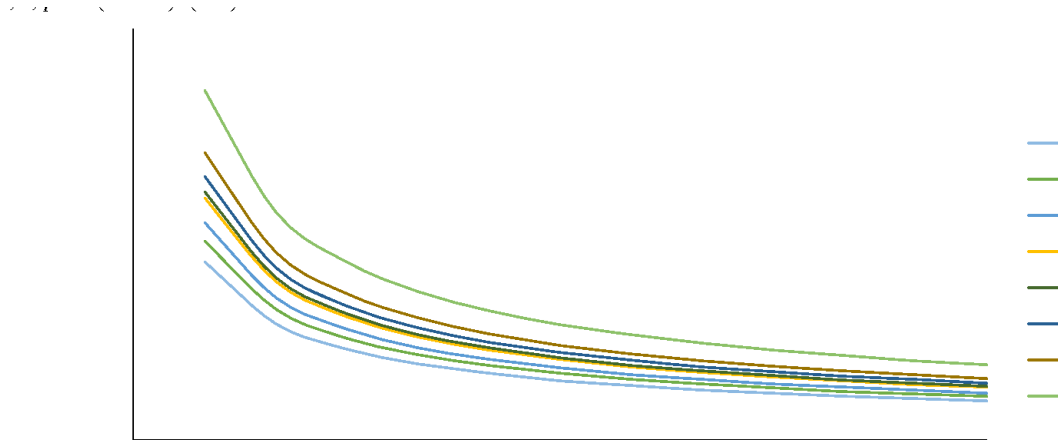
Tabla 33. Intensidades calculadas para valores de tiempo de retorno y duración dados

Frecuencia en años (F)	Duración en minutos (D)											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
2	1951,29	1272,83	991,36	830,27	723,58	646,67	588,05	541,59	503,66	471,99	445,06	421,82
5	2182,04	1423,35	1108,59	928,45	809,15	723,14	657,59	605,63	563,22	527,81	497,69	471,70
10	2374,55	1548,93	1206,40	1010,37	880,53	786,94	715,61	659,07	612,91	574,37	541,60	513,32
25	2655,34	1732,09	1349,06	1129,85	984,66	879,99	800,23	737,00	685,39	642,30	605,65	574,02
30	2715,06	1771,04	1379,39	1155,25	1006,80	899,78	818,22	753,58	700,81	656,74	619,27	586,93
50	2889,61	1884,90	1468,08	1229,53	1071,53	957,63	870,83	802,02	745,86	698,96	659,08	624,67
100	3144,55	2051,20	1597,60	1338,00	1166,07	1042,12	947,66	872,78	811,67	760,63	717,23	679,78
500	3826,64	2496,13	1944,14	1628,23	1419,00	1268,17	1153,22	1062,10	987,72	925,62	872,81	827,23

Nota: Elaborado por los Investigadores, 2023.

Con estos cálculos realizados, es posible hacer las gráficas de la Curva IDF específico para la estación en mención y que rige sobre sus áreas de influencia:

Figura 33. Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia de incidencia en la zona de estudio



Nota: Elaborado por los Investigadores, 2023.

Valledupar es una ciudad con un alto índice de precipitación y en los últimos años, debido al cambio climático, ha sufrido cambios abruptos en la distribución de estas, así como las intensidades han producido una clara agresividad climática. De acuerdo con el IDEAM, en el modelo climático WFS define que esta zona predomina la duración de las lluvias pueden oscilar entre los 20 minutos hasta las 2 horas, considerando que lluvias más prolongadas son de baja intensidad y las de menor lapso son de mayor intensidad, lo que es coherente con la ecuación de las curvas IDF.

Por otra parte, al analizar el registro de caudales estimados con el método Lutz Schulz (ANEXO 8) se identifica como año de interés: 2008, 2004, 2010, 1996, 1998 y 1992, ordenados por eventos de simulación de caudales de mayor a menor, siendo equivalente a un periodo de retorno respectivo  $T = 15$  años, 19 años, 13 años, 27 años, 25 años y 31 años.

Considerando esto, entonces, se obtiene las intensidades aplicando la ecuación de la curva IDF (Tabla 34) y además se estima la precipitación multiplicando las intensidades por cada duración (Tabla 35), los resultados se aprecian en las siguientes tablas:

Tabla 34. Intensidad para los Periodos de Retorno y duraciones de mayor interés y frecuencia

Frecuencia en años (F)	Duración en minutos (D)									
	20	40	50	60	70	80	90	100	110	120
13	1043,23	680,50	593,05	530,01	481,97	443,89	412,81	386,85	364,78	345,73
15	1061,60	692,48	603,50	539,35	490,46	451,71	420,08	393,66	371,20	351,82
19	1092,65	712,74	621,15	555,12	504,81	464,92	432,36	405,18	382,06	362,11
25	1129,85	737,00	642,30	574,02	521,99	480,75	447,08	418,97	395,07	374,44
27	1140,50	743,95	648,35	579,44	526,91	485,28	451,30	422,92	398,79	377,97
31	1159,88	756,60	659,37	589,28	535,87	493,53	458,97	430,11	405,57	384,39

Nota: Elaborado por los Investigadores, 2023.

Como se aprecia, a menor es la duración de las precipitaciones, mayor es la intensidad, tal como se había mencionado (zona izquierda de la tabla anterior) y como se prueba en la realidad (evidencia empírica comprobada por la práctica) y además, a mayor duración tiene un aguacero menor es la intensidad (zona derecha superior de la tabla referenciada), siendo prueba fehaciente de que el modelo IDF es representativo.

Tabla 35. Profundidad de la lluvia por ocurrencia de los eventos de precipitación

Frecuencia en años (F)	Profundidad de la lluvia en milímetros									
	20	40	50	60	70	80	90	100	110	120
13	347,74	453,67	494,21	530,01	562,30	591,86	619,21	644,75	668,76	691,46
15	353,87	461,65	502,91	539,35	572,20	602,28	630,11	656,10	680,54	703,63
19	364,22	475,16	517,63	555,12	588,94	619,90	648,55	675,30	700,44	724,22
25	376,62	491,33	535,25	574,02	608,99	641,00	670,62	698,29	724,29	748,87
27	380,17	495,97	540,29	579,44	614,73	647,04	676,95	704,87	731,12	755,94
31	386,63	504,40	549,48	589,28	625,18	658,04	688,45	716,85	743,54	768,78

Nota: Elaborado por los Investigadores, 2023.

La tabla anterior define que aguaceros con mucha intensidad producen una lámina de agua poco estacionaria (zona azul de la tabla) y con una dinámica menos acumulativa, pero, aguaceros de mayor duración producen una lámina de agua más estable y acumulativa (zona roja de la tabla).

Entonces, se puede inferir que una precipitación de 120 minutos (2 horas), con baja intensidad (ver tabla 34), para un  $T = 31$ , es bastante acumulativa para producir una lámina de agua de  $\approx 0,76$  metros (76 centímetros aproximadamente).

Considerando esto, entonces, se identifican los eventos máximos mensuales para los años determinados, para así tener mayor precisión en la estimación con el modelo Lutz Schulz, en la tabla se presentan los eventos identificados:

Tabla 36. Fecha de eventos de máximo interés por registros históricos de presentación

Años	T (año)	Q (L/s/año)	Meses
2008	15	352,37632	Septiembre
2004	19	347,29411	Mayo
2010	13	346,27044	Noviembre
1996	27	344,7725	Noviembre
1998	25	333,08974	Noviembre
1992	31	332,36561	Octubre

Nota: Elaborado por los Investigadores, 2023. (ver ANEXO 8).

Considerando lo indicado anteriormente, entonces, se aplica el modelo Lutz Schulz presentado en la ecuación 22 y considerando la precipitación efectiva para los meses específicos definidos, la cual puede ser obtenida de la tabla 9 del presente documento, lo que permite calcular para las duraciones dadas y los periodos de retorno identificados los eventos:

Para meses y periodos, con las profundidades de la tabla 35, se obtiene:

Tabla 37. Eventos de máxima precipitación para diferentes años de retorno

Frecuencia en años (F)		13	15	19	25	27	31
Profundidad de la lluvia en milímetros	20	423,72918	483,88915	464,62512	423,90347	423,98962	532,11408
	40	426,18857	486,59903	467,00527	426,33071	426,63451	535,0806
	50	427,11984	487,1468	467,64482	427,48145	427,12525	536,01383
	60	427,08988	487,57505	468,12368	427,86636	427,66855	536,08682
	70	427,97011	487,64794	468,25694	427,90812	427,90918	536,1689

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

80	427,9011	488,27184	468,94611	428,40093	428,09085	536,35196
90	427,87171	488,34441	468,95791	428,45796	428,25199	536,81352
100	428,04868	488,50525	468,72648	428,33592	428,61524	537,12252
110	428,44578	488,84994	469,08511	428,62987	428,73373	537,44955
120	428,4449	488,89108	469,04616	429,05681	429,24688	537,57429

Nota: Elaborado por los Investigadores, 2023.

Como se aprecia, para cada T dado y duración determinada, se alcanza su máximo a medida aumenta la duración de la precipitación, pero en periodos específicos esta obtiene sus puntos álgidos de alcanzar la máxima precipitación (como se aprecia para la duración 110 en los T = 13 años y T = 19).

Al emplear la ecuación 19, y luego convirtiendo a litros por segundo, los resultados permiten ver que las precipitaciones pueden generar caudales que van desde el régimen de los 33,71 L/s hasta los 40,90, considerando los valores calculados para cada T dado y las duraciones determinadas en la exploración de los registros históricos de precipitación.

Los valores de caudales se presentan en la tabla 38 de la siguiente página.

Tabla 38. Caudales de inundación del Parque de la Leyenda Vallenata Consuelo Araujo Noguera

Frecuencia en años (F)		13	15	19	25	27	31
Caudal medido en L/s	20	33,340511	38,057377	35,322873	33,34984	33,302687	40,499605
	40	33,540449	38,245953	35,535954	33,518991	33,518803	40,721696
	50	33,559835	38,309543	35,586531	33,604658	33,606632	40,7587
	60	33,611344	38,33491	35,601709	33,623161	33,631967	40,793966
	70	33,611416	38,366731	35,630515	33,619649	33,649808	40,810486
	80	33,599932	38,394338	35,646175	33,664086	33,654722	40,82232
	90	33,666213	38,40299	35,650921	33,680274	33,685812	40,854641
	100	33,663462	38,418423	35,672175	33,68539	33,713353	40,8608
	110	33,690365	38,441061	35,702244	33,687364	33,720009	40,900295

120	33,715243	38,45452	35,699908	33,758719	33,710386	40,880297
-----	-----------	----------	-----------	-----------	-----------	-----------

Nota: Elaborado por los Investigadores, 2023.

Con base a estos caudales, pero particularmente, los cambios de la altitud de la lámina del agua (Tabla 35), se realizará la simulación en ArcScene, teniendo en cuenta el Modelo Digital del Terreno, constituido a partir del levantamiento topográfico-geodésico indicado en el ANEXO 2.

Para esto, el primer paso fue obtener una vista aérea clara de las lagunas del Humedal Sicarare, por lo cual, se optó por obtenerla con Google Imágenes a partir de Google Earth, descargando imagen satelital del mes de julio del año 2012 (ver la siguiente página).

En la figura se aprecia el área de cerco del Parque de la Leyenda Vallenata Consuelo Araujo Noguera y el centro de recreación y entretenimiento denominado ‘La cachucha Bacana’, con su particular forma de anfiteatro romano. Además, al sur se observa lo que se denominaba como Jagüey Sicarare, que es una pequeña laguna de la cuál se tiene un registro histórico mucho más antiguo aunque actualmente, su sostenibilidad hídrica es de dudosa procedencia, ya que existe un tanque de almacenamiento muy cercano a esta y aparentemente existen fugas que mantienen este sitio con buenas características de agua y aislado y sin posibilidades de ser de interés para los análisis de inundación de este trabajo, a diferencia de las lagunas No 1 (al Norte), laguna No 2 (debajo de la laguna No 1) y la laguna 3 (intermedia).



Figura 34. Fotografía de alta resolución del Parque de la Leyenda Vallenata Consuelo Araujo Noguera





**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**



#PorelResurgirdelaUPC

Nota: Tomado de Google Earth, 2012. En la imagen se observa con mayor claridad las lagunas del Humedal Sicarare.



[www.unicesar.edu.co](http://www.unicesar.edu.co)  
Campus Universitario Sabanas, Of. 105 D. PBX (57) (5) 5848217 EXT. 1129  
Línea de atención al ciudadano 01 8000 400380  
Valledupar Cesar Colombia

El super posicionamiento de la imagen y su georreferenciación respecto a la imagen de ESRI, permite visualizar que hay una precisión deseada:

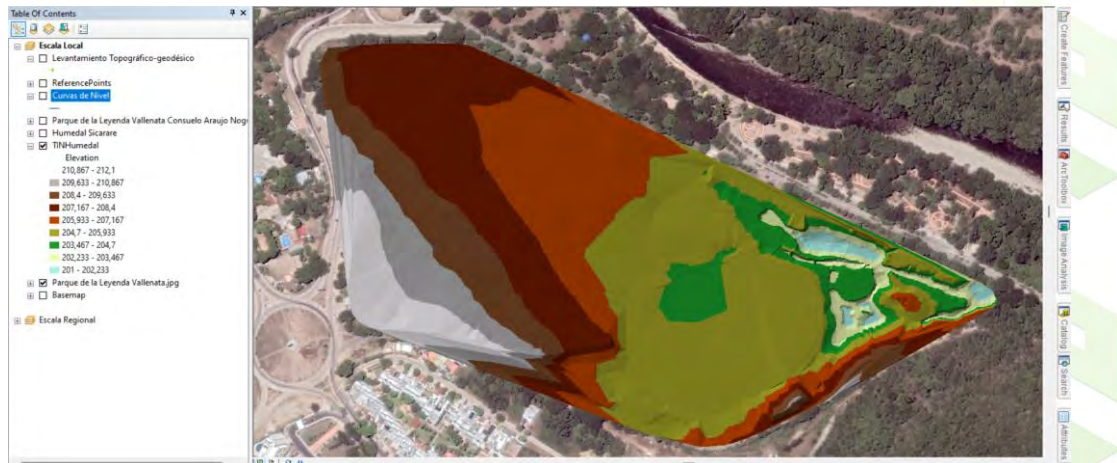
Figura 35. Visor de trabajo del ArcMap: Superposición de imagen de trabajo



Nota: Captura de pantalla realizada por los Autores, 2023.

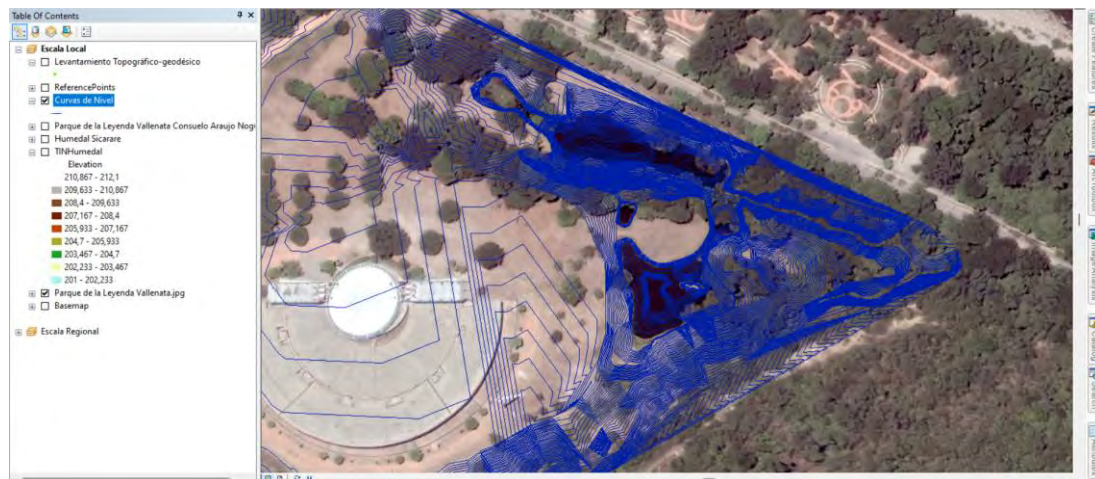
Posteriormente, se procede a construir la triangulación irregular del terreno (TIN, por sus siglas en inglés) tal como se observa en la siguiente figura y proceder a construir las curvas de nivel presentadas en la Figura 18, sin embargo, para más detalle se reduce su tamaño a intervalos de 0,10 metros (ver figura 31).

Figura 36. Triangulación Irregular del Terreno del Parque de la Leyenda Vallenata



Nota: Captura de pantalla realizada por los Autores, 2023.

Figura 37. Curvas de Nivel redistribuidas en un intervalo inferior



Nota: Captura de pantalla realizada por los Autores, 2023.

El siguiente paso será crear los polígonos representativos de la lámina de agua para cada laguna, considerando que todas tienen diferentes láminas de agua. La Laguna No. 1, tiene una cota de nivel de agua común de 202,82 msnm, la Laguna No. 2 posee una cota de nivel de agua común de 202,90 msnm y una la Laguna No. 3 tiene una cota de nivel de agua de 202,86 msnm, por lo cual, el desnivel llevaría si o sí el agua en sentido SO a NE, tal como se había mencionado en apartados anteriores de este documento.

Crear un Shapefile tipo polígono en ArcMap comienza con la selección de la carpeta de trabajo deseada, hace clic con el botón derecho y elige "Nuevo" seguido de "Shapefile". En el cuadro emergente, se asigna un nombre al archivo, se selecciona "Polígono" como tipo de geometría y se establece el sistema de coordenadas correspondiente, que para este caso se trabajará con UTM WGS84 zona 18 norte. Tras confirmar estos detalles, el usuario agrega el nuevo Shapefile al mapa utilizando la función "Agregar datos", preparándolo para la edición.

El proceso de dibujo del polígono se inicia activando la barra de herramientas de edición y seleccionando el Shapefile para entrar en modo de edición. El usuario procede a dibujar los polígonos haciendo clic en el mapa para establecer vértices, formando así las fronteras del polígono, luego procede a finalizar la sesión de edición y guardar los cambios es

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

un paso crítico que consolida la creación del Shapefile de polígono, dejándolo listo para cualquier análisis o manipulación futura en ArcMap.

El procedimiento anterior permite crear las láminas de agua a los niveles correspondientes, por consiguiente, se organizan los datos de la altura de la lámina de agua para los caudales simulados de inundación, considerando la información puesta en las tablas 35 y 38, con base a esto se crea la siguiente tabla:

Tabla 39. Cambios de profundidad de la laguna con base a los caudales de simulación

No.	Frecuencia (años)	Duración (min)	Profundidad (metros)	Caudal (L/s)	Laguna No. 0	Laguna No. 1	Laguna No. 2	Laguna No. 3
1	13	20	0,35	33,34	206,25	203,17	203,25	203,21
2	15	20	0,35	38,06	206,25	203,17	203,25	203,21
3	19	20	0,36	35,32	206,26	203,18	203,26	203,22
4	25	20	0,38	33,33	206,28	203,20	203,28	203,24
5	27	20	0,38	33,34	206,28	203,20	203,28	203,24
6	31	20	0,39	40,48	206,29	203,21	203,29	203,25
7	13	40	0,45	33,53	206,35	203,27	203,35	203,31
8	15	40	0,46	38,27	206,36	203,28	203,36	203,32
9	19	40	0,48	35,54	206,38	203,30	203,38	203,34
10	25	40	0,49	33,54	206,39	203,31	203,39	203,35
11	13	50	0,49	33,56	206,39	203,31	203,39	203,35
12	27	40	0,50	33,56	206,40	203,32	203,40	203,36
13	15	50	0,50	38,32	206,40	203,32	203,40	203,36
14	31	40	0,50	40,72	206,40	203,32	203,40	203,36
15	19	50	0,52	35,60	206,42	203,34	203,42	203,38
16	13	60	0,53	33,61	206,43	203,35	203,43	203,39
17	25	50	0,54	33,58	206,44	203,36	203,44	203,40
18	15	60	0,54	38,33	206,44	203,36	203,44	203,40
19	27	50	0,54	33,61	206,44	203,36	203,44	203,40
20	31	50	0,55	40,77	206,45	203,37	203,45	203,41
21	19	60	0,56	35,64	206,46	203,38	203,46	203,42
22	13	70	0,56	33,60	206,46	203,38	203,46	203,42
23	15	70	0,57	38,38	206,47	203,39	203,47	203,43
24	25	60	0,57	33,65	206,47	203,39	203,47	203,43

No.	Frecuencia (años)	Duración (min)	Profundidad (metros)	Caudal (L/s)	Laguna No. 0	Laguna No. 1	Laguna No. 2	Laguna No. 3
25	27	60	0,58	33,63	206,48	203,40	203,48	203,44
26	19	70	0,59	35,64	206,49	203,41	203,49	203,45
27	31	60	0,59	40,78	206,49	203,41	203,49	203,45
28	13	80	0,59	33,62	206,49	203,41	203,49	203,45
29	15	80	0,60	38,36	206,50	203,42	203,50	203,46
30	25	70	0,61	33,64	206,51	203,43	203,51	203,47
31	27	70	0,61	33,63	206,51	203,43	203,51	203,47
32	13	90	0,62	33,63	206,52	203,44	203,52	203,48
33	19	80	0,62	35,67	206,52	203,44	203,52	203,48
34	31	70	0,63	40,82	206,53	203,45	203,53	203,49
35	15	90	0,63	38,37	206,53	203,45	203,53	203,49
36	25	80	0,64	33,66	206,54	203,46	203,54	203,50
37	13	100	0,64	33,66	206,54	203,46	203,54	203,50
38	27	80	0,65	33,64	206,55	203,47	203,55	203,51
39	19	90	0,65	35,65	206,55	203,47	203,55	203,51
40	15	100	0,66	38,41	206,56	203,48	203,56	203,52
41	31	80	0,66	40,85	206,56	203,48	203,56	203,52
42	13	110	0,67	33,68	206,57	203,49	203,57	203,53
43	25	90	0,67	33,66	206,57	203,49	203,57	203,53
44	19	100	0,68	35,68	206,58	203,50	203,58	203,54
45	27	90	0,68	33,71	206,58	203,50	203,58	203,54
46	15	110	0,68	38,43	206,58	203,50	203,58	203,54
47	31	90	0,69	40,84	206,59	203,51	203,59	203,55
48	13	120	0,69	33,66	206,59	203,51	203,59	203,55
49	25	100	0,70	33,68	206,60	203,52	203,60	203,56
50	19	110	0,70	35,69	206,60	203,52	203,60	203,56
51	15	120	0,70	38,42	206,60	203,52	203,60	203,56
52	27	100	0,70	33,70	206,60	203,52	203,60	203,56
53	31	100	0,72	40,85	206,62	203,54	203,62	203,58
54	19	120	0,72	35,72	206,62	203,54	203,62	203,58
55	25	110	0,72	33,71	206,62	203,54	203,62	203,58
56	27	110	0,73	33,70	206,63	203,55	203,63	203,59
57	31	110	0,74	40,86	206,64	203,56	203,64	203,60
58	25	120	0,75	33,72	206,65	203,57	203,65	203,61
59	27	120	0,76	33,74	206,66	203,58	203,66	203,62

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

No.	Frecuencia (años)	Duración (min)	Profundidad (metros)	Caudal (L/s)	Laguna No. 0	Laguna No. 1	Laguna No. 2	Laguna No. 3
60	31	120	0,77	40,90	206,67	203,59	203,67	203,63

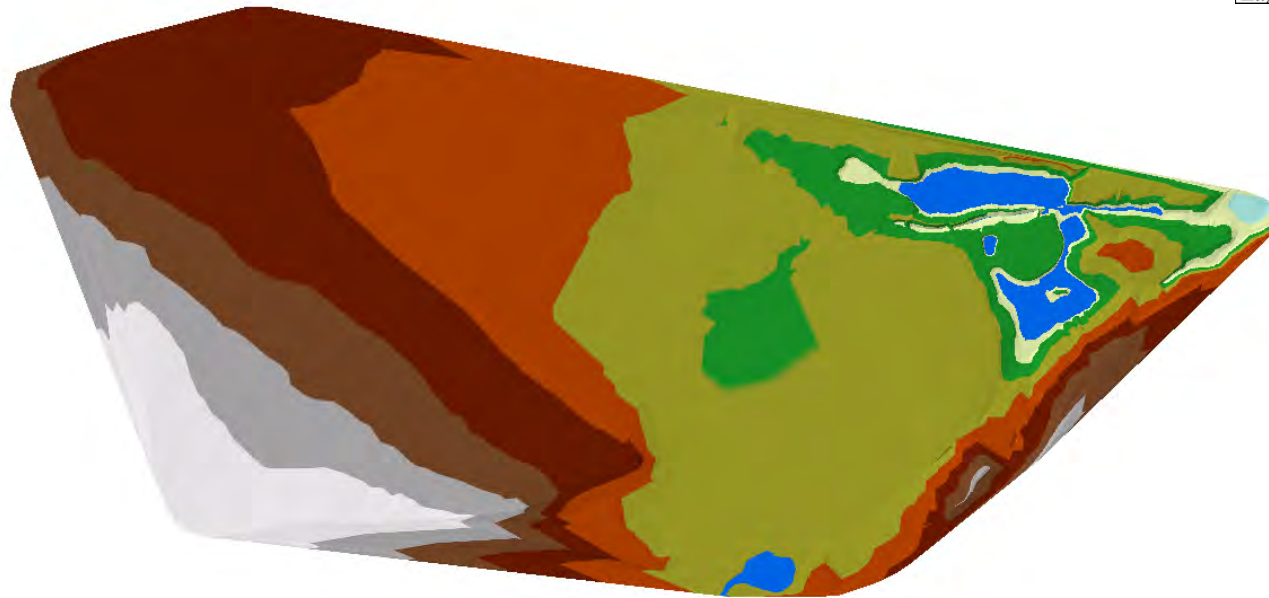
Nota: Elaborado por los Investigadores, 2023.

Con base a estos resultados se producen el mismo número de simulaciones presentadas en la tabla anterior. Para condiciones normales con las altitudes definidas para las lagunas, se presenta la siguiente simulación:



Figura 38. Simulación del nivel del agua del Humedal Sicarare en su estado común.

Variables	Normal
Caudal (L/s)	0,02
Laguna No. 0 (msnm)	205,90
Laguna No. 1 (msnm)	202,82
Laguna No. 2 (msnm)	202,90
Laguna No. 3 (msnm)	202,86

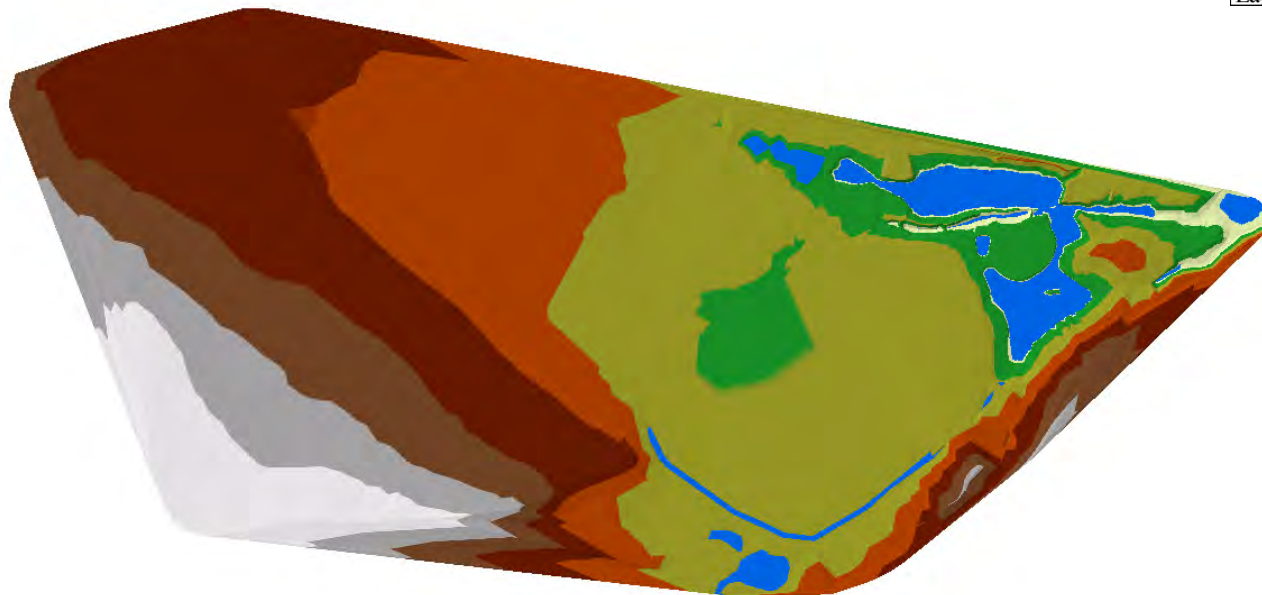


Nota: Elaborado por los Investigadores a partir de ArcScene, 2023.

En la siguiente figura se presenta la simulación para el valor mínimo de profundidad simulada:

Figura 39. Simulación del nivel del agua del Humedal Sicarare a un mínimo de precipitación

Variables	Mínimo
Caudal (L/s)	X1
Laguna No. 0 (msnm)	206,25
Laguna No. 1 (msnm)	203,17
Laguna No. 2 (msnm)	203,25
Laguna No. 3 (msnm)	203,21

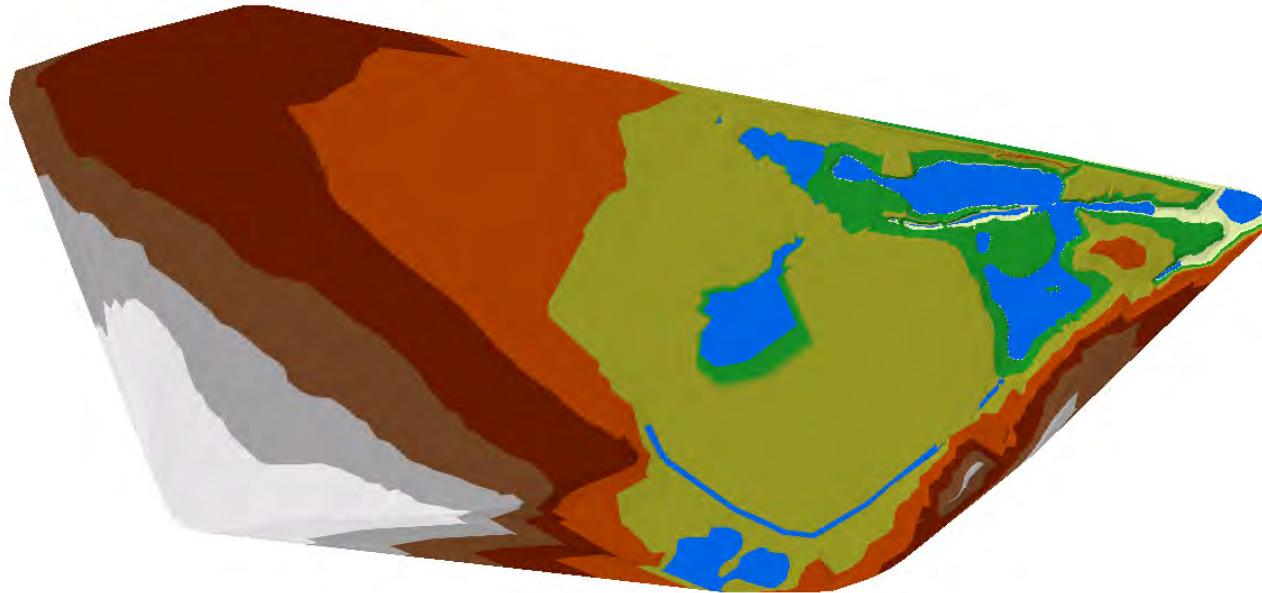


Nota: Elaborado por los Investigadores a partir de ArcScene, 2023.

Para la figura anterior el incremento es de un  $\Delta h = 0,35$  metros, el caudal X1 por esta diferencia de cota se presentará posteriormente.

Figura 40. Simulación del nivel del agua del Humedal Sicarare al cuartil 25% de precipitación

Variables	Cuartil 1
Caudal (L/s)	X3
Laguna No. 0 (msnm)	206,43
Laguna No. 1 (msnm)	203,35
Laguna No. 2 (msnm)	203,43
Laguna No. 3 (msnm)	203,39

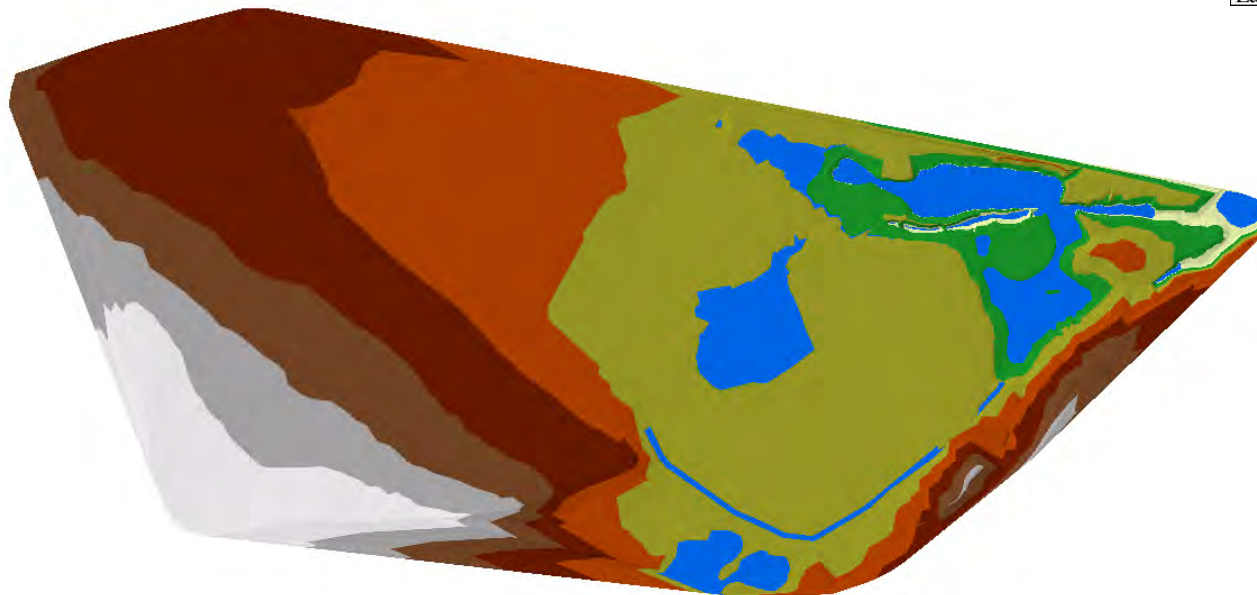


Nota: Elaborado por los Investigadores a partir de ArcScene, 2023.

Para la figura anterior el incremento es de un  $\Delta h = 0,18$  metros, el caudal X3 por esta diferencia de cota se presentará posteriormente.

Figura 41. Simulación del nivel del agua del Humedal Sicarare a un promedio de precipitación

Variables	Promedio
Caudal (L/s)	X2
Laguna No. 0 (msnm)	206,49
Laguna No. 1 (msnm)	203,41
Laguna No. 2 (msnm)	203,49
Laguna No. 3 (msnm)	203,45

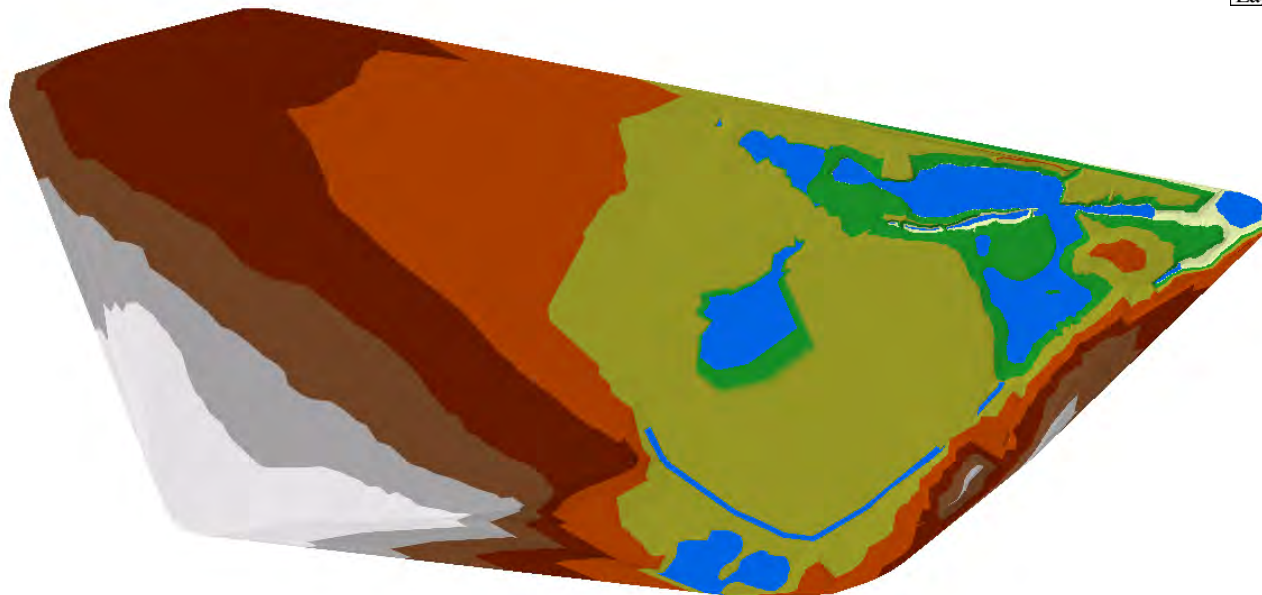


Nota: Elaborado por los Investigadores a partir de ArcScene, 2023.

Para la figura anterior el incremento es de un  $\Delta h = 0,07$  metros, el caudal X2 por esta diferencia de cota se presentará posteriormente.

Figura 42. Simulación del nivel del agua del Humedal Sicarare al cuartil 50% de precipitación

Variables	Cuartil 2
Caudal (L/s)	X4
Laguna No. 0 (msnm)	206,51
Laguna No. 1 (msnm)	203,43
Laguna No. 2 (msnm)	203,51
Laguna No. 3 (msnm)	203,47

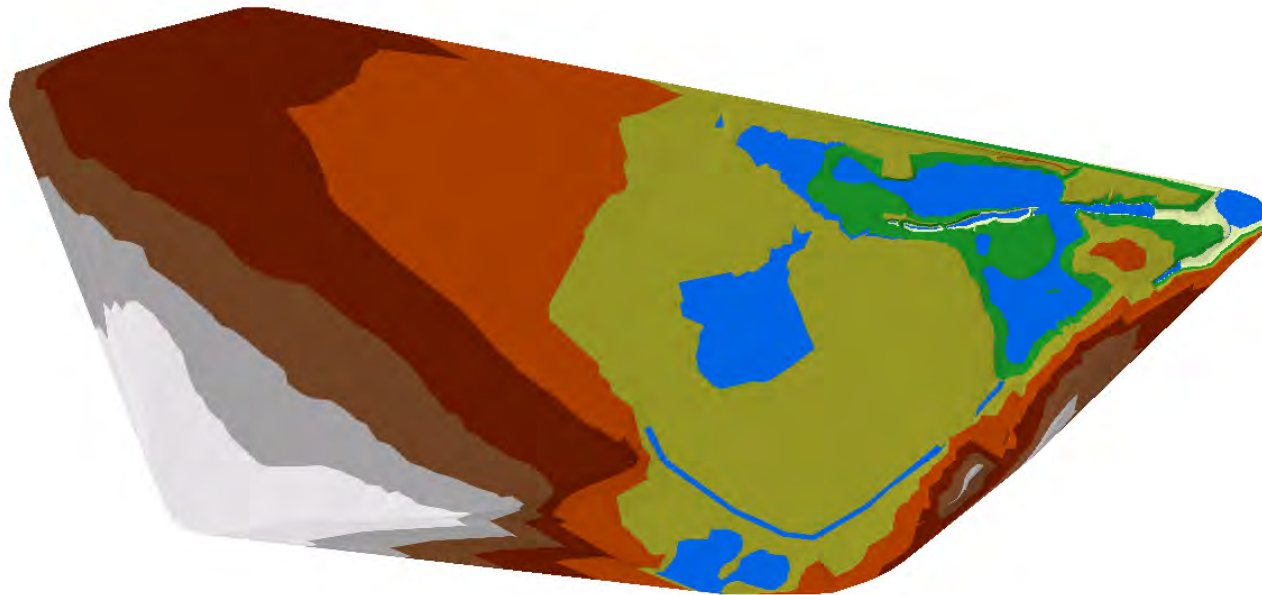


Nota: Elaborado por los Investigadores a partir de ArcScene, 2023.

Para la figura anterior el incremento es de un  $\Delta h = 0,02$  metros, el caudal X4 por esta diferencia de cota se presentará posteriormente.

Figura 43. Simulación del nivel del agua del Humedal Sicarare al cuartil 75% de precipitación

Variables	Cuartil 3
Caudal (L/s)	X5
Laguna No. 0 (msnm)	206,58
Laguna No. 1 (msnm)	203,50
Laguna No. 2 (msnm)	203,58
Laguna No. 3 (msnm)	203,54

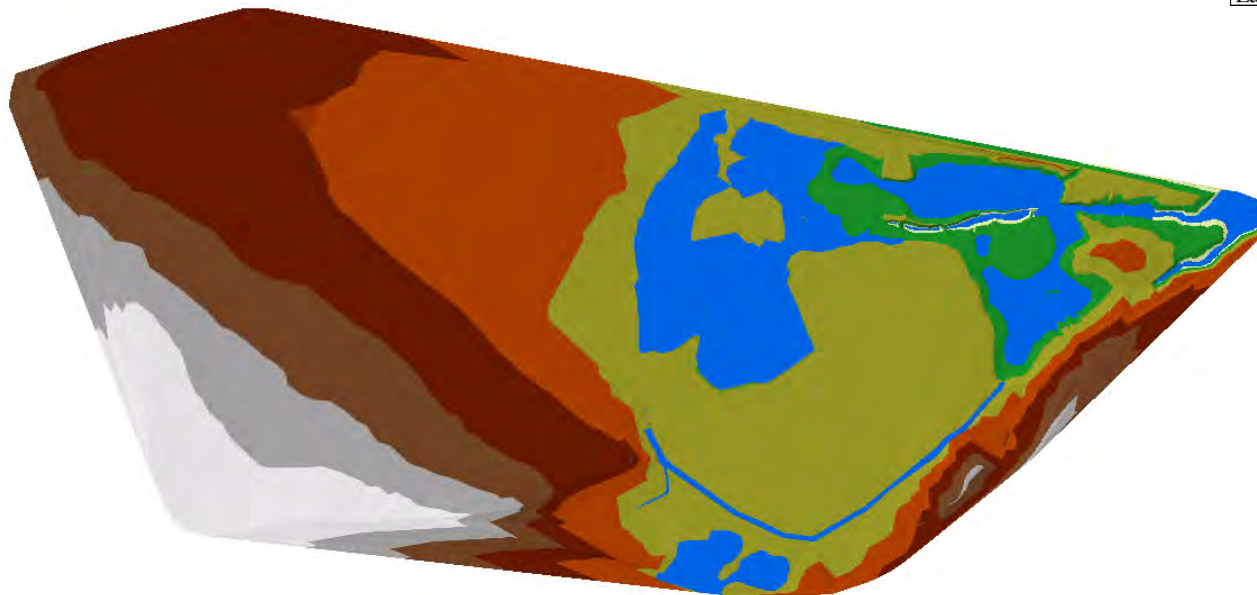


Nota: Elaborado por los Investigadores a partir de ArcScene, 2023.

Para la figura anterior el incremento es de un  $\Delta h = 0,07$  metros, el caudal X5 por esta diferencia de cota se presentará posteriormente.

Figura 44. Simulación del nivel del agua del Humedal Sicarare a un máximo de precipitación

Variables	Máxima
Caudal (L/s)	X6
Laguna No. 0 (msnm)	206,67
Laguna No. 1 (msnm)	203,59
Laguna No. 2 (msnm)	203,67
Laguna No. 3 (msnm)	203,63



Nota: Elaborado por los Investigadores a partir de ArcScene, 2023.

Para la figura anterior el incremento es de un  $\Delta h = 0,09$  metros, el caudal X6 por esta diferencia de cota se presentará posteriormente.



Para determinar los caudales se utiliza una regresión lineal entre la lámina de agua que aumenta respecto a los caudales listados en la tabla 39, obteniendo los parámetros  $a = 34,64$  y una pendiente  $b = 2,17$ . La siguiente tabla resume la estimación [ $Q = 34,64 + 2,17(\Delta H)$ ]:

Tabla 40. Caudales determinados para los cambios de cota

Id. Caudal	$\Delta H$ (m)	Q (L/s)
X1	0,35	35,40
X3	0,53	35,78
X2	0,59	35,93
X4	0,61	35,97
X5	0,68	36,11
X6	0,77	36,31

Nota: Elaborado por los Investigadores, 2023.

Las figuras 32, 33, 34, 35, 36, 37 y 38, representan una porción de los escenarios de inundación para los caudales dados en la tabla 40 y con el respectivo aumento acumulado del cambio de altura de la inundación.

Con la figura 38 se puede decir, que el humedal Sicarare, con 0,77 metros de inundación (con respecto a las cotas topográficas-geodésicas), produce una inundación significativa que recarga y satura las lagunas, siendo un drenaje eficiente para el confort de la infraestructura del Parque de la Leyenda Vallenata, sin embargo desplaza una gran cantidad de agua hacia la laguna No 1 y también logra encharcar el agua en la zona NE, donde a través de las medidas hidráulicas de manejo expulsa el exceso por las tuberías dispuestas en pared del mencionado parque.

La laguna No. 2 se desborda considerablemente en su zona NE en conexión con la Laguna No. 1 y produciendo un flujo importante para el arroyo Sicarare, desplazando las aguas con una corriente de 0,03661 metros cúbicos por segundo.

Por otra parte, se ve que el canal de exceso y el canal hidráulico suministran una gran cantidad de agua a las lagunas, por lo cual, esta inundación tiene un impacto importante sobre

el ecosistema local y en su dinámica ecológica y ecosistémica, así como también pone en riesgo algunas especies de pequeños roedores y mamíferos.

### 6.3. EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DE LAS INUNDACIONES MEDIANTE EL ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL MODELO HIDROLÓGICO PARA LA GESTIÓN SOSTENIBLE DEL AGUA EN LA ZONA Y LA CONSERVACIÓN DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS Y LA BIODIVERSIDAD DEL HUMEDAL SICARARE

#### 6.3.1. *Análisis del Efecto en los Servicios Ecosistémicos y Biodiversidad*

Las inundaciones en humedales juegan un papel crucial en la modulación de los servicios ecosistémicos y la biodiversidad. Estos ecosistemas, con su rica diversidad biológica y su capacidad para almacenar y filtrar agua, actúan como esponjas naturales, absorbiendo excesos hídricos durante eventos de lluvia intensa y liberándolos gradualmente durante períodos de sequía.

Figura 45. Cambio en la calidad del agua de las lagunas del Humedal Sicarare



Nota: Fotografía realizada por los Investigadores, 2023

Sin embargo, cuando las inundaciones son excesivas o inadecuadamente gestionadas, pueden perturbar este equilibrio, afectando tanto la calidad del agua como los hábitats esenciales para muchas especies. Además, los servicios ecosistémicos, como la purificación

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

del agua, la recarga de acuíferos y el sustento alimenticio de las especies, pueden verse comprometidos, lo que repercute directamente en el bienestar humano y en la salud de los ecosistemas circundantes.

Con base a lo distinguido anteriormente, se hace una definición de autores para contextualizar el efecto sobre los servicios ecosistémicos del Humedal Sicarare, comenzando primeramente por los que se ven influenciados de manera positiva por el fenómeno de la inundación.

### **6.3.1.1.Regulación Hídrica.**

Los humedales, como el Humedal Sicarare, son esenciales para la regulación hídrica, desempeñando un papel insustituible en la gestión del agua en los paisajes (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 1971; Yupanqui, 2019). Estas áreas naturales actúan como esponjas, absorbiendo y almacenando agua durante eventos de fuertes lluvias, lo que ayuda a mitigar inundaciones en regiones circundantes. Esta capacidad de retención es especialmente crucial en áreas propensas a fuertes precipitaciones o inundaciones. Además, en tiempos de sequía, los humedales liberan agua gradualmente, garantizando así un suministro continuo para el suelo y las especies que habitan la región (ONU, 1971).

Los humedales también son esenciales para mitigar las crecidas de los ríos y prevenir erosiones. La regulación hídrica que ofrecen se ve reflejada en los aportes ambientales que brindan dentro de una cuenca hidrológica. Estos incluyen el almacenamiento de agua, la recarga del acuífero y la disminución del impacto de inundaciones potencialmente destructivas (Monroy, J., 2022).

En el caso específico del Humedal Sicarare, la regulación hídrica es aún más crucial debido a las zonas de manejo de inundaciones presentes. Es fundamental realizar un mantenimiento adecuado al canal hidráulico, que es esencial para drenar las aguas, y proporcionar un cuidado ecológico al canal de exceso. La retención de agua en la zona noreste es un desafío, ya que el agua se acumula y eleva su nivel, reteniéndose en las paredes hasta que alcanza los tubos de escape. Estos tubos, a menudo obstruidos por ramas y otros residuos, pueden reducir la eficiencia del drenaje. Por lo tanto, es imperativo crear un sistema de

evacuación más eficaz en esta área para garantizar que el humedal continúe brindando sus servicios ecosistémicos vitales.

La buena gestión y conservación del Humedal Sicarare no solo protege el ecosistema local, sino que también tiene beneficios directos para la salud humana y la seguridad del agua en la región (Convención sobre los Humedales, 2021). Estos beneficios reafirman la importancia de invertir en la conservación y restauración de humedales como este.

### **6.3.1.2. Recarga de Acuíferos.**

Los humedales, como el emblemático Humedal Sicarare, desempeñan un papel trascendental en la recarga de acuíferos (Instituto Patagónico para el Estudio de los Ecosistemas [IPEEC], 2021; Ministerio de Ambiente de Perú [MINAM], s.f.). Este fenómeno natural se refiere a cuando el agua que se acumula en el humedal se filtra hacia las capas subterráneas, enriqueciendo las fuentes de agua subterránea. En contextos de creciente demanda hídrica y variabilidad climática, la recarga gestionada de acuíferos, o recarga artificial, se ha convertido en una estrategia esencial, permitiendo la introducción planificada de agua en acuíferos con fines específicos, como garantizar la disponibilidad de agua en épocas de escasez (Fernández, E., 2019).

Para el Humedal Sicarare, este proceso de recarga es aún más crítico. En épocas de sequía, el humedal se sustenta mediante un tubo corrugado conectado a un canal francés, que introduce aproximadamente 0,015 metros cúbicos de agua al día en sus lagunas. Se cree que estas aguas provienen, en gran parte, de la infiltración del cercano río Guatapurí. Esta conexión con el río y el diseño del sistema de recarga subraya la importancia de mantener un flujo constante de agua hacia el humedal, garantizando así la continuidad de sus servicios ecosistémicos y la salud de su biodiversidad.

Los sistemas de recarga artificial, como los mecanismos de "detención-infiltración", son esenciales en áreas donde la demanda de agua supera la oferta natural. Estos sistemas permiten retener el agua de inundaciones y avenidas, introduciéndola de manera controlada en los acuíferos (Fernández, E., 2019). Más allá de simplemente almacenar agua, la recarga artificial puede tener múltiples propósitos, desde el abastecimiento y riego, hasta la prevención

de la intrusión marina y la regeneración de ecosistemas acuáticos (Diario digital argentino de actualidad y economía [Infobae], 2022).

Considerando esto se puede manifestar que la recarga de acuíferos ya sea natural o gestionada, en humedales como el Sicarare, es una herramienta invaluable en la gestión hídrica moderna. Asegura la sostenibilidad de los recursos acuáticos y garantiza la continuidad de los servicios ecosistémicos vitales que estos paisajes ofrecen. La óptima gestión de este proceso puede traducirse en beneficios tangibles para la salud humana, la biodiversidad y la seguridad hídrica en la región.

### 6.3.1.3. Fertilización del Suelo.

Los humedales, como el emblemático Humedal Sicarare, juegan un papel determinante en la fertilización de los suelos (Tercero, et. Al., 2014; Landis, S., 2021). La singularidad de estos suelos radica en su composición: texturas finas, una alta biomasa vegetal y tasas reducidas de mineralización de materia orgánica, atributos que se acentúan debido a la hidromorfía y salinidades propias del ecosistema (Tercero, et. Al., 2014). Estas características otorgan a los humedales una impresionante capacidad para fijar sustancias y nutrir el terreno.

La vegetación predominante, compuesta por árboles y arbustos, desempeña un papel esencial al aportar materia orgánica al suelo, enriqueciéndolo y dotándolo de nutrientes esenciales (Landis, S., 2021). Además, el escurrimiento proveniente de las inundaciones actúa como un transporte de materiales aluviales ricos, beneficiando aún más la fertilidad del suelo.

El Humedal Sicarare, enclavado en el corazón del Parque de la Leyenda Vallenata Consuelo Araujo Noguera, es un ejemplo palpable de la riqueza de estos suelos. A pesar de que la explotación agrícola en esta zona es prohibida, resguardando su integridad y propósito ecológico, la fertilidad innata de sus suelos es indiscutible. Esta prohibición, aunque limita el uso agrícola directo, garantiza la preservación de un recurso invaluable y asegura la continuidad de sus servicios ecosistémicos.

Por otro lado, los humedales contribuyen indirectamente a la agricultura al ciclar nutrientes, equilibrando y enriqueciendo el suelo de forma natural (Convención de los

Humedales (a), s.f.). La fertilidad de los humedales como el Sicarare no solo se traduce en una mayor productividad agrícola, sino que también es un testimonio de la salud del ecosistema. Su adecuada gestión y conservación pueden ofrecer beneficios significativos para el equilibrio ecológico, la salud del suelo y, por ende, la biodiversidad que alberga.

#### **6.3.1.4. Apoyo a la Biodiversidad.**

Los humedales, reconocidos por su vasta biodiversidad en flora y fauna, se consideran joyas ecológicas por su contribución vital a la sustentabilidad del planeta (Bordino, J., 2021; Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza [UICN], 2020; Sur Ambiente, gestión, consultoría e Ingeniería Ambiental [Suram], s.f.). Estos ecosistemas no solo son el refugio de innumerables especies, sino que también ofrecen una variedad de servicios ambientales esenciales para la existencia y el bienestar de numerosas poblaciones (Bordino, J., 2021).

La biodiversidad es un concepto amplio que abarca la variabilidad intraespecífica, interespecífica y de ecosistemas (UICN, 2020). De hecho, los humedales, siendo uno de los ecosistemas más biodiversos del mundo, albergan alrededor del 40% de todas las especies de plantas y animales existentes, muchos de los cuales tienen ciclos de vida que dependen exclusivamente de estos espacios (UICN, 2020). Pero más allá de la cantidad de especies, la biodiversidad de un humedal también se refleja en la diversidad de hábitats que proporciona, lo que a su vez sostiene una amplia gama de interacciones ecológicas y evolutivas (UICN, 2020).

El Humedal Sicarare es un testimonio palpable de esta riqueza biológica. Según investigaciones de la Corporación Autónoma Regional del Cesar – CORPOCESAR con la Unión Temporal de Asociación de Profesionales en Ambiente, Sanidad y Afines – ASOPROASA, este ecosistema alberga una notable variedad de fauna, desde mamíferos como el tigrillo, mapache, guacharaca, conejo silvestre y otros mamíferos de tamaño medio, hasta reptiles y anfibios tan variados como el caimán aguja, el mono aullador, y diversas serpientes como la mapaná X, la víbora de sangre, la boquidorada y la icónica boa constrictor. Estas especies, algunas de las cuales enfrentan amenazas en otros lugares, encuentran en el Humedal Sicarare un santuario vital para su supervivencia.

La conservación de la biodiversidad en humedales como Sicarare es esencial, no solo por su valor intrínseco, sino también por los servicios ecosistémicos que proporcionan, desde la purificación del agua hasta el control de plagas. Garantizar la salud y sostenibilidad de estos ecosistemas es imperativo para mantener los invaluable beneficios que ofrecen tanto a la naturaleza como a las comunidades humanas circundantes (UICN, 2020; Suram, s.f.).

### **6.3.1.5. Control de Plagas.**

Los humedales, con su intrincado entramado de vida, desempeñan un papel esencial en el control de plagas, proporcionando un balance natural que ayuda a regular las poblaciones de diversas especies (Convención de los Humedales (a), s.f.; Acosta, M.B, 2019). Este servicio ecosistémico, que se manifiesta de diversas maneras, es una rica muestra de la interacción entre diferentes niveles tróficos en el ecosistema, desde los pequeños microorganismos hasta los grandes depredadores (Convención de los Humedales (a), s.f.).

El control biológico de plagas es una manifestación de este servicio ecosistémico. En lugar de depender de químicos que pueden ser perjudiciales para el ambiente y para los seres humanos, los humedales facilitan el control natural de plagas mediante la promoción de depredadores naturales que mantienen a raya a las poblaciones de organismos dañinos (Acosta, M.B, 2019). Esto no solo es una alternativa sostenible y ecológica a largo plazo, sino que también es una solución que evita los efectos negativos de la resistencia a plaguicidas, la contaminación del suelo y el agua, y los efectos adversos en la salud humana (Acosta, M.B, 2019; Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], s.f.).

El Humedal Sicarare, situado dentro del Parque de la Leyenda Vallenata, es un ecosistema que, debido a su configuración y características, tiene un potencial intrínseco para el control de plagas. Su naturaleza relativamente cerrada reduce la posibilidad de introducción de especies invasoras o contaminantes externos. Sin embargo, esta misma característica lo hace vulnerable a la contaminación local, como los residuos de alimentos y tecnopor (icopor) provenientes del parque, que pueden alterar el equilibrio del ecosistema y afectar su capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos, incluido el control de plagas (FAO, s.f.).

Por lo tanto, es crucial abordar estas fuentes de contaminación para preservar la integridad del Humedal Sicarare y garantizar que continúe desempeñando su papel vital en el

control biológico de plagas. Una gestión adecuada del humedal, que incluya medidas de protección, limpieza y concientización, no solo beneficiará al ecosistema en sí, sino también a las comunidades circundantes, al potenciar la productividad agrícola y reducir la dependencia de plaguicidas químicos (Convención de los Humedales (a), s.f.; ).

### 6.3.1.6. Calidad del Agua.

Los humedales, en su función natural, actúan como purificadores del agua, proporcionando beneficios tanto a los ecosistemas locales como a las comunidades humanas que dependen de estas fuentes de agua (ONU, 2022). Estos ecosistemas absorben y filtran una variedad de contaminantes, desde productos químicos hasta patógenos, mejorando la calidad del agua que fluye a través de ellos (ONU, 2022). Sin embargo, la capacidad de un humedal para filtrar y purificar el agua puede verse comprometida cuando enfrenta inundaciones que traen consigo cargas excesivas de contaminantes.

El Humedal Sicarare es un ejemplo claro de cómo la intervención humana y la gestión inadecuada de los residuos pueden tener un impacto negativo en la calidad del agua de un humedal. La deposición de residuos sólidos, provenientes de eventos en el Parque de la Leyenda Vallenata, ha llevado a una acumulación de contaminantes en la laguna No. 2 (ONU, 2022). Esta acumulación no solo afecta directamente la calidad del agua en la laguna, sino que también tiene un impacto negativo en la biodiversidad acuática local, amenazando la salud y la supervivencia de la hidrobiota.

El hecho de que la laguna No. 2 esté conectada con el arroyo Sicarare amplía el alcance del problema. Los contaminantes pueden propagarse a lo largo del arroyo, afectando a otros ecosistemas y comunidades que dependen del arroyo para su suministro de agua y medios de vida. Además, la proliferación de algas y la eutrofización resultante de la sobrecarga de nutrientes pueden llevar al agotamiento de oxígeno, afectando aún más a la vida acuática y reduciendo la capacidad del humedal para actuar como un purificador natural (Sede para el Estudio de los Humedales Mediterráneos [SEHUMED], 1997).

Es imperativo abordar la gestión inadecuada de residuos en el Parque de la Leyenda Vallenata para proteger la salud del Humedal Sicarare. Implementar medidas de gestión de

residuos, restaurar áreas afectadas y educar al público sobre la importancia de los humedales pueden ser pasos esenciales para mitigar el impacto y proteger este valioso ecosistema. La conservación y restauración del Humedal Sicarare no solo protegerá su biodiversidad, sino que también garantizará que continúe desempeñando su papel esencial en la mejora de la calidad del agua para las generaciones futuras.

### **6.3.1.7. Producción de Alimentos.**

Los humedales, como el Humedal Sicarare, desempeñan un papel crucial en la producción de alimentos, y su salud y estabilidad tienen un impacto directo en la biodiversidad de especies tanto de flora como de fauna que dependen de estos ecosistemas para su supervivencia y reproducción (Convención de los Humedales (a), s.f.; FAO, 1996). La rica biodiversidad del Humedal Sicarare no solo representa un ecosistema vibrante y resiliente, sino que también indica la presencia de una cadena alimentaria robusta y equilibrada, donde cada eslabón, desde los microorganismos hasta los peces y aves, desempeña un papel vital en el mantenimiento del equilibrio ecológico.

Sin embargo, las inundaciones excesivas representan una amenaza significativa para esta delicada balanza. Al inundar el humedal, no solo se pone en peligro la vegetación, que es esencial para mantener la calidad del agua y proporcionar hábitats, sino que también puede alterar la química del agua, lo que puede tener impactos negativos en la vida acuática (FAO, 1996). Estos cambios pueden afectar la disponibilidad de alimentos, ya que los peces y otros organismos pueden encontrar menos recursos y enfrentar condiciones más hostiles, lo que puede llevar a la disminución de sus poblaciones.

La degradación de la vegetación a causa de inundaciones excesivas también puede afectar a los herbívoros que dependen de las plantas del humedal para su alimentación. Esto puede tener un efecto dominó en la cadena alimentaria, afectando a los depredadores que dependen de estos herbívoros para su sustento. Además, la introducción de contaminantes en el humedal ya sea directamente a través de las inundaciones o por escurrimientos, puede tener impactos negativos en la salud de la fauna y, por ende, en la disponibilidad y calidad de los alimentos producidos en el humedal (Dirección de Meteorología e Hidrología [DMH], 2008).

Para el Humedal Sicarare, es esencial implementar medidas que mitiguen los impactos negativos de las inundaciones. Esto podría incluir la construcción de barreras naturales o artificiales para controlar el flujo de agua, la restauración de áreas degradadas y la implementación de sistemas de monitoreo para detectar y responder rápidamente a cambios en la calidad del agua. La preservación de este humedal no solo es esencial para mantener su biodiversidad, sino también para garantizar que continúe desempeñando su papel en la producción de alimentos y en la salud del ecosistema en general.

### 6.3.1.8. Almacenamiento de Carbono.

El almacenamiento de carbono en humedales es una función ecológica esencial que desempeña un papel crucial en la regulación del ciclo global del carbono. Los humedales, con sus condiciones anóxicas, son excelentes capturadores y almacenadores de carbono. La materia orgánica, que incluye plantas muertas y detritos, se acumula y se descompone lentamente en el suelo saturado de agua de los humedales, convirtiendo estos ecosistemas en sumideros significativos de carbono (ONU, 2022; Alvis, T., et. Al., 2021).

El Humedal Sicarare, en particular, con su exuberante vegetación y árboles maderables, es probable que sea un sumidero de carbono efectivo. Estos árboles maderables, junto con la vegetación circundante, actúan como reservorios de carbono, capturando grandes cantidades de CO<sub>2</sub> de la atmósfera y almacenándolo en sus tejidos a medida que crecen (Convención de los Humedales (b), s.f.). Esta captura y almacenamiento de carbono ayudan a moderar el cambio climático al reducir la cantidad de CO<sub>2</sub>, un potente gas de efecto invernadero, en la atmósfera.

Sin embargo, las inundaciones prolongadas pueden tener un doble filo. Aunque las inundaciones pueden aportar nutrientes que favorezcan el crecimiento vegetal y, por ende, un mayor almacenamiento de carbono, también pueden causar la muerte de plantas, especialmente en áreas donde la vegetación no está adaptada a largos períodos de inundación. Cuando estas plantas mueren y se descomponen en condiciones aeróbicas, liberan el carbono almacenado en forma de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, contrarrestando así los beneficios del almacenamiento de carbono (Convención de los Humedales (b), s.f.).

Además, la introducción de contaminantes debido a las inundaciones puede tener efectos adversos en la salud de la vegetación del humedal. Los contaminantes pueden alterar la calidad del agua, lo que a su vez puede afectar la salud de los árboles maderables y otras plantas del Humedal Sicarare. Una vegetación menos saludable tiene una capacidad reducida para almacenar carbono, lo que puede disminuir la eficacia del humedal como sumidero de carbono (Convención de los Humedales (b), s.f.).

### **6.3.1.9. Recreación y Turismo.**

Los humedales, como el Humedal Sicarare, son ecosistemas ricos y diversos que ofrecen numerosas oportunidades para la recreación y el turismo. Estas áreas brindan un entorno natural impresionante y sereno donde los visitantes pueden conectarse con la naturaleza, observar la vida silvestre y aprender sobre la importancia ecológica de estos hábitats (Navarro, C., 2019).

El Humedal Sicarare, en particular, presenta una propuesta única para el turismo ecológico y pedagógico. Con sus senderos verdes poco transitados y exclusivos, se puede promover como un destino turístico sostenible donde los visitantes pueden experimentar la naturaleza en su estado más puro, sin las aglomeraciones y el ruido que a menudo se encuentran en destinos turísticos más populares (Convención de los Humedales, 2012). Estos senderos pueden ser utilizados para caminatas guiadas, observación de aves, fotografía de la naturaleza y otras actividades educativas que resaltan la biodiversidad y la importancia ecológica del humedal.

Sin embargo, las inundaciones prolongadas representan un desafío significativo para la promoción del turismo en el Humedal Sicarare. Las áreas que son inaccesibles debido a las inundaciones pueden resultar en la pérdida de oportunidades turísticas, especialmente si las instalaciones recreativas o los senderos se ven afectados (Convención de los Humedales, 2012). Además, el agua estancada por mal drenaje (encharcamientos) puede ser un caldo de cultivo para insectos como los mosquitos, lo que puede disuadir a los visitantes.

La introducción de contaminantes en el humedal, como resultado de inundaciones, también puede tener un impacto directo en la calidad de la experiencia turística. Los visitantes

esperan encontrar un ecosistema prístino y saludable. La presencia de contaminantes puede afectar negativamente la percepción de los visitantes sobre el humedal y disuadirlos de regresar o recomendar el lugar a otros (Unión Europea [UE], s.f.).

Por lo tanto, es esencial que se implementen medidas de gestión adecuadas para proteger el Humedal Sicarare de los impactos negativos de las inundaciones. Estas medidas pueden incluir la construcción de infraestructura sostenible, como pasarelas elevadas que permanezcan accesibles durante las inundaciones, y sistemas de filtrado o barreras para prevenir la entrada de contaminantes al humedal.

#### 6.3.1.10. Estabilidad del Suelo.

Los humedales, como el Humedal Sicarare, desempeñan un papel esencial en la estabilidad del suelo, contribuyendo a la prevención de la erosión y desempeñando una función vital en el mantenimiento de la integridad del ecosistema terrestre (ONU, 2022). La vegetación que se encuentra en estos ecosistemas, como los juncos, hierbas y árboles, tiene raíces que se entrelazan y actúan como una red, manteniendo unidos los suelos y evitando que se desplacen o se laven con facilidad (Convención de los Humedales (b), s.f.).

Sin embargo, las inundaciones prolongadas pueden ser perjudiciales para esta función esencial. El agua en movimiento puede erosionar el suelo y, si las inundaciones son persistentes, la vegetación puede morir, debilitando aún más la estructura del suelo (IPEEC, 2021). En el caso del Humedal Sicarare, la erosividad hídrica observada en la zona de recarga superficial de la Laguna No 1 indica un problema grave de erosión que, si no se aborda, podría tener impactos negativos a largo plazo en la estabilidad del suelo y la salud del ecosistema.

Además, la diferencia en la coloración del agua entre las lagunas puede ser un indicador de problemas de calidad del agua. La presencia de sedimentos en la Laguna No 1 durante la época de lluvias sugiere que el suelo se está erosionando y siendo transportado al cuerpo de agua. Estos sedimentos pueden asentarse en el fondo de la laguna, alterando el hábitat para la vida acuática y potencialmente introduciendo contaminantes que pueden afectar negativamente la salud del ecosistema (IPEEC, 2021).

Por lo tanto, es crucial tomar medidas para proteger el Humedal Sicarare y garantizar su salud a largo plazo. Esto podría incluir la implementación de barreras vegetativas o

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

estructuras físicas para reducir la erosión, así como monitorear la calidad del agua para detectar y abordar los problemas antes de que se vuelvan graves. La estabilidad del suelo no es solo importante para el humedal en sí, sino también para las comunidades circundantes que dependen del humedal para la recreación, el turismo y otros servicios ecosistémicos.



### 6.3.2. Identificación de Factores en la Vulnerabilidad del Humedal

Con base al análisis de los efectos que produce la inundación sobre los Servicios Ecosistémicos y la Biodiversidad, entonces, se identifican los factores de riesgo, amenazas y vulnerabilidades, esto se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 41. Factores de Riesgo, Amenazas y Vulnerabilidades del Humedal Sicarare

Servicios Ecosistémicos	Factores de Riesgo	Amenazas	Vulnerabilidades
Regulación Hídrica	Fuertes lluvias e inundaciones	Sobrecarga de agua en el humedal	1. Falta de sistemas eficientes de drenaje. 2. Obstrucción de los tubos de escape.
	Cambios climáticos (sequías)	Disminución del suministro de agua	Falta de almacenamiento y liberación gradual de agua.
	Actividad humana en la región	Obstrucción de canales y tubos	1. Falta de mantenimiento del canal hidráulico. 2. Acumulación de ramas y residuos en tubos de escape.
	Zonas de manejo de inundaciones	Acumulación de agua en la zona noreste	Falta de sistemas eficientes de evacuación en la zona noreste.
	Falta de cuidado ecológico	Erosiones y crecidas de los ríos	Falta de barreras vegetativas o estructuras físicas para reducir la erosión.
Recarga de Acuíferos	Variabilidad climática	Disminución en la recarga de acuíferos	Dependencia del tubo corrugado y el canal francés para la introducción de agua.
	Sequías	Escasez de agua en el humedal	Conexión limitada con el río Guatapurí y potencial reducción de la infiltración.
	Inundaciones y avenidas	Sobrebastecimiento y desbordamiento	Falta de sistemas adecuados de "detención-infiltración" para gestionar el exceso de agua.

Servicios Ecosistémicos	Factores de Riesgo	Amenazas	Vulnerabilidades
	Mayor demanda de agua	Agotamiento de las reservas de agua subterránea	Dependencia de la recarga artificial y falta de alternativas de suministro de agua.
	Desconexión con fuentes naturales	Interrupción del flujo de agua hacia el humedal	Dependencia de sistemas artificiales y potencial disminución de la biodiversidad y servicios ecosistémicos.
Fertilización del Suelo	Cambios en las características del suelo	Degradación de la fertilidad del suelo	Alta dependencia de la hidromorfía y salinidades propias del ecosistema.
	Inundaciones frecuentes	Escurrimiento inadecuado	Potencial pérdida de materiales aluviales ricos que nutren el suelo.
	Explotación agrícola prohibida	No aprovechamiento directo de la fertilidad	Limitación en el uso agrícola, aunque es una medida conservacionista.
	Alteración en la composición vegetal	Disminución de la materia orgánica	Dependencia de la vegetación predominante para aportar nutrientes al suelo.
	Gestión inapropiada de humedales	Pérdida de equilibrio ecológico	Vulnerabilidad de los servicios ecosistémicos y de la biodiversidad del humedal.
Apoyo a la Biodiversidad	Alta biodiversidad en flora y fauna	Pérdida de especies	Dependencia de muchas especies del humedal para su supervivencia.
	Diversidad de hábitats	Degradación de hábitats específicos	Interrupción de interacciones ecológicas y evolutivas.
	Refugio para especies amenazadas	Desplazamiento o extinción de especies	Vulnerabilidad de especies que ya enfrentan amenazas en otros lugares.
	Dependencia de servicios ecosistémicos	Disminución de la calidad y cantidad de servicios	Dependencia de comunidades humanas y otras especies de los servicios ecosistémicos.
Control de Plagas	Control biológico de plagas	Dependencia de plaguicidas químicos	Efectos adversos en la salud humana, resistencia a plaguicidas, contaminación del suelo y agua.
	Ecosistema relativamente cerrado	Introducción de especies invasoras	Vulnerabilidad a la contaminación local.

Servicios Ecosistémicos	Factores de Riesgo	Amenazas	Vulnerabilidades
	Contaminación local	Alteración del equilibrio del ecosistema	Reducción de la capacidad del humedal para proporcionar servicios ecosistémicos.
	Dependencia de servicios ecosistémicos	Contaminación por residuos (alimentos y tecnopor)	Afectación del control biológico de plagas en el humedal.
Calidad del Agua	Capacidad de filtración y purificación	Inundaciones con cargas excesivas de contaminantes	Compromiso de la función purificadora del humedal.
	Intervención humana	Depósito de residuos sólidos del Parque de la Leyenda Vallenata	Acumulación de contaminantes, afectación a la biodiversidad acuática.
	Conexión con el arroyo Sicarare	Propagación de contaminantes	Impacto a otros ecosistemas y comunidades dependientes del arroyo.
	Sobrecarga de nutrientes	Proliferación de algas, eutrofización	Agotamiento de oxígeno, afectación a la vida acuática, reducción de la capacidad purificadora.
Producción de Alimentos	Inundaciones excesivas	Alteración de la vegetación	Degradación del hábitat, pérdida de fuentes de alimento para herbívoros.
	Química del agua	Cambios en la composición del agua	Impacto en la vida acuática, reducción de recursos alimenticios para peces y otros organismos.
	Contaminación del humedal	Introducción de contaminantes	Impactos negativos en la salud de la fauna, afectación en la calidad y disponibilidad de alimentos.
	Degradación de la cadena alimentaria	Disminución de herbívoros y depredadores	Desbalance en el ecosistema, afectación a la biodiversidad.
Almacenamiento de Carbono	Inundaciones prolongadas	Muerte de plantas debido a inundación	Liberación de CO <sub>2</sub> a la atmósfera debido a la descomposición aeróbica.
	Calidad del agua	Introducción de contaminantes por inundaciones	Afectación de la salud de la vegetación, reducción en la capacidad de almacenar carbono.
	Salud de la vegetación	Muerte o debilitamiento de árboles maderables y otras plantas	Reducción en la eficacia del humedal como sumidero de carbono.



**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**



#PorelResurgirdelaUPC

Nota: Elaborado por los Investigadores, 2023.



[www.unicesar.edu.co](http://www.unicesar.edu.co)  
Campus Universitario Sabanas, Of. 105 D. PBX (57) (5) 5848217 EXT. 1129  
Línea de atención al ciudadano 01 8000 400380  
Valledupar Cesar Colombia

### 6.3.2.1. Factores de Riesgo.

Los humedales, especialmente el Humedal Sicarare, enfrentan una serie de factores de riesgo que amenazan su integridad y funcionalidad. De todos estos factores, las fuertes lluvias e inundaciones son las más comunes y, por ende, representan el mayor riesgo. Estos eventos naturales pueden alterar drásticamente la ecología del humedal, llevando a problemas como la erosividad hídrica y la acumulación de sedimentos que afectan la calidad del agua.

Agravando la situación, el cambio climático, particularmente las sequías, son el segundo factor de riesgo más significativo. Estos cambios, junto con la variabilidad climática, pueden causar sequías prolongadas o inundaciones frecuentes, desestabilizando aún más el ecosistema del humedal.

Adicionalmente, la actividad humana en la región y la gestión inapropiada de humedales han exacerbado los riesgos asociados con las inundaciones. Las zonas de manejo de inundaciones, aunque bien intencionadas, a menudo no logran prevenir la alteración en la composición vegetal y la degradación de la cadena alimentaria. Por otro lado, la falta de cuidado ecológico, la explotación agrícola prohibida y la contaminación local, particularmente proveniente del Parque de la Leyenda Vallenata, han llevado a una desconexión con fuentes naturales y cambios en las características del suelo.

Pese a su rica biodiversidad en flora y fauna, el Humedal Sicarare está en peligro. La alta diversidad de hábitats y su rol como refugio para especies amenazadas se ve amenazado por la intervención humana y los cambios climáticos. Además, su ecosistema relativamente cerrado lo hace más vulnerable a la contaminación local.

El humedal también desempeña un papel crucial en el control biológico de plagas. Sin embargo, el agua estancada debido a las inundaciones prolongadas puede generar encharcamientos, creando un ambiente propicio para la proliferación de mosquitos y otros insectos.

Finalmente, la capacidad del humedal para filtrar y purificar el agua está siendo desafiada por la conexión con el arroyo Sicarare, que lleva contaminantes y nutrientes al humedal. Estos factores, junto con la sobrecarga de nutrientes y los cambios en la química del agua, amenazan la salud de la vegetación y, por ende, la integridad general del ecosistema.

### 6.3.2.2. Amenazas al Humedal.

Los humedales, especialmente el Humedal Sicarare, enfrentan numerosas amenazas que comprometen su salud y vitalidad. La sobrecarga de agua en el humedal encabeza la lista como la amenaza más predominante. Esta condición, causada en gran parte por obstrucciones en canales y tubos, lleva a una acumulación de agua, especialmente en la zona noreste. Esta retención excesiva de agua puede tener repercusiones negativas, como la erosión y las crecidas de los ríos.

En contraste, la disminución del suministro de agua al humedal es otra amenaza significativa. Esto, junto con la disminución en la recarga de acuíferos y la escasez de agua en el humedal, puede conducir a un agotamiento de las reservas de agua subterránea y una interrupción del flujo de agua hacia el humedal. El sobreabastecimiento y desbordamiento, por otro lado, pueden agravar la sobrecarga de agua en el humedal.

La salud del suelo en el humedal también está en peligro. La degradación de la fertilidad del suelo, provocada por escurrimientos inadecuados y la no utilización directa de su fertilidad, lleva a la disminución de la materia orgánica. Esto puede desencadenar una pérdida del equilibrio ecológico, una reducción de especies y la degradación de hábitats específicos.

Adicionalmente, el humedal se enfrenta a la amenaza de la introducción de especies invasoras, lo que puede alterar el equilibrio del ecosistema. Esto, combinado con la contaminación por residuos, en particular alimentos y tecnopor, puede tener efectos devastadores. Las inundaciones con cargas excesivas de contaminantes, junto con el depósito de residuos sólidos provenientes del Parque de la Leyenda Vallenata, pueden propagar contaminantes, causando problemas como la proliferación de algas y la eutrofización.

La salud de la flora y fauna del humedal también se ve amenazada. La muerte de plantas debido a inundaciones, la alteración de la vegetación y los cambios en la composición del agua pueden desencadenar la muerte o debilitamiento de árboles maderables y otras plantas. La introducción de contaminantes puede llevar a la disminución de herbívoros y depredadores, desplazando o incluso llevando a la extinción de ciertas especies.

Por último, las áreas inaccesibles por inundación y la proliferación de mosquitos, junto con la erosión del suelo y la erosión en la zona de recarga superficial, indican la magnitud del desafío que enfrenta el Humedal Sicarare. Es fundamental abordar todas estas amenazas para proteger y conservar este ecosistema vital.

### **6.3.2.3. Vulnerabilidad del Humedal.**

El Humedal Sicarare, como muchos otros ecosistemas, enfrenta una serie de vulnerabilidades que amenazan su estabilidad y salud. Una de las vulnerabilidades más acuciantes es la falta de sistemas eficientes de drenaje. Esta deficiencia, exacerbada por la obstrucción de los tubos de escape y la acumulación de ramas y residuos, impide un adecuado manejo del agua. Esta situación se agrava debido a la falta de almacenamiento y liberación gradual de agua, así como a la ausencia de sistemas eficientes de evacuación en la zona noreste. Esta carencia resulta en inundaciones y acumulaciones no deseadas de agua.

La falta de barreras vegetativas o estructuras físicas para reducir la erosión del suelo es otra vulnerabilidad crítica. La dependencia del tubo corrugado y el canal francés para la introducción de agua, junto con una conexión limitada con el río Guatapurí, puede llevar a una potencial reducción de la infiltración. Esta situación es preocupante, especialmente cuando se combina con la falta de sistemas adecuados de "detención-infiltración" para gestionar el exceso de agua y la dependencia de la recarga artificial sin alternativas de suministro.

El ecosistema también muestra una dependencia preocupante de sistemas artificiales, lo que podría conducir a una potencial disminución de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos. La alta dependencia de la hidromorfía y las salinidades propias del ecosistema, junto con la potencial pérdida de materiales aluviales ricos que nutren el suelo, agravan esta vulnerabilidad.

Otro factor de vulnerabilidad es la limitación en el uso agrícola, aunque esta medida tiene un enfoque conservacionista. La dependencia de la vegetación predominante para aportar nutrientes al suelo refuerza la vulnerabilidad de los servicios ecosistémicos y la biodiversidad del humedal. Esta situación se vuelve aún más crítica cuando consideramos la dependencia de muchas especies del humedal para su supervivencia y la interrupción de interacciones ecológicas y evolutivas.

Por otro lado, la vulnerabilidad a la contaminación local representa una amenaza significativa. Los efectos adversos en la salud humana, como la resistencia a plaguicidas y la contaminación del suelo y agua, son preocupaciones adicionales. Las inundaciones prolongadas y la liberación de CO<sub>2</sub> debido a la descomposición aeróbica, junto con la afectación de la salud de la vegetación, reducen la capacidad del humedal para actuar como sumidero de carbono.

Finalmente, el potencial turístico del humedal también se ve amenazado. Las áreas inaccesibles por inundación pueden resultar en pérdida de oportunidades turísticas y de ingresos. La percepción negativa de los visitantes sobre el estado del humedal, exacerbada por la presencia de mosquitos y otras molestias, puede reducir la atracción turística. La pérdida de vegetación y la desestabilización del suelo, junto con la amenaza a la integridad de la Laguna No 1 y la alteración del hábitat acuático, son preocupaciones adicionales que requieren atención inmediata. Es fundamental abordar estas vulnerabilidades para proteger y conservar este invaluable ecosistema.

#### 6.3.2.4. Calificación del Riesgo.

Para la calificación del riesgo, se utilizó el método de la Probabilidad-Impacto, considerando que el riesgo es igual a la multiplicación de estas dos variables, y los valores y descriptores de estas se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 42. Criterios para la calificación del Riesgo

Probabilidad		Impacto	
Valor	Descriptor	Valor	Descriptor
1	Rara vez	1	Insignificante
2	Improbable	2	Menor
3	Posible	3	Moderado
4	Probable	4	Mayor
5	Casi seguro	5	Catastrófico

Nota: Tomado y adaptado del Norma Técnica-colombiana 5254 del 2008 y del Departamento Administrativo de la Función Pública (DAFP).

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

En la siguiente tabla se presenta la calificación realizada para los factores de riesgos identificados (37 en total, repartidos por en los Servicios Ecosistémicos):

Tabla 43. Calificación de la Probabilidad, Impacto y Riesgo

Factores de Riesgo	Probabilidad		Impacto		Nivel de Riesgo	
	Valor	Descriptor	Valor	Descriptor	Valor	Descriptor
Fuertes lluvias e inundaciones	5	Casi seguro	5	Catastrófico	25	Extremo
Cambios climáticos (sequías)	4	Probable	4	Mayor	16	Extremo
Actividad humana en la región	5	Casi seguro	4	Mayor	20	Extremo
Zonas de manejo de inundaciones	3	Posible	3	Moderado	9	Alto
Falta de cuidado ecológico	4	Probable	4	Mayor	16	Extremo
Variabilidad climática	4	Probable	4	Mayor	16	Extremo
Sequías	4	Probable	4	Mayor	16	Extremo
Inundaciones y avenidas	5	Casi seguro	5	Catastrófico	25	Extremo
Mayor demanda de agua	3	Posible	3	Moderado	9	Alto
Desconexión con fuentes naturales	3	Posible	3	Moderado	9	Alto
Cambios en las características del suelo	3	Posible	3	Moderado	9	Alto
Inundaciones frecuentes	5	Casi seguro	5	Catastrófico	25	Extremo
Explotación agrícola prohibida	2	Improbable	2	Menor	4	Bajo
Alteración en la composición vegetal	3	Posible	3	Moderado	9	Alto
Gestión inapropiada de humedales	4	Probable	4	Mayor	16	Extremo
Alta biodiversidad en flora y fauna	3	Posible	3	Moderado	9	Alto
Diversidad de hábitats	3	Posible	3	Moderado	9	Alto

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

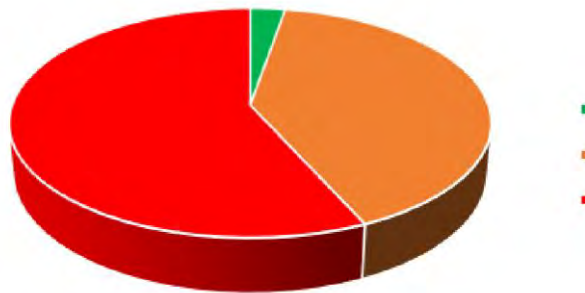
Factores de Riesgo	Probabilidad		Impacto		Nivel de Riesgo	
	Valor	Descriptor	Valor	Descriptor	Valor	Descriptor
Refugio para especies amenazadas	3	Posible	3	Moderado	9	Alto
Dependencia de servicios ecosistémicos	4	Probable	4	Mayor	16	Extremo
Control biológico de plagas	3	Posible	3	Moderado	9	Alto
Ecosistema relativamente cerrado	3	Posible	3	Moderado	9	Alto
Contaminación local	4	Probable	4	Mayor	16	Extremo
Dependencia de servicios ecosistémicos	4	Probable	4	Mayor	16	Extremo
Capacidad de filtración y purificación	3	Posible	3	Moderado	9	Alto
Intervención humana	5	Casi seguro	5	Catastrófico	25	Extremo
Conexión con el arroyo Sicarare	4	Probable	4	Mayor	16	Extremo
Sobrecarga de nutrientes	4	Probable	4	Mayor	16	Extremo
Inundaciones excesivas	5	Casi seguro	5	Catastrófico	25	Extremo
Química del agua	3	Posible	3	Moderado	9	Alto
Contaminación del humedal	4	Probable	4	Mayor	16	Extremo
Degradación de la cadena alimentaria	4	Probable	4	Mayor	16	Extremo
Inundaciones prolongadas	5	Casi seguro	5	Catastrófico	25	Extremo
Calidad del agua	3	Posible	3	Moderado	9	Alto
Salud de la vegetación	3	Posible	3	Moderado	9	Alto
Agua estancada (encharcamientos)	4	Probable	4	Mayor	16	Extremo
Erosividad hídrica	4	Probable	4	Mayor	16	Extremo
Diferencia en coloración del agua	3	Posible	3	Moderado	9	Alto

Nota: Elaborado por los Investigadores, 2023.

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

Al hacer un análisis de frecuencia de la columna correspondiente al riesgo, se identifica que solo un (1) riesgo es clasificado como Bajo, por otra parte, quince (15) riesgos es clasificados como alto y hay veintiún (21) riesgos clasificados como extremos. De manera porcentual, se pueden distribuir, así como se aprecia en la siguiente figura:

Figura 46. Clasificación porcentual de los Factores de riesgo del Humedal Sicarare



Nota: Elaborado por los Investigadores, 2023.

Este desglose proporciona una vista clara de cuán amenazado puede estar el Humedal Sicarare en función de los factores de riesgo y su clasificación. Es evidente que muchos de los riesgos se clasifican como "Extremo", lo que resalta la necesidad de intervenciones y medidas de gestión adecuadas para proteger este valioso ecosistema.

En resumen, para finalizar los resultados de este trabajo se puede decir que las inundaciones representan una amenaza significativa para el Humedal Sicarare, exacerbando y potenciando otros factores de riesgo presentes en el ecosistema. Como se evidencia en los resultados de esta investigación, la ocurrencia de inundaciones intensifica diversos riesgos, llevando a muchos de ellos a categorizarse como "Extremo". Esta interacción entre inundaciones y otros factores de riesgo subraya la urgencia de implementar medidas preventivas y correctivas. Es imperativo abordar este desafío para garantizar la preservación y salud sostenible del humedal en el futuro.

### 6.3.2.5. Medidas Para Reducción Del Riesgo.

Con base a lo establecido anteriormente, se definieron siete categorías con el objeto de crear medidas para la reducción del riesgo por inundación, estas se agruparon en riesgos climatológicos y meteorológicos, hidrológicos y del suelo, humanos y actividades antrópicas, biológicos y ecológicos, contaminación y químicos, gestión del agua y estructurales y, por último, condiciones físicas y del hábitat. A continuación, se presentan las medidas establecidas:

Tabla 44. Medidas para factores de riesgos climatológicos y meteorológicos

---

**Descripción:**

Este plan de manejo está diseñado para mitigar el impacto de inundaciones en el humedal Sicarare, protegiendo su biodiversidad y los servicios ecosistémicos que ofrece, mejorando la resiliencia de la zona frente a fenómenos climatológicos extremos.

**Objetivos:**

**General:** Incrementar la capacidad del humedal Sicarare para manejar y recuperarse de eventos de inundación.

**Específicos:** Implementar soluciones de infraestructura verde y gris para la prevención y manejo de inundaciones; educar y capacitar a la comunidad local en prácticas de gestión de riesgos y respuestas a inundaciones.

**Acciones:**

- Construcción de terraplenes y sistemas de drenaje mejorados.
- Reforestación con especies nativas para mejorar la absorción y retención de agua.
- Programas educativos para la comunidad sobre gestión de inundaciones y conservación del humedal.

**Indicadores:**

- Número y severidad de inundaciones post-implementación.
- Hectáreas de vegetación nativa plantada.
- Porcentaje de la comunidad que participa en programas de capacitación.

**Metas:**

- Reducir en un 50% la incidencia de inundaciones severas dentro de 3 años.
- Plantar y mantener 10 hectáreas de vegetación nativa cada año.
- Capacitar al 100% de los hogares en la zona de influencia del humedal sobre gestión de inundaciones en el primer año.

**Tiempo de ejecución:**

- Fase de implementación: 2 años.
- Fase de seguimiento y evaluación: 3 años adicionales.

**Recursos Humanos:**

- Un coordinador de proyecto.
- Dos ingenieros hidráulicos.

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

- Un especialista en restauración ecológica.
- Un educador ambiental.
- Personal de apoyo para implementación y mantenimiento.

**Recursos Materiales y Logísticos:**

- Maquinaria para la construcción de terraplenes y sistemas de drenaje.
- Semillas y plantas de especies nativas para reforestación.
- Materiales educativos y logística para talleres y capacitaciones.

**Detallado del Presupuesto (en pesos colombianos):**

- Infraestructura: \$200,000,000.
- Reforestación: \$50,000,000.
- Educación y capacitación: \$20,000,000.
- Salarios y honorarios: \$100,000,000.
- Mantenimiento y monitoreo: \$30,000,000 anuales.

**Responsables:**

Autoridades ambientales locales: Coordinación general y supervisión.

Entidades de gestión de riesgos y cambio climático: Apoyo técnico y financiamiento.

Comunidad local y asociaciones: Participación y colaboración en la ejecución y mantenimiento.

ONGs ambientales: Asistencia técnica en reforestación y educación ambiental.

Nota: La asignación de presupuestos y la selección de personal dependerían de una evaluación detallada del proyecto y la disponibilidad de fondos.

Tabla 45. Medidas para factores de riesgos hidrológicos y del suelo

**Descripción:**

Este proyecto tiene como finalidad abordar los riesgos hidrológicos y de suelo que afectan al humedal Sicarare, con el propósito de preservar su integridad estructural y funcional frente a inundaciones y erosión del suelo.

**Objetivos:**

**General:** Mejorar la gestión del agua y la calidad del suelo en el humedal Sicarare para prevenir y mitigar los efectos adversos de inundaciones.

**Específicos:** Estabilizar el suelo y optimizar el sistema de drenaje del humedal para controlar el flujo del agua y prevenir la erosión.

**Acciones:**

- Implementación de bioingeniería para estabilización de suelos, como terrazas vivas y barreras vegetativas.
- Mejora de la red de drenaje con canales revestidos y áreas de retención temporal de agua.
- Monitoreo constante de los niveles de agua y calidad del suelo.

**Indicadores:**

- Disminución en la incidencia y severidad de erosión del suelo.
- Niveles de retención y tiempo de desagüe del humedal durante y después de lluvias intensas.
- Mejora en la calidad y estructura del suelo medida por indicadores físico-químicos.

**Metas:**

- Reducir en un 40% la erosión del suelo en zonas críticas dentro de 2 años.
- Mantener los niveles de agua dentro de rangos seguros para la biodiversidad del humedal durante todo el año.

**Tiempo de ejecución:**

- Instalación de medidas estructurales: 1 año.

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

- Estabilización de suelos y reforestación: 2 años.
- Monitoreo y ajustes: Continuo, con evaluaciones anuales.

**Recursos Humanos:**

- Un ingeniero civil con especialización en hidrología.
- Un geólogo o ingeniero geotécnico.
- Técnicos y obreros para construcción y mantenimiento.
- Un biólogo o ecólogo para supervisar la integración con la biodiversidad del humedal.

**Recursos Materiales y Logísticos:**

- Materiales para bioingeniería como estacas vivas, geotextiles, plantas de cobertura.
- Maquinaria para excavación y conformación de terrazas y canales.
- Equipos de monitoreo de agua y suelo.

**Detallado del Presupuesto (en pesos colombianos):**

- Bioingeniería y estabilización del suelo: \$120,000,000.
- Mejoras de drenaje: \$150,000,000.
- Monitoreo y mantenimiento: \$30,000,000 anuales.
- Personal: \$80,000,000 anuales.

**Responsables:**

- La autoridad ambiental local como líder del proyecto.
- El departamento de gestión de riesgos para la logística y financiación.
- La comunidad local y organizaciones ambientales en roles de apoyo y vigilancia.
- Un equipo de expertos para la ejecución técnica y seguimiento.

Nota: La asignación de presupuestos y la selección de personal dependerían de una evaluación detallada del proyecto y la disponibilidad de fondos.

Tabla 46. Medidas para factores de riesgos humanos y actividades antrópicas

**Descripción:**

El proyecto se enfoca en abordar los riesgos asociados a las actividades humanas y antrópicas que afectan al humedal Sicarare, buscando mitigar impactos negativos como la contaminación, la degradación del hábitat y la alteración del ecosistema.

**Objetivos:**

**General:** Reducir el impacto negativo de las actividades humanas en el humedal Sicarare.

**Específicos:** Controlar la contaminación, restaurar áreas degradadas y fomentar la participación comunitaria en la conservación del humedal.

**Acciones:**

- Campañas de educación ambiental y concienciación comunitaria.
- Implementación de un sistema de gestión de residuos y vertimientos en el área del humedal.
- Restauración de áreas afectadas por actividades humanas, como reforestación y rehabilitación de hábitats.

**Indicadores:**

- Reducción en la cantidad de residuos y contaminantes en el humedal.
- Número de participantes en programas de educación ambiental.
- Áreas restauradas y reforestadas en hectáreas.

**Metas:**

- Disminuir en un 60% la cantidad de residuos en el humedal en 2 años.
- Educar al 90% de la población local sobre la conservación del humedal en 1 año.
- Restaurar 3 hectáreas de áreas degradadas en 3 años.

**Tiempo de ejecución:**

- Campañas de educación y concienciación: 1 año.
- Implementación de sistema de gestión de residuos: 1 año.
- Restauración de áreas: 3 años.

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

**Recursos Humanos:**

- Educadores ambientales.
- Expertos en restauración ecológica.
- Personal de limpieza y mantenimiento.

**Recursos Materiales y Logísticos:**

- Materiales para campañas educativas (folletos, carteles, medios digitales).
- Equipos y suministros para gestión de residuos (contenedores, señalización).
- Herramientas y plantas para reforestación y restauración.

**Detallado del Presupuesto (en pesos colombianos):**

- Campañas educativas: \$30,000,000.
- Sistema de gestión de residuos: \$50,000,000.
- Restauración de áreas: \$70,000,000.
- Salarios y honorarios: \$60,000,000 anuales.

**Responsables:**

La autoridad ambiental local: liderazgo y coordinación.

ONGs y grupos comunitarios: implementación de educación y sensibilización.

Empresas locales: apoyo y financiación de proyectos de restauración.

Nota: La asignación de presupuestos y la selección de personal dependerían de una evaluación detallada del proyecto y la disponibilidad de fondos.

Tabla 47. Medidas para factores de riesgos biológicos y ecológicos

**Descripción:**

El proyecto se centra en mitigar los riesgos biológicos y ecológicos en el humedal Sicarare, tales como la invasión de especies exóticas, enfermedades y la pérdida de biodiversidad, exacerbados por inundaciones.

**Objetivos:**

**General:** Mejorar la salud ecológica y la biodiversidad del humedal Sicarare.

**Específicos:** Controlar las especies invasoras, proteger la flora y fauna nativas, y restaurar ecosistemas dañados.

**Acciones:**

- Erradicación y control de especies invasoras.
- Programas de monitoreo y conservación de especies nativas.
- Restauración de hábitats afectados por inundaciones.

**Indicadores:**

- Número de especies invasoras controladas o erradicadas.
- Estado de conservación de especies nativas y hábitats.
- Áreas restauradas y recuperación de biodiversidad.

**Metas:**

- Erradicar o controlar todas las especies invasoras identificadas en 2 años.
- Mejorar el estado de conservación de al menos 70% de las especies nativas en 3 años.
- Restaurar 4 hectáreas de hábitats en 3 años.

**Tiempo de ejecución:**

- Control de especies invasoras: 2 años.
- Monitoreo y conservación: Continuo, con evaluaciones semestrales.
- Restauración de hábitats: 3 años.

**Recursos Humanos:**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

- Biólogos especializados en ecología y especies invasoras.
- Técnicos en restauración ecológica.
- Personal para monitoreo y mantenimiento.

**Recursos Materiales y Logísticos:**

- Herramientas y equipo para erradicación de especies invasoras.
- Materiales para restauración de hábitats (plantas nativas, sustratos, etc.).
- Equipos de monitoreo y laboratorio para seguimiento biológico.

**Detallado del Presupuesto (en pesos colombianos):**

- Control de especies invasoras: \$40,000,000.
- Programas de monitoreo y conservación: \$60,000,000.
- Restauración de hábitats: \$100,000,000.
- Salarios y operación: \$80,000,000 anuales.

**Responsables:**

Autoridades ambientales locales y regionales: Dirección y financiación.

Universidades y centros de investigación: Asesoría técnica y monitoreo.

Comunidades y ONGs locales: Participación en acciones de conservación y restauración.

Nota: La asignación de presupuestos y la selección de personal dependerían de una evaluación detallada del proyecto y la disponibilidad de fondos.

Tabla 48. Medidas para factores de riesgos contaminación y químicos

**Descripción:**

El proyecto aborda la contaminación química en el humedal Sicarare, enfocándose en la reducción de sustancias contaminantes y mejora de la calidad del agua, afectada por actividades antrópicas y eventos de inundación.

**Objetivos:**

**General:** Reducir la contaminación química y mejorar la calidad del agua en el humedal Sicarare.

**Específicos:** Identificar y mitigar fuentes de contaminación, restaurar áreas afectadas y promover prácticas sostenibles.

**Acciones:**

- Monitoreo y análisis de la calidad del agua para identificar contaminantes.
- Implementación de barreras filtrantes y sistemas de tratamiento de aguas.
- Campañas de sensibilización sobre la gestión de residuos y contaminación.

**Indicadores:**

- Disminución en los niveles de contaminantes identificados en el agua.
- Número de barreras y sistemas de tratamiento implementados.
- Participación comunitaria en campañas de sensibilización.

**Metas:**

- Reducir en un 50% los niveles de contaminantes principales en 2 años.
- Instalar 5 sistemas de tratamiento de aguas en el primer año.
- Alcanzar una participación del 80% de la comunidad local en programas de sensibilización en 1 año.

**Tiempo de ejecución:**

- Monitoreo y análisis: Continuo con informes trimestrales.
- Implementación de sistemas de tratamiento: 1 año.
- Campañas de sensibilización: Continuas, con eventos trimestrales.

**Recursos Humanos:**



**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

- Especialistas en calidad del agua y tratamiento.
- Educadores ambientales.
- Técnicos para instalación y mantenimiento de sistemas.

**Recursos Materiales y Logísticos:**

- Equipos de monitoreo de agua y laboratorio.
- Materiales para sistemas de filtración y tratamiento.
- Recursos para campañas educativas y de sensibilización.

**Detallado del Presupuesto (en pesos colombianos):**

- Monitoreo y análisis de agua: \$30,000,000.
- Sistemas de tratamiento de aguas: \$150,000,000.
- Campañas de sensibilización: \$20,000,000.
- Salarios y operaciones: \$70,000,000 anuales.

**Responsables:**

Autoridades ambientales locales: Supervisión y apoyo.

Entidades de gestión de agua y saneamiento: Implementación técnica.

ONGs y organizaciones comunitarias: Educación y sensibilización.

Nota: La asignación de presupuestos y la selección de personal dependerían de una evaluación detallada del proyecto y la disponibilidad de fondos.

Tabla 48. Medidas para factores de riesgos gestión del agua y estructurales

**Descripción:**

Este proyecto se enfoca en mejorar la gestión del agua y reforzar la infraestructura del humedal Sicarare para prevenir daños causados por inundaciones y asegurar su adecuado funcionamiento hidrológico.

**Objetivos:**

**General:** Mejorar el manejo del agua y la infraestructura en el humedal Sicarare para prevenir inundaciones y conservar su ecosistema.

**Específicos:** Construir y mantener estructuras hidráulicas eficientes, y asegurar la gestión sostenible del agua en el humedal.

**Acciones:**

- Construcción de diques, barreras y sistemas de drenaje para controlar el flujo de agua.
- Mantenimiento y mejora de la infraestructura existente para prevenir inundaciones.
- Implementación de sistemas de recogida y almacenamiento de agua de lluvia.

**Indicadores:**

- Eficacia de las estructuras en la regulación del nivel del agua.
- Reducción en la frecuencia y severidad de inundaciones.
- Capacidad de almacenamiento de agua en épocas de lluvia.

**Metas:**

- Construir 3 nuevos sistemas de drenaje en 1 año.
- Reducir la incidencia de inundaciones en un 50% en 2 años.
- Aumentar la capacidad de almacenamiento de agua en un 30% en 2 años.

**Tiempo de ejecución:**

- Construcción de nuevas estructuras: 1-2 años.
- Mantenimiento y mejora continua: Ongoing, con revisiones semestrales.

**Recursos Humanos:**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

- Ingenieros hidráulicos y civiles.
- Técnicos de construcción y mantenimiento.
- Personal de supervisión y gestión de proyectos.

**Recursos Materiales y Logísticos:**

- Materiales de construcción para diques y sistemas de drenaje.
- Equipos de construcción y mantenimiento.
- Sistemas de monitoreo hidrológico.

**Detallado del Presupuesto (en pesos colombianos):**

- Construcción de estructuras: \$200,000,000.
- Mantenimiento y mejora de infraestructura: \$50,000,000 anuales.
- Monitoreo y gestión de proyectos: \$40,000,000 anuales.

**Responsables:**

La autoridad de manejo de aguas local: Coordinación y financiación.

Empresas de construcción y consultoría: Ejecución técnica.

Organizaciones ambientales y comunitarias: Supervisión y colaboración.

Nota: La asignación de presupuestos y la selección de personal dependerían de una evaluación detallada del proyecto y la disponibilidad de fondos.

Tabla 48. Medidas para factores de riesgos condiciones físicas y del hábitat

**Descripción:**

Este proyecto se enfoca en mejorar las condiciones físicas y del hábitat en el humedal Sicarare, particularmente tras eventos de inundación, para preservar su integridad ecológica y biodiversidad.

**Objetivos:**

**General:** Mejorar y mantener las condiciones físicas y del hábitat en el humedal Sicarare.

**Específicos:** Restaurar áreas dañadas, promover la diversidad de hábitats y garantizar la sostenibilidad ecológica del humedal.

**Acciones:**

- Restauración de áreas afectadas por inundaciones, incluyendo reforestación y rehabilitación de hábitats.
- Creación de zonas buffer para proteger el humedal de impactos externos.
- Monitoreo y manejo de la biodiversidad y condiciones del hábitat.

**Indicadores:**

- Áreas restauradas y mejoradas en términos de diversidad de hábitat.
- Mejora en los indicadores de calidad de hábitat y biodiversidad.
- Efectividad de las zonas buffer en la reducción de impactos externos.

**Metas:**

- Restaurar 4 hectáreas de hábitat en 3 años.
- Establecer y mantener efectivas zonas buffer en un plazo de 2 años.
- Lograr un aumento del 20% en indicadores de biodiversidad en 3 años.

**Tiempo de ejecución:**

- Restauración de hábitats: 3 años.

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

- Establecimiento de zonas buffer: 2 años.
- Monitoreo y manejo continuo con revisiones semestrales.

**Recursos Humanos:**

- Especialistas en restauración de ecosistemas y manejo de humedales.
- Biólogos y ecólogos para monitoreo de biodiversidad.
- Personal de mantenimiento y supervisión.

**Recursos Materiales y Logísticos:**

- Materiales para restauración de hábitats (plantas nativas, sustratos, etc.).
- Herramientas y equipos para construcción y mantenimiento de zonas buffer.
- Equipos de monitoreo y laboratorio.

**Detallado del Presupuesto (en pesos colombianos):**

- Restauración de hábitats: \$120,000,000.
- Implementación de zonas buffer: \$80,000,000.
- Monitoreo y manejo de biodiversidad: \$50,000,000 anuales.

**Responsables:**

Autoridades ambientales y de manejo de humedales: Coordinación y supervisión.

Organizaciones de conservación y ONGs: Apoyo técnico y ejecución.

Comunidades locales: Participación y monitoreo continuo.

Nota: La asignación de presupuestos y la selección de personal dependerían de una evaluación detallada del proyecto y la disponibilidad de fondos.

## 7. CONCLUSIONES

La investigación en el humedal Sicarare ha revelado información valiosa sobre su formación, historia y características hidrológicas. Desde su primera inundación notable en 1998, debido a la intercepción del nivel freático, el humedal ha presentado varios hitos que destacan su capacidad de drenaje y adaptabilidad al entorno. Durante la visita de campo, se identificaron marcas particulares en rocas que sirvieron como testigos del nivel histórico del agua. Una de estas rocas, con una altura de 1,08 metros, fue estratégicamente posicionada para monitorear el nivel del agua en la Laguna No. 2. Basándose en los sedimentos adheridos a esta roca, se dedujo que los niveles comunes de inundación de la laguna alcanzan elevaciones de hasta 0,85 metros respecto a la cota superficial en esa área.

Adicionalmente, las observaciones en la cara NE del humedal destacaron la presencia de rocas ignimbritas, que han sido erosionadas y moldeadas a lo largo de los años, presumiblemente por el río Guatapurí. Esta erosión sugiere que el río ha tenido un papel significativo en la formación del paisaje circundante, conectando ecológicamente al humedal con áreas cercanas, como el cerro Hurtado. Es interesante notar que el arroyo Sicarare, en un tramo no superior a los 100 metros, se convierte en un flujo subsuperficial, especialmente durante la estación seca, generando un terreno inestable y movedizo en la zona menos accesible del humedal.

En cuanto a la sostenibilidad hídrica del complejo lagunar, se encontró que casi la totalidad (96%) del caudal proviene de un tubo corrugado de alimentación, con fuentes menores que incluyen aguas subterráneas y aguas contaminadas del canal adyacente a la Laguna No. 1. Estas mediciones, realizadas durante la estación lluviosa, sugieren un flujo constante de aproximadamente 0,015 L/s. A través de la determinación de las curvas de nivel, se pudo calcular el área y el volumen de las lagunas, siendo la Laguna No. 2 la de mayor capacidad. Estos datos, junto con los hallazgos anteriores, ofrecen una comprensión detallada del humedal Sicarare y subrayan la importancia de su conservación y gestión adecuada.

La simulación hidrológica del Humedal Sicarare ha proporcionado una visión clara y detallada del comportamiento de las aguas en el área durante eventos extremos de precipitación.

Utilizando el método de números aleatorios de Lutz Schulz, el modelo matemático construido demostró ser altamente preciso, con un coeficiente de correlación múltiple cercano a la perfección y un coeficiente de determinación  $r^2$  excepcionalmente alto. Estos valores reflejan la relación fuerte entre las variables de caudal del mes actual, el caudal del mes anterior y la precipitación efectiva del mes actual. A pesar de la precisión del modelo, es crucial reconocer la presencia de un error típico, que sugiere la influencia de otros factores no incluidos en el modelo.

La simulación también reveló la relación entre la duración de las precipitaciones y su intensidad. Específicamente, precipitaciones más cortas tienden a tener mayor intensidad, mientras que precipitaciones más prolongadas tienen intensidades más bajas, lo que concuerda con las curvas IDF y con la experiencia práctica en la región. Esta relación es crucial para entender cómo diferentes tipos de lluvias pueden afectar al humedal. Por ejemplo, una precipitación de 120 minutos, con baja intensidad, puede producir una lámina de agua de aproximadamente 0,76 metros. Esta información es vital para prepararse y responder a eventos de precipitación extremos.

Así de esta manera, la simulación en ArcScene, utilizando el Modelo Digital del Terreno, ofreció una representación visual de cómo eventos extremos de precipitación impactarían el Humedal Sicarare y sus alrededores. Los resultados mostraron que un aumento de 0,77 metros en la inundación llevaría a una inundación significativa en las lagunas, afectando la infraestructura circundante, el ecosistema local y la fauna nativa. La Laguna No. 2, en particular, mostró una tendencia a desbordarse hacia la Laguna No. 1, lo que podría tener repercusiones para el arroyo Sicarare y las áreas circundantes. Estos hallazgos subrayan la importancia de tener estrategias de gestión de inundaciones adecuadas para proteger tanto el entorno natural como las infraestructuras humanas en la zona.

Los humedales, entre los que destaca el Humedal Sicarare, son fundamentales para el equilibrio ecológico y la sostenibilidad de nuestro planeta. Estas regiones acuáticas no solo

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

funcionan como reguladores hídricos naturales, mitigando inundaciones y proporcionando agua en tiempos de sequía, sino que también son cruciales para la biodiversidad, albergando una vasta variedad de especies y desempeñando un papel vital en procesos como la purificación del agua, el control de plagas, y la fertilización de los suelos.

Sin embargo, el Humedal Sicarare enfrenta desafíos significativos, desde inundaciones excesivas y retención de agua problemática debido a obstrucciones, hasta amenazas antropogénicas como la contaminación derivada de actividades humanas cercanas. La adecuada gestión y conservación de este humedal no solo beneficia a la biodiversidad y al ambiente, sino también a las comunidades humanas que dependen de sus servicios ecosistémicos.

Por otro lado, la creciente variabilidad climática y el cambio global, junto con la intervención humana, han intensificado los desafíos que enfrentan estos ecosistemas. La erosión, la contaminación, y la introducción de especies invasoras son amenazas que pueden comprometer la integridad del Humedal Sicarare, limitando su capacidad para proporcionar beneficios ecológicos vitales. Es imperativo reconocer el valor intrínseco y utilitario de los humedales y tomar medidas proactivas para su conservación. Esto implica no solo abordar los problemas actuales, sino también anticipar y prepararse para futuros desafíos, garantizando así que estos ecosistemas vitales continúen beneficiando a generaciones futuras.

## 8. RECOMENDACIONES

El análisis de los datos presentados revela una serie de aspectos cruciales que deben ser considerados para la conservación y gestión adecuada del Humedal Sicarare. Dada la importancia ecológica, hidrológica y socioeconómica de este humedal, es imperativo que se tomen medidas estratégicas y basadas en evidencia para garantizar su sostenibilidad a largo plazo.

En primer lugar, es evidente que la obstrucción en el flujo de agua, posiblemente causada por actividades humanas, ha llevado a una retención de agua no deseada, exacerbando problemas de inundación y alterando las condiciones naturales del humedal. Se recomienda llevar a cabo estudios detallados para identificar y mapear estas obstrucciones, y posteriormente implementar acciones para su remoción o mitigación. Además, sería prudente establecer una vigilancia y control más estrictos sobre las actividades que puedan contribuir a estas obstrucciones en el futuro, como la construcción no regulada o la acumulación de desechos.

En segundo lugar, la contaminación es otro factor que amenaza la salud y el equilibrio del Humedal Sicarare. Es esencial implementar sistemas de monitoreo que permitan identificar fuentes de contaminantes y determinar su impacto en la calidad del agua y la biodiversidad del humedal. A partir de estos datos, se pueden diseñar e implementar estrategias para reducir o eliminar estas fuentes de contaminación. Paralelamente, es crucial trabajar en campañas de sensibilización y educación ambiental para las comunidades locales y otros actores involucrados, enfatizando la importancia del humedal y cómo las acciones humanas pueden afectar negativamente su salud y funcionamiento.

En tercera instancia, en cuanto a las medidas, la gestión del Humedal Sicarare debe adoptar un enfoque proactivo ante los desafíos presentados por el cambio y la variabilidad climáticos. Es fundamental integrar proyecciones climáticas en la planificación y gestión del humedal para anticipar posibles impactos y adaptarse a ellos. Además, se recomienda fortalecer las capacidades de las comunidades locales, promoviendo prácticas sostenibles y resilientes, y

fomentando la participación de estos grupos en la toma de decisiones relacionadas con el humedal.

Dada la naturaleza cambiante del clima y las variaciones en las precipitaciones, es vital diversificar y expandir los métodos utilizados para modelar la generación de caudales. Las metodologías actuales, aunque efectivas en muchos contextos, podrían no capturar toda la gama de variabilidad inherente a los sistemas acuáticos, especialmente en la era del cambio climático. Se recomienda explorar y adaptar técnicas de modelado emergentes y, posiblemente, combinar múltiples modelos para obtener una representación más robusta y completa de los patrones de caudal. Estos modelos combinados pueden ofrecer una perspectiva más holística y adaptativa, preparando mejor a los gestores y tomadores de decisiones para responder a condiciones imprevistas.

Si bien el software ArcScene ha demostrado ser una herramienta útil en el análisis y visualización de datos geoespaciales, la dependencia de una única plataforma puede limitar la gama de análisis y perspectivas disponibles. Es esencial explorar y adoptar alternativas de software que puedan ofrecer funcionalidades adicionales o diferentes enfoques metodológicos. Herramientas como QGIS, GRASS GIS o ERDAS Imagine, entre otras, pueden complementar o enriquecer los análisis realizados con ArcScene. La diversificación en el uso de software no solo amplía el espectro de análisis, sino que también fortalece la robustez y confiabilidad de los resultados al permitir la validación cruzada entre plataformas.

El Humedal Sicarare, aunque es un ecosistema de suma importancia, es solo uno de los muchos ecosistemas propensos a la inundación en el mundo. Cada uno de estos sistemas enfrenta desafíos únicos, pero también comparte similitudes en cuanto a los problemas que enfrentan. Se insta a las autoridades, investigadores y comunidades a replicar estudios similares en otros humedales y ecosistemas susceptibles a inundaciones. Estas investigaciones no solo arrojarán luz sobre las dinámicas y desafíos específicos de cada sistema, sino que también contribuirán a un cuerpo de conocimiento más amplio que puede ser útil para diseñar estrategias de conservación y gestión en diferentes contextos geográficos y ambientales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acosta, M.B. (2019). Control biológico de plagas: qué es, ventajas, desventajas y ejemplos. Publicado el 27 de agosto del 2019. Página Oficial de Ecología Verde. Obtenido de: <https://www.ecologiaverde.com/control-biologico-de-plagas-que-es-ventajas-desventajas-y-ejemplos-2226.html>

Álvarez, C., & Alzate, L. (2018). Evaluación de los impactos del cambio climático en el régimen hidrológico de la cuenca del río Quindío mediante modelación hidrológica. *Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 85-97.

Alvis-Ccoropuna, Tania, Villasante-Benavides, José Francisco, Pauca-Tanco, Gregory Anthony, Quispe-Turpo, Johana del Pilar, & Luque-Fernández, César Raúl. (2021). Cálculo y valoración del almacenamiento de carbono del humedal altoandino de Chalhuanca, Arequipa (Perú). *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 23(3), 139-148. <https://dx.doi.org/10.18271/ria.2021.314>

Banco Mundial. (2019). ¿Cómo abordar el desafío del agua en América Latina y el Caribe? Obtenido de Banco Mundial: <https://www.bancomundial.org/es/topic/water/publication/how-to-tackle-the-water-challenge-in-latin-america-and-the-caribbean>

Bordino, J. (2021). Flora y fauna de los humedales. Publicado el 07 de octubre de 2021. Página Oficial de Ecología Verde. Obtenido de: <https://www.ecologiaverde.com/flora-y-fauna-de-los-humedales-3569.html>

Bruijnzeel, L., Cofie, O., & Schröder, J. (2011). *Introduction to integrated watershed management: principles and practice*. Routledge.

Campos, D. (2010). *Introducción a la Hidrología Urbana*. San Luis de Potosí, México: Editorial Propia.

Canter, L. W. (1996). *Environmental impact assessment* (2nd ed.).

Chow, V., Maidment, D., & Mays, L. (2011). *Applied Hydrology*. McGraw Hill Education.

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

- Cibin, R., Bellin, A., & Bonaiti, G. (2019). Comparison of different hydrological models in estimating flow regime in a data-scarce watershed. *Journal of Environmental Management*.
- Claramunt, A. (2015). *Hidrología y recursos hídricos: modelos hidrológicos*. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Comisión de Brundtland. (1987). *World Commission on Environment and Development*.
- Convención de los Humedales (a). (s.f.). Nota informativa 13: Los humedales y la agricultura: impactos de las prácticas agrícolas y vías hacia la sostenibilidad. Obtenido de:  
[https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/bn13\\_agriculture\\_s.pdf](https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/bn13_agriculture_s.pdf)
- Convención de los Humedales (b). (s.f.) Nota informativa 10: Restauración de los humedales para promover la resiliencia frente al cambio climático. Obtenido de:  
[https://www.ramsar.org/sites/default/files/2023-07/bn10\\_restoration\\_climate\\_change\\_s.pdf#:~:text=La%20p%C3%A9rdida%20de%20humedales%20mediante%20su%20drenaje%20o,atm%C3%B3sfera%20en%20forma%20de%20di%C3%B3xido%20de%20carbono%20%28CO2%29](https://www.ramsar.org/sites/default/files/2023-07/bn10_restoration_climate_change_s.pdf#:~:text=La%20p%C3%A9rdida%20de%20humedales%20mediante%20su%20drenaje%20o,atm%C3%B3sfera%20en%20forma%20de%20di%C3%B3xido%20de%20carbono%20%28CO2%29)
- Convención sobre la Diversidad Biológica. (1992). *Convención sobre la Diversidad Biológica*.
- Convención sobre los Humedales. (2021). *Perspectiva mundial sobre los humedales: Edición especial de 2021*. Gland (Suiza): Secretaría de la Convención sobre los Humedales.
- Córdoba, L., & Losada-Gómez, L. (2019). Modelación hidrológica y análisis de escenarios de cambio climático en la cuenca del río Combeima, Colombia. *Revista de Ingeniería*, 81-89.
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., & van den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 253-260.

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

Davidson, N., Finlayson, C., & Roux, D. (2018). A review of wetland loss and degradation in Southern Africa. In Handbook of environmental chemistry, 143-161.

DMH. 2008. Alimentos de los humedales. Adaptado de la Convención Ramsar por la Dirección de Meteorología e Hidrología (DMH). Obtenido de:  
<https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/tmp/pdf/wwd/8/cd/wwd2008-a03-sp%20food.pdf>

FAO. (2001). El estado de los recursos forestales del mundo 2001. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

FAO. (2018). La biodiversidad y los servicios de los ecosistemas en la agricultura: guía para los responsables de la formulación de políticas. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

FAO. (s.f.). Manejo integrado de plagas y plaguicidas. Página Oficial de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Obtenido de:  
<https://www.fao.org/pest-and-pesticide-management/pesticide-management/codigo-internacional-de-conducta-para-el-manejo-de-plaguicidas/policy-and-legislation/es/>

FAO. 1996. Producción de alimentos e impacto ambiental. Publicado el 18 de noviembre de 1996. Cumbre mundial sobre la alimentación de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Obtenido de:  
<https://www.fao.org/3/W2612S/w2612s11.htm>

Fernández, E. (2019). ¿Por qué la recarga gestionada de acuíferos es una técnica efectiva de adaptación al C.C.?. Publicado el día 17 de julio del 2019. Página oficial de iAgua. Obtenido de: <https://www.iagua.es/blogs/enrique-fernandez-escalante/que-recarga-gestionada-acuiferos-es-tecnica-efectiva-adaptacion-al>

García, L., & García, J. (2013). Modelación hidrológica de la cuenca del río Guátara para el diseño de estrategias de adaptación al cambio climático. Avances en Recursos Hidráulicos, 95-110.

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

Gómez, F., & Orozco, C. (2015). Modelación hidrológica para la evaluación de escenarios de cambio climático en la cuenca del río Zulia. *Revista Luna Azul*, 143-157.

Hernández S., R., & Mendoza T., C. (2018). Metodología de la Investigación las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. Ciudad de México D.F.: McGraw Hill.

Hernández S., R., Fernández C., C., & Baptista L., P. (2014). Metodología de la Investigación. Ciudad de Mexico. D.F.: McGraw Hill.

Hernández-Uribe, R. E., Barrios-Piña, H., & Ramírez, A. I. (2017). Análisis de riesgo por inundación: metodología y aplicación a la cuenca Atemajac. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 5-25.

IDEAM. (2018). Diagnóstico y proyección de la disponibilidad de agua en Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia.

Infobae. (2022). Sequía en Chile: el gobernador de Santiago anunció un plan de racionamiento de agua. Publicado el día 11 de abril del 2022. Página oficial de Infobae. Obtenido de: <https://www.infobae.com/america/america-latina/2022/04/12/sequia-en-chile-el-gobernador-de-santiago-anuncio-un-plan-de-racionamiento-de-agua/>

Íñiguez, M., Ojeda, W., Díaz, C., Mamadou, K., & Mercado, R. (2011). Análisis metodológico de la distribución espacial de la precipitación y la estimación media diaria. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 2(1), 57-69. Obtenido de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342011000100005&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342011000100005&lng=es&tlng=es).

IPCC. (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC.

IPEEC. (2021). ¿Qué son los humedales y por qué es importante conservarlos? Publicado el día 02 de febrero del 2021. Página oficial del Instituto Patagónico para el Estudio de

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

los Ecosistemas. Obtenido de: <https://ipeec.conicet.gov.ar/que-son-los-humedales-y-por-que-es-importante-conservarlos/>

Landis, S. (2021). Tipos de suelos de humedales. Publicado el día 20 de noviembre del 2021. Página oficial de eHow. Obtenido de: [https://www.ehowenespanol.com/tipos-suelos-humedales-lista\\_311132/](https://www.ehowenespanol.com/tipos-suelos-humedales-lista_311132/)

López, R., Contreras, F., & Villalpando, L. (2015). Ecosistemas estratégicos en México. *Investigación Ambiental*, 67-76.

López, R., Perafán, N., & Martínez, A. (2015). Áreas estratégicas para la conservación de biodiversidad en Colombia. *Biota Colombiana*.

Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*.

MINAM. (s.f.). ¿Qué son los humedales?. Ministerio de Ambiente de Perú. Obtenido de: [https://www.minam.gob.pe/proyecologios/Curso/curso-virtual/Modulos/modulo2/3Secundaria/Actividades-Aprendizaje/CTA\\_1/S11/anexo11/CTA\\_S11\\_Anexo\\_2.pdf](https://www.minam.gob.pe/proyecologios/Curso/curso-virtual/Modulos/modulo2/3Secundaria/Actividades-Aprendizaje/CTA_1/S11/anexo11/CTA_S11_Anexo_2.pdf)

MINAMBIENTE. (2020). Informe Nacional de Calidad del Agua 2019. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia.

Monroy Hernández, Julieth. (2022). Transformación del paisaje y pérdida del servicio ecosistémico de regulación hídrica en cuencas urbanas. Casos microcuencas Tintal y Torca en la ciudad de Bogotá, Colombia. *Revista de geografía Norte Grande*, (82), 249-268. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022022000200249>

ONU. (1971). Manual de la Convención Ramsar. Guía a la Convención sobre los humedales. 4ta. Edición. Editorial: Organización de las Naciones Unidas. Gland (Suiza). Obtenido de: [https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/pdf/lib/lib\\_manual2006s.pdf](https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/pdf/lib/lib_manual2006s.pdf)

ONU. (2022). Los humedales, los grandes olvidados en la crisis del cambio climático. Publicado del 02 de febrero del 2022. Página Oficial de la Organización de las Naciones Unidas. Obtenido de: <https://news.un.org/es/story/2022/02/1503462>

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

- Orozco, M., & Ramos, O. (2017). Simulación hidrológica en la cuenca del río Pance utilizando el modelo SWAT. Revista de la Facultad de Ingeniería, 28-36.
- Plan de Desarrollo Municipal, UT ASOPROASA, CORPOCESAR. (2023). Formulación del Plan de Manejo Ambiental del Complejo Lagunar SICARARE . Corporación Autónoma Regional .
- PNUMA. (2020). Perspectivas del Medio Ambiente Mundial 2020.
- Ramsar. (1971). The Convention on Wetlands of International Importance. Ramsar.
- Sahuquillo, A., de la Hera, A., & Polo, M. J. (2015). Modelos hidrológicos. Revista de la Asociación Española de Climatología, 55-70.
- Salazar, S. (2013). Metodología para el análisis y la reducción del riesgo de inundaciones: Aplicación en la Rambla del Poyo (Valencia) usando medidas de retención de agua en el territorio. Valencia, España: Universitat Politècnica de València.
- Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial del Estado de México. (2017). programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio del Estado de México. Gobierno del Estado de México.
- SEHUMED. (1997). La calidad de las aguas en los humedales: los indicadores biológicos. Boletín de la Sede para el Estudio de los Humedales Mediterráneos - SEHUMED. Obtenido de: [https://pages.uv.es/sehumed/revista/SEHUMED\\_01\\_P0301.PDF](https://pages.uv.es/sehumed/revista/SEHUMED_01_P0301.PDF)"
- Silva, R., Lavelle, P., & Blanchart, E. (2019). Ecological roles and services of tropical soils and the need for an integrated approach to sustainable land management. Applied Soil Ecology, 157-162.
- Suram. (s.f.). HUMEDALES: Su importancia para la biodiversidad, cambio climático y conservación. Página Oficial de Sur Ambiente, gestión, consultoría e Ingeniería Ambiental. Obtenido de: <https://suram.cl/humedales-su-importancia-para-la-biodiversidad-cambio-climatico-y-conservacion/>"

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

Tercero, M.C., Álvarez, J. y González, M.N. (2014). Ciclos biogeoquímicos en humedales con diferente grado de eutrofización y su relación con factores de cambio climático: resultados experimentales en mesocosmos. Revista III Workshop en Investigación Agroalimentaria. Obtenido:  
<https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/10882/62-cbh.pdf?sequence=1>

UICN. (2020). Los humedales y la biodiversidad. Publicado el 30 de enero de 2020. Página Oficial de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. Obtenido de:  
<https://www.iucn.org/es/news/americadel-sur/202001/los-humedales-y-la-biodiversidad>

UN Water. (2021). Water and Sanitation. United Nations.

UNICESAR. (2021). Acuerdo N°003 del 08 de julio de 2021 “por medio del cual se adoptan las líneas de investigación de los programas de Pregrado de la Facultad de Ingeniería y Tecnológicas sede Valledupar, y se dictan otras disposiciones” . Valledupar, Cesar. Valledupar, Cesar: Universidad Popular del Cesar.

UT-ASOPROASA. CORPOCESAR. (2023). Formulación del Plan de Manejo Ambiental del Humedal Sicarare de la ciudad de Valledupar. Valledupar: Corporación Autónoma Regional del Cesar.

Yupanqui Z. (2019). La ANA y la conservación de humedales. Ministerio de Agricultura y Riego. Obtenido de: <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2019/03/La-ANA-y-la-conservaci%C3%B3n-de-humedales.pdf>

## ANEXOS

### ANEXO 1. Datos de Precipitación

Años	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1990	0	1	33	1137	1333	872	214	1455	171			435
1991	0	12	8	146	95	1049	506	825	919	1105	853	0
1992	55	0	176	815	1057	547	331	926	1013	1133	866	164
1993	417	3	514			659	284	372	809	954		554
1994	13	467	22	59		40	85			224	564	116
1995	0	12	868	717		1447	1073		98		72	12
1996	621	50	531	628	238	1171		1017	1315	665	1396	71
1997	3	0	0	998	231	157	127	809	1067	1037	403	227
1998	0	153	33	67		523	1427	1224			1445	1188
1999	0	191	338	721	56	100	356		239		926	121
2000	114	5	15	319		607	332		567	1215	1436	212
2001	0	0	192	64		17	110	613	1166	215	499	786
2002	0	0	0	472		1111	7	1055	1336		554	609
2003	0	0	74	601		602	876	807	524			76
2004	0	49	0	1247	1386	225	1093	78		1057	803	733
2005	0	0	329	631			735	1247	106	0		0
2006	19	392	55	1236	965	733	716	100	946			385
2007	0	11	742	0	1328	66	256	992			664	92
2008	0	0	602	1213		397	1196	895	1247			0
2009	18	0	82	592		605	578	731		877	118	50
2010	0	81	228	1218			1371	126		384	1328	1133
2011	0	3	521	428		1397	789	70	878		1379	176
2012	0	0	138	1031		694	1032	1193	732		355	0
2013	0	0	545	951	363	80	145	843	1162		45	0
2014	0	3	282	64		9	5	627	882	107	394	753
2015	0	214	3	17	295	768	87	452	972	1382	441	6
2016	0	0	29	825	664		152	545	551			81
2017	23	1	972	52	1123		1348	1411	217		1067	97
2018	82	0	46	87	1229	565	144	1293	99	1345	339	0
2019	6	142	7	449		491	474	963	1087	1325	94	0
2020	127	0	0	0	0	0	0	544	983	941		16
2021	0	4	218	541		665	759	1199	765	925	50	11
2022	29	127	714		1408		367	1259			932	0

### ANEXO 2. Levantamiento Topográfico-geodésico

Coordenada X	Coordenada Y	Altitud Z	Descripción completa
689883,69	1160776,68	211,95	NIV
689877,581	1160781,56	211,42	NIV
689875,155	1160780,32	211,245	NIV
689871,199	1160780,91	211,47	NIV
689867,283	1160774,13	211,35	NIV
689863,948	1160772,26	211,42	NIV
689855,16	1160766,69	211,42	NIV
689853,651	1160764,53	211,25	NIV
689855,799	1160761,16	211,24	NIV
689866,138	1160761,21	212,21	NIV
689889,152	1160778,86	211	P
689890,407	1160771,8	210	P
689890,441	1160765,65	210	P
689891,37	1160762,58	212	P
689869,503	1160757,55	212,21	NIV
689878,629	1160756,98	212,46	NIV

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

Coordenada X	Coordenada Y	Altitud Z	Descripción completa
689888,323	1160763,8	212	P
689887,41	1160763,79	212	P
689882,246	1160762,84	211	P
689880,433	1160760,68	211	P
689878,315	1160758,82	211	P
689878,305	1160760,67	211	P
689869,187	1160759,7	210	P
689869,187	1160759,7	211	P
689867,346	1160762,76	210	P
689867,346	1160762,76	211	P
689866,433	1160762,75	210	P
689856,405	1160761,47	211	P
689856,398	1160762,7	209	P
689855,172	1160764,53	211	P
689856,383	1160765,46	211	P
689866,389	1160770,74	212	P
689868,199	1160773,52	211	P
689871,206	1160779,68	211	P
689872,118	1160779,68	211	P
689875,164	1160778,78	211	P
689877,287	1160779,71	210	P
689883,391	1160775,75	211	P
689888,268	1160773,63	211	P
689890,407	1160771,8	211	P
689892,249	1160768,73	211	P
689895,28	1160770,59	211	P
690127,262	1160943,95	204,94	P
690063,376	1160948,51	214	P
690075,236	1160948,58	213	P
690067,4	1160935,63	213	P
690066,194	1160933,78	213	P
690066,194	1160933,78	214	P
690065,289	1160932,54	214	P
690063,458	1160933,76	214	P
690059,445	1160944,49	213	P
690060,357	1160944,5	213	P
690057,875	1160843,39	215	P
690067,815	1160860,66	215	P
690052,097	1160843,36	215	P

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

Coordenada X	Coordenada Y	Altitud Z	Descripción completa
690046,064	1160834,42	215	P
690042,138	1160829,48	215	P
690034,857	1160826,37	217	P
690036,986	1160826,38	217	P
690010,905	1160813,33	216	P
689995,125	1160807,4	216	P
689986,029	1160802,44	216	P
689966,004	1160794,34	216	P
689960,248	1160790,31	216	P
689943,263	1160782,23	216	P
689920,179	1160777,18	215	P
689898,253	1160782,9	215	P
689890,025	1160785,93	215	P
689884,203	1160793,89	215	P
689852,147	1160816,75	215	P
689843,903	1160822,85	215	P
689836,859	1160831,73	215	P
689837,135	1160836,95	215	P
689835,847	1160849,85	215	P
689827,919	1160853,8	215	P
689883,474	1160760,7	212,45	NIV
689892,293	1160760,74	212,1	NIV
689894,389	1160766,59	211,25	NIV
689898,015	1160770,92	211,78	NIV
689891,612	1160773,95	211,79	NIV
689882,791	1160774,21	209,95	BAT
689877,296	1160778,18	209,45	BAT
689875,478	1160776,94	209,65	BAT
689873,05	1160776	209,42	BAT
689870,947	1160771,38	209,25	BAT
689869,143	1160767,68	209,75	BAT
689863,681	1160765,5	210,1	BAT
689872,508	1160764,02	209	BAT
689878,587	1160764,66	209,95	BAT
689885,268	1160766,24	209,86	BAT
689885,846	1160771,77	209,46	BAT
689878,556	1160770,19	209,1	BAT
690084,327	1160899,16	202,54	BAT
690088,044	1160886,89	202,65	BAT

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

Coordenada X	Coordenada Y	Altitud Z	Descripción completa
690083,024	1160859,82	204,5	BOR
690088,161	1160865,68	204,65	BOR
690091,783	1160870,62	204,26	BOR
690102,977	1160881,13	204,35	BOR
690109,05	1160882,7	204,75	BOR
690123,947	1160883,4	204,64	BOR
690131,512	1160890,2	204,67	BOR
690133,595	1160898,51	204,12	BOR
690132,052	1160902,49	204,17	BOR
690123,806	1160908,9	204,13	BOR
690119,794	1160919,63	204,54	BOR
690134,934	1160931,39	204,54	BOR
690132,742	1160942,75	204,97	BOR
690116,318	1160943,27	204,92	BOR
690106,924	1160937,38	204,98	BOR
690103,912	1160932,14	204,85	BOR
690103,038	1160925,07	204,87	BOR
690095,183	1160915,81	204,97	BOR
690085,464	1160913,6	204,97	BOR
690071,111	1160924,59	204,52	BOR
690058,018	1160927,59	204,78	BOR
690054,173	1160907,9	204,75	BOR
690059,458	1160887,03	204,75	BOR
690066,801	1160879,09	204,42	BOR
690063,209	1160923,62	203,17	BOR
690062,329	1160917,78	203,05	BOR
690062,374	1160909,79	203,01	BOR
690070,309	1160904,61	203,45	BOR
690071,564	1160897,55	203,51	BOR
690070,392	1160889,55	203,49	BOR
690073,443	1160887,73	203,48	BOR
690073,47	1160882,81	203,47	BOR
690076,54	1160877,6	203,497	BOR
690076,555	1160874,84	203,49	BOR
690077,501	1160868,7	203,42	BOR
690080,569	1160863,8	203,57	BOR
690082,666	1160869,65	203,58	BOR
690090,55	1160873,69	203,45	BOR
690106,584	1160888,83	203,54	BOR

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

Coordenada X	Coordenada Y	Altitud Z	Descripción completa
690111,449	1160888,86	203,65	BOR
690119,367	1160886,75	203,68	BOR
690125,427	1160890,78	203,45	BOR
690125,383	1160898,77	203,52	BOR
690121,413	1160901,82	203,52	BOR
690119,554	1160907,95	203,48	BOR
690110,399	1160913,74	203,45	BOR
690108,259	1160915,88	203,48	BOR
690113,401	1160920,83	203,447	BOR
690116,415	1160925,76	203,54	BOR
690119,456	1160925,77	203,458	BOR
690121,268	1160927,94	203,475	BOR
690129,469	1160929,82	203,526	BOR
690131,259	1160935,98	203,457	BOR
690129,441	1160934,74	203,541	BOR
690124,243	1160939,94	203,871	BOR
690115,431	1160938,66	203,874	BOR
690113,335	1160932,81	203,788	BOR
690109,399	1160929,71	203,549	BOR
690107,319	1160920,79	203,944	BOR
690105,522	1160915,87	203,987	BOR
690092,49	1160907,8	203,674	BOR
690079,442	1160902,82	203,457	BOR
690090,995	1160903,19	202,54	BAT
690116,279	1160895,34	202,628	BAT
690106,769	1160910,34	202,147	BAT
690111,862	1160924,2	202,247	BAT
690118,817	1160931,3	202,187	BAT
690075,731	1160858,86	204,52	BOR
690077,308	1160903,73	202,52	BAT
690071,496	1160909,84	202,54	BAT
690077,391	1160888,67	202,45	BAT
690082,025	1160875,48	202,547	BAT
690092,344	1160879,23	202,476	BAT
690099,6	1160886,95	202,477	BAT
690115,305	1160906,39	202,477	BAT
690123,297	1160891,07	202,7	BAT
690129,013	1160957,17	203,547	BAT
690107,056	1160968,42	203,547	BAT

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

Coordenada X	Coordenada Y	Altitud Z	Descripción completa
690072,032	1160978,06	203,478	BAT
690056,161	1160988,42	203,477	BAT
690041,888	1160984,96	203,748	BAT
690024,842	1160987,94	203,547	BAT
690009,007	1160991,84	204,14	BAT
689987,891	1161016	204,687	BAT
689973,954	1161006,71	204,678	BAT
689982,861	1160990,78	204,677	BAT
690009,974	1160982,02	204,677	BAT
690028,938	1160962,15	203,547	BAT
690038,957	1160964,97	203,244	BAT
690059,95	1160963,24	203,334	BAT
690080,043	1160959,05	203,247	BAT
690096,182	1160955,14	203,254	BAT
690099,819	1160957,32	203,24	BAT
690105,913	1160955,2	203,224	BAT
690111,104	1160951,23	203,547	BAT
690116,004	1160945,11	203,547	BAT
690124,214	1160945,16	203,478	BAT
690125,109	1160948,24	203,547	BAT
690133,597	1160953,2	204,56	BORD
690132,96	1160958,42	204,365	BORD
690109,774	1160971,81	204,687	BORD
690077,789	1160981,78	204,789	BORD
690059,476	1160993,97	204,874	BORD
690039,416	1160992,01	204,874	BORD
690019,902	1161001,43	204,748	BORD
689988,155	1161023,38	204,87	BORD
689969,033	1161016,82	205,67	BORD
689965,159	1161002,36	205,547	BORD
689978,663	1160980	205,657	BORD
690002,732	1160971,84	205,4	BORD
690019,857	1160954,42	204,654	BORD
690041,127	1160957,61	204,647	BORD
690074,904	1160953,49	204,654	BORD
690098,661	1160946,86	203,446	BORD
690020,614	1160982,69	203,14	BAT2
690038,888	1160977,57	202,324	BAT2
690058,375	1160973,06	202,012	BAT2

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

Coordenada X	Coordenada Y	Altitud Z	Descripción completa
690075,422	1160969,78	202,147	BAT2
690097,351	1160963,75	202,145	BAT2
690119,3	1160954,04	202,017	BAT2
689532,2	1161191,64	210	P2
689514,88	1161157,89	210	P2
689491,1	1161118,67	211	P2
689564,11	1161141,05	210	P2
689624,62	1161199,12	207	P2
689682,95	1161183,97	205	P2
689655,57	1161149,2	208	P2
689526,43	1161072,72	210	P2
689576,42	1161087,64	209	P2
689654,4	1161117,37	208	P2
689653,66	1161075,5	207	P2
689715,56	1161102,37	205	P2
689811,38	1161115,91	202	P2
689835,75	1161084,37	201	P2
689791,09	1161056,22	205	P2
689735,94	1161015,62	206	P2
689683,03	1160994,56	207	P2
689633,65	1160986,93	208	P2
689571,09	1160998,87	210	P2
689531,09	1160968,45	209	P2
689536,6	1160906,34	211	P2
689593,2	1160932,24	208	P2
689681,77	1160891,19	205	P2
689724,02	1160933,69	204	P2
689746,83	1160986,72	206	P2
689641,47	1161128,92	208	P2
689658,63	1161094,19	206	P2
689708,97	1161092,78	206	P2
689730,8	1161054,03	207	P2
689843,44	1161075,54	201	P2
689821,69	1161096,9	202	P2
689771,79	1161033,8	205	P2
689680,65	1161033,09	206	P2
689604,07	1161053,44	208	P2
689553,49	1161098,59	210	P2
689482,3	1161126,41	211	P2

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

Coordenada X	Coordenada Y	Altitud Z	Descripción completa
689472,3	1161152,51	210	P2
689556,81	1161205,42	209	P2
689605,38	1161210,48	207	P2
689514,01	1161187,58	210	P2
689536,22	1161192,88	210	P2
689585,44	1161173,09	209	P2
689597,66	1161139,95	208	P2
689641,22	1161164,91	207	P2
689628,13	1161128,24	208	P2
689694,35	1161150,42	206	P2
689741,64	1161129,55	204	P2
689773,83	1161123,19	202	P2
689826,61	1161101,29	202	P2
689815,21	1161064,72	204	P2
689790,59	1161027,65	205	P2
689752	1160909,85	204	P2
689721,33	1160893,15	204	P2
689671,7	1160889,69	206	P2
689642,32	1160938,71	206	P2
689627,92	1160968,45	209	P2
689603,43	1160985,37	209	P2
689611,52	1161013,17	208	P2
689633,8	1161016,36	207	P2
689653,01	1161036,69	207	P2
689695,88	1161034,91	206	P2
689717,21	1161002,44	205	P2
689571,23	1161074,08	209	P2
689510,24	1161071,84	210	P2
689515,94	1161112,87	211	P2
689789,61	1161064,32	205	P2
689733,39	1161077,73	205	P2
689714,97	1161095,15	206	P2
689688,63	1161107,05	206	P2
689664,7	1161114,91	207	P2
689637,68	1161123,61	208	P2
689611,49	1161147,89	208	P2
689581,07	1161161,54	209	P2
689554,35	1161165,14	210	P2
689562,63	1161149,13	210	P2

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

Coordenada X	Coordenada Y	Altitud Z	Descripción completa
689538,27	1161131,42	210	P2
689608,56	1161162,11	208	P2
689580,9	1161180,04	209	P2
689547,89	1161185,35	209	P2
689521,53	1161180,85	210	P2
689492,3	1161158,73	210	P2
689593,33	1160930,23	208	P2
689547,27	1160954,13	209	P2
689706,33	1160874,42	206	P2
689524,12	1161131,61	211	P2
689641,59	1161175,24	207	P2
689556,97	1161171,47	209	P2
689560,26	1161183,98	209	P2
689588,62	1161187,67	208	P2
689636,05	1161149,19	208	P2
689681,76	1161121,94	207	P2
689683,28	1161093,45	206	P2
689712,71	1161081,71	206	P2
689713,57	1161067,43	206	P2
689737,58	1161075,92	205	P2
689747,45	1161100,05	204	P2
689757,79	1161116,09	203	P2
689768,29	1161111,59	202	P2
689781,95	1161107,16	202	P2
689783,09	1161105,16	202	P2
689785,55	1161098,09	202	P2
689788,18	1161087,95	203	P2
689801,25	1161093,77	203	P2
689813,59	1161094,41	203	P2
689839,48	1161091,76	201	P2
689855,35	1161084,39	201	P2
689865,8	1161081,85	201	P2
689869,2	1161075,86	201	P2
689878,01	1161065,05	201	P2
689860,62	1161042,62	202	P2
689847,27	1161041,89	203	P2
689822,69	1161040,58	204	P2
689806,54	1161035,63	204	P2
689794,5	1161030,91	205	P2

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

Coordenada X	Coordenada Y	Altitud Z	Descripción completa
689762,83	1161029,25	205	P2
689926,79	1160755,26	204	P2
689949,09	1160752,73	205	P2
689948,69	1160765,51	202	P2
689980,87	1160747,41	210	P2
689984,25	1160768,44	205	P2
689984,08	1160774,93	204	P2
689983,63	1160788,14	203	P2
689994,33	1160786,71	203	P2
690012,89	1160759,59	212	P2
690016,23	1160793,55	204	P2
690024,76	1160789,64	207	P2
690033,2	1160795,73	207	P2
690030,37	1160800,97	204	P2
690035,05	1160808,65	203	P2
690041,63	1160801,83	207	P2
690047,31	1160793,99	210	P2
690049,28	1160787,66	211	P2
690056,16	1160781,39	212	P2
690057,87	1160787,15	211	P2
690068,19	1160792,37	212	P2
690067,96	1160798,08	212	P2
690063,13	1160801,58	211	P2
690062,02	1160811,75	209	P2
690064,72	1160818,47	209	P2
690061,05	1160819,99	207	P2
690061,03	1160829,24	205	P2
690062,91	1160832,14	205	P2
690001,2	1160780,58	205	P2
690018,05	1160799,21	203	P2
690026,62	1160796,13	205	P2
690028,51	1160790,83	207	P2
690032,27	1160788,41	209	P2
690036,08	1600783,2	210	P2
690037,15	1160776,8	212	P2
690060,74	1160787,28	212	P2
690063,49	1160790,26	212	P2
690063,3	1160795,93	211	P2
690062,16	1160803,38	211	P2

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

Coordenada X	Coordenada Y	Altitud Z	Descripción completa
690056,51	1160805,77	209	P2
690052,79	1160808,23	208	P2
690051,87	1160812,73	206	P2
690051,87	1160816,4	205	P2
690049,05	1160822,65	203	P2
690048,99	1160827,33	202	P2
690060,12	1160827,3	205	P2
690065,67	1160823,17	208	P2
690075,96	1160817,35	211	P2
690089,63	1160807,57	212	P2
690093,56	1160803,97	212	P2
690104,68	1160813,03	212	P2
690102,55	1160818,65	212	P2
690112,01	1160821,89	212	P2
690098,19	1160834,58	211	P2
690092,9	1160842,39	207	P2
690091,34	1160848,61	204	P2
690093,37	1160856,13	202	P2
690108,99	1160867,57	204	P2
690116,72	1160859,01	210	P2
690117,73	1160849,69	211	P2
690133,44	1160841,73	211	P2
690155,26	1160855,83	210	P2
690155,01	1160868,12	209	P2
690147,73	1160878,4	210	P2
690144,75	1160885,84	209	P2
690144,78	1160895,27	207	P2
690145,32	1160909,35	203	P2
690144,45	1160924,57	200	P2
690156,58	1160938,57	200	P2
690165,27	1160950,47	198	P2
690170,78	1160864,84	208	P2
690173,44	1160876,34	208	P2
690168,47	1160892,57	209	P2
690165,15	1160910,28	205	P2
690158,26	1160919,34	200	P2
690180,26	1160868,1	209	P2
690195,66	1160873,44	208	P2
690217,31	1160881,73	206	P2

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

Coordenada X	Coordenada Y	Altitud Z	Descripción completa
690236,24	11608887,1	203	P2
690218,39	1160894,09	204	P2
690207,36	1160894,7	205	P2
690201,62	1160899,21	204	P2
690195,69	1160905,66	204	P2
690188,22	1160910,29	205	P2
690184,19	1160918,73	205	P2
690187,39	1160931,23	202	P2
690187,58	1160940,79	200	P2
690190,34	1160957,29	198	P2
690201,33	1160946,14	199	P2
690197,17	1160931,61	202	P2
690193,03	1160918,11	204	P2
690197,27	1160911,53	204	P2
690212,39	1160894,85	204	P2
690223,4	1160887,59	204	P2
690238,13	1160893,83	203	P2
690235,67	1160904,35	203	P2
690227,32	1160913,68	204	P2
690230,99	1160924,38	203	P2
690232,03	1160934,94	201	P2
690240,77	1160929,54	202	P2
690249,82	1160933,7	201	P2
690246,43	1160925,01	203	P2
690254,61	1160914,93	206	P2
690253,85	1160905,13	203	P2
690245,73	1160901,81	202	P2
690259,19	1160897,37	200	P2
690268,16	1160901,73	202	P2
690278,42	1160902,98	200	P2
690278,48	1160916,56	201	P2
690293,09	1160911,22	199	P2
690297,17	1160911,35	199	P2
689906,43	1161063,6	200	P2
689916,17	1161063,04	200	P2
689908,6	1161057,9	200	P2
689924,9	1161063,4	200	P2
689937,59	1161061,99	200	P2
689947,46	1161058,54	200	P2

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

Coordenada X	Coordenada Y	Altitud Z	Descripción completa
689957,42	1161053,17	200	P2
689971,26	1161047,95	200	P2
689983,2	1161042,68	199	P2
689979,68	1161033,85	199	P2
689971,91	1161032,54	199	P2
689956,02	1161039,57	200	P2
689941,29	1161042,82	200	P2
689960,76	1161019,51	200	P2
689979,19	1161023,22	198	P2
689926,97	1161036,42	201	P2
689904,35	1161043,23	201	P2
689878,79	1161050,82	201	P2
689897,3	1161025,57	201	P2
689918,32	1161009,97	202	P2
689935,75	1161011,67	201	P2
689955,28	1161010,59	200	P2
689948,91	1160998,7	201	P2
689963,22	1160980,94	201	P2
689876,36	1161039,14	201	P2
689893,42	1161025,41	201	P2
689910,22	1161018,34	201	P2
689927,28	1161004,55	202	P2
689941,19	1160997,42	201	P2
689953,76	1160973,8	202	P2
689976,4	1160967,01	201	P2
689814,47	1161015,27	204	P2
689831,33	1161002,56	202	P2
689859,63	1160997	201	P2
689881,02	1160996,87	202	P2
689896,02	1160985,9	203	P2
689925,4	1160978,42	203	P2
689948,13	1160968,75	202	P2
689949,42	1160961,1	202	P2
689978,11	1160947,8	202	P2
689996,47	1160927,31	201	P2
690020,29	1160916,66	201	P2
690015,89	1160903,97	201	P2
690040,44	1160897,25	201	P2
690028	1160891,01	202	P2

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

Coordenada X	Coordenada Y	Altitud Z	Descripción completa
690015,43	1160890,48	202	P2
689991,62	1160902,08	202	P2
689973,51	1160916,8	203	P2
689949,89	1160924,54	203	P2
689938,5	1160943,31	202	P2
689916,72	1160954	203	P2
689900,84	1160962,98	203	P2
689884,05	1160970,01	202	P2
689875,09	1160975,44	201	P2
689857	1160990,14	201	P2
689869,89	1161007,07	201	P2
689836,31	1160997,97	202	P2
689819,07	1160992,45	202	P2
689796,17	1160982,84	202	P2
689812,83	1160959,42	203	P2
689806,97	1160937,04	203	P2
689832,09	1160937,07	202	P2
689849,64	1160958,98	203	P2
689871,87	1160959,88	202	P2
689880,42	1160940,98	203	P2
689853,59	1160934,12	203	P2
689832,53	1160925,52	202	P2
689814,25	1160923,85	203	P2
689813,69	1160913,21	203	P2
689814,36	1160895,87	202	P2
689824,59	1160881,79	202	P2
689832,39	1160881,15	202	P2
689841,84	1160864,22	202	P2
689846,03	1160880,79	202	P2
689846,99	1160903,92	202	P2
689852,08	1160922,47	202	P2
689875,45	1160920,56	203	P2
689883,42	1160915,1	203	P2
689895,37	1160930,99	203	P2
689915,41	1160938,53	203	P2
689916,13	1160921,21	202	P2
689910,14	1160901,7	202	P2
689891,09	1160893,2	202	P2
689879,67	1160887,93	202	P2

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

Coordenada X	Coordenada Y	Altitud Z	Descripción completa
689872,04	1160884,72	202	P2
689860	1160870,74	202	P2
689859,78	1160852,4	202	P2
689848,6	1160841,36	202	P2
689863,08	1160842,91	202	P2
689869,49	1160828,72	202	P2
689876,93	1160812,63	202	P2
689893,83	1160802,7	202	P2
689919,17	1160799,84	202	P2
689900,55	1160828,01	202	P2
689918,46	1160817,18	202	P2
689930,15	1160815,77	202	P2
689926,31	1160838,7	202	P2
689921,66	1160857,74	201	P2
689934,78	1160868,89	202	P2
689943,02	1160880,83	202	P2
689955,98	1160894,91	203	P2
689968,89	1160910,85	203	P2
689988,32	1160910,65	202	P2
690018,15	1160895,4	201	P2
690003,6	1160894,83	202	P2
689995,65	1160874,31	202	P2
689989,73	1160852,88	202	P2
689963,67	1160849,89	202	P2
689972,03	1160834,85	202	P2
689977,73	1160815,67	202	P2
689957,81	1160804,28	202	P2
690002,57	1160825,36	202	P2
690018,01	1160826,97	202	P2
690012,58	1160841,2	202	P2
690014,92	1160855,74	201	P2
690034,51	1160852,63	201	P2
690044,58	1160866,57	201	P2
690044	1160881,01	201	P2
690041,38	1160898,25	201	P2
690044,53	1160917,65	201	P2
690041,49	1160946,46	200	P2
689988,07	1160942,41	201	P2
690068,95	1160915,81	202,4	BAT3

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

Coordenada X	Coordenada Y	Altitud Z	Descripción completa
690069,84	1160915,06	202,37	BAT3
690066,65	1160914	202,41	BAT3
690068,13	1160910,82	202,25	BAT3
690070,1	1160907,29	202,36	BAT3
690072,4	1160904,6	202,4	BAT3
690073,02	1160902,19	202,26	BAT3
690076,68	1160897,52	202,38	BAT3
690082,47	1160892,19	202,33	BAT3
690086,28	1160881,45	202,32	BAT3
690079,22	1160881,25	202,32	BAT3
690086,86	1160879,45	202,31	BAT3
690094,38	1160884,25	202,5	BAT3
690093,86	1160889,83	202,55	BAT3
690094,68	1160894,77	202,51	BAT3
690086,48	1160903,58	202,5	BAT3
690097,05	1160906,02	202,52	BAT3
690104,3	1160903,71	202,47	BAT3
690110,47	1160904,65	202,45	BAT3
690113,7	1160895,51	202,45	BAT3
690096,58	1160877,98	203,47	BAT3
690108,6	1160912,35	202,6	BAT3
690119,39	1160937,97	202,7	BAT3
690122,65	1160933,3	202,7	BAT3
690097,02	1160877,62	202,75	BAT3
690073,89	1160871,5	202,68	BAT3
690066,78	1160938,71	202,56	BAT3
690062,73	1160937,98	202,55	BAT3
690065,93	1160939,05	202,56	BAT3
690067,98	1160939,22	202,58	BAT3
690068,11	1160937,58	202,57	BAT3
690065,65	1160942,73	202,57	BAT3
689987,51	1161006,49	204,67	BAT3
689991,05	1161008,44	204,66	BAT3
689992,32	1161012,3	204,55	BAT3
689997,31	1161008,88	204,5	BAT3
689995,08	1161006,21	204,49	BAT3
689991,42	1161005,11	204,49	BAT3
689994,32	1161001,56	204,46	BAT3
689999,74	1161001,17	203,78	BAT3

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

Coordenada X	Coordenada Y	Altitud Z	Descripción completa
690003,39	1161001,88	203,71	BAT3
690007,76	1160998,94	203,65	BAT3
690013,02	1160994,86	203,69	BAT3
690019,03	1160991,66	203,64	BAT3
690024,11	1160989,63	203,54	BAT3
690028,26	1160988,76	203,58	BAT3
690027,09	1160983,29	203,56	BAT3
690029,06	1160979,34	202,55	BAT3
690030,31	1160974,48	202,6	BAT3
690031,34	1160986,15	202,21	BAT3
690037,37	1160987,51	202,18	BAT3
690043,79	1160989,32	202,16	BAT3
690036,36	1160984,94	203,59	BAT3
690033,01	1160976,36	203,49	BAT3
690038,49	1160970,61	203,57	BAT3
690043,17	1160973,48	203,48	BAT3
690053,48	1160973,9	203,48	BAT3
690051,6	1160981,2	203,47	BAT3
690048,38	1160989,25	203,47	BAT3
690054,34	1160988,04	203,47	BAT3
690061,4	1160988,18	203,46	BAT3
690064,32	1160978,07	203,49	BAT3
690065,88	1160969,52	202,46	BAT3
690073,43	1160986,47	202,45	BAT3
690076,25	1160974,47	202,43	BAT3
690072,52	1160984,11	202,44	BAT3
690079,47	1160975,56	202,47	BAT3
690089,37	1160971,37	202,47	BAT3
690089,21	1160963,12	202,48	BAT3
690094,63	1160962,72	202,5	BAT3
690100,42	1160973,06	203,67	BAT3
690102,12	1160967,43	203,65	BAT3
690105,39	1160973,04	203,64	BAT3
690106,28	1160962	203,65	BAT3
690110,25	1160959,03	203,54	BAT3
690114,41	1160953,6	203,58	BAT3
690118,57	1160958,45	203,56	BAT3
690123,03	1160959,63	203,59	BAT3
690123,9	1160964,23	203,6	BAT3

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

Coordenada X	Coordenada Y	Altitud Z	Descripción completa
690116,13	1160968,13	203,62	BAT3
690127,69	1160953,01	203,58	BAT3
690078	1160968,42	203,55	BAT3
690063,35	1160984,62	203,6	BAT3
690012,5	1160966,3	203,64	BAT3
690019,24	1160963,98	203,62	BAT3
690026,77	1160961,74	203,61	BAT3
690035,22	1160958,33	203,58	BAT3
690043,91	1160957	203,4	BAT3
690052,44	1160957,71	203,39	BAT3
690060,81	1160956,32	203,32	BAT3
690067,99	1160954,43	203,35	BAT3
690076,52	1160956,35	203,28	BAT3
690086,35	1160952,6	203,26	BAT3
690092,59	1160925,27	203,22	BAT3
690100,33	1160953,71	203,54	BAT3
690106,52	1160948,86	203,59	BAT3
690115,28	1160947,91	203,64	BAT3
690121,41	1160948,81	203,7	BAT3
690132,46	1160948,34	203,78	BAT3
690138,45	1160945,93	203,61	BAT3
690150,49	1160941,08	203,59	BAT3
690159,45	1160938,05	203,75	BAT3
690169,69	1160934,3	203,85	BAT3
690181,67	1160933,59	203,95	BAT3
690191,05	1160929,01	203,96	BAT3
690202,37	1160925,85	203,94	BAT3
690211,02	1160920,43	203,93	BAT3
690221,55	1160915,57	203,96	BAT3
690234,93	1160911,76	203,84	BAT3
690205,84	1160905,84	203,8	BAT3
690261,66	1160899,97	203,75	BAT3
690273,24	1160895,95	203,75	BAT3
690284,61	1160893,16	203,86	BAT3
690296,23	1160890,17	203,75	BAT3
690308,15	1160889,65	203,73	BAT3
690318,75	1160890,05	203,71	BAT3
690331,76	1160887,59	203,65	BAT3
690076,21	1160921,27	204,5	BOR2

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

Coordenada X	Coordenada Y	Altitud Z	Descripción completa
690080,28	1160916,66	204,7	BOR2
690090,38	1160913,77	204,69	BOR2
690101,37	1160915,88	204,59	BOR2
690106,88	1160926,98	204,58	BOR2
690113,4	1160928,32	204,57	BOR2
690110,32	1160935,88	204,58	BOR2
690108,35	1160944,77	204,56	BOR2
690087,06	1160947,18	204,7	BOR2
690079,47	1160948,65	204,78	BOR2
690067,68	1160951	204,75	BOR2
690056,9	1160952,57	204,52	BOR2
690048,98	1160954,37	204,5	BOR2
690041,58	1160952,05	204,56	BOR2
690027,34	1160954,47	204,48	BOR2
690014,16	1160960,35	204,63	BOR2
690003,22	1160963,96	204,7	BOR2
689995,68	1160976,58	204,78	BOR2
689990,46	1160982,8	204,89	BOR2
689995,63	1160987,81	204,9	BOR2
690006,12	1160988,73	204,65	BOR2
690014,31	1160987,42	204,68	BOR2
690023,32	1160974,13	204,43	BOR2
690027,97	1160968,72	204,31	BOR2
690055,19	1160965,3	204,29	BOR2
690066,07	1160964,1	204,41	BOR2
690071,57	1160962,88	204,56	BOR2
690078,27	1160962,17	204,61	BOR2
690086,39	1160959,51	204,7	BOR2
690092,3	1160958,32	204,32	BOR2
690130,25	1160965,05	204,68	BOR2
690126,27	1160973,36	204,58	BOR2
690117,76	1160976,38	204,69	BOR2
690111,7	1160979,6	204,6	BOR2
690100,6	1160984,04	204,7	BOR2
690091,15	1160988,62	204,4	BOR2
690078,09	1160988,59	204,48	BOR2
690070,27	1160992,92	204,35	BOR2
690064,64	1160996,16	204,22	BOR2
690049,34	1160998,34	204,26	BOR2

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

Coordenada X	Coordenada Y	Altitud Z	Descripción completa
690044,4	1160997,98	204,15	BOR2
690035,35	1160998,03	204,2	BOR2
690035,21	1160993,93	204,18	BOR2
690028,95	1160995,84	204,3	BOR2
690021,85	1160997,68	204,42	BOR2
690014,83	1161003,26	204,56	BOR2
690008,02	1161011,32	204,36	BOR2
690003,76	1161018,36	204,45	BOR2
690013,93	1161015,47	204,5	BOR2
690028,37	1161010,47	204,5	BOR2
689978,73	1161021,29	205,9	BOR2
689975,31	1161011,6	205,23	BOR2
689971,82	1161010,03	205,78	BOR2
689964,52	1161010,59	205,73	BOR2
689977,04	1160997,28	205,4	BOR2
689991,96	1160992,28	205,57	BOR2
689992,43	1160984,03	205,39	BOR2
689971,23	1160987,22	205,7	BOR2
689969,11	1160995,74	205,65	BOR2
690003,74	1160981,66	204,63	BOR2
690016	1160984,8	204,55	BOR2
690024,91	1160976,49	204,68	BOR2
690024,91	1160976,49	204,29	BOR2
689970,6	1160975,97	204,66	BOR2
689988,6	1160966,79	204,56	BOR2
689991,35	1160975,25	204,69	BOR2
689993,88	1160966,82	210,36	BOR2
689978,44	1160958,58	210,31	BOR2
689956,38	1160991,65	204,2	BOR2
690059,14	1160913,1	204,3	BOR2
690052,32	1160918,53	204,36	BOR2
690058,02	1160907,72	204,4	BOR2
690065,57	1160900,08	204,46	BOR2
690067,27	1160894,05	204,5	BOR2
690062,99	1160892,14	204,35	BOR2
690065,44	1160886,11	204,3	BOR2
690062,12	1160876,88	204,34	BOR2
690067,78	1160871,91	204,34	BOR2
690064,98	1160866,86	204,3	BOR2

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

Coordenada X	Coordenada Y	Altitud Z	Descripción completa
690071,68	1160865,31	204,31	BOR2
690091,68	1160860,28	204,3	BOR2
690093,63	1160865,6	204,3	BOR2
690097,73	1160870,82	204,3	BOR2
690105,44	1160873,73	204,9	BOR2
690117,17	1160873,39	204,8	BOR2
690115,11	1160868,84	204,86	BOR2
690104,4	1160859,2	204,73	BOR2
690089,63	1160856,19	204,5	BOR2
690072,83	1160850,29	204,6	BOR2
690054,56	1160871,14	204,5	BOR2
690044,84	1160901,48	204,5	BOR2
690141,4	1160889,69	204,5	BOR2
690129,83	1160896,95	204,6	BOR2
690126,71	1160904,59	204,5	BOR2
690126,86	1160907,85	204,5	BOR2
690134,83	1160916,31	204,5	BOR2

**ANEXO 3. Números Aleatorios Generados**

Años	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1990	0,4979164	1,6463691	-1,8073467	0,9787647	0,0028868	0,4489369	-0,5707027	0,854132	0,8579664	-0,0183413	0,4509683	-1,0229464
1991	1,862157	-1,0679825	-0,3899347	1,1601058	1,0530403	0,9042327	1,6566907	-0,5595762	-0,8916163	-0,3179937	1,2223172	0,2918778
1992	0,6180995	0,9174504	-1,1943129	-2,4106232	-1,0064779	-0,3712929	-1,1767968	1,5054844	0,8180267	-0,9005344	-2,3490703	1,5180722
1993	0,1302371	-0,0806766	0,1481702	-0,4637886	-0,5531176	-0,8733301	0,5693098	-2,0572722	-0,2932493	1,2804948	0,6389335	1,9473621
1994	-1,5582554	-0,9151043	0,1562277	-0,5566849	2,1014721	-0,4945366	-1,3164314	-0,3381947	-1,7070922	-0,2318411	0,1576409	-1,6280886
1995	-2,3956639	0,1345928	1,6551865	-1,1576528	1,1471001	0,3596613	1,8644492	-2,1481237	-0,4145733	-0,1488247	-0,3822453	0,728842
1996	-0,1207791	0,2792339	-1,7849554	-1,1499518	-0,2822644	-0,4207669	-0,332138	0,0480876	-0,2477433	1,4157615	-1,7779051	1,0086542
1997	0,3911619	1,471588	-0,8901345	0,5802959	-0,8935875	0,2301595	-0,209275	2,9552802	0,5449694	-1,2246364	0,4947098	0,2647955
1998	0,6329342	-0,439035	0,3926074	0,4412117	1,534222	-0,9498873	-0,4164735	-0,924723	-0,4588151	0,6917186	-0,8729396	-0,5388212
1999	1,0302754	-0,6661563	-0,9611685	0,4171399	1,1718522	-0,0977458	0,3420302	-0,581921	0,1100602	-0,6759058	-0,9215856	-1,3561395
2000	2,1707676	-0,3071307	0,825615	0,742031	1,1110843	-2,6392698	-0,5612119	0,7851649	0,2306572	-0,3473781	0,9755494	1,0629291
2001	-0,4398128	-1,1193021	1,8781929	0,5437514	-0,6489807	-0,270088	-0,4647027	1,4226136	0,7838573	-0,3401951	1,5578845	-0,1826258
2002	0,4943737	-1,7787489	0,5247732	0,0965944	-0,7040237	-0,5793564	-2,6141323	-0,5677597	-0,2732214	0,5805992	-0,5536476	0,4683097
2003	0,0331889	1,0081975	1,4744447	-0,0711203	-2,0408594	0,7309449	-0,3503243	-1,0493922	0,9876958	0,1361278	-0,4373744	-2,232622
2004	0,4389997	0,2019878	-0,8766216	0,0922625	0,1009755	-0,2311613	1,755372	-0,1275146	-1,0128764	0,5124832	-0,2929231	0,9222582
2005	-0,6959127	-1,2654507	1,5866125	-0,5080375	0,1599663	-0,6301991	-1,3793934	-0,789623	0,994029	0,1980319	-1,4006302	0,5725809
2006	-1,4181872	-0,0909519	0,7037265	1,1261421	0,9763012	0,1673197	-0,0282297	-1,9936706	-0,85325	0,3114915	-0,4479221	-0,9216692
2007	1,7134824	1,0442829	0,1893986	-1,5254008	0,5051555	-0,5769852	1,5461606	-0,5194822	0,6185143	1,3410107	-0,8894549	0,47428
2008	1,0749119	0,0174046	-0,3380518	-0,1328407	-0,2272105	-1,1344898	-0,3449854	1,0065593	0,6625458	-0,1721094	-1,3693626	0,6205974
2009	-0,9540882	-0,7699521	1,9243198	2,5705852	1,3662046	1,0776279	-0,1652105	0,4044389	-0,4711359	1,4608599	-1,0894531	0,1429272
2010	-0,0195251	0,6816421	-0,9119947	-0,4586708	0,3697601	-0,2879145	0,8972761	0,8013408	-0,1140962	1,7275266	0,7980114	0,2823026
2011	0,1338536	-0,8168817	1,1066695	-1,142154	1,1483686	-1,1843699	0,2216956	-0,563906	-0,3532636	1,1527668	-0,0986748	-0,4550003
2012	0,4129092	-1,4452793	0,2214308	-0,2654265	0,5906601	-1,4740309	-0,1231609	0,0434816	1,5925663	-0,4943492	-0,4558539	1,4310906
2013	0,120592	-0,2418357	-0,4004639	0,2658886	1,0391845	-1,1024893	0,8741881	0,9217729	-0,3995234	1,6713917	-1,0887034	1,0205626
2014	-1,0617163	-1,2970783	0,5160498	1,1188258	1,8531707	0,2058638	-0,1106533	-0,0708487	-0,0946249	1,342519	0,4410098	-0,5256515
2015	-0,5814933	0,965381	0,8360755	0,3381654	0,3422742	1,1573606	-1,228465	-2,1786182	1,4991378	1,4515098	-1,0926783	-0,331696
2016	1,3643664	1,0059941	1,0444573	-0,430735	-1,8020936	-0,1803743	0,5743923	0,5025711	2,0877023	-1,0434597	-0,2093346	-0,7540087
2017	-0,1332453	-0,4531101	0,3827016	1,4624197	1,0166465	0,3028482	1,1413904	-0,9716555	0,8623312	-0,441946	-0,4178477	-0,5060828
2018	-0,5524321	1,602558	-0,7506643	0,9527621	1,1335523	1,6359212	-0,1616483	-0,3421034	2,9700029	0,8422561	0,0994935	-0,7738061
2019	-2,0681021	-0,4263694	-0,6158332	1,4164059	1,338498	-0,781688	-0,8685237	-1,7131049	-0,911963	0,8088999	0,3630252	0,8511713
2020	0,7375247	1,0583056	-0,6851066	-1,2975067	-0,8620666	0,1704204	1,1494506	0,0318229	1,6594348	-0,0845815	-0,0901928	2,0291462
2021	0,7383997	-0,1112864	-0,6596242	1,244639	1,9513959	-0,1217709	-1,1968412	-0,9503192	-0,7971038	0,4494641	0,6970517	0,3929063
2022	0,3068092	1,9173779	-0,3568179	0,5280252	-1,4970395	-0,1510747	-0,5024096	-1,0792357	0,0514597	-1,5576816	0,4213706	2,6493858
Media	0,0879923	0,020001	0,0892009	0,136528	0,3483652	-0,2170159	-0,0463425	-0,2498271	0,2435397	0,284095	-0,239995	0,2257847
Desv	1,0578688	0,9992664	1,0179736	1,0385153	1,1014835	0,8437971	1,0299494	1,161166	1,0114329	0,8996652	0,8900269	1,0921878
X	0											
De	1											

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA

ANEXO 4. Precipitación Efectiva Mensual

Estación Alfonso López Pumarejo												
Años	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1990	0	0,1734466	13,223416	685,14975	856,36846	524,51342	127,11261	951,75833	110,60858	21,077501	768,98988	170,10479
1991	0	2,081359	3,2056767	87,978772	61,031511	630,98001	300,55599	539,65678	594,44027	725,30278	539,35667	0
1992	6,5747005	0	70,524888	491,11438	679,05586	329,0239	196,60876	605,72386	655,24265	743,6815	547,57664	64,131459
1993	49,848184	0,5203397	205,96473	361,44667	125,26339	396,39259	168,69151	243,33615	523,28855	626,18901	70,08568	216,6392
1994	1,5540201	80,999554	8,815611	35,553063	812,40124	24,060248	50,488655	522,4604	473,86896	147,0297	356,62035	45,361276
1995	0	2,081359	347,81592	432,06013	257,79096	870,37949	637,34502	697,96729	63,389713	419,436	45,526003	4,6925458
1996	74,234345	8,6723291	212,77679	378,42924	152,89999	704,36377	163,3243	665,24964	850,58646	436,49443	882,69861	27,764229
1997	0,35862	0	0	601,38914	148,40294	94,436475	75,435991	529,19071	690,17168	680,66877	254,81915	88,767325
1998	0	26,537327	13,223416	40,37382	508,15815	314,58775	847,61542	800,65443	138,28318	333,81774	913,68158	464,56204
1999	0	33,128297	135,43984	434,47051	35,976469	60,150621	211,45837	425,53096	154,59328	871,78158	585,51498	47,316504
2000	13,627561	0,8672329	6,0106439	192,22759	896,64941	365,11427	197,20275	960,76812	366,75477	797,50487	907,99083	82,901643
2001	0	0	76,936241	38,566037	446,88448	10,225606	65,33826	400,98134	754,20822	141,12226	315,52049	307,36175
2002	0	0	0	284,42452	1023,3366	668,2734	4,1578892	690,10655	864,16997	146,94114	350,2973	238,1467
2003	0	0	29,65251	362,15919	1029,7207	362,10674	520,33014	527,88245	338,94092	540,42729	18,743446	29,719457
2004	0	8,4988825	0	751,43513	890,41762	135,3389	649,22471	51,022096	618,37744	693,79642	507,74139	286,63634
2005	0	0	131,83346	380,23702	1290,3199	322,36785	436,57837	815,69941	68,564384	0	531,65189	0
2006	2,2712602	67,99106	22,039027	744,80659	619,95166	440,90405	425,29267	65,412943	611,90478	66,452515	468,79381	150,55251
2007	0	1,9079124	297,32652	0	853,15627	39,69941	152,05995	648,8964	653,33431	1148,6316	419,85091	35,976185
2008	0	0	241,22717	730,94692	143,0068	238,79797	710,40508	585,44584	806,60176	750,30453	453,0632	0
2009	2,1517202	0	32,858186	356,73584	189,95782	501,68174	359,36043	378,08681	472,83552	575,64755	74,61206	19,552274
2010	0	14,049173	91,361787	733,95989	398,95198	445,21952	814,35231	82,420309	465,10857	252,05092	839,70183	443,05453
2011	0	0,5203397	208,7697	257,91037	651,44949	840,30418	468,65352	45,78906	567,92009	986,01206	871,94941	68,824005
2012	0	0	55,297924	621,27475	362,60269	417,44531	612,99167	780,37642	473,48235	439,09128	224,46849	0
2013	0	0	218,38673	573,06721	233,20461	48,120497	86,127706	551,43111	751,62089	654,60168	28,453752	0
2014	0	0,5203397	113,0001	38,566037	851,31738	5,4135559	2,9699209	410,13916	570,50742	70,232939	249,1284	294,45725
2015	0	37,117569	1,2021288	10,244104	189,5189	103,92706	51,676623	295,6665	628,72246	907,12077	278,84677	2,3462729
2016	0	0	11,620578	497,14032	426,57814	267,16377	90,285595	356,50054	356,40543	461,80553	173,6486	31,674684
2017	2,7494202	0,1734466	389,48972	31,334905	721,4567	260,15937	800,69067	922,97663	140,36294	342,12532	674,67007	37,931412
2018	9,8022807	0	18,432641	52,425707	789,55502	339,85101	85,533722	845,78936	64,036547	882,83461	214,3516	0
2019	0,7172401	24,629415	2,8049671	270,56485	648,40508	295,33955	281,5485	629,92665	703,10835	869,70696	59,436726	0
2020	15,181581	0	0	0	0	0	0	355,84641	635,83764	617,65603	221,63417	6,2567277
2021	0	0,6937863	87,354691	326,00353	647,83581	400,00163	450,83399	784,30119	494,82786	607,15391	31,61528	4,3015003
2022	3,4666602	22,027716	286,10665	277,74556	904,55123	593,66264	217,99219	823,54896	918,40117	654,91282	589,30881	0

ANEXO 5. Caudales Generados en milímetros por día

Estación Alfonso López Pumarejo												
Años	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Pprom	5,5314422	10,096693	100,99096	336,79191	472,63284	333,99189	315,59122	530,47642	493,07902	543,01075	430,54952	96,031291
1990	9,7349839	9,4412163	21,592395	669,47173	838,84796	520,31323	135,04282	927,14536	122,14775	30,163739	750,25368	178,01553
1991	10,472477	10,953541	12,123005	94,005955	68,597357	617,59315	303,11873	531,05071	585,38598	711,9309	533,82631	12,759039
1992	15,504916	9,2253223	76,880247	482,47461	666,56751	330,64345	200,61292	594,24967	644,62273	729,98175	541,43681	74,757465
1993	57,574653	8,9979194	207,55587	358,67712	132,13731	391,77506	174,35127	244,44248	514,90243	616,13102	80,907787	218,5557
1994	11,834858	87,025672	18,125109	43,321899	792,37706	37,647823	57,756794	512,79871	468,97925	153,91834	353,72884	54,979595
1995	9,0959539	11,090707	344,43304	427,5875	260,52564	849,54397	629,28274	685,67337	74,811482	413,66836	55,707827	14,003958
1996	80,618894	17,957434	213,94006	375,00192	158,91414	688,77162	171,13808	651,22438	833,11887	435,57799	862,3728	41,887855
1997	9,6904119	9,2524473	8,9611915	588,62509	155,99413	101,11703	82,37271	519,85726	677,72818	669,45498	259,26704	96,377866
1998	9,7538742	34,590567	22,036023	48,116096	499,1787	315,49662	827,89713	786,15326	147,67175	331,77836	891,61485	462,79227
1999	12,354402	40,93189	139,68028	428,67619	46,800266	67,279334	213,27274	420,45286	160,91019	850,07482	579,00406	58,465818
2000	22,808729	9,9624029	14,967248	194,42681	874,48847	366,59079	201,51076	936,28154	368,95215	779,99236	889,4787	95,212571
2001	9,6148487	8,9357499	83,431025	46,814276	439,86113	21,889191	72,059755	396,05843	738,59942	150,0907	314,27005	307,33955
2002	11,206292	8,8663606	9,1311663	283,14651	996,95808	659,8132	17,288357	674,0293	846,36339	156,56059	347,56767	240,95667
2003	10,687663	9,2028447	37,821962	358,22944	1003,4695	365,00241	512,88449	521,10642	339,35201	532,13041	30,719042	37,583949
2004	9,3207143	17,284293	9,0187815	733,14723	872,11251	145,46118	635,81258	62,58205	605,17372	681,81117	502,96777	288,81805
2005	10,932039	8,9270892	136,29323	376,2814	1254,9719	328,2964	431,80174	797,90802	80,751288	9,5919647	521,19033	12,705285
2006	11,109342	74,586469	30,847102	727,0383	611,56122	438,13154	421,85694	74,730871	599,04089	77,247953	461,20903	157,17455
2007	10,309178	11,043038	295,60325	10,878073	831,22702	52,977929	156,08495	635,29262	643,04541	1120,4461	421,26053	46,663216
2008	9,4615521	9,0733966	241,46897	714,99673	151,75601	240,02481	695,16707	578,09382	790,33783	737,46736	450,53725	12,219053
2009	11,047404	8,9883593	40,964293	353,34787	194,67266	493,90319	358,69768	375,86987	467,18057	567,11992	84,71704	28,45304
2010	9,2011638	22,690142	97,086497	716,8546	398,46543	440,75009	796,87816	94,071892	457,81592	255,27603	820,00053	441,66949
2011	12,097892	9,4913378	210,37281	258,84847	638,672	823,00934	466,34971	56,306056	556,59081	963,12404	855,89432	81,228495
2012	9,6215103	8,8960167	62,378323	608,0553	362,70916	413,59364	602,53743	765,16232	470,76707	435,32342	228,27505	10,769925
2013	9,0951015	9,0392087	219,45252	562,76233	237,76305	56,894774	92,499245	541,11004	736,97217	645,10329	40,78306	9,413965
2014	8,941378	9,4107538	118,01852	47,125351	829,87206	20,026865	11,993112	404,2821	561,53909	80,755315	249,67677	294,41329
2015	10,984972	44,965433	10,578929	18,991334	191,79602	110,62447	59,420506	294,05167	61,706068	887,5636	283,74496	13,201973
2016	9,2638205	9,1926589	20,394212	488,12927	423,22735	269,36474	97,948951	353,26566	355,14571	456,33812	179,48247	40,684527
2017	11,921763	9,2002436	384,42062	42,054971	704,60352	264,63124	782,51724	903,69868	150,65568	339,66583	661,41864	50,100276
2018	18,732184	9,3314049	26,740084	59,82424	770,35971	342,04409	93,786525	824,60246	76,815411	860,32485	221,55448	10,45405
2019	9,5169291	32,752037	11,861147	269,97169	635,83914	297,92179	282,26886	61,774695	690,6977	851,94686	72,255433	9,6124958
2020	23,790992	9,3002228	8,9865442	8,9096271	8,962229	9,0885917	9,2089447	351,95985	624,33961	608,50445	226,79477	16,861454
2021	9,2129206	9,7244791	93,165833	323,9366	635,74126	398,85192	446,05185	767,73297	491,06147	597,52172	43,715963	13,502638
2022	12,477263	30,551722	284,86123	278,68388	882,37107	587,17395	223,08657	803,98267	899,564			

ANEXO 6. Caudales Generados en metros cúbicos por segundo

Años	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
PE	0,0004209	0,0007683	0,0076844	0,0256266	0,0359628	0,0254136	0,0240135	0,0403641	0,0375186	0,0413179	0,0327607	0,0073071
1990	0,0007407	0,0007184	0,001643	0,0509404	0,0638283	0,0395908	0,0102755	0,0705468	0,0092943	0,0022952	0,0570871	0,0135453
1991	0,0007969	0,0008335	0,0009224	0,0071529	0,0052196	0,0469929	0,0230644	0,0404078	0,0445422	0,0541711	0,040619	0,0009708
1992	0,0011798	0,000702	0,0058498	0,0367117	0,0507194	0,0251588	0,0152647	0,0452167	0,0490496	0,0555446	0,0411981	0,0056883
1993	0,0043809	0,0007531	0,015793	0,0272919	0,0100544	0,0298103	0,0132665	0,0185997	0,0391791	0,0468816	0,0061563	0,01663
1994	0,0009005	0,0066218	0,0013791	0,0032964	0,0602923	0,0028646	0,0043947	0,039019	0,0356848	0,0117117	0,0269154	0,0041834
1995	0,0006921	0,0008439	0,026208	0,0325353	0,0198235	0,0646421	0,0478824	0,0521731	0,0056924	0,0314762	0,0042388	0,0010656
1996	0,0061343	0,0013664	0,0162788	0,028534	0,0120918	0,0524089	0,013022	0,0495519	0,0633923	0,0331433	0,0656183	0,0031873
1997	0,0007373	0,000704	0,0006819	0,0447887	0,0118697	0,007694	0,0062678	0,0395561	0,0515686	0,0509391	0,0197277	0,0073334
1998	0,0007422	0,002632	0,0016767	0,0036612	0,0379827	0,0240063	0,062995	0,0598187	0,0112364	0,0252451	0,0678433	0,035214
1999	0,0009401	0,0031145	0,0106283	0,0326181	0,003561	0,0051193	0,016228	0,0319924	0,0122437	0,0646825	0,0440566	0,0044487
2000	0,0017355	0,000758	0,0011389	0,014794	0,0665402	0,027894	0,015333	0,071242	0,0280737	0,0593499	0,0676808	0,0072448
2001	0,0007316	0,0006799	0,0063483	0,0035621	0,0334692	0,0016656	0,0054831	0,0301362	0,0562003	0,0114205	0,0239129	0,0233856
2002	0,0008527	0,0006746	0,0006948	0,0215447	0,0758589	0,0502054	0,0013155	0,0512871	0,0644001	0,0119128	0,0264466	0,0183345
2003	0,0008132	0,0007002	0,0028779	0,0272578	0,0763544	0,0277732	0,0390256	0,0396512	0,0258214	0,04049	0,0023374	0,0028598
2004	0,0007092	0,0013152	0,0006862	0,0557854	0,0663594	0,0110682	0,0483792	0,0047619	0,0460479	0,0518793	0,038271	0,0219763
2005	0,0008318	0,0006793	0,0103706	0,0286314	0,0954913	0,0249802	0,032856	0,0607131	0,0061444	0,0007299	0,0396576	0,0009667
2006	0,0008453	0,0006753	0,0023472	0,0553206	0,0465339	0,0333376	0,0320993	0,0056863	0,0455812	0,0058778	0,0350936	0,0119595
2007	0,0007844	0,0008403	0,0224926	0,0008277	0,0632484	0,0040311	0,0118766	0,0483397	0,0489296	0,0852552	0,0320539	0,0035506
2008	0,0007199	0,0006904	0,0183735	0,0544044	0,0115472	0,0182636	0,0528955	0,0439874	0,0601371	0,0561142	0,0342815	0,0009298
2009	0,0008406	0,0006839	0,003117	0,0268864	0,0148127	0,0375813	0,0272934	0,0286001	0,0355479	0,0431524	0,0064462	0,002165
2010	0,0007001	0,0017265	0,0073873	0,0545457	0,0303194	0,0335368	0,0606348	0,007158	0,0348354	0,019424	0,0623941	0,0336068
2011	0,0009205	0,0007222	0,0160073	0,0196959	0,0485968	0,0626231	0,0354847	0,0042843	0,0423512	0,0732845	0,0651253	0,0061807
2012	0,0007321	0,0006769	0,0047464	0,0462672	0,0275987	0,0314705	0,0458473	0,0582215	0,0358208	0,0331239	0,0173695	0,0008195
2013	0,000692	0,0006878	0,0166982	0,0428208	0,0180915	0,0043291	0,0070383	0,0411733	0,0560765	0,0490862	0,0031032	0,0007163
2014	0,0006804	0,0007161	0,0089801	0,0035858	0,0631453	0,0015239	0,0009126	0,030762	0,0427277	0,0061447	0,018998	0,022402
2015	0,0008359	0,0034214	0,000805	0,0014451	0,0145938	0,0084175	0,0045213	0,0223745	0,0469524	0,067535	0,0215903	0,0010045
2016	0,0007049	0,0006995	0,0015518	0,0371419	0,0322035	0,0204961	0,007453	0,0268801	0,0270232	0,0347229	0,0136569	0,0030957
2017	0,0009071	0,0007	0,0292507	0,0032	0,0536135	0,0201361	0,059542	0,0687628	0,0114634	0,0258453	0,0503276	0,0038121
2018	0,0014253	0,00071	0,0020347	0,004552	0,058617	0,0260263	0,0071363	0,0627443	0,0058449	0,0654624	0,0168582	0,0007955
2019	0,0007241	0,0024921	0,0009025	0,0205422	0,0483812	0,022669	0,0214779	0,0470046	0,0525554	0,064825	0,0054979	0,0007314
2020	0,0018103	0,0007077	0,0006838	0,0006779	0,0006819	0,0006916	0,0007007	0,0267808	0,0475062	0,0463013	0,0172569	0,001283
2021	0,000701	0,0007399	0,007089	0,0246485	0,0483738	0,0303488	0,0339403	0,0584171	0,0373651	0,0454657	0,0033264	0,0010274
2022	0,0009494	0,0023247	0,0216752	0,0212052	0,0671399	0,0446783	0,0169747	0,0611753	0,0684482	0,0491651	0,0442392	0,0010179



### ANEXO 7. Caudales Generados en litros por segundo con datos atípicos

Años	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
PE	0,4208895	0,7682612	7,6844398	25,626623	35,962809	25,413568	24,013454	40,364149	37,518567	41,317891	32,760674	7,3070568
1990	0,7407386	0,7183857	1,6429734	50,940354	63,828255	39,590828	10,275459	70,546836	9,2942681	2,2951702	57,087083	13,545269
1991	0,7968547	0,8334591	0,922444	7,1529483	5,2195985	46,992893	23,064417	40,407847	44,542238	54,171088	40,619043	0,97084
1992	1,1797749	0,7019582	5,8498467	36,711673	50,719371	25,158784	15,264712	45,216679	49,049585	55,544584	41,198129	5,6883234
1993	4,3808768	0,7531364	15,793003	27,291876	10,054377	29,81031	13,266453	18,59972	39,179119	46,881639	6,1563037	16,629985
1994	0,9005188	6,6218159	1,3791463	3,2963795	60,292266	2,8646369	4,394736	39,019045	35,684806	11,711704	26,91536	4,1834179
1995	0,6921145	0,843896	26,208039	32,535293	19,823494	64,642118	47,882358	52,173143	5,6924336	31,47618	4,2388294	1,0655664
1996	6,1343218	1,3663878	16,278779	28,534036	12,091836	52,400899	13,02196	49,551906	63,392326	33,143292	65,618269	3,1872625
1997	0,7373471	0,7040222	0,6818604	44,788703	11,869651	7,6940328	6,2677702	39,556133	51,568591	50,939079	19,727726	7,3334278
1998	0,7421759	2,6320092	1,6767292	3,6611717	37,982694	24,006255	62,995002	59,818695	11,236399	25,24514	67,843307	35,214036
1999	0,9400511	3,1145228	10,628324	32,618131	3,5610497	5,1193097	16,228002	31,992415	12,243717	64,68251	44,056635	4,4486859
2000	1,7355247	0,758043	1,1388635	14,794009	66,540154	27,89403	15,333029	71,242012	28,073707	59,34991	67,680767	7,2447601
2001	0,7315974	0,6799245	6,3482979	3,5621157	33,469198	1,6655567	5,4830537	30,136234	56,200306	11,420458	23,912926	23,385581
2002	0,852691	0,6746447	0,6947939	21,544724	75,858913	50,205433	1,3154776	51,287141	64,400106	11,912754	26,446554	18,334483
2003	0,8132283	0,7002479	2,8778872	27,257812	76,354367	27,77317	39,025572	39,651182	25,821421	40,490001	2,3374234	2,8597767
2004	0,7092166	1,3151683	0,6862425	55,785447	66,359366	11,068196	48,379217	4,7618915	46,047894	51,879266	38,271006	21,976274
2005	0,8318229	0,6792655	10,370603	28,631392	95,491283	24,980196	32,855955	60,713119	6,1443957	0,7298562	39,657567	0,9667499
2006	0,8453139	5,6753123	2,3471675	55,320616	46,533922	33,337592	32,099252	5,6862999	45,581245	5,8778256	35,093567	11,95947
2007	0,7844292	0,8402689	22,492562	0,8277167	63,248374	4,0311104	11,876562	48,339653	48,929565	85,255164	32,053871	3,5506216
2008	0,719933	0,6903981	18,373464	54,404368	11,547171	18,263578	52,895522	43,987375	60,137101	56,114167	34,281548	0,9297523
2009	0,8406011	0,6839276	3,1169884	26,886371	14,812716	37,581278	27,293441	28,600079	35,547944	43,152366	6,4461512	2,1650024
2010	0,70012	1,7265014	7,3873478	54,545734	30,319383	33,536839	60,634757	7,1579654	34,835384	19,424048	62,394147	33,606796
2011	0,9205331	0,7221994	16,007346	19,695877	48,596791	62,623088	35,484724	4,2843489	42,351202	73,284468	65,125318	6,1807065
2012	0,7321043	0,6769012	4,7463899	46,267155	27,598676	31,470494	45,847298	58,221487	35,820842	33,123922	17,369534	0,8194876
2013	0,6920497	0,6877968	16,698224	42,820796	18,091479	4,3291446	7,0383021	41,173265	56,076488	49,086151	3,1031983	0,7163121
2014	0,6803528	0,7160678	8,9800735	3,5857856	63,145275	1,5238516	0,9125604	30,761976	42,727719	6,1447021	18,997998	22,402017
2015	0,8358506	3,4214366	0,8049546	1,4450577	14,593831	8,4174574	4,5213285	22,374501	46,952378	67,535046	21,59026	1,004543
2016	0,7048876	0,6994728	1,5518032	37,141939	32,203527	20,496063	7,4529722	26,880116	27,023169	34,722938	13,656888	3,0957009
2017	0,9071314	0,70005	29,250709	3,1999785	53,613545	20,136112	59,542029	68,76277	11,463447	25,8453	50,327591	3,8121487
2018	1,4253388	0,7100301	2,034663	4,5520488	58,616958	26,026262	7,1362517	62,744309	5,8449134	65,462439	16,858163	0,7954525
2019	0,7241467	2,4921147	0,9025191	20,542246	48,381237	22,66898	21,477943	47,004596	52,555446	64,824955	5,4979429	0,7314184
2020	1,8102655	0,7076574	0,6837895	0,6779369	0,6819394	0,6915543	0,700712	26,780756	47,506234	46,301331	17,256899	1,2829944
2021	0,7010146	0,7399392	7,089023	24,648457	48,37379	30,348791	33,940252	58,417089	37,36505	45,465651	3,3263639	1,0274207
2022	0,9493996	2,324692	21,675198	21,205161	67,139945	44,678285	16,97474	61,175342	68,448177	49,165147	44,239189	1,0179445

En azul se aprecian los identificados como datos atípicos.

### ANEXO 8. Caudales Generados en litros por segundo sin datos atípicos

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1990	0,7407386	0,7183857	1,6429734	50,940354	63,828255	39,590828	10,275459		9,2942681	2,2951702	57,087083	13,545269
1991	0,7968547	0,8334591	0,922444	7,1529483	5,2195985	46,992893	23,064417	40,407847	44,542238	54,171088	40,619043	0,97084
1992	1,1797749	0,7019582	5,8498467	36,711673	50,719371	25,158784	15,264712	45,216679	49,049585	55,544584	41,198129	5,6883234
1993	4,3808768	0,7531364	15,793003	27,291876	10,054377	29,81031	13,266453	18,59972	39,179119	46,881639	6,1563037	16,629985
1994	0,9005188	6,6218159	1,3791463	3,2963795	60,292266	2,8646369	4,394736	39,019045	35,684806	11,711704	26,91536	4,1834179
1995	0,6921145	0,843896	26,208039	32,535293	19,823494	64,642118	47,882358	52,173143	5,6924336	31,47618	4,2388294	1,0655664
1996	6,1343218	1,3663878	16,278779	28,534036	12,091836	52,400899	13,02196	49,551906	63,392326	33,143292	65,618269	3,1872625
1997	0,7373471	0,7040222	0,6818604	44,788703	11,869651	7,6940328	6,2677702	39,556133	51,568591	50,939079	19,727726	7,3334278
1998	0,7421759	2,6320092	1,6767292	3,6611717	37,982694	24,006255	62,995002	59,818695	11,236399	25,24514	67,843307	35,214036
1999	0,9400511	3,1145228	10,628324	32,618131	3,5610497	5,1193097	16,228002	31,992415	12,243717	64,68251	44,056635	4,4486859
2000	1,7355247	0,758043	1,1388635	14,794009	66,540154	27,89403	15,333029		28,073707	59,34991	67,680767	7,2447601
2001	0,7315974	0,6799245	6,3482979	3,5621157	33,469198	1,6655567	5,4830537	30,136234	56,200306	11,420458	23,912926	23,385581
2002	0,852691	0,6746447	0,6947939	21,544724	75,858913	50,205433	1,3154776	51,287141	64,400106	11,912754	26,446554	18,334483
2003	0,8132283	0,7002479	2,8778872	27,257812	76,354367	27,77317	39,025572	39,651182	25,821421	40,490001	2,3374234	2,8597767
2004	0,7092166	1,3151683	0,6862425	55,785447	66,359366	11,068196	48,379217	4,7618915	46,047894	51,879266	38,271006	21,976274
2005	0,8318229	0,6792655	10,370603	28,631392	95,491283	24,980196	32,855955	60,713119	6,1443957	0,7298562	39,657567	0,9667499
2006	0,8453139	5,6753123	2,3471675	55,320616	46,533922	33,337592	32,099252	5,6862999	45,581245	5,8778256	35,093567	11,95947
2007	0,7844292	0,8402689	22,492562	0,8277167	63,248374	4,0311104	11,876562	48,339653	48,929565		32,053871	3,5506216
2008	0,719933	0,6903981	18,373464	54,404368	11,547171	18,263578	52,895522	43,987375	60,137101	56,114167	34,281548	0,9297523
2009	0,8406011	0,6839276	3,1169884	26,886371	14,812716	37,581278	27,293441	28,600079	35,547944	43,152366	6,4461512	2,1650024
2010	0,70012	1,7265014	7,3873478	54,545734	30,319383	33,536839	60,634757	7,1579654	34,835384	19,424048	62,394147	33,606796
2011	0,9205331	0,7221994	16,007346	19,695877	48,596791	62,623088	35,484724	4,2843489	42,351202		65,125318	6,1807065
2012	0,7321043	0,6769012	4,7463899	46,267155	27,598676	31,470494	45,847298	58,221487	35,820842	33,123922	17,369534	0,8194876
2013	0,6920497	0,6877968	16,698224	42,820796	18,091479	4,3291446	7,0383021	41,173265	56,076488	49,086151	3,1031983	0,7163121
2014	0,6803528	0,7160678	8,9800735	3,5857856	63,145275	1,5238516	0,9125604	30,761976	42,727719	6,1447021	18,997998	22,402017
2015	0,8358506	3,4214366	0,8049546	1,4450577	14,593831	8,4174574	4,5213285	22,374				