

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

Maestría en Ecohidrología

Tesis de Maestría en Ecohidrología

Para la obtención del título

**Magister en Ecohidrología**

**ZONIFICACIÓN POR INUNDACIONES Y ORDENAMIENTO  
TERRITORIAL EN EL PUERTO - LAGUNA DE LA COCHA.  
COLOMBIA**

**Autor:** Geólogo Juan Guillermo Delgado

**Director:** Mg. Ing. Enrique Angheben

**Codirector:** Mg. Ing. Francisco Mafla

La Plata, Buenos Aires, junio del 2019

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

Maestría en Ecohidrología

Tesis de Maestría en Ecohidrología

Para la obtención del título

**Magister en Ecohidrología**

## ZONIFICACIÓN POR INUNDACIONES Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL EN EL PUERTO - LAGUNA DE LA COCHA. COLOMBIA

**Autor:** Geólogo Juan Guillermo Delgado

**Director:** Mg. Ing. Enrique Angheben

**Codirector:** Mg. Ing. Francisco Mafla

La Plata, Buenos Aires, junio del 2019

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a los directivos y docentes de la maestría en Ecohidrología de la Facultad de Ingeniería y la Facultad de Ciencias Naturales y Museo de la Universidad Nacional de La Plata de la República Argentina, por haberme brindado la posibilidad de realizar los estudios de maestría.

Al Mg. Ing. Enrique Angheben por la dirección de este trabajo de tesis, para optar el título de Magister en Ecohidrología.

Al Mg. Ing. Francisco Mafla por su colaboración como codirector en la elaboración de la presente tesis.

A la Corporación Autónoma Regional de Nariño - CORPONARIÑO, por su apoyo institucional en la aprobación de la comisión de estudios para la realización de la maestría y a los funcionarios y personas que colaboraron en la construcción del presente trabajo.

## RESUMEN

En el ordenamiento y planificación del territorio de zonas propensas a inundaciones, la gestión del riesgo debe ser parte integral y la base para la toma de decisiones acertadas, que armonicen la prevención y el bienestar en el contexto de un desarrollo sostenible.

El presente estudio permitió determinar la zonificación del riesgo por inundaciones en el caserío del Puerto - Laguna de La Cocha (lago Guamués), Colombia, con el objeto de generar pautas para la prevención y ordenamiento territorial.

La investigación se realizó entre marzo de 2016 y diciembre de 2017. Para lo cual se determinaron los máximos niveles limnimétricos, se delimitaron diferentes áreas de inundación en el sector del Puerto considerando las elevaciones máximas de la laguna y se generaron las pautas para el ordenamiento territorial de la zona.

Para ello se llevó a cabo un análisis del comportamiento histórico de la variable hidrológica y su variación multianual, se ajustó una distribución estadística y estimaron niveles para diferentes recurrencias a partir de la serie de eventos observados. Una vez obtenidos los distintos niveles para los diferentes períodos de retorno adoptados, éstos se convierten en cotas para llevarlos a los planos topográficos levantados en la zona de estudio, y así con base a criterios hidrológicos y geomorfológicos, poder definir las distintas zonas bajo amenaza.

Posteriormente con base en la infraestructura e instalaciones críticas presentes en el área de estudio, se evaluó la vulnerabilidad, y a partir de la combinación de zonas de amenaza y vulnerabilidad se establecieron tres zonas del riesgo por inundación: Alta, Media y Baja.

Una vez determinadas estas zonas de riesgo se generaron pautas de prevención y ordenamiento territorial. Para las zonas de alto y mediano riesgo (donde se concentra la mayor parte de población), con probabilidad alta de ocurrencia de inundaciones, se aconseja prohibir los asentamientos de viviendas, puesto que en estos sectores pueden ocurrir efectos potencialmente dañinos, dada la exposición de personas, infraestructura e instalaciones críticas que pueden afectarse de manera considerable.

Para la zona de bajo riesgo, apoyados en el principio de prevención y sostenibilidad, se sugiere evitar que sea poblado, y así impedir aumentar el grado de vulnerabilidad y riesgo.

## ABSTRACT

In ordering and planning the territory of flood-prone areas, risk management must be an integral part and the basis for making sound decisions that harmonize prevention and well-being in the context of sustainable development.

The present study allowed to determine the zoning of the flood risk in the hamlet of the Port - Laguna de La Cocha (Lake Guamués), Colombia, with the purpose of generating guidelines for the prevention and territorial ordering.

The investigation was carried out between March 2016 and December 2017. To this end, the maximum limnimetric levels were determined, different flood areas were delimited in the Puerto sector considering the maximum elevations of the lagoon and guidelines for territorial ordering were generated of the area.

For this, an analysis of the historical behavior of the hydrological variable and its multiannual variation was performed, a statistical distribution was adjusted and levels for different recurrences were estimated from the observed series of events, once the different levels for the different return periods were obtained adopted, these are converted into dimensions to take them to the Surveyed topographic plans of the study area, and thus based on hydrological and geomorphological criteria, to be able to define the different zones under threat.

Subsequently, based on the infrastructure and critical facilities present in the study area, vulnerability was assessed, and based on the combination of threat and vulnerability zones, three flood risk zones were established: High, Medium and Low.

Once these risk areas were determined, guidelines for prevention and territorial ordering were generated. For areas of high and medium risk (where most of the population is concentrated), with a high probability of flooding, it is advisable to prohibit housing settlements, since potentially harmful effects can occur in these sectors, given the exposure of people, infrastructure and critical facilities that can be significantly affected.

For the area of low risk, under the principle of prevention and sustainability, it is suggested to avoid being populated, and thus prevent increasing the degree of vulnerability and risk.

## INDICE

|                                                                                 | Pág. |
|---------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1. INTRODUCCIÓN.....                                                            | 11   |
| 2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO .....                                      | 15   |
| 2.1 Características del clima.....                                              | 15   |
| 2.2 Caracterización de la hidrología superficial .....                          | 18   |
| 2.3 Caracterización geológica .....                                             | 22   |
| 2.3.1 Estratigrafía .....                                                       | 22   |
| 2.3.2 Geología estructural .....                                                | 25   |
| 2.3.3 Geomorfología.....                                                        | 26   |
| 2.4 Caracterización ecológica del lago.....                                     | 28   |
| 2.4.1 Características físico-químicas y microbiológicas del agua del lago ..... | 29   |
| 2.4.2 Comunidades bióticas acuáticas .....                                      | 32   |
| 2.4.3 Flora acuática del lago Guamués - Macrófita.....                          | 33   |
| 2.4.4 Fauna en el humedal lacustre .....                                        | 33   |
| 2.5 Características Poblacionales .....                                         | 34   |
| 2.6 Usos de suelo .....                                                         | 37   |
| 3. MARCO CONCEPTUAL .....                                                       | 40   |
| 3.1 Inundaciones.....                                                           | 40   |
| 3.2 Amenaza y gestión del riesgo .....                                          | 41   |
| 3.3 Desarrollo sostenible y ordenamiento territorial.....                       | 43   |
| 4. METODOLOGÍA.....                                                             | 45   |
| 4.1 Determinación de la relación Amenaza – Vulnerabilidad – Riesgo.....         | 45   |
| 4.2 Determinación de la amenaza.....                                            | 48   |
| 4.2.1 Criterio hidrológico.....                                                 | 48   |

|       |                                                        |    |
|-------|--------------------------------------------------------|----|
| 4.3   | Determinación de la Vulnerabilidad .....               | 55 |
| 4.4   | Determinación del Riesgo .....                         | 56 |
| 5.    | RESULTADOS - DISCUSIÓN.....                            | 58 |
| 5.1   | Ajuste de una distribución estadística .....           | 58 |
| 5.1.1 | Determinación de la ley de probabilidad teórica.....   | 66 |
| 5.1.2 | Test de Bondad del ajuste .....                        | 70 |
| 5.2   | Relación Nivel de escala –Cota según recurrencia ..... | 72 |
| 5.3   | Análisis de la Amenaza .....                           | 80 |
| 5.4   | Análisis de la Vulnerabilidad .....                    | 82 |
| 5.5   | Análisis del Riesgo.....                               | 86 |
| 5.6   | Pautas de prevención y ordenamiento .....              | 91 |
| 6.    | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....                   | 94 |
| 6.1   | Conclusiones .....                                     | 94 |
| 6.2   | Recomendaciones .....                                  | 95 |
| 7.    | BIBLIOGRAFÍA.....                                      | 96 |

## INDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1-1: Localización del área de estudio.....                                                                            | 11 |
| Figura 1-2: Zona de estudio, inundación del humedal, año 2016.....                                                           | 12 |
| Figura 1-3: Inundación, año 2014. Fuente: Consejo local de gestión del riesgo, 2014.....                                     | 13 |
| Figura 2-1 Localización estación meteorológica El Encano y estación limnimétrica<br>Sindamanoy.....                          | 16 |
| Figura 2-2: Isoyetas, distribución de la precipitación en el Humedal lacustre Lago Guamués.<br>Fuente: Corponariño,2011..... | 18 |
| Figura 2-3: Microcuencas en el área de influencia de la zona de estudio. Fuente:<br>Corponariño, 2011.....                   | 20 |
| Figura 2-4: Geología general del área de influencia de la zona de estudio. Fuente:<br>Corponariño, 2011.....                 | 23 |
| Figura 2-5: Unidades paisajísticas, caserío Puerto de El Encano.....                                                         | 26 |
| Figura 2-6: Llanura de inundación, cercana al caserío del Puerto.....                                                        | 28 |
| Figura 2-7: Localización de muestreo. Fuente: Estudio capacidad de carga del lago<br>Guamués, 2014.....                      | 31 |
| Figura 2-8: Proyección demográfica – El Puerto – Periodo 2006 - 2064. Fuente: Elaboración<br>propia.....                     | 35 |
| Figura 2-9: Tipología caserío del Puerto.....                                                                                | 36 |
| Figura 2-10: Zonificación Ambiental. Fuente: Corponariño, 2011.....                                                          | 39 |
| Figura 4-1: Esquema de elaboración de mapas de inundación.....                                                               | 48 |
| Figura 5-1: Estación limnimétrica Sindamanoy.....                                                                            | 58 |
| Figura 5-2: Relación de la precipitación media mensual – nivel medio mensual.....                                            | 59 |
| Figura 5-3: Localización estación Santa Isabel.....                                                                          | 60 |
| Figura 5-4: Relación de la precipitación media mensual – nivel medio mensual.....                                            | 61 |
| Figura 5-5: Relación Niveles - Precipitaciones Cronológicos (serie 1993 – 2015). Estación El<br>Encano.....                  | 62 |
| Figura 5-6: Promedios mensuales de niveles en la laguna de La Cocha (serie 1993 – 2015).<br>.....                            | 64 |
| Figura 5-7: Precipitación anual – Nivel diario máximo anual (serie 1993–2015). Estación El<br>Encano y Sindamanoy.....       | 65 |
| Figura 5-8: Serie de máximos anuales de niveles diarios – Laguna de La Cocha (serie 1993-<br>2015).....                      | 65 |

|                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 5-9: Distribución Gumbel .....                                                      | 69 |
| Figura 5-10: Distribución de Pearson III .....                                             | 70 |
| Figura 5-11: Mapa topográfico del área de estudio. ....                                    | 74 |
| Figura 5-12: Área de Inundación en las riberas del lago. Fuente: Google y Corponariño..... | 75 |
| Figura 5-13: Perfiles topográficos transversales. ....                                     | 76 |
| Figura 5-14: Perfiles topográficos transversales. ....                                     | 77 |
| Figura 5-15: Llanura de inundación, caserío del Puerto de El Encano. ....                  | 78 |
| Figura 5-16: Ubicación Perfiles topográficos longitudinales. ....                          | 79 |
| Figura 5-17: Perfiles topográficos longitudinales.....                                     | 80 |
| Figura 5-18: Mapa Zonificación de amenaza por inundación. ....                             | 83 |
| Figura 5-19: Mapa Zonificación de Vulnerabilidad. ....                                     | 85 |
| Figura 5-20: Mapa de zonificación de riesgo por inundación.....                            | 88 |
| Figura 5-21: Mapa de riesgo – Zona Norte. ....                                             | 89 |
| Figura 5-22: Mapa de riesgo – Zona Sur.....                                                | 90 |

## INDICE DE TABLAS

|                                                                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 2-1 Localización estaciones .....                                                                             | 15 |
| Tabla 2-2: Precipitación mensual del periodo 1993 – 2015 de la Estación El Encano (mm). 17                          |    |
| Tabla 2-3: Sectorización hídrica de la Zona RAMSAR. Fuente: Corponariño –<br>Corpoamazonia, 2002.....               | 19 |
| Tabla 2-4: Promedios mensuales de niveles (cm) y máximos niveles diarios anuales (cm). . 21                         |    |
| Tabla 2-5 Parámetros físico-químicos del agua en el humedal lacustre Lago Guamués.....                              | 29 |
| Tabla 2-6: Características físico – químicas del agua. ....                                                         | 30 |
| Tabla 2-7: Censo población El Puerto. Fuente: Censo 2005 - Información Básica –DANE –<br>Colombia. ....             | 34 |
| Tabla 2-8: Proyección demográfica sector El Puerto. Fuente: Elaboración propia. ....                                | 35 |
| Tabla 4-1: Coordenadas planas de Gauss Magna Origen Oeste – Estación IDEAM – Placa<br>PL1 .....                     | 54 |
| Tabla 5-1: Prueba de homogeneidad $t$ de Student, serie de niveles periodo 1993-2015 -<br>Estación Sindamanoy. .... | 66 |
| Tabla 5-2: Pruebas de Homogeneidad de Cramer, serie de niveles periodo 1993-2015 -<br>Estación Sindamanoy. ....     | 67 |
| Tabla 5-3: Niveles máximos anuales y su recurrencia – La Cocha. ....                                                | 68 |
| Tabla 5-4: Test de Chi cuadrado.....                                                                                | 71 |
| Tabla 5-5: Períodos de retorno y nivel calculado. ....                                                              | 72 |
| Tabla 5-6: Cotas correspondientes a los niveles.....                                                                | 73 |
| Tabla 5-7: Rangos de cotas asociados a periodos de retorno.....                                                     | 81 |
| Tabla 5-8: Valoración de los rangos y grados de amenaza por inundación.....                                         | 81 |
| Tabla 5-9 Área por zona de amenaza.....                                                                             | 82 |
| Tabla 5-10: Matriz de vulnerabilidad. ....                                                                          | 84 |
| Tabla 5-11: Determinación del riesgo. ....                                                                          | 86 |
| Tabla 5-12: Área por zona de riesgo.....                                                                            | 87 |

## 1. INTRODUCCIÓN

Dada la gran importancia que tiene la evaluación de eventos extremos de crecidas de distintos cuerpos de agua para el adecuado ordenamiento del territorio, y teniendo en cuenta las experiencias vividas en las distintas emergencias en época de lluvias intensas en el caserío El Puerto de El Encano ubicado en la margen Nor-Oriental de la laguna de La Cocha, municipio de Pasto, departamento de Nariño, Colombia, se hace necesaria la evaluación de dichos eventos y la delimitación de aquellas zonas que son propensas a inundaciones, con el fin de darles un uso adecuado que permita tomar las medidas preventivas necesarias antes del desencadenamiento de dichos eventos.

La laguna de La Cocha está localizada en la zona andina al Sur Occidente del territorio Colombiano a una altura de 2.780 m s. n. m., aproximadamente en las coordenadas 1° 01' y 1° 08' de latitud Norte y 77° 08' y 77° 10' de longitud Oeste, y es parte del Corredor Andino Amazónico Norte, Ecorregión Bordoncillo Patascoy. La Cocha está ubicada aproximadamente a 22 km de la zona urbana del municipio de Pasto. Tiene un área aproximada de 45 km<sup>2</sup>, una profundidad máxima de 70 m, el régimen de lluvias es unimodal con una temporada de lluvias intensas de abril a agosto y de pocas lluvias de septiembre a marzo. En la Figura 1-1, se observa la ubicación del área de estudio.

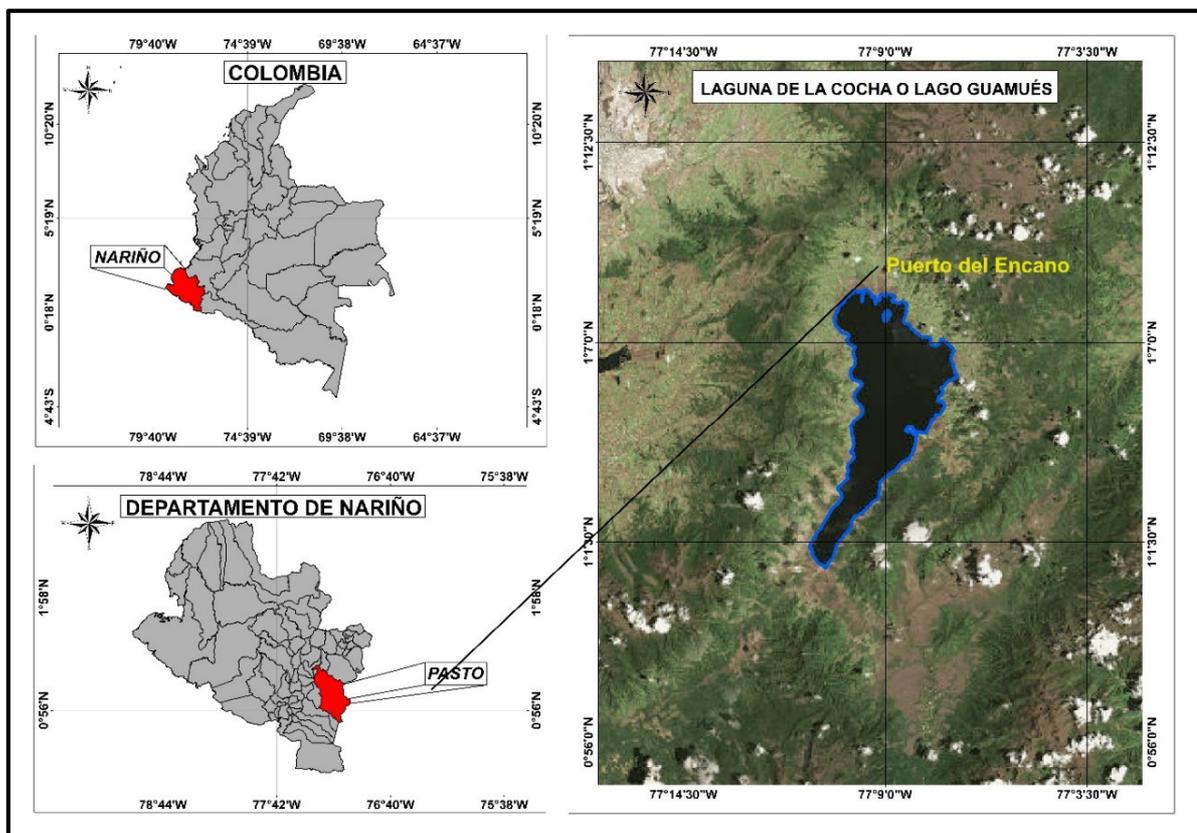


Figura 1-1: Localización del área de estudio

El lago Guamués o laguna de La Cocha es un gran embalse natural, segundo en relevancia en Colombia después del lago de Tota (Departamento de Boyacá). La Cocha es de gran significancia a nivel nacional y regional, puesto que el país lo inscribió como humedal de jerarquía internacional dentro del convenio RAMSAR en el año 2000, mediante el Decreto 698 del 18 de abril (Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible – Colombia).

Esto es de suma importancia porque la Convención RAMSAR establece que su principal objetivo es: “Crear y mantener una red internacional de humedales que revistan importancia para la conservación de la diversidad biológica mundial y para el sustento de la vida humana a través del mantenimiento de los componentes, procesos y beneficios/servicios de sus ecosistemas” (Ramsar, 2013).

La precipitación es un evento del clima que condiciona las inundaciones, la naturaleza de los eventos meteorológicos perjudiciales para el área de estudio no es de ocurrencia única, por el contrario, se repiten periódicamente con intensidad variable. En el sector del Puerto de El Encano, los anegamientos se presentan en los meses de julio y agosto. En las Figuras 1-2 y 1-3 se observan los desbordamientos en el área de estudio (ver también Anexo 1).



Figura 1-2: Zona de estudio, inundación del humedal, año 2016.

La ocurrencia de inundaciones tiene importancia para la prevención y el ordenamiento territorial del municipio de Pasto. En este sentido, es necesario estudiar y establecer diferentes zonas de anegamiento de acuerdo con los diferentes niveles del lago en épocas de lluvia. De tal manera que estas zonas sirvan de base para una planificación adecuada del territorio y se utilicen para la toma de decisiones acertadas que armonicen la prevención con el desarrollo local, esto en el contexto del medio ambiente presente en la zona de estudio.



Figura 1-3: Inundación, año 2014. Fuente: Consejo local de gestión del riesgo, 2014.

En el sector del Puerto, no existe una delimitación clara a una escala adecuada de diferentes franjas de anegamiento, y en la actualidad se desarrolla una colonización espontánea sin control que invade áreas de conservación en detrimento del medio ambiente y que coloca en riesgo a la población que se asienta en zonas propensas a inundación. Para el desarrollo de este trabajo de tesis, en el año 2017 se realizó un levantamiento topográfico del sector del Puerto, a una escala detallada.

El presente trabajo contó con la colaboración y apoyo de la Corporación Autónoma Regional de Nariño, entidad adscrita al Ministerio de Ambiente de Colombia, en el marco de la Ley 1523/2012, que en su artículo 31 establece: “Las corporaciones autónomas regionales o de desarrollo sostenible, que para efecto de la presente ley se denominarán las corporaciones autónomas regionales, como integrantes del sistema nacional de gestión del riesgo, además de las funciones establecidas por la Ley 99 de 1993 y la Ley 388 de 1997 o las leyes que las modifiquen. Apoyarán a las entidades territoriales de su jurisdicción ambiental en todos los estudios necesarios para el conocimiento y la reducción del riesgo y los integrarán a los planes de ordenamiento de cuencas, de gestión ambiental, de ordenamiento territorial y de desarrollo”.

En cuanto al estudio efectuado, se realizó un análisis temporal de la información básica hidrológica (niveles de la laguna) conducente a determinar diferentes zonas de anegamiento en el sector El Puerto - La Cocha, donde los niveles cambian de acuerdo con la alternancia de los períodos de lluvias y períodos secos.

Para la elaboración de este estudio se recopiló las series de datos meteorológicos y niveles diarios del lago en el período 1993-2015 del Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales de Colombia – IDEAM.

Para el análisis de la variable hidrológica se ajustó una distribución a los datos de niveles máximos anuales que permitió asociar recurrencias a los eventos extremos observados, caracterizar su distribución temporal y de forma subsiguiente determinar y mapear zonas de inundación. Esta información así elaborada, sirvió para generar pautas para la prevención y ordenamiento del territorio y constituye el objetivo general del presente estudio.

Los objetivos específicos fueron los siguientes:

- Describir las generalidades del área de estudio y determinar máximos niveles en la Laguna de La Cocha (lago Guamués), con base en los registros históricos diarios de la estación limnimétrica Sindamanoy del IDEAM.
- Establecer y delimitar diferentes zonas de inundación en el caserío del Puerto de El Encano considerando los niveles máximos de la laguna para diferentes períodos de retorno y la geomorfología del área de estudio.
- A partir de la zonificación de amenaza, definición de la vulnerabilidad y riesgo por anegamientos, generar pautas de prevención. Esta investigación así generada, podrá ser utilizada por el municipio de Pasto como plataforma de un proceso de ordenamiento y gestión del riesgo de inundación.

## 2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

### 2.1 Características del clima

El clima de la ecorregión Humedal Ramsar Laguna de La Cocha, como conjunto fluctuante de las condiciones atmosféricas en el espacio determinado, se describe a continuación considerándolo como una síntesis de las evoluciones que día a día experimenta la atmósfera en términos de frecuencia y características de las masas de aire, utilizándose entre los principales parámetros para su caracterización la precipitación, temperatura, humedad relativa, evaporación, brillo solar, nubosidad y velocidad del viento (Corponariño, 2011).

Esta área geográfica experimenta cada año, desde diciembre hasta marzo, vientos alisios fuertes provenientes del Suroeste (SW) debido a que la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT) se encuentra en su posición más meridional, lo cual ocasiona escasas lluvias dado los constantes desplazamientos nubosos hacia el hemisferio Norte. Por otra parte, durante abril – agosto circula entre las altas montañas cercanas al lago Guamués una corriente atmosférica muy húmeda llamada masa continental o amazónica; dicho fenómeno físico ocasiona importantes cambios climáticos porque aumenta la precipitación y disminuye el brillo solar, provocando bajas temperaturas para ese período (Instituto Alexander Von Humboldt, 2004).

En la estación El Encano, en la época de intensas lluvias, abril a agosto, la media de los valores de velocidad del viento es aproximadamente de 2,7 m/s, los cuales provienen del Sureste, con máximos de 3,1 m/s en el propio mes de agosto (Corponariño, 2011). En la Tabla 2-1 y Figura 2-1, se indica la localización de la estación meteorológica de El Encano y la estación limnimétrica de Sindamanoy dentro de la zona de estudio.

Tabla 2-1 Localización estaciones

| Estación                                       | El Encano        |             | Sindamanoy          |             |
|------------------------------------------------|------------------|-------------|---------------------|-------------|
| Tipo                                           | Meteorológica CP |             | Limnimétrica        |             |
| Latitud                                        | 1°09' N          |             | 1°08' N             |             |
| Longitud                                       | 77°09' W         |             | 77°08' W            |             |
| Altura                                         | 2.830 m s. n. m. |             | 2.783,37 m s. n. m. |             |
| Coordenadas planas de Gauss Magna origen Oeste | 618.609,220      | 992.310,912 | 617.289,592         | 992.204,305 |

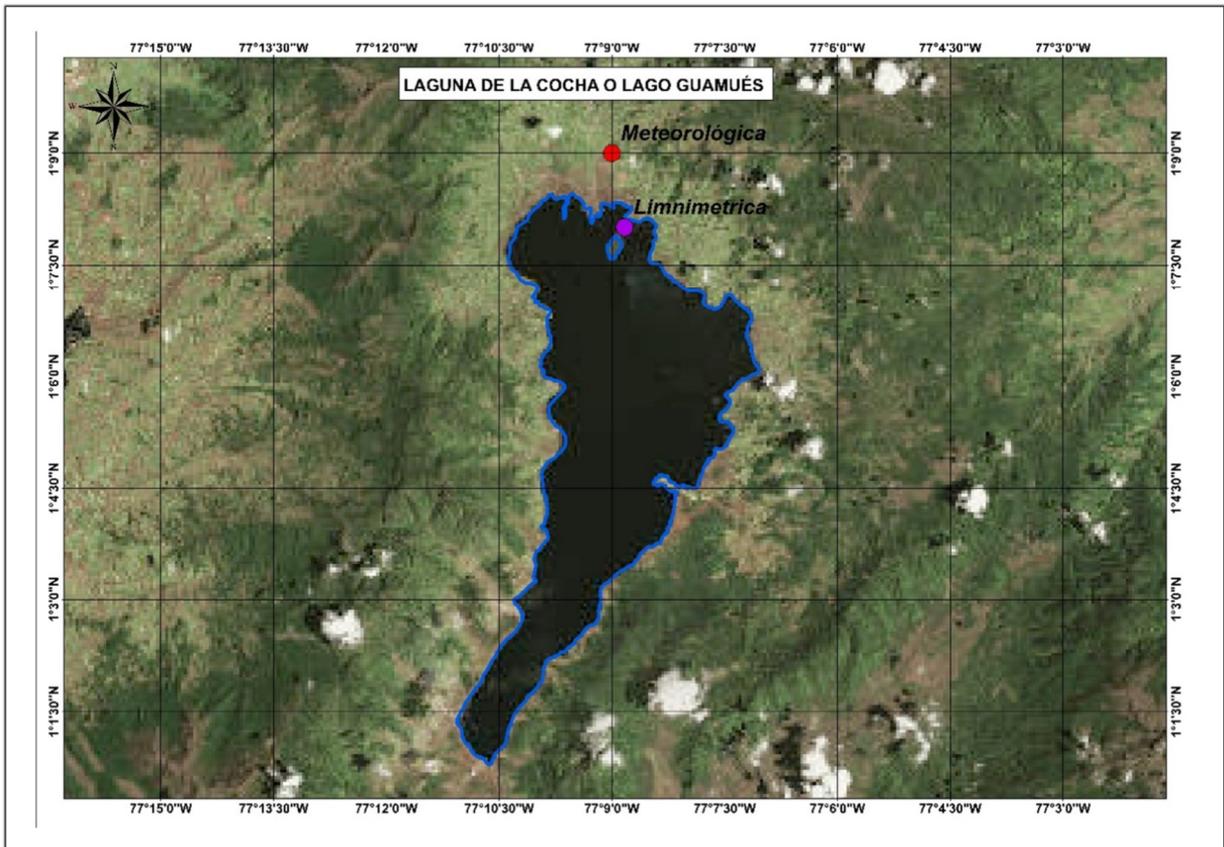


Figura 2-1 Localización estación meteorológica El Encano y estación limnimétrica Sindamanoy.

Los registros medios mensuales de temperatura de la estación IDEAM El Encano reportan una temperatura media anual en la cuenca alta del río Guamués entre los 8 y 12 °C. En el lago Guamués la temperatura media es de 11,6 °C, la cual aumenta desde el contorno hacia su interior, alcanzando un máximo de 12,9 °C en los meses de febrero - marzo y mínimos de 9,6 °C, en el mes de agosto, disminución que coincide con el período de intensas lluvias (Corponariño, 2011).

Con base en el análisis de la información de la estación climatológica El Encano, la humedad relativa media multianual de la zona es del 87 %. La distribución temporal muestra un período de mayor humedad durante cuatro meses del año, encontrándose las máximas entre los meses de junio y julio (91 %) y las mínimas entre octubre y marzo (78 %) (Corponariño, 2011).

En la cuenca del lago Guamués, la duración del brillo solar o heliofanía presenta variaciones entre 1.000 y 1.200 horas/año, aumentando de Sur a Norte. Los registros dados por la estación El Encano muestran que el valor anual es de 898,1 horas/año, con promedios mensuales de 74,84 horas; el período de mayor expresión se presenta entre los meses de noviembre a enero obteniéndose un reporte máximo en diciembre con 106,9 horas. A su vez, desde abril a julio se obtienen los valores más bajos con 55,3 horas, coincidiendo dicha tendencia con la época de verano y lluvias respectivamente (Instituto Alexander Von Humboldt, 2004).

El régimen de lluvias a lo largo del año, en la eco-región Bordoncillo-Patascoy, tiene un comportamiento unimodal, común a época de intensas lluvias de abril a agosto y de pocas lluvias en los meses de septiembre a marzo. La cuenca alta del río Guamués presenta lluvias alrededor de los 1.300 mm anuales en el sector de El Encano (Corponariño, 2011).

En la Tabla 2-2, se indican los promedios mensuales de la serie de precipitaciones para el período 1993 - 2015 de los registros del IDEAM en la Estación El Encano, que es la estación meteorológica más cercana al área de estudio, confirmando así, que hay una época de mayores lluvias de abril a agosto, siendo mayo el mes con mayor precipitación y una época de pocas lluvias de septiembre a marzo.

El promedio histórico de precipitación mensual para el período 1993 - 2015 es de 115,5 mm.

Tabla 2-2: Precipitación mensual del periodo 1993 – 2015 de la Estación El Encano (mm).

| Año/mes  | Ene   | Feb   | Mar   | Abr   | May   | Jun   | Jul   | Ago   | Sep  | Oct   | Nov   | Dic   | Precip. anual |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|---------------|
| 1993     | 62,2  | 111,6 | 161,8 | 103,7 | 141,1 | 118,3 | 155,2 | 107,9 | 55,1 | 77,3  | 142,1 | 113,6 | 1334,30       |
| 1994     | 23,8  | 67,6  | 72,4  | 180,4 | 212,9 | 110,4 | 99,9  | 149,7 | 71,2 | 55,2  | 135   | 98,7  | 1490,20       |
| 1995     | 70,0  | 50,7  | 74,5  | 96,5  | 152,8 | 130,9 | 161,3 | 82,7  | 57,1 | 63,9  | 78,8  | 56,3  | 1075,50       |
| 1996     | 121,9 | 128,9 | 138,3 | 184,7 | 191   | 122   | 127,5 | 90,7  | 82,0 | 74,0  | 113,2 | 95,6  | 1469,80       |
| 1997     | 209,1 | 139,4 | 66,3  | 1502  | 242,1 | 93,7  | 101,2 | 60,9  | 52,7 | 65,8  | 122,2 | 62,5  | 1366,70       |
| 1998     | 32,9  | 53,8  | 69,3  | 107,9 | 152,2 | 177,1 | 200,3 | 138,8 | 80,9 | 86,0  | 153,3 | 80,1  | 1180,68       |
| 1999     | 122,8 | 196,6 | 68,9  | 205,1 | 108,5 | 139,4 | 109,7 | 64,0  | 173  | 96,8  | 143,2 | 202,7 | 1630,72       |
| 2000     | 91,2  | 159   | 110,7 | 181,6 | 305,1 | 171,7 | 120,1 | 122,8 | 119  | 51,4  | 63,0  | 85,8  | 1581,89       |
| 2001     | 58,1  | 74,8  | 57,6  | 136,4 | 122,3 | 209,6 | 167   | 57,6  | 142  | 25,8  | 105,0 | 89,0  | 1245,04       |
| 2002     | 48,1  | 82,6  | 73,9  | 63,4  | 117,9 | 125,4 | 106,5 | 78,0  | 53,4 | 124,7 | 91,1  | 52,9  | 1018,07       |
| 2003     | 22,7  | 56,6  | 140,3 | 83,4  | 148,4 | 129,1 | 133,7 | 41,0  | 96,1 | 105,1 | 105,9 | 60,6  | 1123,06       |
| 2004     | 39,2  | 29,8  | 126,9 | 122,1 | 125,4 | 200,4 | 141,1 | 109,7 | 82,8 | 140,9 | 72,2  | 75,7  | 1266,46       |
| 2005     | 78,9  | 95,6  | 143,6 | 206,6 | 137,1 | 138,8 | 89,8  | 70,2  | 75,8 | 155,4 | 93,9  | 179,4 | 1465,41       |
| 2006     | 92,1  | 59,6  | 163,7 | 173,2 | 113,5 | 172,2 | 96,6  | 78,0  | 84,1 | 116,9 | 100,8 | 139,7 | 1390,89       |
| 2007     | 72,3  | 24,1  | 118,1 | 137,3 | 109,2 | 208,3 | 97,1  | 156,9 | 70,9 | 158,9 | 135,4 | 187,2 | 1476,06       |
| 2008     | 124,7 | 125,9 | 104,4 | 111,3 | 133,1 | 122,2 | 193,8 | 79,9  | 91,5 | 153,5 | 108,0 | 120,8 | 1469,30       |
| 2009     | 126,6 | 129,6 | 138,6 | 111,2 | 77,4  | 161,2 | 156,8 | 98,4  | 54,6 | 69,5  | 86,5  | 76,3  | 1287,06       |
| 2010     | 20,7  | 119,8 | 123,4 | 221,2 | 125,9 | 126,5 | 134,6 | 90,6  | 84,5 | 116,4 | 244,5 | 74,4  | 1482,79       |
| 2011     | 121,5 | 119,1 | 143,1 | 154,5 | 232,1 | 122,7 | 204,1 | 88,7  | 159  | 97,4  | 129,4 | 189,7 | 1761,28       |
| 2012     | 14,9  | 128,2 | 164,3 | 168,4 | 139,9 | 135,4 | 126,9 | 72,3  | 55,1 | 103,5 | 83,8  | 138,5 | 1460,38       |
| 2013     | 25,1  | 171,7 | 111,9 | 143,6 | 177,3 | 83,8  | 191,2 | 174,8 | 85,7 | 89,7  | 86,6  | 93,1  | 1435,00       |
| 2014     | 138,5 | 42,7  | 109   | 119   | 207,1 | 255,6 | 148   | 108,6 | 70,1 | 131,4 | 91,9  | 109,3 | 1531,36       |
| 2015     | 13,6  | 73,4  | 104,7 | 95,2  | 74,1  | 161,5 | 161,8 | 116,4 | 36,4 | 63,5  | 112,5 | 31,7  | 1171,21       |
| Promedio | 95,6  | 97,4  | 112,4 | 141,6 | 154,2 | 148,5 | 140,2 | 97,3  | 84,0 | 96,7  | 113,0 | 104,9 |               |

Se resalta de la misma manera, la distribución de la precipitación en la Zona del Humedal Lacustre está dividida en dos, el primer sector correspondiente a la parte Norte, tiene precipitaciones menores que en la parte Sur como se observa en la Figura 2-2, donde se evidencia que se registran las precipitaciones más altas.

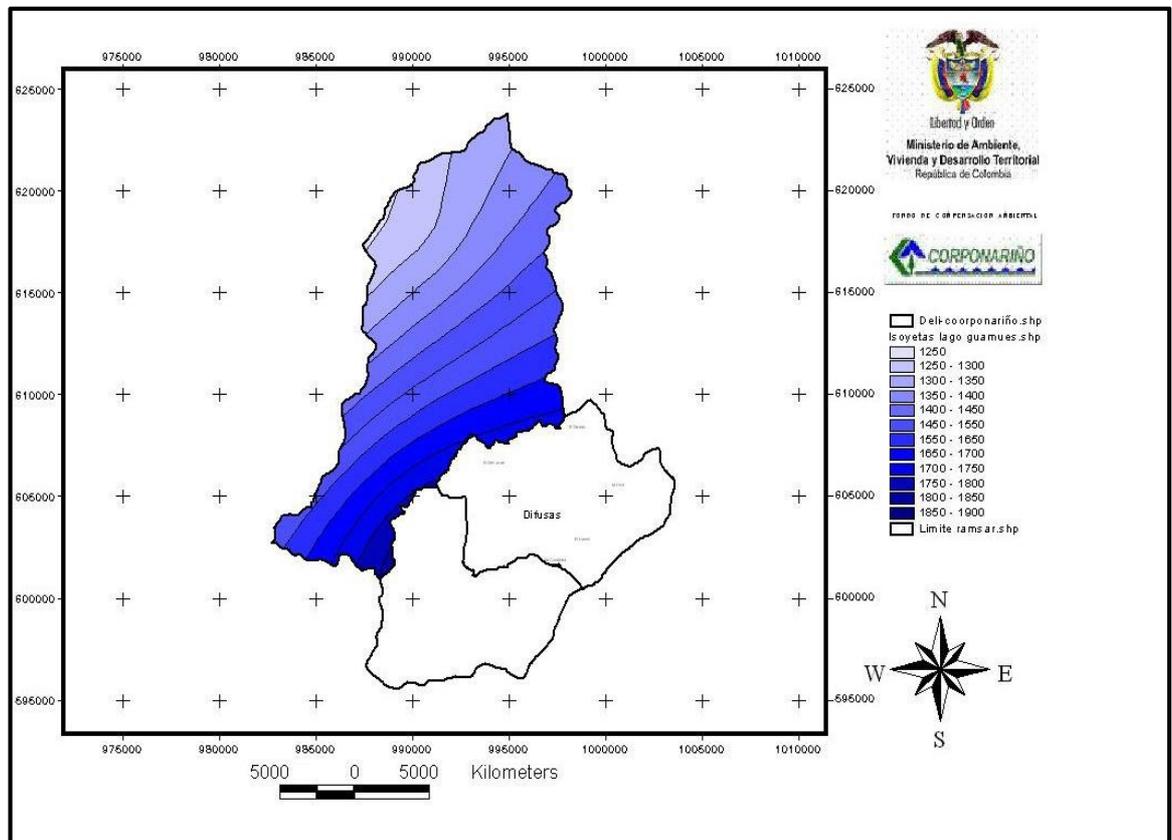


Figura 2-2: Isoyetas, distribución de la precipitación en el Humedal lacustre Lago Guamués.  
Fuente: Corponariño, 2011.

## 2.2 Caracterización de la hidrología superficial

La cuenca del río Guamués se localiza al Sur Oriente del Departamento de Nariño, con un área de 47.715 hectáreas, cuyas aguas confluyen a la gran cuenca del río Putumayo, el cual a su vez es uno de los afluentes del río Amazonas.

En la cuenca alta del río Guamués, la dinámica hídrica está asociada al sistema lagunar, todas las microcuencas de la parte alta tales como río El Encano (localizado en el caserío del Puerto), Quillinsayaco, El Laurel, Afiladores, Santa Marta, Ramos y Romerillo confluyen sus aguas en el lago Guamués, para luego ser evacuadas gradualmente hacia el río Guamués.

La cuenca del río Guamués está conformada por 4 subcuencas: lago Guamués, río El Estero, río Alto Guamués y el río Alísales Alto. La subcuenca lago Guamués, presenta un área de 22.557,2 hectáreas y cubre el 19,85 % del total del área de la cuenca (Corponariño, 2011).

Tabla 2-3: Sectorización hídrica de la Zona RAMSAR. Fuente: Corponariño – Corpoamazonia, 2002.

| Cuenca      | Subcuenca        | Microcuenca              | Área (ha) | ~km <sup>2</sup> |       |
|-------------|------------------|--------------------------|-----------|------------------|-------|
| Río Guamués | Lago Guamués     | Quebrada Santa Lucía     | 2.109,9   | 21               |       |
|             |                  | Q. Afiladores            | 1.699,8   | 16,9             |       |
|             |                  | Q. Ramos                 | 561,3     | 5,6              |       |
|             |                  | Q. Romerillo             | 1.529,2   | 15,9             |       |
|             |                  | Q. Motilón               | 679,5     | 6,7              |       |
|             |                  | Q. El Carrizo            | 1.507,3   | 15               |       |
|             |                  | Q. El Encano             | 4.201,0   | 42               |       |
|             |                  | Q. Quilinsayaco          | 1.407,0   | 14               |       |
|             |                  | Q. Orejuela – Sta. Marta | 1.861,6   | 18,6             |       |
|             |                  | Q. El Laurel             | 979,1     | 9,7              |       |
|             |                  | Q. San José              | 689,6     | 6,8              |       |
|             |                  | Q. El Naranjal           | 1.147,1   | 1,1              |       |
|             |                  | Laguna de La Cocha       | 4.162,1   | 41,6             |       |
|             | Río El Estero    | Río Estero Alto          | 2.259,3   | 22,5             |       |
|             |                  | R. Estero Medio          | 3.155,6   | 31,5             |       |
|             |                  | R. Estero Bajo           | 2.212,2   | 2,21             |       |
|             |                  | R. Negro                 | 1.719,3   | 1,7              |       |
|             | Río Guamués Alto | R. Guamués Alto          | 2.650,3   | 2,6              |       |
|             |                  | R. La Lorianana          | 1.939,2   | 1,9              |       |
|             |                  | R. Guamués Medio         | 6.413,0   | 6,4              |       |
|             | Río Alisales     | R. Alisales Alto         | 4.809,1   | 4,8              |       |
|             | Total            |                          |           | 47.715,2         | 477,1 |

En la Tabla 2-3, se indican las microcuencas que conforman la subcuenca del lago Guamués. Se observa que la quebrada o río El Encano que es el que atraviesa una parte de la zona de estudio, posee un área de 4.201 hectáreas y la laguna 4.162,1 ha. De igual forma en la Figura 2-3 se puede detallar la ubicación de las diferentes microcuencas.

Según el estudio de capacidad de carga de la laguna de La Cocha realizado por Corponariño y la Universidad Mariana en el año 2014, el caudal medio de entrada al lago Guamués, determinado a partir del balance hídrico, es de 7,80 m<sup>3</sup>/s.

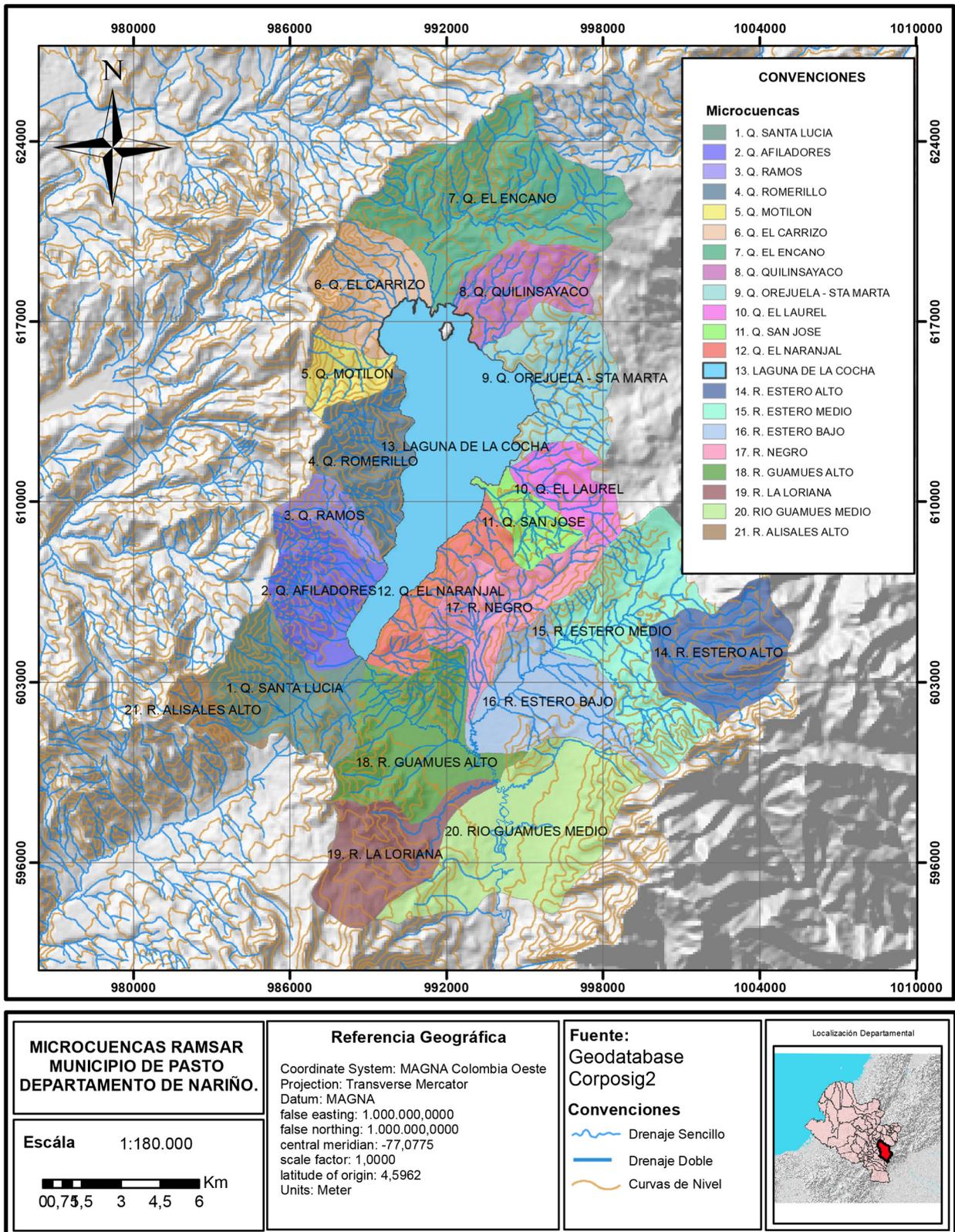


Figura 2-3: Microcuencas en el área de influencia de la zona de estudio. Fuente: Corponariño, 2011.

En la Tabla 2-4, se indican los promedios mensuales y el máximo diario anual obtenidos de la serie diaria de niveles para el período 1993 – 2015 de los registros del IDEAM en la estación limnimétrica Sindamanoy, alcanzando un nivel promedio histórico para este período de 267cm y los máximos niveles en julio y agosto.

Tabla 2-4: Promedios mensuales de niveles (cm) y máximos niveles diarios anuales (cm).  
Estación Sindamanoy. Período 1993 – 2015.

| Año/ mes         | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | Máx Diario Anual |
|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------------------|
| 1993             | 192 | 191 | 208 | 222 | 234 | 250 | 277 | 280 | 276 | 257 | 252 | 247 | 290              |
| 1994             | 249 | 251 | 239 | 269 | 289 | 308 | 302 | 305 | 298 | 285 | 264 | 258 | 315              |
| 1995             | 240 | 218 | 196 | 189 | 199 | 223 | 253 | 249 | 230 | 217 | 211 | 198 | 261              |
| 1996             | 193 | 204 | 229 | 236 | 276 | 105 | 299 | 300 | 289 | 273 | 254 | 246 | 307              |
| 1997             | 248 | 261 | 275 | 267 | 291 | 310 | 317 | 301 | 279 | 256 | 243 | 236 | 323              |
| 1998             | 221 | 213 | 209 | 223 | 252 | 289 | 316 | 325 | 326 | 290 | 284 | 259 | 330              |
| 1999             | 247 | 258 | 266 | 281 | 307 | 312 | 313 | 317 | 303 | 293 | 278 | 279 | 326              |
| 2000             | 276 | 260 | 259 | 273 | 311 | 357 | 356 | 339 | 327 | 300 | 267 | 245 | 370              |
| 2001             | 230 | 216 | 201 | 205 | 217 | 247 | 263 | 277 | 273 | 249 | 219 | 216 | 285              |
| 2002             | 197 | 194 | 189 | 191 | 208 | 233 | 248 | 269 | 263 | 239 | 235 | 224 | 276              |
| 2003             | 204 | 196 | 197 | 203 | 236 | 256 | 270 | 263 | 246 | 243 | 236 | 227 | 276              |
| 2004             | 220 | 197 | 203 | 215 | 230 | 278 | 293 | 298 | 294 | 272 | 258 | 242 | 306              |
| 2005             | 219 | 218 | 226 | 256 | 284 | 298 | 302 | 287 | 271 | 254 | 262 | 252 | 312              |
| 2006             | 250 | 257 | 257 | 275 | 277 | 286 | 298 | 287 | 275 | 271 | 265 | 263 | 304              |
| 2007             | 256 | 242 | 232 | 249 | 263 | 291 | 309 | 314 | 316 | 306 | 305 | 292 | 321              |
| 2008             | 307 | 298 | 296 | 286 | 294 | 303 | 315 | 322 | 296 | 293 | 281 | 271 | 331              |
| 2009             | 265 | 273 | 269 | 274 | 275 | 282 | 311 | 317 | 297 | 276 | 251 | 232 | 322              |
| 2010             | 215 | 206 | 210 | 237 | 268 | 272 | 276 | 271 | 253 | 237 | 246 | 252 | 286              |
| 2011             | 246 | 235 | 231 | 249 | 262 | 293 | 322 | 328 | 311 | 303 | 284 | 281 | 339              |
| 2012             | 285 | 299 | 311 | 326 | 328 | 325 | 326 | 316 | 302 | 280 | 259 | 248 | 333              |
| 2013             | 240 | 241 | 270 | 273 | 293 | 314 | 326 | 353 | 337 | 319 | 295 | 273 | 357              |
| 2014             | 273 | 254 | 248 | 257 | 287 | 331 | 363 | 347 | 327 | 308 | 287 | 277 | 368              |
| 2015             | 275 | 289 | 273 | 270 | 288 | 318 | 347 | 350 | 327 | 298 | 281 | 266 | 359              |
| Promedio mensual | 241 | 238 | 239 | 249 | 268 | 282 | 304 | 305 | 292 | 275 | 262 | 251 | 267              |

## 2.3 Caracterización geológica

El Humedal Ramsar Laguna de La Cocha se localiza sobre la cordillera centro-oriental de los Andes del Norte. La ecorregión fue formada por acción tectónica de placas, deformaciones y plegamientos; en el sector afloran rocas del Precámbrico al Cenozoico, presenta fuerte topografía, ubicándose a lo largo de las zonas de fallas Afiladores y Suaza en sentido nororiental. A continuación, se describe en términos generales la estratigrafía y la geología estructural de la región donde se ubica el lago Guamués, y en la Figura 2-4, se observan los rasgos geológicos principales del área de influencia de la zona de estudio.

### 2.3.1 Estratigrafía

- *Precámbrico (pEm)*

Complejo Migmatítico de La Cocha - Río Téllez (pEmct). Se ubica hacia el Oeste del lago Guamués y Sureste de Isla Larga. Limita al Este por la Falla de Afiladores y geomorfológicamente presenta pendientes abruptas mayores al 40 %. Está compuesto por neises, Anfibolitas, esquistos, granitos y esporádicamente flujos básicos con desarrollo de estructuras y texturas migmatíticas (Corponariño, 2011).

- *Era Paleozoica*

**Gneis de La Cocha** (Pin). Catalogada del Paleozoico Inferior según la vecindad al Grupo Monopamba y a la ausencia de polimetamorfismo (Ponce, 1979). Roca gnéisica cuarzo-feldespática, moderadamente meteorizada y cubierta por material piroclástico moderno, aflora hacia la margen oeste de La Cocha, se observa claramente en las quebradas Romerillo, Ramos y en la serranía que bordea el lago Guamués hacia la margen oriental (Corponariño, 2011).

- *Era Mesozoica*

**Cuarzodiorita del Guamués** (Tig). En la margen oeste del río Guamués, en las cabeceras del río La Lorian y en pequeños afloramientos que intruyen el metamórfico de La Cocha, sobre el lado oriental de la misma como una prolongación de la Granodiorita de Afiladores (Fonade - Hidrotec, 1999).

- *Era Cenozoica*

**Lavas y cenizas** (TQvlc). Esta unidad está conformada por espesos y potentes depósitos de tobas, que se presentan estratificados, plegados y fracturados; aglomerados volcánicos consolidados y semiconsolidados; flujos masivos de forma tabular y algunos escoriáceos: Lavas en bloques. Generalmente se hallan intercalados con otros materiales volcánicos como rocas porfídicas, tipo andesitas con fenocristales que rara vez sobrepasan los 2 mm en su mayor diámetro y que presentan texturas de flujo. Toda esta secuencia de rocas se encuentra con un profundo grado de fracturación y se presenta como un cuerpo estratiforme e irregular, circunstancia que tiene como origen la presencia de diaclasas en posición horizontal (Corponariño, 2011).

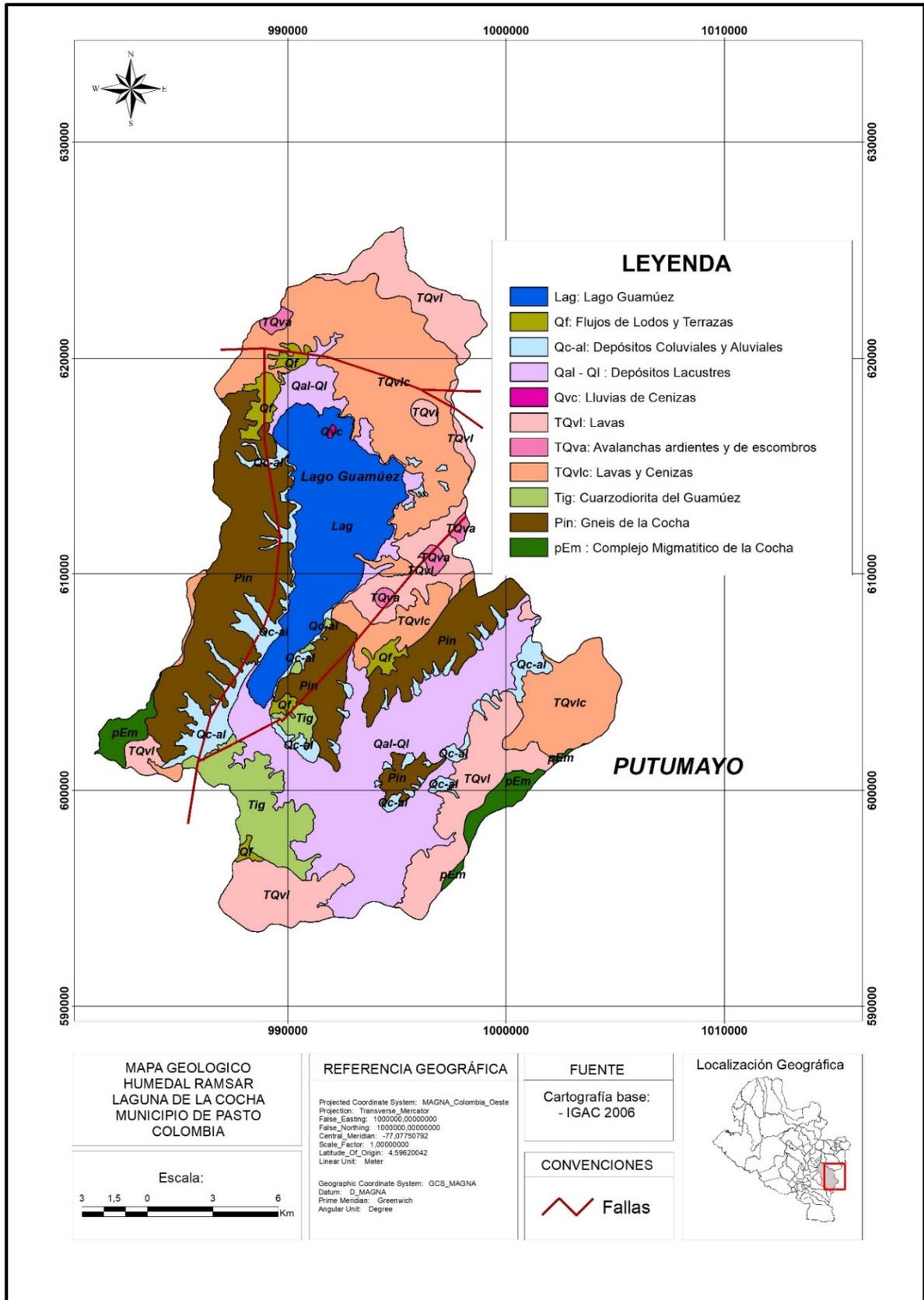


Figura 2-4: Geología general del área de influencia de la zona de estudio. Fuente: Corponariño, 2011.

**Avalanchas ardientes y de escombros (TQva).** Está compuesta por fragmentos de material formado en el momento de la explosión o de fragmentos de un domo o lava que se colapsa; poseen un color rojizo que se debe a los óxidos de hierro. Los depósitos son caóticos debido al carácter turbulento y violento de flujo, algunos se encuentran cementados, presentándose en la cuchilla El Tábano, sobre la vía que conduce de El Encano a Pasto. El espesor de estos depósitos puede llegar hasta los 100 m y provienen de los flujos de los volcanes presentes en la zona de estudio (Corponariño, 2011).

**Lavas (TQvl).** Esta unidad está compuesta por afloramientos de lavas de composición andesítica con variaciones locales de más ácidas a más básicas, localizadas en las cercanías de conos volcánicos extintos. Son principalmente lavas vítreas asociadas a volcanes de fisura; también se incluyen intercalaciones de pumita, bombas y aglomerados posiblemente originados en avalanchas piroclásticas. Las lavas y cenizas se denominan TQvlc, avalanchas y escombros TQva y lavas TQvl (Corponariño, 2011).

**Depósitos glaciares (Qsgf).** Al Suroeste del área Ramsar, se encuentran circos, valles en U, lagunas represadas por morrenas de recesión y morrenas laterales. Los depósitos glaciares se hallan cubiertos por vegetación de páramo y sólo se distinguen los de tipo fluvio – glaciar y los clastos.

Los depósitos fluvio-glaciares, presentan gravas en una matriz limo-arenosa y los clastos muestran una forma caótica, sin ninguna selección, ni estratificación interna. Algunos de los sedimentos fluvio-glaciares están separados por depósitos de lluvia de ceniza, indicando que hubo algún tipo de actividad volcánica que ayudó a fusionar el hielo (Murcia y Cepeda, 1991).

Geomorfológicamente se caracterizan por poseer cimas empinadas y dentadas, cerros de aspecto piramidal; los circos tienen una forma cóncava limitada por paredes abruptas, intenso diaclasamiento del lecho rocoso, estriado, fracturado, acanalado o redondeado por el hielo (Corponariño, 2011).

**Depósitos Lacustres (Ql).** Asociados principalmente a La Cocha y zonas de pantanos. Son depósitos producidos por lagunas naturales y zonas de pantanos que sólo inundan en invierno y/o son relictos de antiguos dominios lacustres; son esencialmente limos de colores claros y oscuros, según el contenido de materia orgánica y las épocas de alta, baja o no precipitación. La edad de este tipo de depósitos debe ser del Holoceno y se continúan formando en la actualidad (Ingeominas, 1991).

**Depósitos de lapilli y ceniza (Qvc).** Estos se encuentran ampliamente distribuidos en la zona y se cartografiaron en las áreas donde el espesor de los depósitos de ceniza y lapilli es mayor a 15 metros; estos se presentan principalmente en la divisoria de aguas entre los departamentos de Nariño y Putumayo. También se observan en la Isla Corota.

Son una sucesión de capas de ceniza volcánica y lapilli; estos varían de coloración de acuerdo con el contenido de óxidos de hierro; los espesores de cada uno varían entre 0,1 metros y 0,8 metros. Los depósitos mencionados son extremadamente permeables y ello reduce el potencial erosivo de la escorrentía, la cual sólo forma algunos drenajes muy espaciados cuando logra concentrarse. La baja cohesión de los materiales los hace altamente susceptibles a los fenómenos de remoción en masa, como la soliflucción líquida y plástica (pisadas de ganado), deslizamientos y avalanchas (Corponariño, 2011).

Los suelos derivan de la ceniza volcánica, del material subyacente o de ambos. La ocurrencia de continuos deslizamientos en la zona, además de las pérdidas por erosión laminar, van determinando el adelgazamiento y pérdida de la continuidad del manto. Estos depósitos poseen una avanzada meteorización formando arcillas, especialmente en las capas de ceniza volcánica, debido al alto contenido de feldespatos.

Se presentan suavizando una paleotopografía existente, dando una morfología de lomas suaves y redondeadas, a veces separados por paleosuelos derivados de ellos mismos. Las lluvias de ceniza y lapilli representan la actividad explosiva de diferentes volcanes que lanzaron material finamente fragmentado a grandes distancias y fueron transportados por el aire y depositados por efecto de gravedad. La edad de estos depósitos es del Cuaternario, siendo del Holoceno reciente las secuencias de paleosuelos intercalados (Corponariño, 2011).

**Depósitos Aluviales (Qal).** Los depósitos de origen fluvial se encuentran principalmente en las márgenes del río Encano. Se componen de gravas, arenas, limos y arcillas, asociados a canales fluviales y áreas de inundación. La composición de los cantos es ígnea tipo lavas provenientes de las laderas aledañas a donde corre el río; el tamaño de los fragmentos es mayor aguas arriba del mismo. Estos depósitos son de edad Cuaternaria y están actualmente en proceso de formación; el espesor de estos depósitos puede llegar hasta los 7,00 m (Corponariño. 2011).

**Flujos de Lodo y Terrazas (Qf).** Estos depósitos se observan en las márgenes de los ríos Guamués y afluentes, Cascajo, Quinchos, San Pedro, San Francisco, entre otros. Forman depósitos importantes en los alrededores de los conos volcánicos en La Cocha y sobre el río Guamués y sus principales afluentes.

### 2.3.2 Geología estructural

En la zona del Humedal Ramsar Laguna de La Cocha se presentan tres rasgos estructurales importantes: El Sistema de Fallas del río Magdalena, el Sistema de Fallas del río Suaza y la Falla de Afiladores:

- *Sistema de Fallas del Río Magdalena.*

Se ubica al Norte del lago Guamués, atraviesa las formaciones de El Tábano y Bordoncillo, la falla tiene una dirección principal E – W.

- *Sistema de Fallas Río Suaza.*

De acuerdo con Murcia y Cepeda (1991), este sistema de fallas queda cubierto por depósitos piroclásticos y lacustres. Existen algunos flujos volcánicos que han sufrido desplazamientos y posiblemente en algunos sedimentos aluviales han ocurrido desplazamientos ocasionados por acomodación reciente; también se presentan deslizamientos cerca de la zona de influencia de la Falla en la vía El Encano – Santiago. Poseen una dirección Noreste, se localiza en la margen derecha de La Cocha controlándola estructuralmente.

- *Falla de Afiladores.*

Su delineación se ubica al Oeste del lago Guamués y ejerce control tectónico sobre éste. Ponce (1979) reporta esta falla como de cabalgamiento.

En general las estructuras tienen aproximadamente un rumbo N10°E a N45°E y se deben a los esfuerzos compresivos típicos en zonas de convergencia destructiva de placas litoesféricas. En este caso, la orientación de las fallas estaría dada por la acción de la Placa de Nazca que subduce al Bloque Andino (Ingeominas, 1991).

### 2.3.3 Geomorfología

La morfogénesis del Humedal Lacustre lago Guamués es tectónica del Terciario y glacial del cuaternario (Ghul, 1976). Según sus características fisiogeográficas se identifican dos unidades paisajísticas en el área de influencia: Montaña y Altiplano. En la Figura 2-5, se puede observar los dos paisajes, al fondo el de montaña y al frente el altiplano que se constituye en la llanura de inundación donde se ubica el caserío del Puerto.

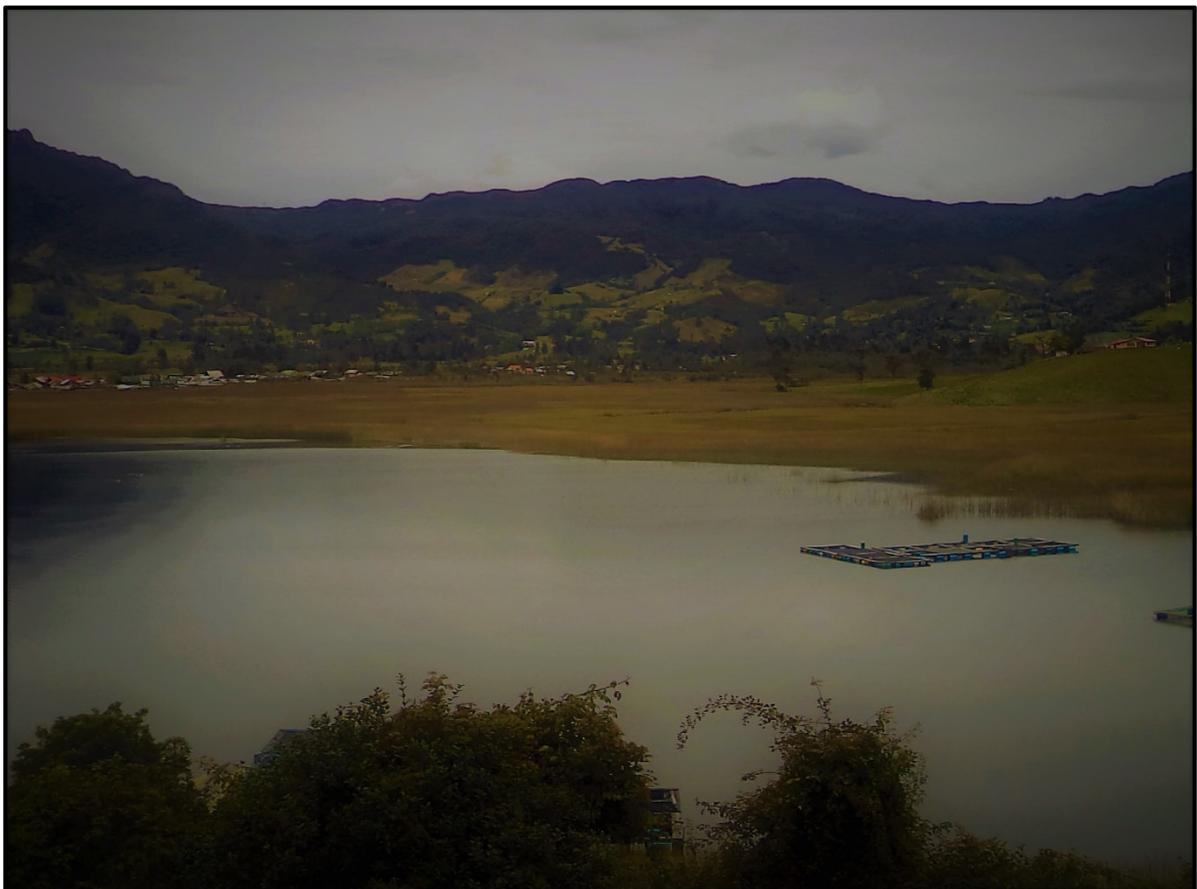


Figura 2-5: Unidades paisajísticas, caserío Puerto de El Encano.

El paisaje de montaña corresponde a las laderas y vertientes del área de abastecimiento que rodea el humedal lacustre, con formas de modelado glacial y pendientes suaves hacia la margen oriental y de formas más abruptas y altas pendientes hacia la occidental. Este paisaje influye en las inclinaciones de las cuencas que conforman el humedal; la pendiente de la cuenca determina la velocidad con la que se desarrolla la escorrentía superficial, y el tiempo que lleva el agua de lluvia para concentrarse en los lechos fluviales que constituyen la red de drenaje. Las subcuencas de Motilón, Carrizo y Ramos son las que presentan mayor pendiente (Corponariño, 2011).

En Colombia el altiplano como expresión descriptiva, se refiere a una extensión plana de los Andes rodeada por montañas. Con una connotación genética, los altiplanos se corresponden con depresiones tectónicas formadas en el proceso de fallamiento, plegamiento y levantamiento de las cordilleras, depresiones que fueron ocupadas por lagos y pantanos.

De las montañas que bordean los altiplanos drenan las cuencas hidrográficas que colmataron los lagos preexistentes. Estas montañas, en general estuvieron cubiertas por glaciares y algunas han experimentado una dinámica volcánica. Los aportes sedimentarios fluvio-glaciares, ligados a la última deglaciación, facilitaron en parte la colmatación de dichos lagos y conformaron superficies planas hoy conocidas como altiplanos. El proceso de aluvionamiento continuó y continúa en el presente acelerado por el aporte de sedimentos de las laderas (IDEAM, 2010).

Según el IDEAM (2010), es discutible denominar estos espacios como altiplanos, puesto que lo que existe es un lago; sin embargo, en estos lagos ocurre un proceso de sedimentación en el fondo y especialmente en los bordes. Los sedimentos de los bordes se integran a las actividades agropecuarias cada vez más.

El paisaje de altiplanicie del lago Guamués, incluye formas como: conos de deyección, abanicos aluviales, llanuras de inundación, terrazas y planicie aluvial.

El perfil de los conos de deyección es generalmente convexo y corresponden a depósitos conformados por drenajes que se forman en época de invierno, los cuales riegan cuencas de moderada a alta pendiente y cortan material no solidificado o altamente fracturado.

Los abanicos aluviales en la cuenca del lago Guamués, son superficies planas a ligeramente inclinadas hacia el valle y de forma triangular. La mayoría de ellos llegan hasta el borde de la laguna, se presentan como una serie coaliciente, formados por las diferentes corrientes que bajan del páramo. Las pendientes de estos abanicos en general son altas por el fuerte gradiente que presentan las montañas y lo corto del trayecto hacia la laguna.

Las llanuras de inundación son superficies amplias de relieve plano-cóncavo, con fuertes encharcamientos por aguas de lluvia, donde existe acumulación de aluviones finos y sedimentos orgánicos que permanecen saturados de agua durante gran parte del año. Lo mencionado es característico de los alrededores del lago Guamués (Corponariño, 2011).

Es de resaltar que sobre la llanura de El Encano donde se asienta el caserío del Puerto, a través del tiempo de manera antropogénica han depositado material de relleno, elevando las cotas de dicha llanura, invirtiendo suavemente la morfología del paisaje.

En la Figura 2-6, se separa con línea roja la llanura de inundación de geoformas con mayor pendiente.



Figura 2-6: Llanura de inundación, cercana al caserío del Puerto.

Las terrazas, superficies planas y escalonadas se localizan a lo largo de las corrientes de agua. Presentan diferentes niveles como producto de la incisión de las corrientes y acumulación de sedimentos finos a gruesos ocasionalmente mezclados con materiales heterométricos. Este tipo de estructuras se observa en algunos afluentes que alimentan el lago (Corponariño, 2011).

Las planicies aluviales, están constituidas por depósitos aluviales (cantos, gravas y arenas) acumulados a lo largo del cauce actual de los ríos y quebradas. Predominan en cauces de tipo dendrítico y trenzado, comprende barras de cauces laterales no estabilizados.

## 2.4 Caracterización ecológica del lago

Para lograr una visión más integral y ecosistémica del área de estudio, a los componentes físicos de la descripción que antecede es necesario complementarla, entre otros aspectos, con una caracterización general del agua del lago y del sector del Puerto ubicado en sus orillas.

El lago está inmerso en la zona conocida como El Humedal lacustre Lago Guamués, las ciénagas y pantanos de planicies de inundación, se caracterizan por estar asociados al sistema lagunar y permanecen siempre o gran parte del tiempo sometidos a altos niveles de saturación de agua y a inundaciones habituales de acuerdo al periodo de lluvias en la región.

El sector del sistema de Humedal lacustre corresponde a los humedales permanentes emergentes, incluye el lago Guamués, la zona de orilla cubierta de totora, las riberas de los ríos y nacimientos que lo abastecen, y las zonas de pantano y turberas. Los Pantanos y turberas ubicados en planicies de inundación corresponden a un área de inundación temporal de 285,76 hectáreas ubicadas en los alrededores de la Laguna de La Cocha en sectores de El Puerto, Mojondinoy, Santa Teresita, Santa Lucia, Ramos, Romerillo y Motilón (Corponariño, 2011).

Las ciénagas que se forman en las zonas intermedias entre el lago y tierra firme presentan como característica básica niveles freáticos altos en suelos de material parental orgánico lacustre pobremente drenados. Estos humedales, son ricos en nutrientes y de alta productividad primaria, generalmente asociados a la presencia de abundante vegetación hidrófila, contribuyen al mantenimiento de la oferta hídrica y son importantes sistemas de regulación de crecientes y sequías.

#### 2.4.1 Características físico-químicas y microbiológicas del agua del lago

Una de las principales caracterizaciones ecológicas del Humedal Ramsar Laguna de La Cocha, es la definición de las características fisicoquímicas del Lago Guamués, estas son resultado de la dinámica general del ecosistema de su cuenca, mediante ellas se conoce la concentración de elementos químicos o iones minerales presentes, que sirven de base o como materia prima para el desarrollo de la vida en el humedal, relacionadas de modo directo con la geomorfología y fisiografía del área de captación, morfometría, litología, estructura, composición, cobertura de los suelos que rodean el humedal y que conforman la cuenca de drenaje, así como también tiene relación directa con el régimen climático e hidrológico del lugar y con las actividades antrópicas que en ella se desarrollan (Corponariño, 2011).

De acuerdo al Plan de Manejo Ambiental Integral Humedal Ramsar Laguna de La Cocha (2011), los rangos históricos de los parámetros físico-químicos del agua del Lago Guamués entre los años 1983 y 2008 es el presentado en la Tabla 2-5.

Tabla 2-5 Parámetros físico-químicos del agua en el humedal lacustre Lago Guamués.  
Fuente: Corponariño, 2011.

| Parámetro           | Unidad     | Rango       |
|---------------------|------------|-------------|
| Temperatura         | °C         | 11 - 15     |
| Oxígeno disuelto    | mg/l       | 6.0 – 7.2   |
| pH                  |            | 6.37 – 7.7  |
| Turbiedad           | UNT        | 0.31 - 3.6  |
| Transparencia       | m          | 4.5         |
| Conductividad       | Us-cm      | 40          |
| Alcalinidad Total   | mg/l       | 20 - 29     |
| Dureza total        | mg/l       | 8.5 -27     |
| Nitratos            | mg/l       | 0.23 – 0.57 |
| Fosfatos            | mg/l       | < 1.0       |
| Sólidos totales     | mg/l       | 55          |
| Sólidos disueltos   | mg/l       | 35          |
| Sólidos suspendidos | mg/l       | 15          |
| Amonio              | mg/l       | 0.22 -0.89  |
| DBO5                | mg/l       | 7           |
| DQO                 | mg/l       | 24          |
| Coliformes totales  | UFC/100ml  | 468-3026    |
| Coliformes fecales  | UFC/100 ml | 22 -248     |

El análisis de los parámetros de temperatura, oxígeno disuelto y pH del agua del Lago, tipifican este hábitat, como un gran lago de alta montaña, de aguas frías neutras y homotermo, con alta saturación de oxígeno disuelto, en donde se presentan condiciones propicias para el desarrollo de la vida acuática en forma diversa en toda su extensión.

El análisis de los parámetros de Transparencia, Conductividad, Alcalinidad, Dureza, Nitratos, Fosfatos, Sulfatos y Sólidos disueltos permite definir el estado trófico y el grado de nutrientes y tipifican al Lago Guamués como un lago oligotrófico (Corponariño, 2011).

Uno de los parámetros que permite estimar el grado de contaminación orgánica del agua es la cuantificación de coliformes. Se observa que en la zona la contaminación bacteriológica ha aumentado a niveles entre 468 y 3.026 UFC/100ml para los diferentes sectores. (Corponariño, 2011). Aguas con estas características microbiológicas no son aptas para el consumo humano sin la previa aplicación de tratamientos de desinfección.

De acuerdo con datos más recientes, extraídos del estudio de Capacidad de carga del lago Guamués realizado por la Universidad Mariana en el año 2014, las propiedades físico – químicas y microbiológicas del lago en el sector del Puerto de El Encano se diferencia de las características del agua en otros sitios del lago, lo cual se puede observar en la Tabla 2-6 y en el Anexo 2.

Tabla 2-6: Características físico – químicas del agua.

| Sitio Muestreo                             | Coordenada               | Período                         | T     | Conductividad | OD   | pH   | Coliformes totales | Coliformes fecales |
|--------------------------------------------|--------------------------|---------------------------------|-------|---------------|------|------|--------------------|--------------------|
|                                            |                          |                                 | °C    | mS/cm         | mg/l |      | UFC/100 ml         | UFC/100 ml         |
| <b>Puerto de El Encano</b>                 | X: 991.836<br>Y: 617.361 | <b>De bajas precipitaciones</b> | 12,95 | 0,05          | 5,53 | 7,09 | 11x10 <sup>4</sup> | 25x10 <sup>3</sup> |
|                                            |                          | De altas precipitaciones        | 11,49 | 0,02          | 10,1 | 6,86 | 22x10 <sup>2</sup> | 55x10 <sup>1</sup> |
| <b>Salida al final del lago (efluente)</b> | X: 989.258<br>Y: 603.352 | <b>De bajas precipitaciones</b> | 16,71 | 0,05          | 8,98 | 7,96 | 0                  | 0                  |
|                                            |                          | De altas precipitaciones        | 14,29 | 0,05          | 8,75 | 6,71 | 12                 | 3                  |

Fuente: Estudio capacidad de carga del lago Guamués, 2014.

*Las temperaturas (T)*, corresponden al promedio a diferentes profundidades. Los valores más bajos se han registrado en época de mayor cantidad de lluvia en la zona y los valores más altos en época de mayor brillo solar y menores lluvias. El rango de temperatura promedio de las aguas superficiales del Lago permite explicar la alta disponibilidad de oxígeno disuelto en las aguas, así como también la baja velocidad de reacción y de metabolización descomposición y respiración del sistema ecológico del humedal.

*El oxígeno disuelto (OD)*, corresponde igualmente al promedio a diferentes profundidades. Si se tienen aguas con valores de OD menores a 2 mg/l, quiere decir que no son aguas aptas para sustentar vida. En la Tabla 2-5, para el sector del Puerto observamos un valor de 5,53 mg/l en período de escasas lluvias o período de bajas precipitaciones y a la salida del lago 8,98 mg/l para la misma temporada, contraste que se explica para el Puerto por ser una zona expuesta a las actividades antrópicas de las comunidades cercanas a este punto, ahí se encuentra influenciada por asentamientos humanos y/o actividades antropogénicas

como el turismo. Para la temporada de abundante lluvia el valor de este parámetro aumenta en el sector del Puerto.

*El pH* de la misma manera corresponde al promedio a diferentes profundidades. De acuerdo a los datos de la Tabla se puede concluir que el pH es un parámetro relativamente uniforme en el lago Guamués y que se mantiene dentro de los parámetros considerados como óptimos para el desarrollo de vida dentro del lago.

*La conductividad*, está directamente relacionada con la salinidad dado que mide la cantidad de iones en el agua. En la zona de estudio está asociada a los períodos climáticos presentados, en período de mayores precipitaciones la concentración de sales es baja, va a disminuir debido a la dilución por el agua, y va a ser alta para el período de verano; el valor de 0,02 mS/cm está relacionado con temporada de precipitaciones altas.

*Parámetros microbiológicos*, como también se observa en la Tabla 2-6 para *coliformes totales*, la concentración más alta se encuentra en la temporada de lluvias bajas en el sector del Puerto de El Encano con 110.000 UFC/100 ml. El valor de este parámetro se presenta en dicho sector dado que recibe la descarga de toda la comunidad aledaña a esta zona y de la población intermitente que genera el turismo.

Con respecto a *coliformes fecales* en el sector del Puerto de El Encano se reporta la mayor concentración con 25.000 UFC/100ml durante el período de bajas precipitaciones. La disposición inadecuada de excretas de origen humano en este sector aumenta la concentración de coliformes fecales. En la Figura 2-7, se indica la localización de los puntos de muestreo.

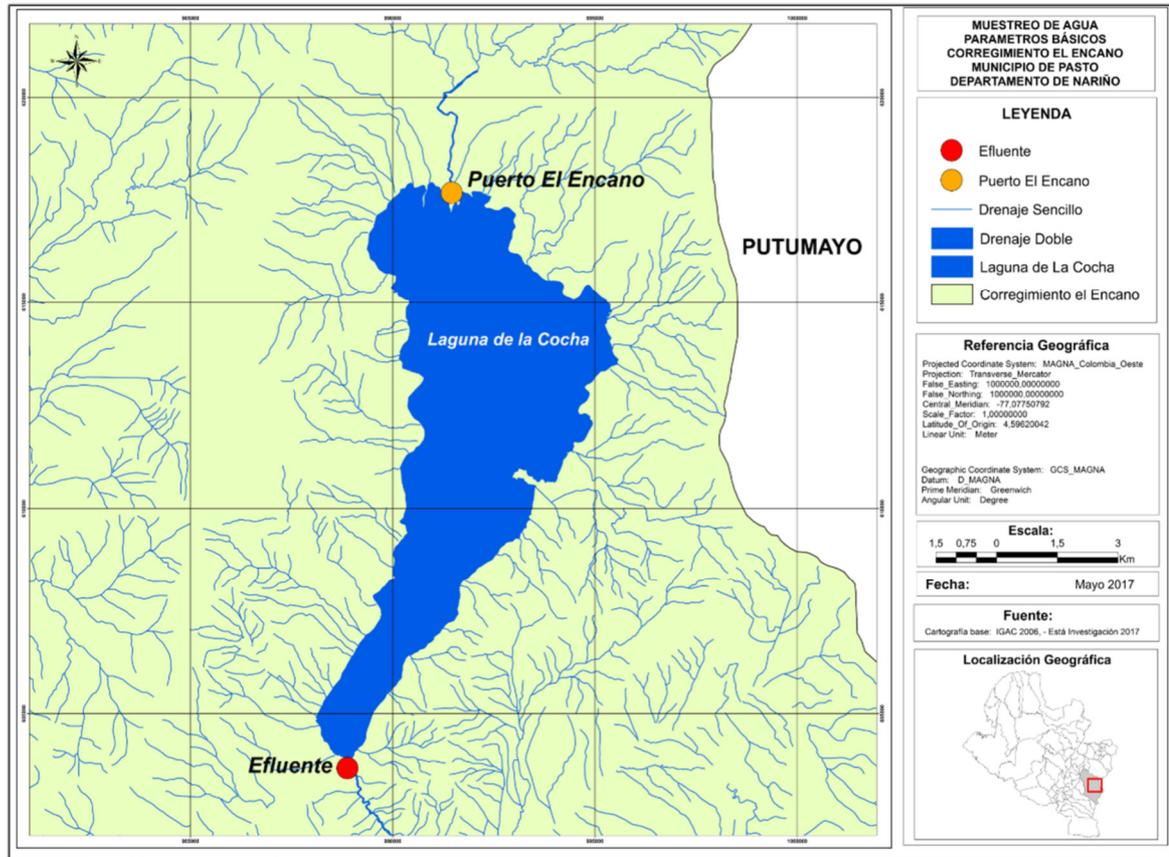


Figura 2-7: Localización de muestreo. Fuente: Estudio capacidad de carga del lago Guamués, 2014.

#### 2.4.2 Comunidades bióticas acuáticas

De acuerdo al estudio realizado para el Plan de Manejo Ambiental Integral Humedal Ramsar Laguna de La Cocha (Corponariño, 2011), el agua del lago Guamués, posee características físico-químicas que han favorecido el desarrollo de diferentes comunidades biológicas, entre las que se pueden destacar:

**Plancton**, se divide en Fitoplancton y Zooplancton. El fitoplancton está formado principalmente por algas fotosintéticas microscópicas suspendidas, son bioindicadores, permiten conocer la calidad de agua, ya que responden rápidamente a condiciones ambientales, en el lago Guamués está distribuido entre la superficie y los 4,5 m de profundidad, donde penetran los rayos solares y hay iluminación en la época de mayor brillo solar.

**El Fitoplancton**, de la laguna, de las zonas inundables y los ríos que la alimentan, corresponde a algas, filamentosas, laminares y geométricas, existe una alta diversidad de Clorophytas. La riqueza en Clorophytas indica aguas limpias de buena calidad y la de Crisophytas o diatomeas, indican productividad del ecosistema ya que se reproducen o mueren fácilmente a causa de cambios ambientales por enriquecimiento o por empobrecimiento de materiales nutritivos, sólidos disueltos, y amonio. La densidad fitoplanctónica del lago Guamués se reporta entre 9 a 30 células/mililitro. En zonas pantanosas y en las orillas del lago son abundantes las cianofíceas, algas verde-azules unicelulares, asociadas a altos niveles de nitratos, amonio, dureza y alcalinidad. Su función es fijar nitrógeno y sirven de abono para nutrir el sistema del cual se alimentan otros vegetales ya que con su descomposición aportan gran cantidad de materia nitrogenada a las aguas. A nivel general, la productividad primaria del Lago Guamués, ha sido registrada como baja con valor mínimo de 0,7 y máximo 5,0 g de oxígeno/metro<sup>2</sup>/día, valores reportados para lagos oligotróficos (Corponariño, 2011).

**El zooplancton**, presenta baja diversidad, ya que la disponibilidad de alimento es baja, predominan copépodos herbívoros filtradores, indicadores de aguas oligosapofitas. La densidad promedio registrada oscila entre 1 a 10 organismos/litro, siendo *Diaptomus sp.*, el de mayor abundancia. Las mayores densidades de zooplancton se presentan en el mes de mayo época caracterizada por el incremento de la precipitación en el área,

**El perifiton** o microbiota, adherida tanto a las piedras, rocas, troncos está compuesta por algas, bacterias, hongos, insectos y detritus orgánico e inorgánico. Los organismos fotosintéticos aportan a la productividad primaria, habitualmente son los primeros colonizadores y sirven de fuente de alimento de invertebrados, es empleada como indicador para valorar cambios ambientales. La mayor biomasa de fitoperifiton, se encuentra desde la ensenada del Puerto hasta el Carrizo.

**El bentos**, lo constituyen organismos que viven fijos a algún sustrato o moviéndose en el fondo. La baja diversidad de los bentos del humedal, muestra variación relacionada con la velocidad de las corrientes de agua y el tiempo de inundación y el de sequía, siendo más representativo el dato de época de estiaje por cuanto la dilución es menor y la incidencia de la contaminación determina la presencia de organismos de acuerdo a la resistencia, donde la característica común es la cercanía a la desembocadura de alguna quebrada e influencia de actividad antrópica.

**Macrobentos**, en cuanto a esta la fauna de las aguas del ecosistema lacustre es característica de ambientes oligosapobricos, se destacan macroinvertebrados de los órdenes Diptera y Trichoptera.

Con abundancia de los géneros *Molophylus* y *Tanypodinae*, indicadores de aguas meso eutróficas, y de *Dugesia* indicador de aguas bien oxigenadas, pero con resistencia a cierto grado de contaminación, permite clasificar las aguas del río El Encano (principal afluente del lago Guamués), como oligomesotróficas y manifiesta niveles de contaminación que aún se pueden controlar con métodos de saneamiento básico y programas de tratamiento de aguas residuales. En las planicies inundables del humedal lacustre se registra la presencia del caracol común *Lymnaea*.

**Peces**, se presenta baja diversidad; se destaca la guapucha, sardina o sardinata, *Grundulus bogotensis*, el “capitán” *Eremophilus mutisii* con poblaciones escasas y la trucha arco iris *Onchorhynchus mykiss*, especie introducida.

#### 2.4.3 Flora acuática del lago Guamués - Macrófita

Con respecto a la flora, se destacan las macrófitas que se encuentran entre orilla del lago, ríos y planicies de inundación del humedal y la zona sumergida iluminada asociadas a fondos cenagosos y limosos de aguas claras, es la base de las cadenas alimenticias, son captadores de CO<sub>2</sub>, estabilizadores de suelos y de calidad de aguas, además de servir de hábitat y alimento para las comunidades de fauna a ella asociadas, especialmente en cuanto a aves acuáticas se refiere, por ello, todo el margen de totora del lago debe ser conservado como ecosistema clave para mantener el soporte ecológico del lago, de los humedales asociados y de la vida silvestre.

La flora litoral está compuesta por macroalgas, pteridofitos y angiospermas. Hay macrófitas acuáticas de hábito dominante fijadas al sustrato, las cuales se caracterizan por estar arraigadas al fondo, generalmente en sustratos ricos en material orgánico, por ejemplo, en suelos anegados, existen fijadas emergentes, fijadas sumergidas, fijadas flotantes

Se destaca la familia Cyperaceae, en cuanto a distribución y cobertura es la mejor representada con la especie *Scirpus californicus*, o totora, la cual, es perenne. La dominancia de estas macrófitas está dada por la tolerancia a variaciones en las características climáticas e hidrodinámicas, se encuentra en toda la orilla del lago, formando un cinturón protector que alcanza 100 m de ancho en el sector de la vereda El Carrizo y el Puerto. También hay especies flotantes libres, para el sector de estudio se destaca la *Azolla anabaena*, pequeña especie de forma rosácea con muy pocas raíces, flota en grupo numeroso en la superficie de las aguas de algunos ríos del humedal como son el río El Encano, y río Laurel. Esta fue introducida para uso en lagunas de estabilización de aguas servidas y ahora está presente en el sistema lacustre, en sectores de aguas quietas y ricas en nutrientes, protegidas del oleaje.

Las macrófitas forman asociaciones típicas en el proceso de sucesión florística en la interface tierra agua, en las planicies inundables y en las riberas de los ríos. En las planicies inundables se encuentran *Poligonum punctatum* Rumex sp. y el kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) seguido por *Juncus conglomeratus* con *Carex sp.* y pajonales de gramíneas como *Panicum sp.* y *Phragmites sp.* En los márgenes de los ríos, *Scirpus californicus* con *Nasturtium officinale* y *Poligonum punctatum* con *Bracharia sp.* y pastizales de Kikuyo (Corponariño, 2011).

#### 2.4.4 Fauna en el humedal lacustre

El humedal lacustre es un hábitat muy rico en variedad de fauna, sobre todo de aves acuáticas que lo utilizan ampliamente como lugares propicios para el anidamiento, alimentación

y como sitio de descanso tanto de aves residentes como de migratorias, son bioindicadoras de alta sensibilidad y proporcionan una base firme sobre la cual elaborar un diagnóstico del estado actual de esos ambientes.

**Aves**, entre las migratorias, están el pato pico de oro (*Anas georgica spinicauda*), la zarceta roja o pato colorado (*Anas cyanoptera Borreroi*), el pato turrio o de pico azul (*Oxyura jamaicensis*), el pato de páramo, la gaviota andina (*Larus serranus*), la cual, a pesar de ser migratorio, se ha quedado habitando en el Lago y la tingua (*Gallinula clorhopus*) es residente temporal. Otras aves acuáticas, observadas en zonas del humedal lacustre en los sectores de la orilla, son los cormoranes (*Phalacrocorax brasilea*). Se reproducen en islotes de titora protegidos de las fuertes corrientes y de los vientos.

Los patos de pico azul (*Oxyura jamaicensis*), permanecen en grupo en la sección norte del lago sobre la desembocadura del río El Encano. El pato pico de oro (subespecie *Anas georgica spinicauda*), es representativo de humedales de alta montaña como La Cocha.

En los humedales de planicies de inundación, también se encuentran las garzas blancas (*Bibulcus ibis*) de cuellos y picos largos son abundantes en la zona acompañando al ganado, estas aves limícolas se desplazan a lo largo de las orillas en aguas poco profundas (Corponariño, 2011).

## 2.5 Características Poblacionales

Como se mencionó anteriormente en la Introducción, El Puerto, objeto de este estudio es parte del Corregimiento de El Encano, localizado en el municipio de Pasto. El corregimiento es la división del territorio rural del Municipio, realizada con el fin de mejorar la dotación de infraestructura básica, prestación eficiente de los servicios sociales y públicos, y asegurar la participación de la ciudadanía en los asuntos públicos de carácter local.

En la Tabla 2-7, se pueden observar los datos de población extraídos del último censo realizado por el Departamento Nacional de Estadística – DANE en el año 2005.

Tabla 2-7: Censo población El Puerto. Fuente: Censo 2005 - Información Básica –DANE – Colombia.

| Censo poblacional – El Puerto |       |     |             |
|-------------------------------|-------|-----|-------------|
| Categorías                    | Casos | %   | Acumulado % |
| Hombre                        | 277   | 50  | 50          |
| Mujer                         | 276   | 50  | 100         |
| Total                         | 553   | 100 | 100         |

De acuerdo a la tasa de crecimiento anual de 1,37 % usada para sus proyecciones en el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) – 2015, con base en los datos del DANE, la población para el caserío del Puerto de El Encano para el año 2016 sería de 642 habitantes, que concuerda en una aproximación alta con los datos suministrados por el censo del Sistema de Identificación de Potenciales Beneficiarios de Programas Sociales – SISBEN, de una población de 641 para el año 2016 (agrupadas en 80 familias), por lo cual se empleó este índice de crecimiento para calcular la población dentro de 12 años (vigencia de un POT), 25 y 50 años, como se observa en la Tabla 2-8 y Figura 2-8.

Tabla 2-8: Proyección demográfica sector El Puerto. Fuente: Elaboración propia.

| Año  | Población | Año  | Población  | Año  | Población  | Año  | Población | Año  | Población   |
|------|-----------|------|------------|------|------------|------|-----------|------|-------------|
| 2015 | 634       | 2025 | 726        | 2035 | 832        | 2045 | 953       | 2055 | 1092        |
| 2016 | 642       | 2026 | 736        | 2036 | 843        | 2046 | 966       | 2056 | 1107        |
| 2017 | 651       | 2027 | <b>746</b> | 2037 | 855        | 2047 | 979       | 2057 | 1122        |
| 2018 | 660       | 2028 | 756        | 2038 | 866        | 2048 | 993       | 2058 | 1137        |
| 2019 | 669       | 2029 | 767        | 2039 | 878        | 2049 | 1006      | 2059 | 1153        |
| 2020 | 678       | 2030 | 777        | 2040 | <b>890</b> | 2050 | 1020      | 2060 | 1169        |
| 2021 | 688       | 2031 | 788        | 2041 | 903        | 2051 | 1034      | 2061 | 1185        |
| 2022 | 697       | 2032 | 799        | 2042 | 915        | 2052 | 1048      | 2062 | 1201        |
| 2023 | 706       | 2033 | 809        | 2043 | 927        | 2053 | 1063      | 2063 | 1251        |
| 2024 | 716       | 2034 | 821        | 2044 | 940        | 2054 | 1077      | 2064 | 1251        |
|      |           |      |            |      |            |      |           | 2065 | <b>1251</b> |

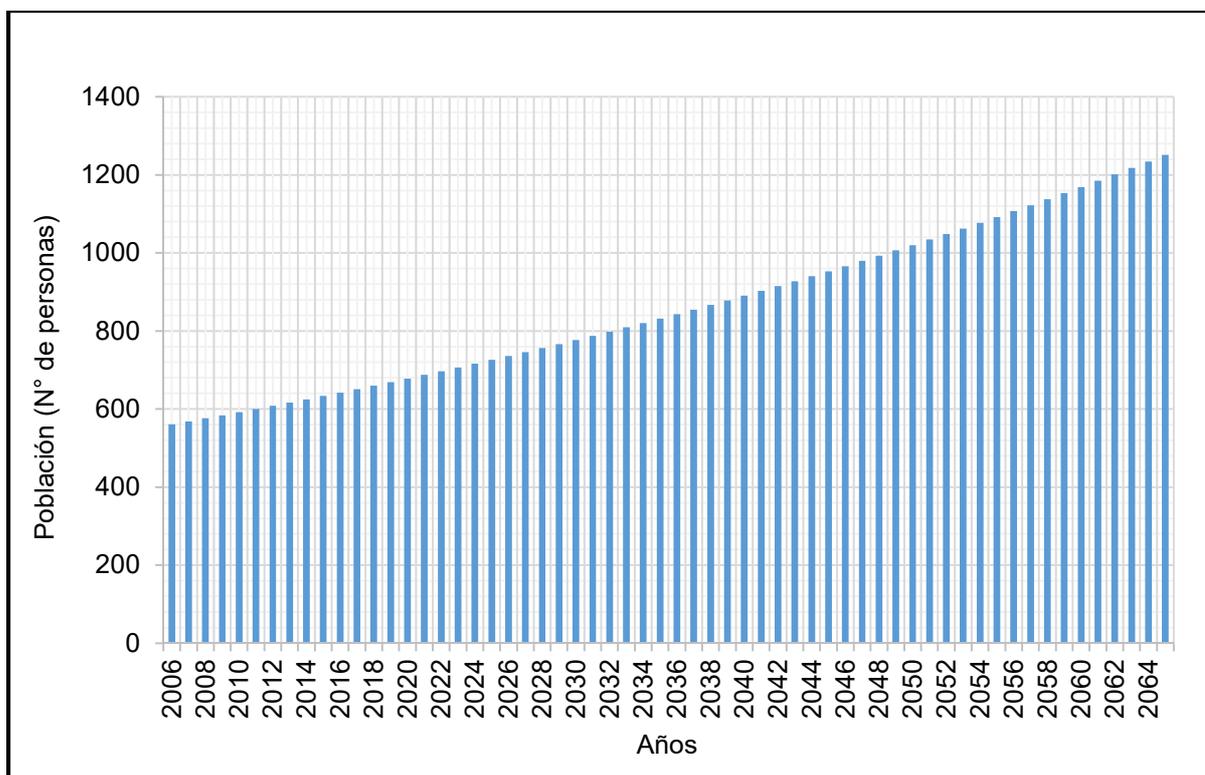


Figura 2-8: Proyección demográfica – El Puerto – Periodo 2006 - 2064. Fuente: Elaboración propia.

En su estructura y composición por rangos generacionales, la población está compuesta por primera infancia e infancia en un 8 %; en edad escolar por un 17 %, en edad de trabajar por el 68 % y adulto mayor en un 7 %. De estos datos se concluye que en la actualidad las mayores presiones sobre la demanda de servicios se enfocan en la generación de fuentes de empleo, vivienda y servicios públicos (POT, 2015).

Según el cuaderno técnico del POT- 2015, para el municipio de Pasto en el sector rural la vivienda ha ido sufriendo una paulatina transformación de unidad socializadora y productiva a unidad habitacional. El desarrollo de la vivienda en el sector rural se ha producido

en forma lineal a lo largo de las vías de comunicación con crecimientos continuos; en las zonas distantes de las vías, las pequeñas y medianas propiedades generan viviendas atomizadas y en sus inmediaciones se observa zonas de cultivo y producción agrícola o ganadera. Esta dinámica ha estado siempre mediada por la ejecución de programas de infraestructura, electrificación, educación y por los cambios en los modos de producción agropecuaria y de interacción de los grupos familiares y sus nuevas estructuras sobre el espacio físico.

Es de resaltar que, en el caserío, las viviendas son de uno y dos pisos, están construidas en madera y tienen techo de láminas de zinc, como se puede apreciar en la Figura 2-9. En el sector no existe alcantarillado, ni tratamiento de aguas residuales, estas aguas son directamente descargadas al lago.

El área tiene una vocación turística, donde la afluencia de población intermitente es alta; por esta actividad los habitantes del sector invaden terrenos del humedal donde el nivel freático es alto, zona donde se dificulta la construcción de obras de infraestructura para el tratamiento del agua residual proveniente de las descargas de las viviendas involucradas.



Figura 2-9: Tipología caserío del Puerto.

Según el cuaderno económico del POT, actividades del sector terciario como el turismo, ligada al sector comercial, son fuente de recursos monetarios para la población. Este sector cuenta con servicio de hoteles y restaurantes, con limitantes de infraestructura como los servicios básicos y el vial, considerados por la población como uno de los mayores problemas para el desarrollo del sector. Es preciso resaltar que las reservas naturales del área también se constituyen en un atractivo turístico a nivel local, regional y nacional.

Según información de la oficina de turismo del municipio, entre noviembre del 2016 y enero 2017, época de mayor afluencia turística, visitaron el sector del Puerto 10.671 turistas.

Cabe destacar que en el territorio de El Encano, tiene asentamiento el resguardo indígena Quillasinga Refugio del Sol, creado según Acuerdo 200 del 14 de diciembre de 2009, que cuenta con reconocimiento territorial por parte del Ministerio del Interior y de Justicia. La población indígena constituye aproximadamente un 80 % de los habitantes del Puerto y están vinculados principalmente a la actividad turística de la región, de igual manera realizan actividades agrícolas y cultivo de trucha en los márgenes de la laguna.

## 2.6 Usos de suelo

El municipio de Pasto aprobó su Plan de Ordenamiento del Territorio (POT) en el año 2015, en su contenido se establecen y reglamentan los usos de suelo del territorio para el período de 12 años hasta el 2027. En particular, para el Humedal Ramsar Laguna de La Cocha donde se localiza el caserío del Puerto, establece en su artículo 69 y 106 lo siguiente:

**Artículo 69.** “Humedal Ramsar Laguna de La Cocha. El Humedal Ramsar Laguna de La Cocha fue designado como Humedal de Importancia Internacional Ramsar mediante el Decreto 698 de 2000 del MAVDT (Ministerio de Ambiente, vivienda y desarrollo territorial), con la finalidad de orientar la gestión ambiental hacia la conservación, protección, recuperación y uso sostenible para el bienestar de la comunidad que lo habita, a través de una oferta integral y oportuna de instrumentos, herramientas y servicios ambientales”.

“La zonificación y régimen de usos de este humedal son los establecidos en el Plan de Manejo Integral adoptado mediante Acuerdo 010 de 2011, o las normas que lo adicionen, modifiquen o sustituyan”.

**Artículo 106.** “Medidas para el manejo del riesgo ante fenómeno de inundación en suelo urbano y rural. Las medidas que se establecen a continuación permitirán la intervención directa de la amenaza para impedir la ocurrencia del fenómeno o mitigara los efectos del mismo: - En la vereda El Puerto del corregimiento de El Encano se prohíben nuevos usos residenciales y los actuales deberán desarrollarse con sistemas de construcción palafíticos y cumplir con el manejo de vertimientos establecidos por la autoridad ambiental”.

El nivel de agua del Lago Guamués es de régimen de variación monomodal, acorde con el régimen de lluvias en la zona. La variación máxima registrada históricamente para los últimos 10 años está entre los 351 y 371 cm presentando inundaciones periódicas anuales en los meses de invierno entre marzo y agosto, localizadas en las zonas bajas circundantes al lago que ocupan superficies ligeramente planas a plano cóncavas estimadas en 170,7 ha para la zona Norte y 614 ha en total para toda la margen del lago (Corponariño, 2011).

El Plan de Manejo Ambiental Integral Humedal Ramsar Laguna de La Cocha (2011), establece una franja de inundación para toda la laguna a una escala general. El POT del municipio de Pasto, acoge este plan para esta área y lo toma como una determinante ambiental, y para el sector del Puerto, tiene en cuenta además unas marcas de inundación del año 2011, no obstante, no es suficiente porque no fija diversas zonas con un levantamiento topográfico a escala detallada que definan límites claros entre diferentes cotas de inundación de acuerdo a distintos periodos de recurrencia.

Por otra parte, el Ministerio del Ambiente, mediante Resolución 0196 de 2006 determina que los suelos de turbera, clase V, ubicados en la vereda El Puerto, utilizados según su capacidad edáfica en pastos y cultivos, pero que son propensos a la inundación en época de lluvias, deben ser destinados a la conservación estricta hasta la línea máxima de inundación por ser áreas de Humedal de especial significancia ambiental para el mantenimiento de la biodiversidad.

En este sector se presenta conflicto de uso donde hay presencia de asentamientos urbanos con tendencia a crecer por la demanda social de servicios de turismo, con los consecuentes impactos en el equilibrio ambiental del Humedal por la inadecuada disposición de aguas servidas y de residuos sólidos, y por la construcción de drenajes para desarrollo de actividad agropecuaria (Corponariño, 2011).

En el Plan de Manejo Ambiental del Humedal Ramsar Laguna de La Cocha se instauran tres categorías de manejo o zonas ambientales: 1) Preservación y Protección Ambiental 2) Recuperación Ambiental 3) Producción Sostenible. Esta zonificación se puede observar en el mapa realizado por Corponariño en el 2011, Figura 2-10.

En el Plan de Manejo Ambiental se establecen como zonas de recuperación ambiental las áreas de planicie con vegetación hidrofítica o totorales que soporta extensos períodos de inundación a través del año. El uso del suelo está dado para la recuperación y conservación de los humedales porque proporcionan grandes beneficios como hábitat de vida silvestre, especialmente de aves acuáticas migratorias y permanentes, y además, mantienen y soportan la recarga y descarga de acuíferos (Corponariño, 2011).

Por otra parte, determina como área de protección absoluta la ronda hídrica de la ribera del lago Guamués, la planicie inundable del Puerto y las ciénagas, pantanos y turberas cubiertas por vegetación hidrofítica, haciendo referencia a áreas que deben ser preservadas, entendiéndose como la acción de resguardar el ecosistema con el fin de evitar daños o prevenir el deterioro en el estado original de sus componentes ambientales o de lo que queda de ellos.

No obstante, en las citadas normas no existe una delimitación clara a una escala adecuada de diferentes franjas de inundación, y en la actualidad en el sector del Puerto se desarrolla una colonización espontánea sin control que invade el humedal en detrimento del medio ambiente y que coloca en riesgo a la población que se asienta en zonas propensas a inundación.

Lo anterior crea conflicto entre las instituciones a cargo del control y la población por la demanda y uso indebido del suelo por parte de los pobladores. El área está sujeta a los impactos de un creciente turismo sin planificación.

Las características de las distintas planicies de inundación de la laguna La Cocha son similares, humedales ricos en nutrientes y de alta productividad primaria, generalmente asociados a la presencia de abundante vegetación hidrófila, contribuyen al mantenimiento de la oferta hídrica y son importantes sistemas de regulación de crecientes y sequías, sin embargo, el único sector cuyo humedal se encuentra invadido por mayor cantidad de viviendas es El Puerto, cuya población se convierte en un factor de presión con deterioro del hábitat del humedal.

En sectores como Mojondinoy, Santa Teresita, Santa Lucia, Ramos, Romerillo y Motilón, los caseríos son menos densamente poblados y se localizan en límites con el humedal, excepto una que otra casa que se sitúa en la llanura de anegamiento. Por estas razones el

presente estudio se dirige a determinar las diferentes zonas de inundación en el sector de El Puerto, y definir medidas de prevención.

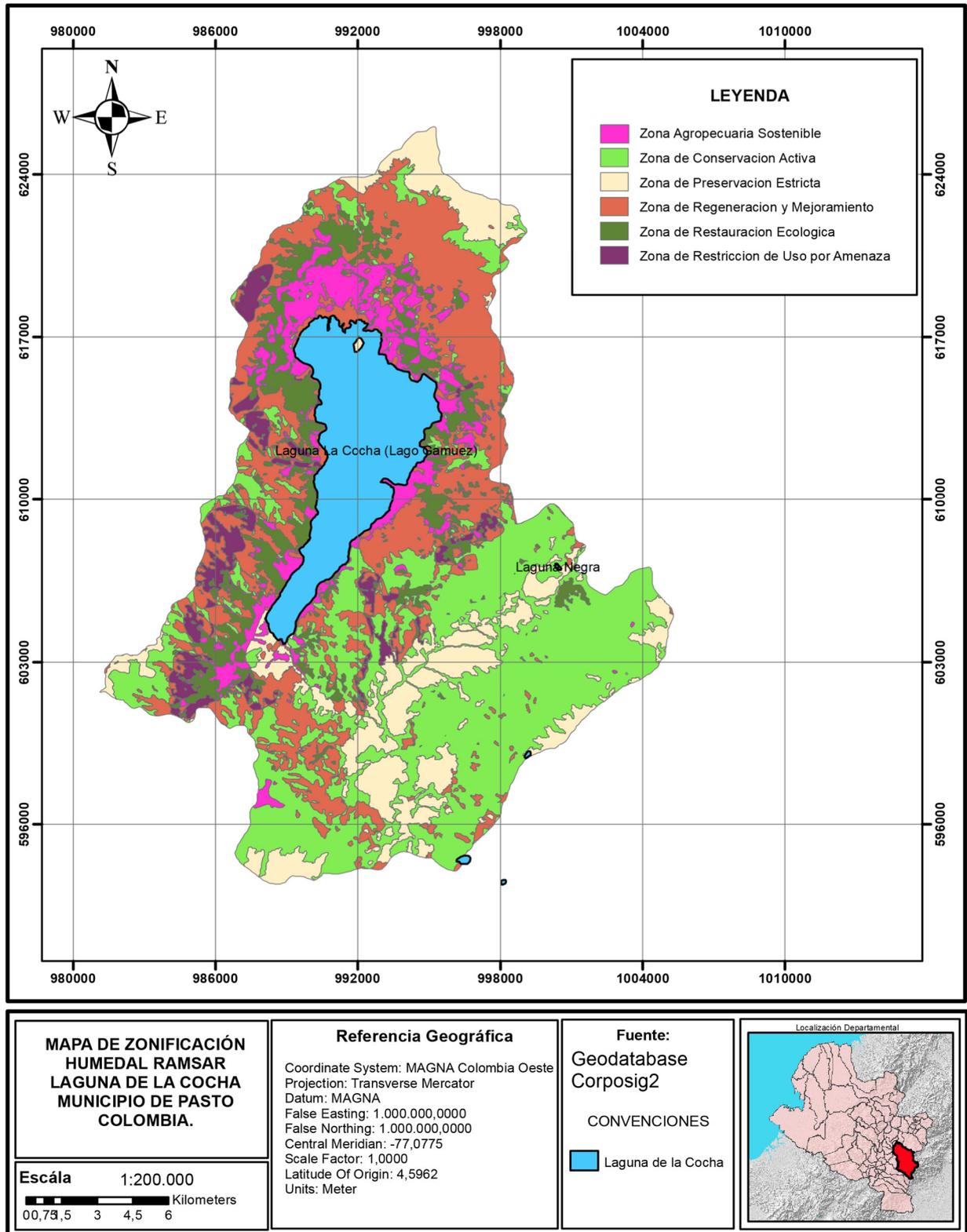


Figura 2-10: Zonificación Ambiental. Fuente: Corponariño, 2011.

### 3. MARCO CONCEPTUAL

Para realizar la caracterización de las inundaciones, determinar su zonificación, definir medidas de prevención y ordenamiento territorial, se entiende necesario precisar algunos de los conceptos tenidos en cuenta como marco conceptual del trabajo.

#### 3.1 Inundaciones

“Inundación (del latín inundatio-onis) según el Diccionario de la Real Academia Española, es la acción y efecto de inundar, esto es, cubrir los terrenos y a veces las poblaciones. En el Glosario Hidrológico Internacional (OMM N° 385, 2012) se define inundación como el desbordamiento del agua fuera de los límites normales de un río o cualquier masa de agua y/o la acumulación de agua procedente de drenajes en zonas que normalmente no se encuentran anegadas” (IDEAM, 2017).

Tucci (2007), identifica dos tipos principales de inundaciones: debido a la urbanización y ribereñas. “Inundaciones debido a la urbanización: son las inundaciones que ocurren en el drenaje urbano debido al efecto de la impermeabilización del suelo, canalización del escurrimiento u obstrucciones al escurrimiento”.

“Inundaciones de áreas ribereñas: son inundaciones naturales que ocurren en el lecho mayor de los ríos debido a la variabilidad temporal y espacial de la precipitación y del escurrimiento en la cuenca hidrográfica”.

“Los ríos generalmente poseen dos lechos: el lecho menor, donde el agua escurre en la mayoría del tiempo. El lecho mayor es limitado por el riesgo de 1,5 a 2 años. Tucci y Genz (1994) obtuvieron un valor medio de 1,87 años para los ríos del Alto Paraguay. Las inundaciones ocurren cuando el escurrimiento alcanza niveles superiores al lecho menor, afectando el lecho mayor. Las cotas del lecho mayor identifican la magnitud de la inundación y su riesgo. Los impactos debido a la inundación ocurren cuando esta área de riesgo es ocupada por la población”

Una planicie o llanura de inundación es un área usualmente seca adyacente a ríos, corrientes, lagos, bahías y océanos, la cual se inunda durante eventos de crecientes. Las causas más comunes de inundación son las crecientes de corrientes y de ríos y las mareas anormalmente altas que resultan de tormentas severas (Chow et al., 1994).

En la Guía de Prácticas Hidrológicas (OMM N° 168, 2011), se define una crecida como: “una elevación, generalmente rápida, del nivel de agua de un curso hasta un máximo a partir del cual dicho nivel desciende a una velocidad menor”.

Algunas crecidas rebasan los límites normales de una corriente fluvial u otra masa de agua, e inundan áreas que normalmente no están sumergidas. Las crecidas, altas o bajas, forman parte del ciclo hidrológico natural y suelen ser el resultado de una compleja interacción entre procesos naturales aleatorios en forma de precipitación y las características de la cuenca.

Las llanuras inundables presentan numerosas ventajas para los asentamientos humanos y el desarrollo socioeconómico debido a su proximidad a los ríos, que proporcionan suelos ricos, suministro abundante de agua y medios de transporte.

Las crecidas reponen también los humedales, recargan las aguas subterráneas y favorecen las pesquerías y los sistemas agrarios, factores que se añaden a las ventajas de las llanuras inundables para el establecimiento de asentamientos humanos y para las actividades económicas. Al mismo tiempo, los riesgos que conllevan los desbordamientos peligrosos producen los efectos más adversos sobre la economía y la seguridad de la población. Las inundaciones siguen siendo el desastre natural más importante en términos del número de afectados y de las pérdidas económicas consiguientes. En los últimos años, el interés ha pasado del control a la gestión de crecidas.

En la misma Guía de Prácticas Hidrológicas (OMM N° 168, 2011), hablando de planificación y usos de la tierra enuncia que, “la cartografía de las llanuras inundables permitirá apreciar la extensión de las posibles inundaciones en función de crecidas con diferentes períodos de retorno (por ejemplo, una cada 10, 25, 50 o 100 años); a tal fin, se determinan las rutas hidráulicas de las crecidas de diseño para diferentes frecuencias a través de la llanura inundable y los niveles de crecida correspondientes, así como los valores de caudal y las áreas que resultarán inundadas. Los resultados pueden representarse en mapas topográficos de escala 1:20.000 o 1:10.000, o superior, indicando la equidistancia de las isolíneas en función de la topografía.”

Como se ha enumerado, las inundaciones pueden ocurrir debido al comportamiento natural de los ríos o alteraciones producidas por el hombre. Las situaciones naturales corresponden a las características climáticas y físicas propiciadas por la cuenca en su estado natural, como son el tipo de precipitación, el relieve, la cobertura vegetal y la capacidad de drenaje. Entre las modificaciones provocadas por la acción del hombre se tienen: la impermeabilización de los suelos al urbanizar, la alteración de los cursos y la canalización de los ríos, la deforestación, etc.

Las inundaciones ya sean de origen natural o antrópico se constituyen en una amenaza, cuando el evento se presenta con una severidad suficiente que puede causar pérdidas de vida u otros daños a la sociedad y/o a su infraestructura.

### **3.2 Amenaza y gestión del riesgo**

Para la zonificación de la amenaza, la definición de la vulnerabilidad y el riesgo por inundaciones en el caserío del Puerto de El Encano en la laguna de La Cocha, es necesario diferenciar y precisar los distintos conceptos que son fundamento para la metodología que se desarrollará posteriormente.

Con relación al concepto de riesgo, este se define como la combinación de una probabilidad de ocurrencia de un determinado evento llamado peligro, y las potenciales consecuencias adversas que tendría este evento para la salud humana, el medio ambiente, el patrimonio cultural o las actividades económicas. Por lo tanto, el riesgo tiene dos componentes principales, la amenaza y la vulnerabilidad (Escuder et al., 2010).

Por un lado, la amenaza representa un evento físico, fenómeno o actividad humana potencialmente dañina, ya que puede causar pérdida de vidas, heridos, daño a la propiedad, trastornos sociales y económicos, o degradación medioambiental.

Por otra parte, la vulnerabilidad se define como las condiciones determinadas por factores o procesos físicos, sociales, económicos y medioambientales, que causan la susceptibilidad de una comunidad al impacto de una amenaza. Por ello, el análisis de vulnerabilidad se centra en la descripción de las potenciales consecuencias producidas por la amenaza considerada (Escuder et al., 2010).

La vulnerabilidad se refiere a la predisposición o susceptibilidad de los componentes antrópicos del sistema territorial para ser dañados total (destrucción) o parcialmente (deterioro) debido al impacto de la amenaza. Representa la medida de probabilidad de daño o pérdida de un componente o sistema territorial expuesto a la acción de la amenaza. La vulnerabilidad depende de dos condiciones: la ubicación del componente respecto a la zona de impacto de la amenaza (exposición) y las características y el estado de conservación del mismo. Por tanto, la vulnerabilidad es esencialmente una condición humana (Lavell, 1994).

La exposición o elementos en riesgo se refiere a la distribución espacial de la población, actividades económicas, bienes materiales, obras de ingeniería, etc., sobre las que puede impactar la amenaza.

En el contexto del desarrollo del presente trabajo, de igual manera, es necesario tener en cuenta la definición de estos términos en el marco de la normatividad desarrollada en Colombia para la gestión del riesgo. La Ley 1523 del 2012, por la cual el Congreso de la República de Colombia adopta la política nacional de gestión del riesgo; en su artículo 4º, numeral 3, los define de la siguiente forma:

Riesgo de desastres: “Corresponde a los daños o pérdidas potenciales que pueden presentarse debido a los eventos físicos peligrosos de origen natural, socio-natural, tecnológico, biosanitario o humano no intencional, en un período de tiempo específico y que son determinados por la vulnerabilidad de los elementos expuestos; por consiguiente, el riesgo de desastres se deriva de la combinación de la amenaza y la vulnerabilidad”

Amenaza: “Peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales”.

Vulnerabilidad: “Susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un evento físico peligroso se presente. Corresponde a la predisposición a sufrir pérdidas o daños de los seres humanos y sus medios de subsistencia, así como de sus sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo que pueden ser afectados por eventos físicos peligrosos”.

La misma Ley en su Artículo 1º, enumera que la gestión del riesgo: “Es un proceso social orientado a la formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas, estrategias, planes, programas, regulaciones, instrumentos, medidas y acciones permanentes para el conocimiento y la reducción del riesgo y para el manejo de desastres, con el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar, la calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible”.

Y en su Parágrafo 1º enuncia: “La gestión del riesgo se constituye en una política de desarrollo indispensable para asegurar la sostenibilidad, la seguridad territorial, los derechos e

intereses colectivos, mejorar la calidad de vida de las poblaciones y las comunidades en riesgo y, por lo tanto, está intrínsecamente asociada con la planificación del desarrollo seguro, con la gestión ambiental territorial sostenible, en todos los niveles de gobierno y la efectiva participación de la población”.

### 3.3 Desarrollo sostenible y ordenamiento territorial

Con el objeto de generar pautas para la prevención y el ordenamiento territorial ante la amenaza por inundaciones, además de un marco general, es necesario contextualizar en la normatividad principal que existe en Colombia referente al tema.

El Programa 21 (1992), programa de las Naciones Unidas – ONU para promover el desarrollo sostenible plantea acciones detalladas que deben ser emprendidas a nivel mundial, nacional y local por entidades de la ONU, los gobiernos de sus estados miembros y por grupos principales particulares en todas las áreas en las cuales ocurren impactos humanos sobre el medio ambiente.

En la Sección I, *Dimensiones sociales y económicas*, Capítulo 7: Fomento del Desarrollo Sostenible de los Asentamientos Humanos, Programa (f) “Promoción de la planificación y gestión de los asentamientos humanos en las regiones propensas a los desastres”, se identifica como base de acción que los desastres naturales causan pérdidas de vidas, perturbaciones de las actividades económicas y especialmente para los grupos de bajos ingresos altamente susceptibles y daños ambientales, como la pérdida de tierras agrícolas fértiles y la contaminación de los recursos hídricos.

En la Sección II denominada *Conservación y gestión de los recursos para el desarrollo*, Capítulo 9: “Enfoque Integrado de la planificación y la ordenación de los recursos de tierras”, se enfatiza en que la presión de la población y las actividades económicas hacia los recursos naturales, generan la competencia y los conflictos y llevan a un inadecuado uso de la tierra y los recursos. Si se pretende un desarrollo sostenible, hay que contemplar un enfoque integrado de la planificación y gestión del medio físico y del uso de la tierra, solo así se pueden mitigar los conflictos, obtener el equilibrio y vincular el desarrollo social y económico con la protección y el mejoramiento del medio ambiente, contribuyendo así a lograr los objetivos del desarrollo sostenible. El atributo de este enfoque integrado consiste en coordinar la planificación del territorio con el uso racional de los recursos naturales (ONU, 1992).

Por otro lado, la Ley 99 de diciembre 1993, título I, *Fundamentos de la política ambiental Colombiana*, plantea entre sus principios generales ambientales que: “Las zonas de páramos, subpáramos, los nacimientos de agua y las zonas de recarga de acuíferos serán objeto de protección especial” y en el numeral 9 de la misma Ley dice “La prevención de desastres será materia de interés colectivo y las medidas tomadas para evitar o mitigar los efectos de su ocurrencia serán de obligatorio cumplimiento.”

Por otra parte, con relación a las políticas sobre gestión del riesgo, en el año 1989 mediante el Decreto – Ley 919 se organiza el sistema nacional para la prevención de desastres y posteriormente se desarrolla la Ley 1523 de 2012, por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres.

La Ley 1523 de 2012, en el capítulo III, *Instrumentos de Planificación*, plantea que, “Los planes de ordenamiento territorial, de manejo de cuencas hidrográficas y de planificación

del desarrollo en los diferentes niveles de gobierno, deberán integrar el análisis del riesgo en el diagnóstico biofísico, económico y socio ambiental y, considerar, el riesgo de desastres, como un condicionante para el uso y la ocupación del territorio, procurando de esta forma evitar la configuración de nuevas condiciones de riesgo”.

De conformidad con los lineamientos de Ordenamiento Territorial y de prevención de desastres (Ley 388 de 1997), los municipios están obligados a formular los Planes de Ordenamiento Territorial, los cuales deben contener entre otros aspectos, las determinantes y componentes relacionadas con el tema de riesgos: “políticas, directrices y regulaciones sobre prevención de amenazas y riesgos naturales, el señalamiento y localización de las áreas de riesgo para asentamientos humanos, así como las estrategias de manejo de zonas expuestas a amenazas y riesgos naturales”.

De acuerdo con el *Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia: Un aporte para la construcción de políticas públicas*, elaborado por el Banco Mundial (Campos et al., 2012), los mayores porcentajes de pérdidas de vidas y de viviendas destruidas acumuladas para el período 1970-2011, corresponden a los deslizamientos y a las inundaciones (excluyendo las pérdidas asociadas con la erupción del volcán Nevado del Ruiz en 1985). Al hacer un análisis según el tipo de evento, se tiene que los fenómenos de origen hidrometeorológico se caracterizan por generar impactos más localizados, pero de alta frecuencia, lo cual de manera acumulativa en el tiempo significa pérdidas incluso mayores a las ocasionadas por los eventos geológicos.

Según el documento citado, la base de datos de Des-Inventar permite concluir que las inundaciones han ocasionado el 43 % de las viviendas destruidas y el 10 % de las pérdidas de vidas, en tanto los deslizamientos han causado el 10 % de las casas destruidas y el 36 % de las muertes durante el lapso estudiado. Adicionalmente, la distribución de los impactos sobre la vivienda y la población, según las características socioeconómicas de los municipios afectados, señala que la mayoría de sus habitantes se localizan en la zona rural y que tienen más del 50 % de la población en condiciones de necesidades básicas insatisfechas.

En el mismo documento se plantea que: El manejo integral de inundaciones exige la combinación del uso de medidas de ordenamiento y gestión territorial para regular y controlar el uso del suelo, además de medidas estructurales y comunitarias. La planificación y manejo del uso del suelo es la medida más efectiva para el manejo de inundaciones; esta estrategia consiste en la definición de actividades compatibles con los tipos o niveles de riesgo por inundación existentes y el establecimiento de zonas de protección ambiental en aquellas zonas de alto riesgo.

## 4. METODOLOGÍA

### 4.1 Determinación de la relación Amenaza – Vulnerabilidad – Riesgo

Existen diferentes metodologías para la elaboración de mapas de riesgo por inundaciones, las técnicas o procesos para la realización de estos mapas se desarrollan a partir de la combinación de los conceptos de amenaza y vulnerabilidad; distintos métodos que se llevan a cabo de acuerdo a estos criterios y a la disponibilidad de información.

Según Lluís Ribera Masgrau (2004), el riesgo se puede formular como el producto del área afectada, la peligrosidad del suceso, el número de elementos que están en juego (exposición) y su vulnerabilidad:

Riesgo = (área de afectación • peligrosidad del suceso) x (elementos en juego • vulnerabilidad de los elementos en juego)

De acuerdo con Ribera Masgrau (2004), los mapas de riesgo de inundación se pueden agrupar en cinco tipologías. En primer lugar, los que se podrían denominar «mapas de áreas inundables», los cuales se limitan a concretar el área potencialmente afectada por las inundaciones, en definitiva, se trata de determinar la ocurrencia o no de un suceso en un punto del territorio.

En segundo lugar, los mapas de peligrosidad que describen aquellas peculiaridades del suceso que lo pueden convertir en más o menos dañino. Por ejemplo, las profundidades y la velocidad del agua o la carga de transporte. La información de estos dos mapas puede ser sintetizada en lo que se podría denominar «mapa final de peligrosidad».

En tercer lugar, los mapas de exposición (elementos en juego) que determinan la localización de los elementos expuestos en un período temporal concreto.

En cuarto lugar, los mapas de vulnerabilidad a las inundaciones, que describen aquellas características de los elementos a estudiar que incrementan o disminuyen el impacto de una inundación si ésta se llega a producir. De la misma forma que en los dos primeros mapas mencionados, la información de estos otros dos puede ser sintetizada en lo que se podría denominar «mapa final de vulnerabilidad».

Y finalmente, en quinto lugar, los mapas de riesgo de daños por inundación, en un sentido estricto y en coherencia con lo expuesto anteriormente, son los verdaderos mapas de riesgo, puesto que muestran las inundaciones en relación con el impacto negativo que éstas pueden llegar a producir en personas, bienes y actividades. Para su realización, se debe disponer de los mapas anteriores: los primeros (de áreas inundables y de peligrosidad), para localizar y caracterizar el suceso y que dan lugar al mapa final de peligrosidad; y los segundos (de exposición y vulnerabilidad), para localizar y caracterizar los elementos en juego que conducen al mapa final de vulnerabilidad. La superposición de estos dos mapas finales proporciona la cartografía de riesgo de daños por inundación (Ribera, 2004).

De acuerdo a lo mencionado en el marco conceptual respecto al riesgo, este se define como la combinación de una probabilidad de presentación de un determinado evento, llamado peligro, y las potenciales consecuencias adversas que tendría este evento para la salud humana, el medio ambiente, el patrimonio cultural o las actividades económicas. Normalmente,

el riesgo se expresa como **Riesgo = Amenaza x Vulnerabilidad**. En general, las unidades en que se estima el riesgo están vinculadas a las unidades de las consecuencias estimadas, divididas por una unidad de tiempo (por ejemplo, una unidad monetaria o número de víctimas por año, dado que la probabilidad de la amenaza presenta unidades de tiempo). (Escuder et al., 2010).

El análisis de la amenaza incluye la identificación, estudio y monitorización de la misma, para determinar su origen, características y comportamiento. El principal resultado de dicho análisis es la probabilidad de ocurrencia de la amenaza considerada (Escuder et al., 2010).

El análisis del riesgo de inundación consiste en determinar la naturaleza y extensión del riesgo existente mediante el análisis de las amenazas potenciales y evaluación de las condiciones de vulnerabilidad que pueden derivarse de la amenaza potencial, causando daños personales, a la propiedad y al medio ambiente. Por tanto, el riesgo de inundación puede calcularse como el producto de ambas componentes, de modo que el riesgo presenta unidades que dependen de los valores empleados para la estimación de la probabilidad y de las consecuencias potenciales. Analizar el riesgo de inundación existente para la vida humana y la propiedad es fundamental como primer paso para conseguir su reducción (Escuder et al., 2010).

El mismo Escuder et al. (2010), sostiene que existe una gran variedad de herramientas para la estimación del riesgo de inundación o de alguno de sus componentes. Estas herramientas pueden dividirse en completas o parciales, según caractericen una o las dos componentes del riesgo. También pueden clasificarse como cuantitativas o cualitativas, según si obtienen o no un valor numérico para cuantificar la vulnerabilidad.

- *Herramientas parciales y cualitativas*

Estas herramientas son el método más sencillo para la estimación del riesgo y, en general, se basan en la experiencia y el conocimiento, sin estimar un valor numérico de probabilidad o consecuencias. Por tanto, estas herramientas sólo calculan una de las dos componentes del riesgo y de una forma cualitativa; pueden ser de gran utilidad para efectuar análisis preliminares del riesgo de inundación.

- *Herramientas completas y cualitativas*

Estas herramientas estiman las dos componentes del riesgo mediante la combinación de métodos cualitativos para la obtención del riesgo de inundación por separado. Por tanto, se obtiene un resultado del riesgo cualitativo.

- *Herramientas parciales y cuantitativas*

Estas herramientas definen una componente del riesgo de forma cuantitativa. Por lo tanto, se pueden dividir entre las herramientas que estiman la probabilidad de la amenaza y aquellas que estiman la vulnerabilidad.

Dentro de las herramientas que definen la amenaza, las más comunes son los mapas de inundación, que muestran el área inundada para diferentes eventos asociados a ciertas probabilidades anuales de ocurrencia. Por tanto, muestran la componente de probabilidad, sin considerar las consecuencias de la inundación.

Asimismo, existen herramientas para el cálculo de las consecuencias de una inundación que pueden servir para realizar una primera aproximación de estas ante eventos de gran magnitud. Las metodologías existentes varían en función de la estimación de pérdidas de vidas o pérdidas económicas.

- *Herramientas completas y cuantitativas*

Este tipo de herramientas permite cuantificar el riesgo tras obtener un valor numérico para cada una de sus componentes: probabilidad y consecuencias. En general, estas herramientas se basan en la combinación de mapas de peligrosidad y la estimación de los resultados de la inundación. El riesgo de inundación debe definirse para un área que depende del nivel de detalle del estudio. En cada área, se obtiene la probabilidad dado un determinado calado y se estiman las consecuencias asociadas a dicha profundidad del agua (Escuder et al., 2010).

Como se expresó en el marco teórico y en las diferentes metodologías, la aplicación de las distintas técnicas para calcular el riesgo depende de la disponibilidad de información y los criterios establecidos para la zonificación del riesgo. Para el presente trabajo en el sector del Puerto de El Encano del lago Guamués, no se cuenta con datos para estimar el riesgo de forma completa y cuantitativa, sin embargo, si se cuenta con información para poder definir el riesgo de manera completa y cualitativa.

Dentro de este grupo, los mapas de riesgo son la herramienta más utilizada; se obtienen mediante una combinación de la estimación cuantitativa de la probabilidad de ocurrencia de una inundación, a partir de modelos hidrológicos e hidráulicos, y una estimación cualitativa de las consecuencias. Por ello, los niveles de riesgo obtenidos proceden directamente de la cuantificación de una única componente. Estas herramientas sirven para la identificación de áreas prioritarias para la aplicación de medidas de reducción del riesgo, además de ser muy útiles para el planeamiento y la gestión; sin embargo, el grado de detalle es menor que en herramientas cuantitativas, especialmente en la estimación de las consecuencias, lo que supone una limitación frente a otros análisis (Escuder et al., 2010).

En el marco de los conceptos enunciados, se adapta o adecua el método para la elaboración del mapa de riesgo para el área del presente estudio, teniendo en cuenta la información disponible para el análisis y las características específicas de la zona.

Para el área del Puerto de El Encano en el lago Guamués, se cuenta con las series históricas de los niveles del lago para estimar cuantitativamente la probabilidad de ocurrencia de inundaciones, y se tiene información para estimar de manera cualitativa las consecuencias, para lo que se tomara en cuenta la presencia o no de población y la exposición o no de infraestructura presente en el área de influencia del lago.

En este sentido en la Figura 4-1, se indica el esquema que se desarrolla o aplica para la elaboración de los mapas de amenaza, vulnerabilidad y riesgo de inundación del área de estudio:

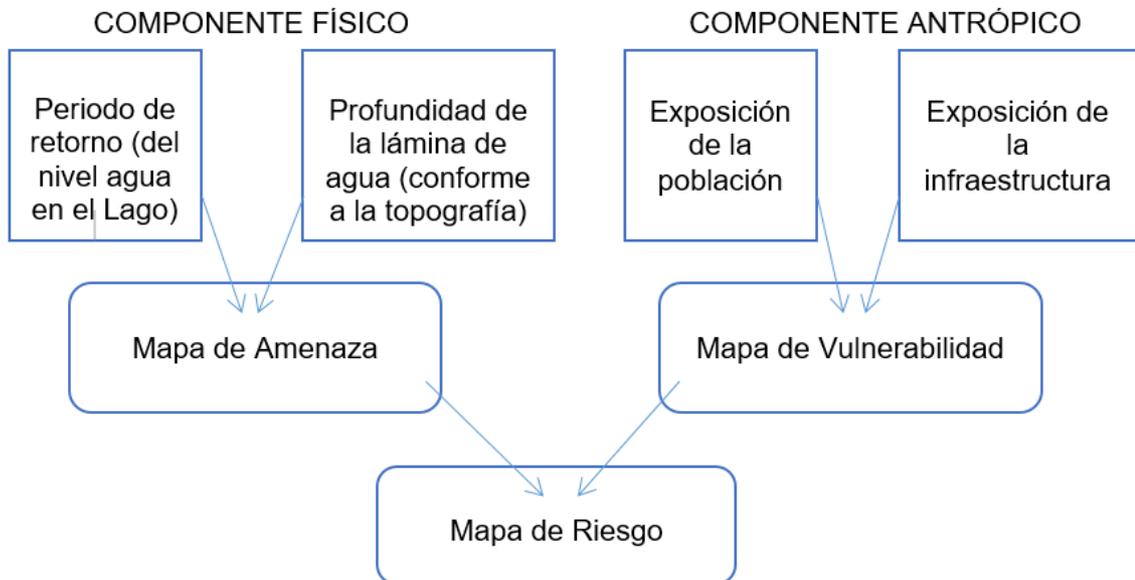


Figura 4-1: Esquema de elaboración de mapas de inundación

## 4.2 Determinación de la amenaza

En el sentido de la metodología planteada, para la determinación de la amenaza por inundación, se evalúa el criterio o variable hidrológica e interrelaciona con aspectos geomorfológicos como el relieve o la topografía para obtener el mapa final de amenaza, insumo que posteriormente se combina con la vulnerabilidad para obtener el riesgo.

Entonces es necesario establecer previamente los niveles máximos del lago asociados a diferentes periodos de retorno y posteriormente articularlos con la topografía de la zona de estudio (levantada en el año 2017).

### 4.2.1 Criterio hidrológico

En la evaluación de la amenaza de inundación se parte de la ubicación o localización del evento natural y de su probabilidad de ocurrencia. Para determinar zonas inundables es necesario evaluar magnitudes de eventos probables o posibles (caudales, precipitaciones, niveles) en función de los tiempos de retorno que se adopten. Mediante la extrapolación de una ley de probabilidad deducida de la muestra de serie de datos hidrológicos, se definen las magnitudes máximas (eventos extremos) para áreas inundables en periodos de retorno determinados.

Los sistemas hidrológicos son afectados algunas veces por eventos extremos, tales como tormentas severas, crecientes y sequías. La magnitud de un evento extremo está inversamente relacionada con su frecuencia de ocurrencia, es decir, eventos muy severos ocurren con menor frecuencia que eventos más moderados. El objetivo del análisis de frecuencia de información hidrológica es relacionar la magnitud de los eventos extremos con su frecuencia de ocurrencia mediante el uso de una distribución de probabilidad (Chow et al., 1994).

Los estudios relativos a la determinación de eventos extremos han dado origen a leyes de distribución de probabilidad para representar la curva de frecuencia de una serie de eventos; entre las leyes que se utilizan habitualmente, están las leyes de Gumbel y Pearson III. Los métodos estadísticos utilizados para la estimación del nivel máximo están orientados a determinar la ley de distribución de probabilidad que mejor se ajusta a la serie de datos hidrológicos o registros existentes.

Los resultados de un análisis probabilístico serán confiables si la serie de datos empleada cumple con los siguientes requisitos:

*Longitud de la serie*, para extraer conclusiones estadísticas a partir de conjuntos de datos de precipitaciones o aforos, es necesario disponer de series históricas de más de 20 o 30 valores, cuanto mayor sea la serie de datos, mayor será la fiabilidad de las deducciones extraídas (Sánchez, 2016).

La bondad de la estimación de los parámetros de ajuste de las leyes aumenta con la longitud de la serie de datos.

*Homogeneidad de la muestra*, la serie de datos debe ser homogénea, es decir debe verificarse que durante el período a considerar el medio donde se obtienen los datos no haya sufrido modificaciones que alteren sus características hidrológicas.

*Tipo de serie*, para la determinación de eventos extremos se utiliza corrientemente la serie anual, suceso máximo de cada año.

### ***Ajuste de una Distribución***

#### **Determinación de la ley de probabilidad teórica**

En primer lugar, se ajustarán a la curva de frecuencias experimental, las dos leyes probabilísticas propuestas, para la obtención de la ley de probabilidad teórica que mejor representa a la serie de niveles.

El ajuste consiste en la determinación de los coeficientes propios de cada ley en función de los parámetros estadísticos de la serie (media, desviación estándar, coeficiente de asimetría).

Posteriormente se analizará, gráfica y analíticamente, la calidad de las correlaciones obtenidas entre cada una de las leyes consideradas y la curva de frecuencias de la muestra, seleccionándose aquella que provea la correlación más adecuada.

Preliminarmente es necesario considerar la definición de período de retorno o recurrencia que se define como: el intervalo medio de tiempo en el cual un evento de magnitud ( $x_r$ ) puede ser igualado o superado.

De la definición Surge:

$$R(x_1) = 1 - P(x_1) \quad (4.1)$$

Para la construcción de la curva de frecuencias de la muestra, se empleará la fórmula empírica de Weibull:

$$R = (N + 1) / m \quad (4.2)$$

Donde  $N$  es el número de años de registro y  $m$  es el número de orden del evento de la serie clasificada en magnitudes decrecientes.

A continuación, se enuncian las fórmulas de las leyes de Gumbel y Pearson que se emplearan para los cálculos respectivos:

#### Distribución de valores extremos Tipo I – Ley de Gumbel

Esta ley límite corresponde a una función de distribución de la forma:

$$F(x) = P(x \leq x_1) = e^{-e^{-y}} \quad (4.3)$$

$$Y = a(x_1 - x_f) \quad (4.4)$$

Donde  $x_f$  es el valor modal (más frecuente), y tanto  $a$  como  $x_f$  se obtienen en función de los parámetros estadísticos de la serie de observaciones.

Determinación de los coeficientes:

Para la obtención de los coeficientes de la ley de Gumbel se utilizan las siguientes expresiones:

$$\alpha = \frac{\sigma_N}{S} \quad (4.5)$$

$$x_f = \bar{x} - \frac{y_N}{\alpha} = \bar{x} - \frac{y_N}{\sigma_N} \cdot S \quad (4.6)$$

Donde  $S$ , es el mejor estimador del desvío estándar de la población que se calcula a partir de los valores de la serie de  $N$  valores,  $\bar{x}$  el valor medio de la población,  $\delta_N$  e  $Y_N$  coeficientes que depende de longitud ( $N$ ) de la serie de datos.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N - 1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i)^2 - \bar{X} \sum_{i=1}^N X_i}{N - 1}} \quad (4.7)$$

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N - 1} \quad (4.8)$$

Con el objeto de homogeneizar las funciones de frecuencia suele darse a las mismas la siguiente forma:

$$x = \bar{x} + K . S \quad (4.9)$$

Siendo  $K$ , factor de frecuencia y es función del nivel de probabilidad asignado a la variable  $x$ .

$$K = \frac{y - y_N}{\sigma_N} \quad (4.10)$$

$$y = -\ln \left[ \ln \left[ \frac{R(x_1)}{R(x_1) - 1} \right] \right] \quad (4.11)$$

Con las anteriores expresiones se calcula la magnitud de un evento en función del período de retorno y los parámetros estadísticos de la serie.

### Distribución Pearson III

Se utiliza la función de frecuencia de la forma ya descripta:

$$x = \bar{x} + K . S$$

En el caso de la distribución Pearson III, y de acuerdo con G. W. Kite (1967), el factor de frecuencia puede ser aproximado con la siguiente expresión:

$$k = z + (z^2 - 1) \frac{C_s}{6} + \frac{1}{3} (z^3 - 6z) \left[ \frac{C_s}{6} \right]^2 - (z^2 - 1) \left[ \frac{C_s}{6} \right]^3 + z \left[ \frac{C_s}{6} \right]^4 + \frac{1}{3} \left[ \frac{C_s}{6} \right]^5 \quad (4.12)$$

Donde  $C_s$ , es el coeficiente de asimetría estimado a partir de la muestra por medio de la expresión:

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)S^3} \quad (4.13)$$

$S$ : el mejor estimador del desvío standard de la población  
 $\bar{x}$ : el valor medio de la muestra

$Z$ : variable normal estándar. El valor de  $z$  correspondiente a una probabilidad de excedencia  $P(x \geq x_1) = 1/R$ . puede calcularse (según Abramowitz y Stegun, 1965) por medio de:

$$Z = W - \frac{2.515517 + 0.802853W + 0.010328W^2}{1 + 1.432788W + 0.189269W^2 + 0.001308W^3} \quad (4.14)$$

En donde:

$$W = \left[ \ln \frac{1}{(Px \geq x_1)^2} \right]^{1/2} \quad (0 < P \leq 0.5) \quad (4.15)$$

Si  $P > 0,5$  se sustituye  $Px \geq x_1$  por  $(1 - Px \geq x_1)$  en la ecuación anterior y al valor de  $Z$  calculado se le asigna un signo negativo.

### Gráficos y límites de confianza

La interpretación adecuada de una serie muestral por medio de una ley probabilística se puede verificar empleando gráficos con los ejes transformados. Estos diagramas se hacen utilizando escalas transformadas en la representación de las probabilidades. Comúnmente se adopta el eje de abscisas transformado para las probabilidades y el de ordenadas para la variable aleatoria.

En un gráfico de esta clase, la representación de una muestra tenderá a producir una alineación recta si la distribución de la serie a la cual representa tiene gran semejanza con la ley probabilística rectificadora por el gráfico.

Luego, los datos graficados ajustados por medio de una línea recta pueden utilizarse con propósitos de interpolación y extrapolación.

La confiabilidad de los resultados de un análisis de frecuencia depende de qué tan bien se aplica el modelo probabilístico supuesto a un conjunto de datos hidrológicos.

Los estimativos estadísticos usualmente se presentan con un rango o *intervalo de confianza*, dentro del cual razonablemente puede esperarse caiga el valor correcto. El tamaño del intervalo de confianza depende del *nivel de confianza* " $\alpha$ ". Los valores extremos superior e inferior del intervalo de confianza se conocen como los *límites de confianza* (Ven Te, Chow et al., 1994).

Al elaborar la curva de frecuencias de una serie de eventos máximos anuales se observa, en algunos casos, que los mayores valores de la variable (principalmente el mayor) se apartan o aíslan de la tendencia indicada por el resto de la serie.

En estas situaciones, la consideración de la totalidad de los eventos introduce errores en la determinación de los parámetros de ajuste de la ley probabilística adoptada, por lo cual se acepta eliminar de la serie los mayores valores que se aparten un cierto rango de la ley definida por los restantes y posteriormente estimar su probabilidad a partir de la ley ajustada sin ellos.

El apartamiento o aislamiento, se define por curvas de control a ambos lados de la curva ajustada, que establecen los "límites de confianza" dentro de los cuales las observaciones se consideran aceptables.

Si  $x_1$  es la magnitud del evento que corresponde al tiempo de retorno  $R(x_1)$ , los límites

de confianza inferior y superior serán:

$$L^S_{x_1} = x_1 + \Delta x_1$$

$$L^i_{x_1} = x_1 - \Delta x_1$$

En donde  $\Delta x_1$  se obtendrá en función del nivel de confianza escogido, el factor de frecuencia (K), el desvío standard de la serie y el número de años de registro:

$$\Delta x_1 = t(\alpha) \frac{S}{\sqrt{N}} \sqrt{1 + 1.14K + 1.1 K^2} \quad (4.16)$$

$t(\alpha)$  se obtiene de acuerdo con el nivel de confianza seleccionado, según el siguiente orden:

|                  |                     |
|------------------|---------------------|
| $\alpha = 60 \%$ | $t(\alpha) = 1,000$ |
| $\alpha = 80 \%$ | $t(\alpha) = 1,282$ |
| $\alpha = 90 \%$ | $t(\alpha) = 1,645$ |
| $\alpha = 95 \%$ | $t(\alpha) = 1,960$ |

#### Prueba de bondad de ajuste

Una vez ajustadas las leyes de probabilidad Gumbel y Pearson III, se analizará la calidad de las correlaciones obtenidas entre cada una de las leyes consideradas y la curva de frecuencias de la muestra. Como se dijo anteriormente, este análisis se puede efectuar en forma gráfica o analítica. Para la forma gráfica la selección de la distribución se realiza sobre la base de las representaciones gráficas de los ajustes efectuados en los gráficos con los ejes transformados.

Para la forma analítica, la elección de la distribución que mejor ajusta a la muestra se realizara comparando los valores teóricos y muestrales de las funciones de frecuencia relativa, utilizando la prueba de  $X_c^2$  (chi – cuadrado).

El valor muestral de la frecuencia relativa del intervalo “i” es:

$$f(x_i) = n_i / n$$

El valor teórico es:

$$P(x_i) = F(x_i) - F(x_{i-1})$$

La prueba estadística está dada por:

$$X \frac{2}{c} = \sum_{i=1}^m \frac{n [f(x_i) - p(x_i)]^2}{p(x_i)} \quad (4.17)$$

En donde:

- $m$ : número de intervalos considerados
- $n_i$ : número de eventos observados en el intervalo
- $n$ : número de eventos observados

La prueba reside en comparar el valor de la variable  $X_C^2$ , de la que se sabe que sigue aproximadamente la distribución chi – cuadrado con “ $v$ ” grados de libertad dados por:

$$v = m-1-k, \text{ donde:}$$

$k$ : número de parámetros considerados en la distribución.

Si el valor de  $X_C^2$  es menor que el valor límite, la hipótesis de que la distribución adoptada ajusta a la muestra es aceptada, en caso contrario es rechazada.

Entre más próximo a cero es el valor de  $X_C^2$  hay mayor correspondencia entre la distribución teórica y la observada.

Una vez seleccionada la distribución que mejor ajusta a la muestra, se obtendrán los distintos niveles para los diferentes períodos de retorno adoptados.

Asimismo, se tiene en cuenta la geomorfología, la cual no es un criterio de probabilidad, sino físico del área objeto de estudio, aspectos como el relieve representado en planos por la topografía permiten diferenciar las áreas sujetas o expuestas a inundación de las que están fuera de su alcance.

Los niveles del lago que se obtienen mediante la distribución seleccionada en el punto anterior se transforman a cotas, y la proyección de los mismos a la planicie inundable, de acuerdo con la topografía del terreno, permite obtener zonas de inundación para un período de retorno determinado.

Para la determinación de cotas, la parte superior de la regla limnimétrica de la estación IDEAM se la vinculó a las coordenadas de la placa PL1 ubicada en el hotel Sindamanoy, placa a la cual también se relacionó el levantamiento topográfico del área de estudio, Tabla 4-1. El relevamiento se realizó mediante un levantamiento cinemático con GPS efectuado en tiempo real, conocido por sus siglas en inglés RTK (Real Time Kinematic), y que consiste en la obtención de coordenadas en tiempo real con precisión centimétrica (1 ó 2 cm). El receptor fijo o referencia está en modo estático en un punto de coordenadas conocidas, otro receptor es móvil del cual se determinan las coordenadas en tiempo real.

Tabla 4-1: Coordenadas planas de Gauss Magna Origen Oeste – Estación IDEAM – Placa PL1

| Punto       | Norte       | Oeste       | Altura (m s. n. m.) |
|-------------|-------------|-------------|---------------------|
| PL1         | 617.328,773 | 992.283,385 | 2.799,73            |
| REGLA IDEAM | 617.289,592 | 992.204,305 | 2.783,37            |

Entre otros criterios para definir la intensidad de la amenaza con el fin de dar una graduación y clasificar la misma, se puede tener en cuenta las características de cómo se desarrolla la inundación, su duración o tiempo de permanencia del agua en el sector inundado y/o la velocidad de flujo, siendo esta última no relevante para este estudio dado los rasgos propios de la zona (planicie lagunar).

Para el área de influencia del lago Guamués por ser una geoforma de llanura o planicie de inundación con pendientes muy bajas, el carácter de inundación es homogéneo y no es súbito, es un suceso lento y la duración es la misma para toda la llanura de inundación por presentar las mismas características litológicas, por consiguiente, la graduación y clasificación de la amenaza la dará la profundidad de la lámina de agua que depende de la configuración topográfica del área inundada.

Los niveles que generan inundaciones corresponden a eventos extremos que afectan eventualmente los sistemas hidrológicos. La extensión de las áreas inundadas está asociada a los niveles del lago; entre mayor sea el nivel, mayores serán las áreas que resultarán anegadas. A períodos de retorno menores, el nivel del lago será menor y por tanto el área de inundación también será menor.

La profundidad o espesor de la lámina de agua será mayor para las áreas con cotas más bajas, por lo que a estas zonas se les asigna dentro de la escala de valores que se escoja, un valor de amenaza mayor y a zonas con cotas más altas, con profundidad de la lámina de agua menor se les asigna un valor de amenaza menor.

#### **4.3 Determinación de la Vulnerabilidad**

De acuerdo con la fundamentación teórica, para analizar la vulnerabilidad se tiene en cuenta que es el grado de susceptibilidad a sufrir daños las personas, edificaciones, instalaciones y sistemas, cuando están expuestos a la ocurrencia de un fenómeno natural peligroso, para el caso del presente estudio las inundaciones, para lo que el grado de vulnerabilidad aumenta en proporción directa a la exposición a las zonas de amenaza de inundación.

Tomando en cuenta lo planteado por Escuder con relación a las herramientas completas y cuantitativas, y la información disponible para el análisis y las características específicas de la zona, para estimar cuantitativamente las consecuencias por amenaza de inundaciones en el área del Puerto de El Encano del lago Guamués y deducir la vulnerabilidad, no se cuenta con datos para cuantificar pérdidas de vida o pérdidas económicas; sin embargo, si se cuenta con información relacionada a la presencia o no de población y la exposición o no de infraestructura presente en el área de influencia del lago, criterios con los cuales se realizara una estimación cualitativa.

Se aclara que la densidad de habitantes es la misma en todo el caserío Puerto de El Encano y que la población económica y socialmente pertenecen a un solo estrato (estrato uno de bajos recursos económicos), por tanto, para poder representar y mapear este criterio se subdivide en dos categorías, sin y con población, dando una calificación cualitativa o un atributo para diferenciar la presencia de población así:

- Sin población igual a cero.
- Con población igual a uno.

En el contexto de infraestructura se tendrá en cuenta el concepto de “Instalaciones críticas”, que de acuerdo al Manual de Manejo de Peligros de la OEA / DDRMA (1993), es definido como: Son todas aquellas instalaciones o mejoras hechas por el hombre, que por razón de su función, singularidad o tamaño, al ser destruidas, dañadas o al interrumpirse sus servicios por un evento catastrófico, pueden causar extensos daños a la propiedad y/o

perturbar las actividades socio económicas vitales (ejemplo: Hospitales, estaciones de bomberos, etc.).

En la cartografía del área de estudio se diferencia y resalta aquellas instalaciones que se identifican dentro de este concepto, como escuela, iglesia, salón comunal, muelle y puesto de bomberos.

Con la infraestructura se procede de forma similar tomando en cuenta que las características del lugar de estudio son homogéneas; todas las viviendas están construidas en madera y se localizan en los márgenes de la única vía de acceso terrestre, sobre la cual se encuentran los postes para las redes de energía eléctrica; el sector cuenta con red de agua potable, pero no alcantarillado, el desagüe se hace por unidad de vivienda sin tratamiento alguno, y contando que en el área la única infraestructura que permite diferenciarla del resto es la presencia de una escuela primaria, un puesto de bomberos, el muelle de embarque, la casa comunal y una capilla, dispuestos en diferentes puntos que se califican como instalaciones críticas dados los servicios que presta a la comunidad; así este criterio se subdivide en dos categorías:

- Existencia de Infraestructura sin presencia de instalaciones críticas igual a 1.
- Existencia de Infraestructura con presencia de instalaciones críticas igual a 2.

Por consiguiente, dadas las características específicas del área de estudio, a los criterios referidos de población e infraestructura se les asigna valores que posteriormente se pueden sumar para obtener los grados finales de vulnerabilidad como un atributo de identificación para representar en el mapa respectivo.

Es decir, para deducir cualitativamente la vulnerabilidad se adopta como criterios la presencia o no de población expuesta a las diferentes zonas de inundación, y la infraestructura combinada con la existencia o no de instalaciones críticas que puedan estar involucradas con dichas zonas, dando como resultado diferentes grados de vulnerabilidad, que no son una estimación cuantitativa de pérdidas de vidas, ni de pérdidas económicas, no obstante nos permite definir unos grados de vulnerabilidad de acuerdo a la exposición ante la amenaza de inundación de la población y la infraestructura.

#### **4.4 Determinación del Riesgo**

Respecto al concepto de riesgo, este se definió como la combinación de una probabilidad de presentación de un determinado evento llamado peligro, y las potenciales consecuencias adversas que tendría este evento para la salud humana, el medio ambiente, el patrimonio cultural o las actividades económicas, esto es, la vulnerabilidad. Por lo tanto, el riesgo tiene dos componentes principales, la amenaza y la vulnerabilidad (Escuder et al., 2010).

En el marco de este concepto y teniendo en cuenta lo descrito en el Punto 4.1 y sintetizado en la Figura 4-1, para zonificar el riesgo, una vez determinada la amenaza y la vulnerabilidad, las combinamos mediante la siguiente fórmula:

$$R = A \times V \quad (4.18)$$

Donde  $R$ , es riesgo;  $A$ , amenaza y  $V$ , vulnerabilidad.

La fórmula mencionada representa un modelo mediante el cual se relaciona la amenaza y la vulnerabilidad, y permite determinar los posibles efectos y sus probabilidades de ocurrencia (Riesgo).

Como se dijo anteriormente, los mapas de riesgo de inundación son herramientas que permiten la evaluación y predicción de las consecuencias de un evento extraordinario; sirven para identificar, valorar y clasificar las áreas potencialmente inundables del territorio y por tanto se constituyen en una medida no estructural para el control de inundaciones.

Un análisis y evaluación del riesgo, involucra la consideración de las causas y fuentes del riesgo, sus consecuencias y la probabilidad de que estas puedan ocurrir, con el propósito de definir tipos de intervención y el alcance de una posible reducción del riesgo.

Para la realización de los mapas de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo se empleó el software Arcgis 10.2 como una herramienta de Sistemas de Información Geográfica (SIG), teniendo en cuenta que, en las últimas décadas, la utilización de herramientas tecnológicas para el análisis del entorno natural ha ido tomando mayor fuerza, lo cual permite a los usuarios poder desarrollar diferentes temáticas y análisis del espacio geográfico. En este sentido el SIG se convierten en una herramienta que permite visualizar, analizar y proyectar de manera digital el medio natural y las diferentes actividades antrópicas que se presentan.

Un SIG se podría definir como un conjunto de herramientas diseñadas para obtener, almacenar, recuperar y desplegar datos espaciales del mundo real, realizando un análisis de sus características espaciales y de esta manera obtener un mayor conocimiento de un área de interés, teniendo como finalidad procesar información de entrada en forma de datos, mantener archivos de datos relacionados, y a su vez, producir información de salida como datos nuevos o reportes de dicha información.

Una de las herramientas que se utilizó dentro de los SIG, es la superposición (overlay), la cual permite trabajar con varias clases de entidad para combinar, borrar, modificar o actualizar entidades espaciales, produciendo una nueva clase de entidad.

Cuando se superpone un conjunto de entidades a otro se crea nueva información. Las operaciones de superposición implican la unión o intersección de dos conjuntos existentes de entidades en un conjunto único de entidades para identificar las relaciones espaciales entre las entidades de entrada. Como todo análisis de superposición, ésta es de manera ponderada; se debe definir el problema y a su vez el modelo o las capas iniciales se dividen en submodelos, identificando las capas de entrada y asignando en particular los atributos que la componen para el respectivo análisis cualitativo y cuantitativo.

Cuando las capas de entrada están en sistemas de numeración distintos con rangos diferentes, cada celda de cada campo se debe reclasificar con una escala de preferencia común, asignando valores en una graduación frecuente.

Dicho de otra manera, una superposición es la combinación de diferentes capas de información, las cuales contienen datos propios que pueden interrelacionarse entre sí, generando una capa de resultado final, que a su vez contiene una nueva información.

## 5. RESULTADOS - DISCUSIÓN

### 5.1 Ajuste de una distribución estadística

La serie de niveles de la estación Sindamanoy en la laguna de La Cocha, cuenta con información diaria desde enero del año 1987 hasta diciembre del 2015 (29 años), sin embargo, los primeros seis años adolecen de información completa, principalmente en los meses de mayores precipitaciones y niveles altos del espejo de agua, por tanto, la serie de niveles máximos se tomaron a partir del año 1993 hasta el año 2015.

Por otra parte, la serie de datos se considera homogénea teniendo en cuenta que la zona de donde se obtiene la muestra no ha sufrido modificaciones que alteren sus características hidrológicas. En la zona del lago Guamués, por ser un humedal Ramsar, no se han realizado construcciones de presas, extracción de agua para riego o actividades que alteren sustancialmente el ecosistema. En la Figura 5-1, se observa la estación limnimétrica Sindamanoy (el tope superior de la regla limnimétrica es 400 cm, que corresponde a la cota 2.783,37 m s.n.m).



Figura 5-1: Estación limnimétrica Sindamanoy

Como se pudo observar en la Tabla 2-4, en el Punto de la caracterización hidrológica superficial, el promedio histórico de niveles del lago es de 267 cm. El valor que aparece con mayor frecuencia de la serie diaria es el nivel de 274 cm, el nivel mínimo presentado es de 185 cm y el nivel máximo 370 cm, para un rango de 185 cm y una desviación estándar de 38,68; esta desviación se encuentra entre la quinta y la cuarta parte del rango, por lo que a la serie

se la considera homogénea, tomando en cuenta el criterio de homogeneidad descrito en Estadística y Probabilidad del Instituto Virginio Gómez de la Universidad de Concepción.

Para la determinación de eventos extremos se empleará la serie de tipo anual, suceso máximo de cada año. En este sentido se observa que la serie de datos cumple con los aspectos de longitud de la serie, homogeneidad de la muestra y tipo de serie, para que los resultados del análisis probabilístico sean confiables.

Sin embargo, antes de emplear los registros de la serie de niveles diarios y realizar el correspondiente ajuste de la distribución estadística y determinación de la ley de probabilidad teórica para eventos extremos, con el objeto de calcular la amenaza por inundaciones; es razonable indicar y explicar las singularidades del comportamiento de las lluvias y los niveles en el lago a lo largo del año, en el marco de las características de la región donde se encuentra el sector de trabajo.

La Figura 5-2, a continuación, permite relacionar los datos de promedios mensuales de precipitaciones y niveles obtenidos respectivamente en las Tablas 2-2 y 2-4 (caracterización hidrológica superficial). En la Figura se puede prestar atención a dos aspectos a analizar: en primer lugar, se observa que la curva de precipitaciones tiene un comportamiento básicamente bimodal, en cambio la curva de los niveles es monomodal; y en segundo lugar se aprecia que el pico de la curva correspondiente a los niveles se corre en el tiempo con respecto a la curva de precipitaciones, lo cual indica un retraso del pico de los niveles máximos con respecto al pico máximo de las lluvias.

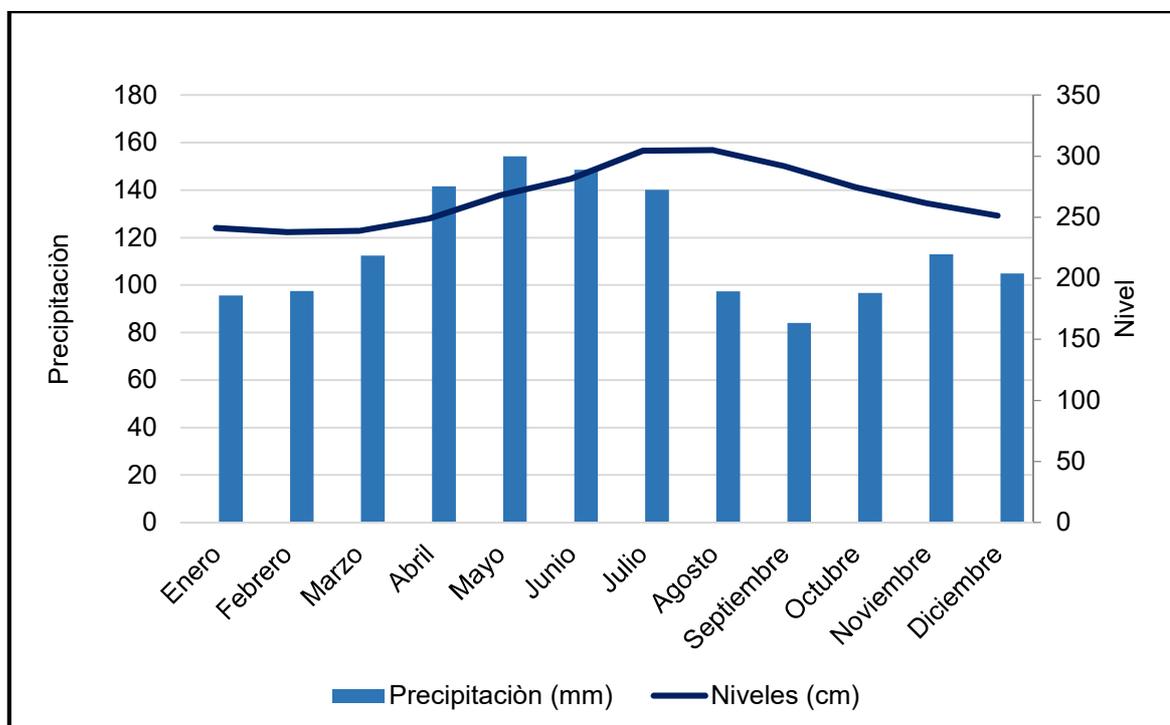


Figura 5-2: Relación de la precipitación media mensual – nivel medio mensual en el año hidrológico (serie 1993 – 2015). Estación El Encano y Sindamanoy.

En busca de una explicación a lo destacado en el párrafo anterior; se amplió el análisis a una escala regional del clima y se consideraron registros de precipitación y niveles en otra estación del IDEAM, diferente a la de El Encano, localizada a la salida del lago hacia el Sur, esto es, la estación Santa Isabel (Figura 5-3).

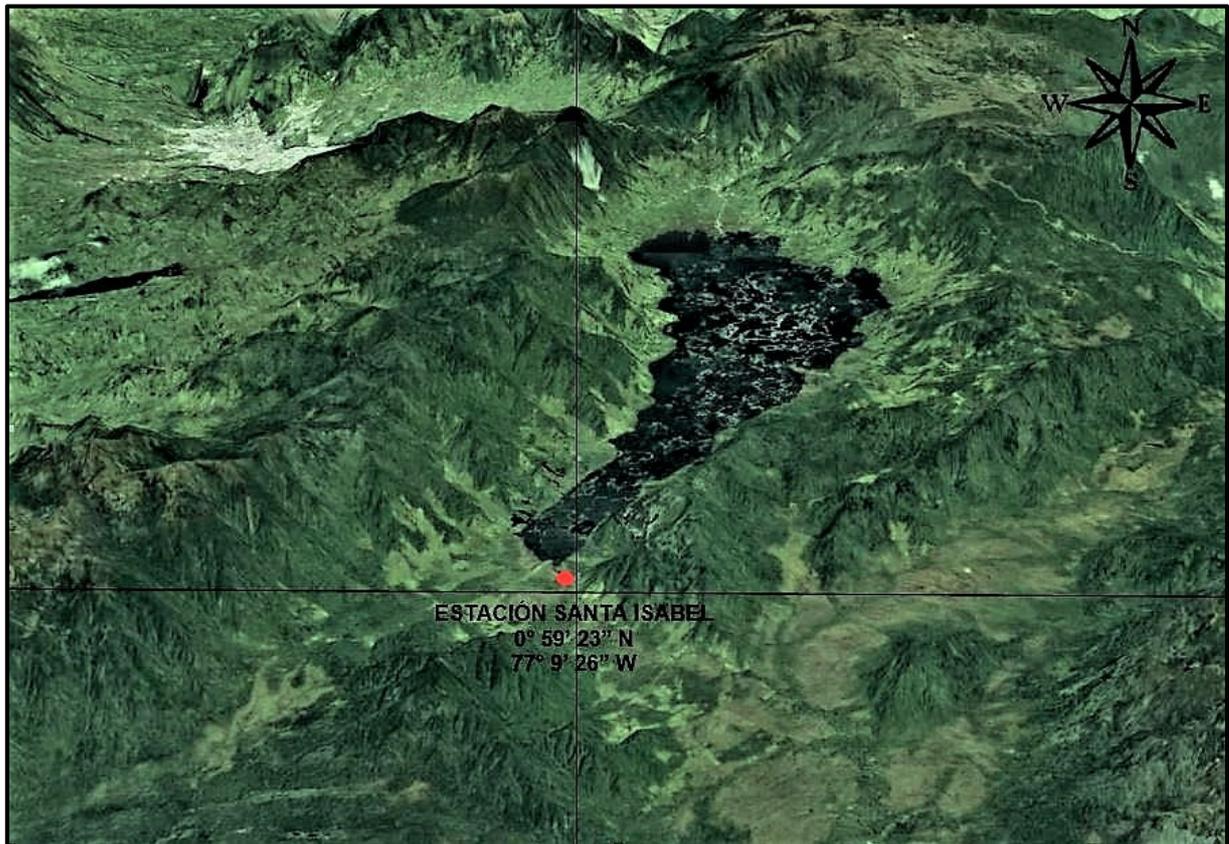


Figura 5-3: Localización estación Santa Isabel.

Colombia está situada en el trópico del continente americano, “como una isla entre tres cuencas de agua”, si se piensa que además del Caribe y del Pacífico, Colombia recibe la influencia de la circulación atmosférica de la cuenca Amazónica, además la presencia de la barrera orográfica que constituyen los tres ramales de la cordillera de los Andes, induce la formación de climas locales y regionales de alta complejidad y dificultad de predicción a distintas escalas de tiempo (Poveda, 2004).

Las estaciones del IDEAM, afectadas una por el sector andino, y la otra por el sector amazónico, evidencian que el Lago Guamués concentra la influencia climática de estas dos zonas, tal como se expresa en el Plan de Manejo Humedal Ramsar (Corponariño, 2011), si bien en esta área la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT) produce lluvias, también se presenta un fenómeno de convección orográfica, que condiciona el establecimiento de un periodo lluvioso más intenso, debido al choque de los vientos alisios del sureste contra la vertiente oriental de la cordillera. Asimismo, como consecuencia de la disminución de la temperatura con la altura, las masas húmedas amazónicas se condensan, generando nubes

de lluvia. Lo que hace que esta zona sea significativamente más húmeda que la existente en el frente de sotavento al lado occidental de la cordillera.

Corroborando lo anterior en la Figura 5-4, se observa la curva monomodal que recoge los datos de precipitación registrados en la estación Santa Isabel, acorde a la curva unimodal de niveles del río Guamués, comportamiento que también se observó en los datos de la estación limnimétrica Sindamanoy que refleja los niveles del lago. En la misma figura se puede apreciar que los promedios mensuales de precipitación son mayores a los registrados en la estación El Encano (Figura 5-2) a lo largo de todos los meses del año, como muestra se tiene que para el mes de mayo la precipitación en Santa Isabel es de 203 mm, en cambio para El Encano es de 156mm. Contrastando ambas estaciones se puede observar que en la zona existen dos regímenes de precipitaciones y un régimen de niveles.

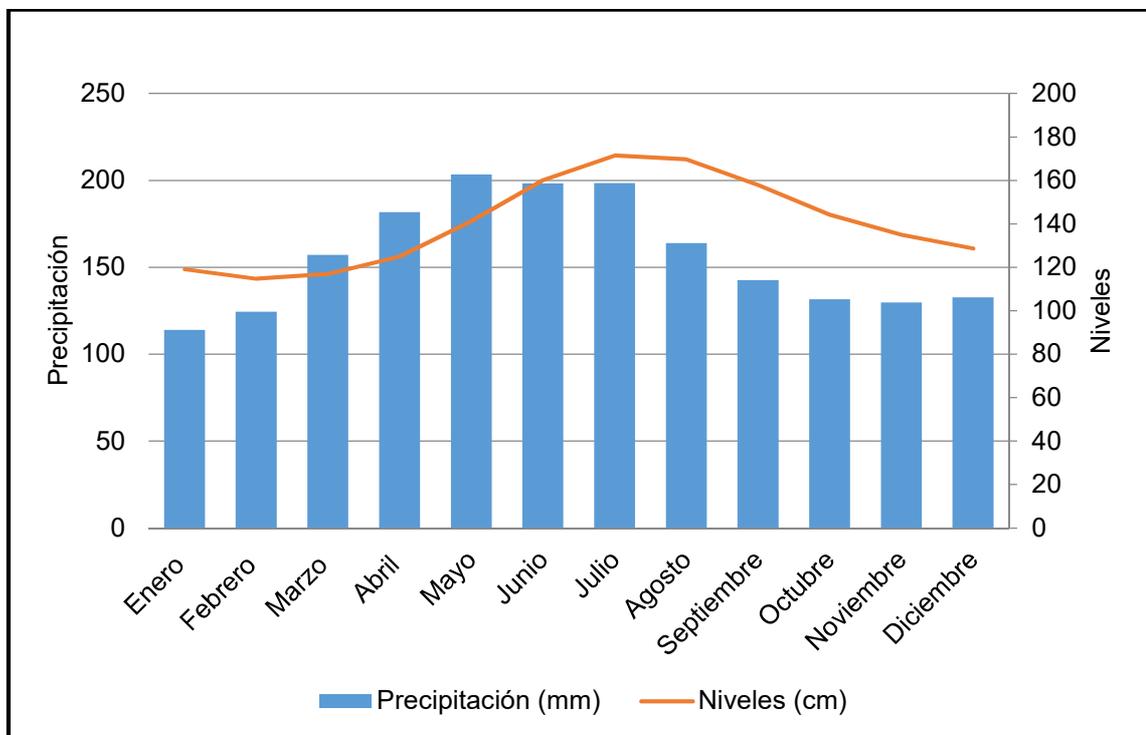


Figura 5-4: Relación de la precipitación media mensual – nivel medio mensual en el año hidrológico (serie 1993 – 2011). Estación Santa Isabel.

De manera complementaria, para la estación de El Encano los valores promedios mensuales multianuales de evaporación de mayo a septiembre oscilan entre 51,4 y 59,1 mm y son menores a los que se presentan en los meses de octubre a abril con valores mayores entre 66,8 y 88,3 mm, factor que de igual forma favorece que los niveles del lago en los meses de enero y febrero sean menores y el régimen anual de niveles tengan un comportamiento unimodal.

En la Figura 5-5, se muestran los datos de precipitación diaria registrados en la estación El Encano del IDEAM, donde se observa que el año 2000 es uno donde se presentaron las medias anuales de lluvias (131,8 mm) y niveles en Sindamanoy (298 cm) más altos de la serie. En la Figura también puede observarse la tendencia de aumento en los niveles del lago.

Para el mencionado año 2000, se advierten las máximas lluvias para el mes de mayo (44,1mm para el día 20 y un acumulado del mes de 305,1mm); para el mismo año en los registros diarios de niveles de la estación de Sindamanoy, se encuentra que a finales de junio se halla el máximo nivel del lago (370 cm para el día 25 y un promedio mensual de 357 cm), advirtiéndose el retraso que ya se había anunciado con respecto a la Figura 5-2.

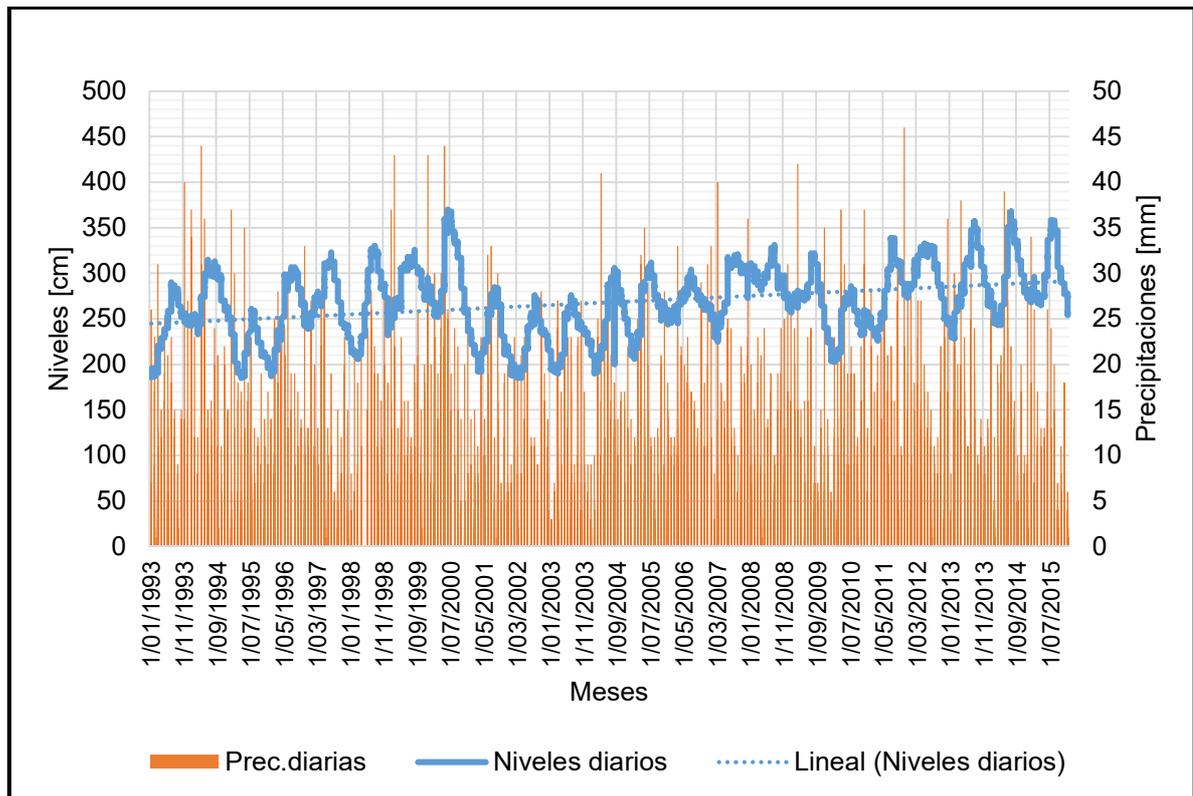


Figura 5-5: Relación Niveles - Precipitaciones Cronológicos (serie 1993 – 2015). Estación El Encano.

Con relación al segundo aspecto concerniente a la Figura 5-2, el desplazamiento en tiempo del pico de la curva de los niveles con respecto a la curva de precipitaciones, este ocurre tanto para la estación de El Encano – Sindamanoy, como para la de Santa Isabel. Más allá que en términos generales un lago o embalse puede provocar la atenuación y/o el retraso de los picos de un ascenso, este comportamiento y su razón para la cuenca del Guamués, incluye la interacción de diferentes factores: climáticos, geológicos, geomorfológicos, de suelos y cobertura vegetal.

En este sentido es necesario resaltar, como se había anotado para la Figura 5-4, los promedios mensuales de precipitación en la estación Santa Isabel son mayores a los registrados en la estación El Encano, a lo largo de todos los meses del año. Es evidente que la magnitud de las lluvias observadas en la Estación Santa Isabel, son más elevadas que las obtenidas de la estación El Encano; las precipitaciones medias mensuales entre 1993 – 2015 en esta última estación oscila entre el mínimo de 84 mm para el mes de agosto y el máximo 154,2 mm presentado en el mes de mayo, como se observa en la Figura 5-2.

Para el mismo periodo 1993 – 2015, en la estación Santa Isabel (Figura 5.4) los valores de precipitación media mensual son más elevados y varían desde los 114 a 203 mm, presentados en enero y mayo respectivamente. Esto indica que en la zona Sur de la laguna existe otro régimen de lluvias con mayores precipitaciones que en la parte Norte, correspondiente a la estación El Encano. En este sentido, mientras las lluvias en esta última empiezan a descender desde el mes de junio hasta el mes de septiembre, las lluvias en el Sur (registradas en la estación Santa Isabel) empiezan a descender desde el mes de agosto.

No se debe perder de vista por lo tanto que las lluvias al Sur tienen más injerencia en el nivel de la laguna por ser mayores en magnitud, generando el retraso observado en la Figura 5-2, donde los niveles más altos no coinciden con los periodos de precipitación más elevados registrados en la estación El Encano. Esta afirmación coincide con las isoyetas indicadas en la Figura 2-2 del Capítulo 2, donde es evidente el régimen de lluvias más elevado en la zona Sur de la laguna.

Por otro lado, se destaca que geológicamente la cuenca es una zona compleja, en la que afloran diferentes tipos de rocas volcánicas y metamórficas, como se describe en el Punto 2.3 “Caracterización Geológica” y pueden presentar diferentes propiedades de permeabilidad e impermeabilidad que influyen de disímil manera en la infiltración y escurrimiento del agua, por ejemplo, dadas las características de foliación de las rocas metamórficas y los grados de meteorización de las rocas volcánicas. De igual forma la zona está atravesada por tres fallas con direcciones diferentes, las cuales se manifiestan con distinta intensidad en el fracturamiento y diaclasamiento de las rocas, que pueden intervenir en la dirección de flujos y en la permeabilidad de las mismas.

Por otra parte, se presenta una cobertura vegetal densa, en diferentes estratos y tipos de suelos que también pueden intervenir en la retención y filtración de agua de distinta manera.

Al respecto, el aporte de agua a la laguna está relacionado con la capacidad de retención del suelo a través de la cobertura general que rodea la laguna y de la contribución de los afluentes que descargan en ella. Uno de los principales objetos de conservación es la cobertura vegetal arbórea en las partes medias y altas de las microcuencas circundantes al lago, la cual presenta un buen estado tanto en superficie como en densidad y preservación. Esto permite la regulación del agua en el suelo producto de las precipitaciones, lo que conlleva a que el aumento en el nivel del agua en el lago ocurra algunos meses más tarde después de iniciar la época de lluvias. Si por el contrario el área no presentara estas características, el nivel del lago ascendería rápidamente y se manifestaran inundaciones de manera frecuente, afectando la estabilidad social, ambiental y económica de la región (Narváez, 2014, p. 100).

Geomorfológicamente, tal como se describió en el Punto 2.3.1, las geoformas presentes determinan distintas pendientes que influyen de diferente manera en la escorrentía. Principalmente se identifican dos unidades paisajísticas en el área de influencia del lago, con comportamientos diversos: Montaña, y Altiplano, que se constituye en la llanura de inundación donde se ubica el caserío del Puerto.

Aunado a lo anterior, la cuenca del Guamués tiene una forma alargada que se demora más en concentrar la escorrentía que una cuenca con forma circular. Como se indicó en el Punto 2.2, el área que cubre la cuenca no es pequeña, tiene 477,1 km<sup>2</sup> dividida en cuatro

subcuencas, con una buena cantidad de microcuencas, entre las que se encuentra el río El Encano con un caudal de 2,4 m<sup>3</sup>/s (caudal aforado en octubre de 2016 por Corponariño); el lago tiene un área aproximada de 41,6 km<sup>2</sup>, y el caudal de salida tiene un promedio histórico de 8,7 m<sup>3</sup>/s.

Las microcuencas tienen diferentes comportamientos, sin embargo, no están instrumentadas, lo cual dificulta su estudio pormenorizado, en este sentido es necesario que en un futuro se aúnen esfuerzos institucionales para un mayor conocimiento de la cuenca y mejor detalle en el funcionamiento hidrológico de la misma.

En la Figura 5-6, se observa el comportamiento de los niveles del lago a lo largo del año, pudiéndose determinar que los máximos niveles se presentan en los meses de julio y agosto, época en la que suelen suceder inundaciones en las márgenes de la laguna. Los mínimos niveles se presentan en febrero y marzo.

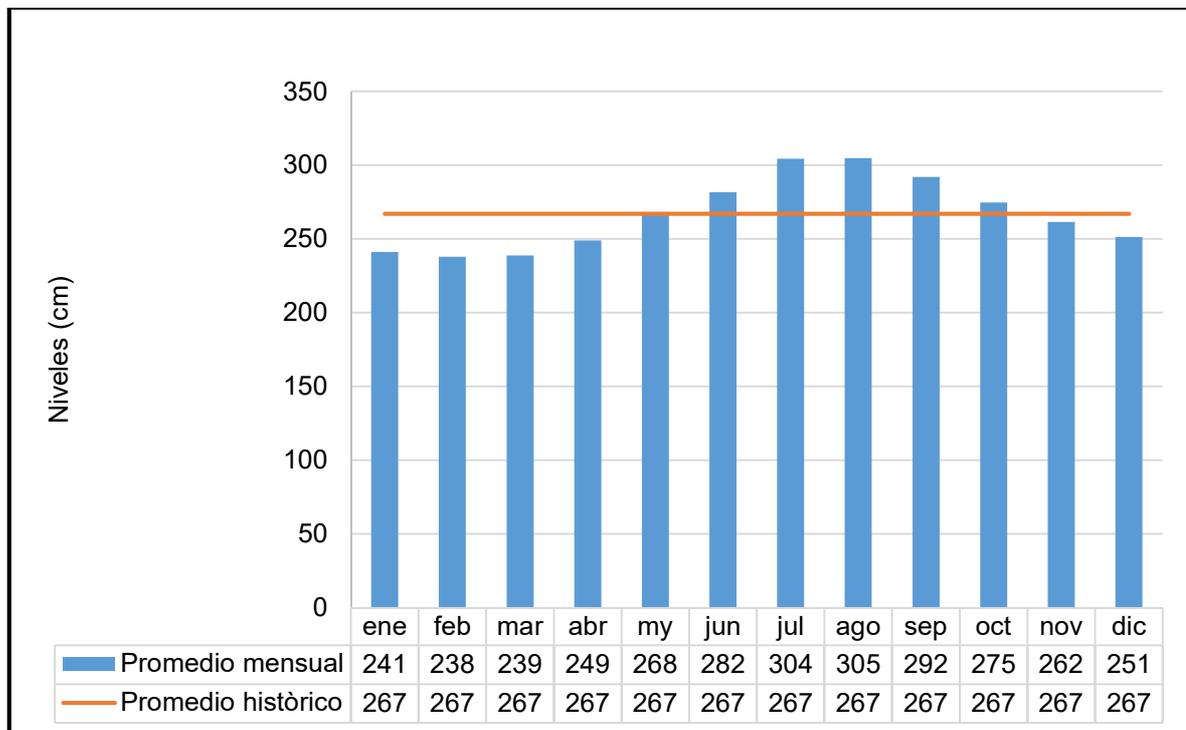


Figura 5-6: Promedios mensuales de niveles en la laguna de La Cocha (serie 1993 – 2015).

En la Figura 5-7, con datos extraídos de las Tablas 2-2 y 2-4, de precipitación anual y niveles diarios máximos de cada año, se relacionan y se logra observar, que los niveles más bajos del lago ocurren en años de pocas lluvias y los niveles más altos se presentan en términos generales en los años de mayor precipitación, es así que, en el año 1999, 2000 y 2011 se registran respectivamente niveles de 326, 370 y 339 cm; para el año 2014 aparece un registro de 368 cm, después de tres años de lluvias significativas en la región.

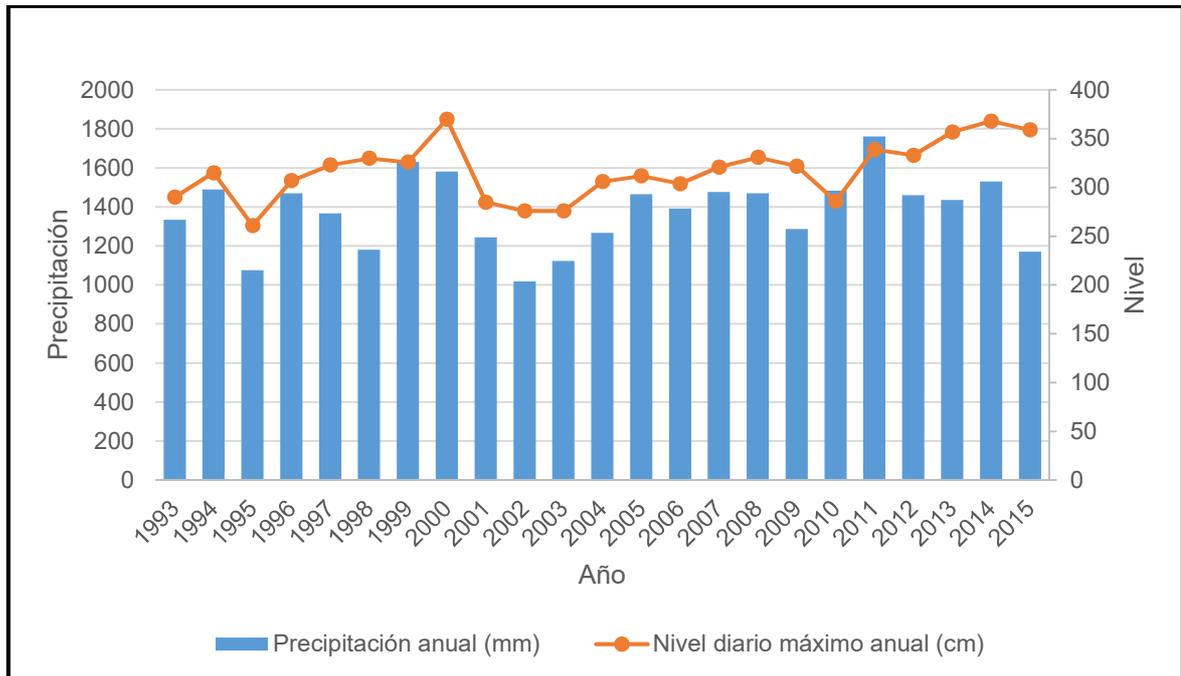


Figura 5-7: Precipitación anual – Nivel diario máximo anual (serie 1993–2015). Estación El Encano y Sindamanoy.

En la Figura 5-8, se observa que, dentro de la serie de niveles máximos anuales diarios, los de mayor valor se presentaron en el año 2000 y 2014 con 370 y 368 cm respectivamente, con 70 cm aproximadamente por encima de la media anual; los años que presentaron mínimos niveles dentro de esta serie de máximos fueron 1995 con 261 cm, y 2002 con 276 cm.

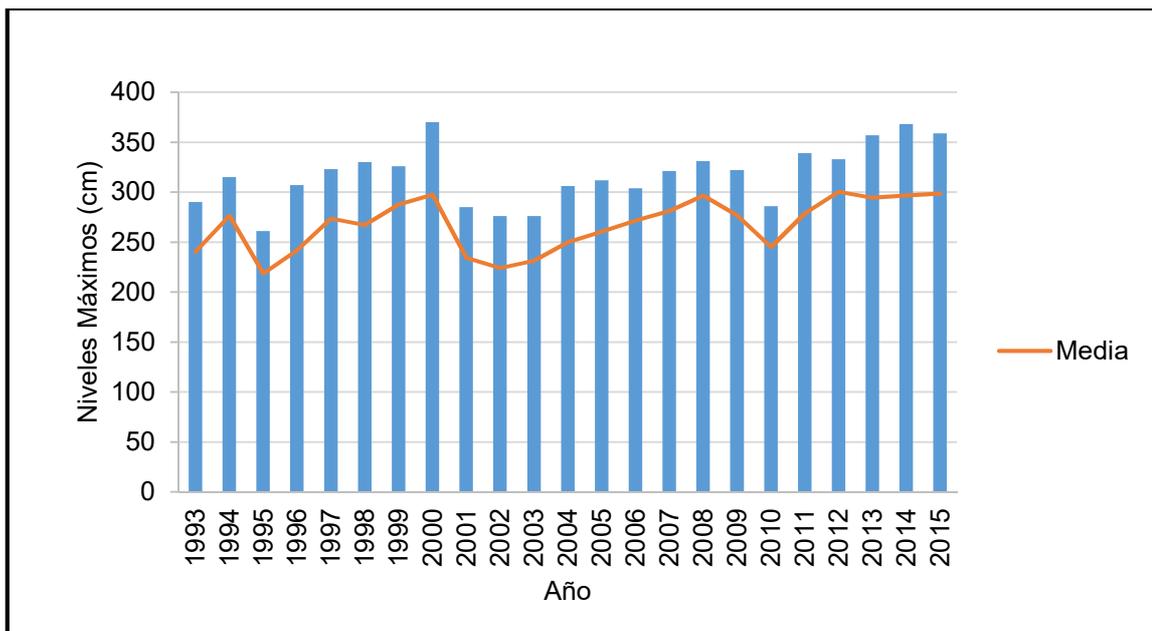


Figura 5-8: Serie de máximos anuales de niveles diarios – Laguna de La Cocha (serie 1993-2015).

### 5.1.1 Determinación de la ley de probabilidad teórica

Considerando que la estación de registros de niveles en el lago es limnimétrica se procedió a trabajar con el nivel diario máximo de cada uno de los años de existencia de la serie. Efectivamente el análisis de frecuencia se realizó con Gumbel y Pearson III utilizando la serie anual construida descartando, en principio, la no homogeneidad de esta.

El objetivo de que la serie sea homogénea es garantizar que sus características estadísticas como la media, desviación estándar y los coeficientes de correlación serial no se afecten debido a la tendencia en la media o en la varianza o cuando ocurren saltos negativos o positivos.

Las causas de la pérdida de homogeneidad se deben, entre otras, a acciones inducidas por las actividades humanas como la deforestación, el incremento abrupto de cultivos, rectificación de cauces, construcción de embalses o por procesos naturales súbitos como incendios forestales, terremotos, deslizamiento de laderas, y erupciones volcánicas, fenómenos no observados en el área de estudio.

A continuación, para garantizar la homogeneidad de la serie se procedió a realizar las pruebas estadísticas de “t” de Student y Cramer que por su robustez permite verificar la homogeneidad y también determinar si el valor medido varía significativamente de un periodo a otro. Para ello divide la serie en dos bloques de datos de igual tamaño para la primera prueba y en tres bloques la segunda, el primero con el tamaño total de la muestra, el segundo con el 60 % de los valores últimos de la muestra y el tercer bloque con el 30 % de los últimos valores de la muestra. Las pruebas comparan los valores de Q (variable del evento hidrológico, para el caso niveles del lago) con respecto a las medias de cada uno de los bloques. Para que se considere la serie analizada como estacionaria en la media, se deberá cumplir que no existe una diferencia significativa entre las medias de los bloques (Escalante y Reyes, 2005). En la Tabla 5-1 y Tabla 5-2 se presenta los resultados obtenidos del análisis. En ellos se puede observar claramente que la serie es homogénea por las dos pruebas y por lo tanto estadísticamente la serie puede ser considerada homogénea.

Tabla 5-1: Prueba de homogeneidad t de Student, serie de niveles periodo 1993-2015 -Estación Sindamanoy.

| Prueba t de Student  |        |                      |        |                                                                                                                                                                                     |           |
|----------------------|--------|----------------------|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Serie 1              |        | Serie 2              |        | Estadístico                                                                                                                                                                         |           |
| Año                  | Nivel  | Año                  | Nivel  |                                                                                                                                                                                     |           |
| 1993                 | 290    | 2005                 | 312    | <b>Estadístico t:</b>                                                                                                                                                               | -2,05     |
| 1994                 | 315    | 2006                 | 304    | <b>Grados de Libertad</b>                                                                                                                                                           | 21        |
| 1995                 | 261    | 2007                 | 321    | <b>De tabla: t =</b>                                                                                                                                                                | 2,0800    |
| 1996                 | 307    | 2008                 | 331    | <b>De tabla: t =</b>                                                                                                                                                                | -2,0800   |
| 1997                 | 323    | 2009                 | 322    | Homogénea                                                                                                                                                                           | <b>Si</b> |
| 1998                 | 330    | 2010                 | 286    | No Homogénea                                                                                                                                                                        | <b>No</b> |
| 1999                 | 326    | 2011                 | 339    | <b>El valor absoluto del estadístico t esta entre el valor de tabla de t para 21 grados de libertad y para un nivel de significancia del 5%. Por lo tanto la serie es Homogénea</b> |           |
| 2000                 | 370    | 2012                 | 333    |                                                                                                                                                                                     |           |
| 2001                 | 285    | 2013                 | 357    |                                                                                                                                                                                     |           |
| 2002                 | 276    | 2014                 | 368    |                                                                                                                                                                                     |           |
| 2003                 | 276    | 2015                 | 359    |                                                                                                                                                                                     |           |
| 2004                 | 306    |                      |        |                                                                                                                                                                                     |           |
| <b>Media 1</b>       | 305,42 | <b>Media 2</b>       | 330,18 |                                                                                                                                                                                     |           |
| <b>Varianza 1</b>    | 905,5  | <b>Varianza 2</b>    | 618,6  |                                                                                                                                                                                     |           |
| <b>n<sub>1</sub></b> | 12     | <b>n<sub>2</sub></b> | 11     |                                                                                                                                                                                     |           |

Tabla 5-2: Pruebas de Homogeneidad de Cramer, serie de niveles periodo 1993-2015 - Estación Sindamanoy.

| Prueba estadística de Cramer |               |                  |               |                  |               |                                                                                                                                                                                                |         |
|------------------------------|---------------|------------------|---------------|------------------|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Serie Completa               |               | Serie último 60% |               | Serie último 30% |               | Estadísticos                                                                                                                                                                                   |         |
| Año                          | Nivel         | Año              | Nivel         | Año              | Nivel         |                                                                                                                                                                                                |         |
| 1993                         | 290           | 2002             | 276           | 2009             | 322           | $t_{60}$                                                                                                                                                                                       | 0,11550 |
| 1994                         | 315           | 2003             | 276           | 2010             | 286           | $t_{30}$                                                                                                                                                                                       | 0,68409 |
| 1995                         | 261           | 2004             | 306           | 2011             | 339           | $t_{60}$                                                                                                                                                                                       | 0,66712 |
| 1996                         | 307           | 2005             | 312           | 2012             | 333           | $t_{30}$                                                                                                                                                                                       | 2,32519 |
| 1997                         | 323           | 2006             | 304           | 2013             | 357           | De tabla: $t =$                                                                                                                                                                                | 2,08000 |
| 1998                         | 330           | 2007             | 321           | 2014             | 368           | El valor absoluto del $t_{30}$ es mayor que el valor de tabla de $t$ para 21 grados de libertad y para un nivel de significancia del 5% y $t_{60}$ es menor por lo tanto la serie es Homogénea |         |
| 1999                         | 326           | 2008             | 331           | 2015             | 359           |                                                                                                                                                                                                |         |
| 2000                         | 370           | 2009             | 322           |                  |               |                                                                                                                                                                                                |         |
| 2001                         | 285           | 2010             | 286           |                  |               |                                                                                                                                                                                                |         |
| 2002                         | 276           | 2011             | 339           |                  |               |                                                                                                                                                                                                |         |
| 2003                         | 276           | 2012             | 333           |                  |               |                                                                                                                                                                                                |         |
| 2004                         | 306           | 2013             | 357           |                  |               |                                                                                                                                                                                                |         |
| 2005                         | 312           | 2014             | 368           |                  |               |                                                                                                                                                                                                |         |
| 2006                         | 304           | 2015             | 359           |                  |               |                                                                                                                                                                                                |         |
| 2007                         | 321           |                  |               |                  |               |                                                                                                                                                                                                |         |
| 2008                         | 331           |                  |               |                  |               |                                                                                                                                                                                                |         |
| 2009                         | 322           |                  |               |                  |               |                                                                                                                                                                                                |         |
| 2010                         | 286           |                  |               |                  |               |                                                                                                                                                                                                |         |
| 2011                         | 339           |                  |               |                  |               |                                                                                                                                                                                                |         |
| 2012                         | 333           |                  |               |                  |               |                                                                                                                                                                                                |         |
| 2013                         | 357           |                  |               |                  |               |                                                                                                                                                                                                |         |
| 2014                         | 368           |                  |               |                  |               |                                                                                                                                                                                                |         |
| 2015                         | 359           |                  |               |                  |               |                                                                                                                                                                                                |         |
| <b>Media</b>                 | <b>317,26</b> | <b>Media</b>     | <b>320,71</b> | <b>Media</b>     | <b>337,71</b> |                                                                                                                                                                                                |         |
| <b>Varianza</b>              | <b>893,93</b> | <b>Varianza</b>  | <b>875,91</b> | <b>Varianza</b>  | <b>781,24</b> |                                                                                                                                                                                                |         |

Para el análisis de eventos extremos se empleó la serie de registros de niveles diarios confiables de 23 años (1993-2015) de la estación limnimétrica Sindamanoy.

En primer lugar, se ajustaron las leyes de Gumbel y Pearson III a la curva de frecuencias experimental, para luego contrastarlas y obtener la ley de probabilidad teórica que mejor representa a la serie de niveles.

Asimismo, mediante ambas leyes, se calcularon los niveles para los tiempos de retorno de 25, 50 y 100 años (que superan el periodo de datos disponible).

En la Tabla 5-3 se encuentran los niveles máximos anuales ordenados en magnitudes decrecientes y las recurrencias calculadas con la expresión (4.2) y las respectivas probabilidades deducidas mediante la expresión (4.1).

Tabla 5-3: Niveles máximos anuales y su recurrencia – La Cocha.

| Orden | Nivel (cm) | Recurrencia | Probabilidad |
|-------|------------|-------------|--------------|
| 1     | 370        | 24,00       | 0,9583       |
| 2     | 368        | 12,00       | 0,9167       |
| 3     | 359        | 8,00        | 0,8750       |
| 4     | 357        | 6,00        | 0,8333       |
| 5     | 339        | 4,80        | 0,7917       |
| 6     | 333        | 4,00        | 0,7500       |
| 7     | 331        | 3,43        | 0,7085       |
| 8     | 330        | 3,00        | 0,6667       |
| 9     | 326        | 2,67        | 0,6255       |
| 10    | 323        | 2,40        | 0,5833       |
| 11    | 322        | 2,18        | 0,5413       |
| 12    | 321        | 2,00        | 0,5000       |
| 13    | 315        | 1,85        | 0,4595       |
| 14    | 312        | 1,71        | 0,4152       |
| 15    | 307        | 1,60        | 0,3750       |
| 16    | 306        | 1,50        | 0,3333       |
| 17    | 304        | 1,41        | 0,2908       |
| 18    | 290        | 1,33        | 0,2481       |
| 19    | 286        | 1,26        | 0,2063       |
| 20    | 285        | 1,20        | 0,1667       |
| 21    | 276        | 1,14        | 0,1228       |
| 22    | 276        | 1,09        | 0,0826       |
| 23    | 261        | 1,04        | 0,0385       |

Se calculó la media aritmética, el desvío standard y coeficiente de correlación. Los parámetros estadísticos de la serie encontrados son:

$$\begin{aligned} \bar{X} &= 317,26 && \text{(Media niveles)} \\ S &= 29,90 \\ C_s &= 0,04597 \\ N &= 23 \text{ años} \end{aligned}$$

**Para Gumbel:**

De la Tabla “Media Reducida y Desvío Reducido” incorporada como Anexo 3, se desprende: Media reducida ( $Y_N$ ), desvío reducido ( $\delta_N$ ), en función del número de años de registro y se obtiene:

$$Y_N = 0,5283 \quad \delta_N = 1,0811$$

Aplicando las expresiones (4.9), (4.10) y (4.11):

$$N_{25} = 317,26 + \frac{-\ln(\ln(25/25-1)) - 0,5823}{1,0811} \times 29,90$$

$$N_{25} = 391,10 \text{ cm}$$

$N_{25}$  (nivel en cm. para una recurrencia de 25 años).

$$N_{50} = 317,26 + \frac{-\ln(\ln(50/50-1)) - 0,5823}{1,0811} \times 29,90$$

$$N_{50} = 410,56 \text{ cm}$$

$N_{50}$  (nivel en cm. para una recurrencia de 50 años).

De la misma manera se puede calcular para:

$$N_{100} = 429,87 \text{ cm}$$

En la : Distribución Gumbel, se representan las curvas de frecuencia de la muestra y la ley teórica ajustada junto con los límites de confianza correspondientes a un nivel de confianza de 0,95.

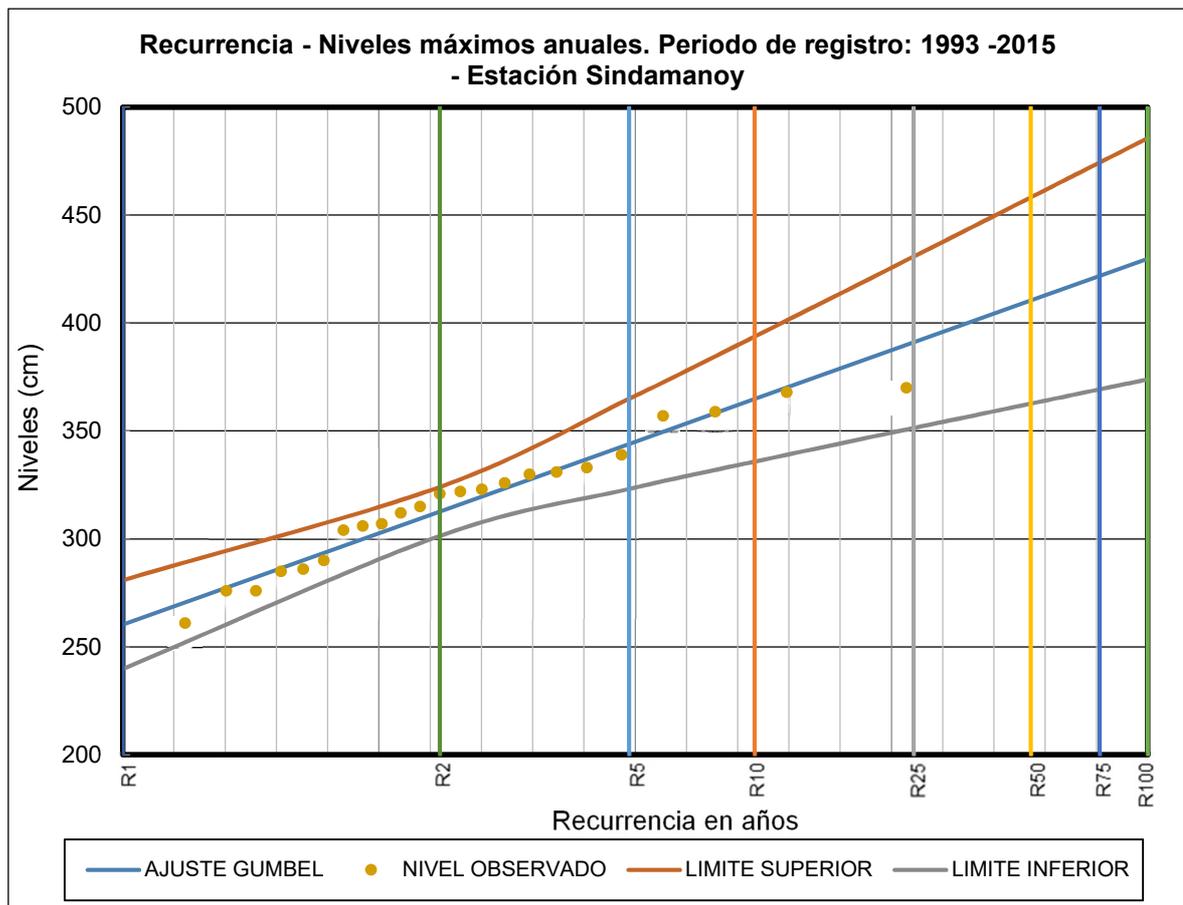


Figura 5-9: Distribución Gumbel

### Para Pearson III:

Para las distintas recurrencias se calcula los factores de frecuencia, aplicando las expresiones (4.13), (4.14) y (4.15), obteniéndose:

$$N_{25} = 317,26 + 1,751 \times 29,90$$

$$N_{25} = 369,62 \text{ cm}$$

$$N_{50} = 317,26 + 2,054 \times 29,90$$

$$N_{50} = 378,68 \text{ cm}$$

$$N_{100} = 317,26 + 2,327 \times 29,90$$

$$N_{100} = 386,83 \text{ cm}$$

En la : Distribución de Pearson III, se representan las curvas de frecuencia de la muestra, la ley de probabilística ajustada y los límites de confianza = 0,95.

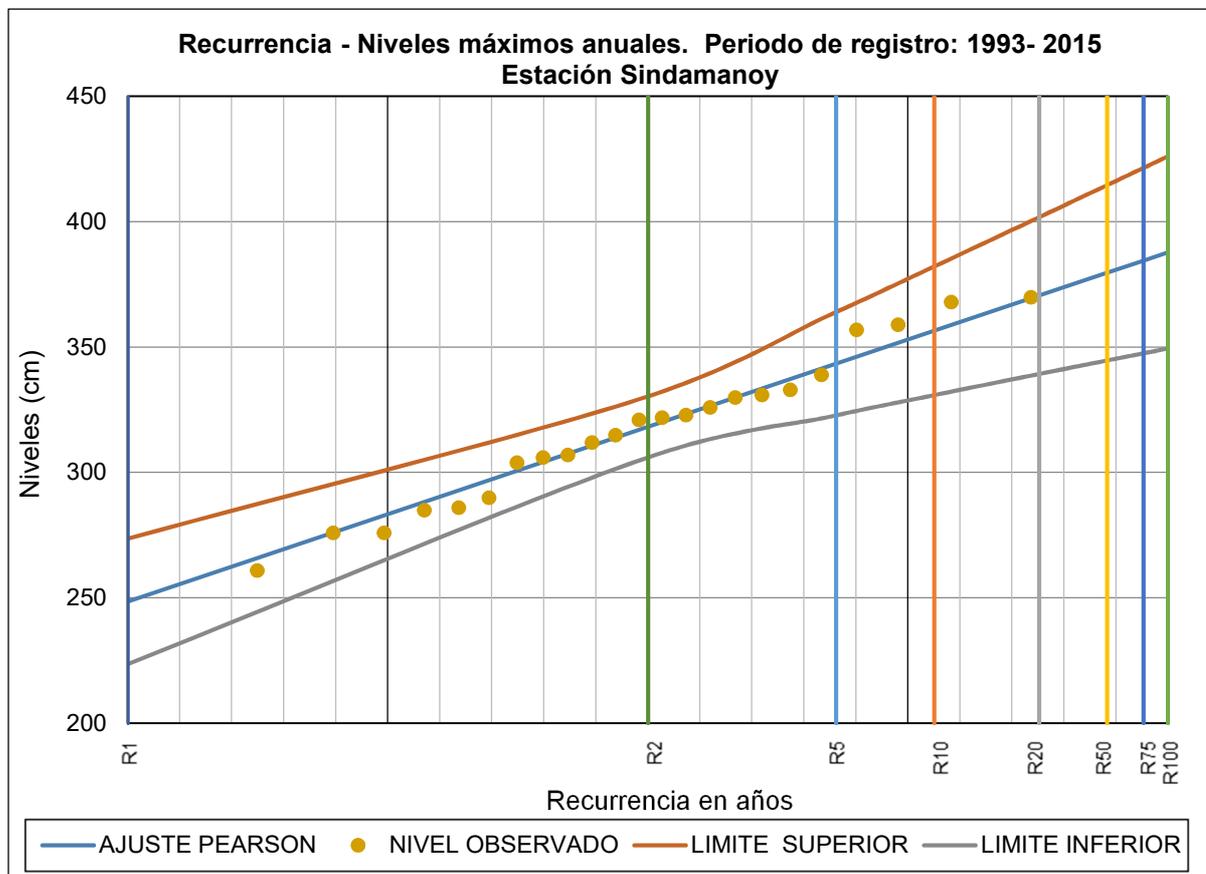


Figura 5-10: Distribución de Pearson III

### 5.1.2 Test de Bondad del ajuste

Una vez ajustadas las leyes de probabilidad de Gumbel y Pearson III, se analizará la calidad de las correlaciones de cada una de las leyes consideradas, comparando los valores teóricos y muestrales de las funciones de frecuencia relativa, para lo cual se utilizará la prueba de  $X_c^2$  (chi – cuadrado).

En la Tabla 5-2, se consideran seis (6) clases o intervalos. De acuerdo con lo descrito en Estadística y Probabilidad del Instituto Virgino Gómez de la Universidad de Concepción: “El

número de clases no debe ser ni muy grande ni muy pequeño, un número pequeño de clases puede ocultar la naturaleza general de los datos y un número muy grande puede ser demasiado detallado como para revelar alguna información útil. Como regla general se recomienda que el número de clases esté entre cinco y veinte. Hay una regla llamada Regla de Sturges que puede dar una aproximación razonable para el número de clases, ella es”:

$$m = 1 + 3,3 \log(n)$$

Donde “n” es el número de datos de la muestra y “m” es el número de clases o intervalos, para nuestro caso:

$$m = 1 + 3,3 \log(23) = 5,49$$

Por lo tanto, “m” se aproximó a 6 intervalos.

Considerados los 6 intervalos, se determina para cada una de las distribuciones, las frecuencias relativas de la muestra y las probabilidades teóricas de cada intervalo.

Por aplicación de la expresión (4.17) se han calculado los valores de  $X_c^2$  de cada distribución, obteniéndose los resultados que se muestran en la Tabla 5-4:

Tabla 5-4: Test de Chi cuadrado

| Intervalo  | $X_c^2$     | $X_c^2$          |
|------------|-------------|------------------|
| nivel (cm) | Para Gumbel | Para Pearson III |
| 261 - 285  | 0,0830      | 0,1870           |
| 286 - 306  | 0,6777      | 0,1847           |
| 307 - 321  | 0,0157      | 0,0638           |
| 322 - 330  | 1,6835      | 0,7100           |
| 331 - 357  | 0,0045      | 0,4152           |
| 358 - 370  | 3,4217      | 2,6459           |
|            | <b>5,89</b> | <b>4,21</b>      |

Por lo tanto:

Distribución Gumbel:  $X_c^2 = 5,89$

Distribución Pearson III:  $X_c^2 = 4,21$

Asimismo, los valores obtenidos se comparan con los límites  $X_c^2$ , conseguidos de la tabla “Límites” incorporada como Anexo 4:

Distribución Gumbel:  $X_c^2 = 7,81$

Distribución Pearson III:  $X_c^2 = 5,99$

Luego, en ambas distribuciones el valor  $X_c^2$ , resultan menores a los límites, por lo tanto, se considera que las dos distribuciones superan la prueba, esto es, que las hipótesis de que las distribuciones ajustan a la muestra son aceptadas con un nivel de significancia de 5%.

Teniendo en cuenta que el valor de  $X_c^2$  para la distribución Pearson III es menor al de la distribución Gumbel y que gráficamente Pearson III visualiza una mejor tendencia al ajuste, se adopta la distribución Pearson III.

Adoptada la distribución Pearson III, se aplican las expresiones (4.13), (4.14) y (4.15), para obtener los niveles del lago Guamués en los diferentes períodos de retorno: 1, 2, 5, 10, 25, 50, 75 y 100 años.

A continuación, en la Tabla 5-5, aplicando Pearson III para los distintos períodos de retorno, se obtiene los siguientes resultados:

Tabla 5-5: Períodos de retorno y nivel calculado.

| Recurrencia (R)<br>(años) | Nivel<br>(cm) |
|---------------------------|---------------|
| 1                         | 274           |
| 2                         | 317           |
| 5                         | 342           |
| 10                        | 356           |
| 25                        | 370           |
| 50                        | 379           |
| 75                        | 384           |
| 100                       | 387           |

## 5.2 Relación Nivel de escala –Cota según recurrencia

La proyección de los niveles sobre la planicie inundable, de acuerdo con la topografía del terreno, permite obtener zonas de inundación para un periodo de retorno fijado.

Para la determinación de las cotas de nivel, la parte superior de la regla limnimétrica de la estación IDEAM se la vinculó a las coordenadas y altitud de la placa PL1 ubicada en el hotel Sindamanoy, placa a la cual también se relacionó el levantamiento topográfico del área de estudio. En la Tabla 5-6, se indica la conversión de los niveles correspondientes a las recurrencias adoptadas a cotas sobre el nivel del mar.

Tabla 5-6: Cotas correspondientes a los niveles.

| Recurrencia (años) | Nivel (cm) | Cota (m s. n. m.) |
|--------------------|------------|-------------------|
| 1                  | 274        | 2.782,11          |
| 2                  | 317        | 2.782,54          |
| 5                  | 342        | 2.782,79          |
| 10                 | 356        | 2.782,93          |
| 25                 | 370        | 2.783,07          |
| 50                 | 379        | 2.783,16          |
| 75                 | 384        | 2.783,21          |
| 100                | 387        | 2.783,25          |
|                    | 400        | 2.783,37          |

Nota: El nivel 400, cota 2.783,37 pertenece al tope superior de la regla limnimétrica.

El levantamiento topográfico del área de estudio (realizado en el año 2017 bajo mi supervisión, como funcionario de Corponariño) se elaboró a escala detallada, en los planos, las curvas de nivel se representan con una equidistancia de 10 cm. En el mapa topográfico, Figura 5-11, la superficie del relevamiento abarca transversalmente cerca de 80 m a cada lado del río Encano y vía de acceso, y longitudinalmente a lo largo del río 1.522 m aproximadamente, representando una extensión de 50,3 hectáreas. El levantamiento topográfico también incluyó la batimetría del cauce del río, como se observa en los cortes, las densificaciones de las curvas de nivel están asociadas con los montículos presentes en el área y la topografía del cauce.

El caserío Puerto de El Encano, se encuentra inmerso en la llanura de inundación de la laguna como se indica en las unidades paisajísticas de la Figura 2-5 y en la llanura de inundación de la Figura 2-6 del Punto 2.3.3 "Geomorfología", donde se señala que son superficies amplias de relieve plano-cóncavo, con fuertes encharcamientos por aguas de lluvia, donde existe acumulación de aluviones finos y sedimentos orgánicos que permanecen saturados de agua durante gran parte del año.

De igual manera en las fotografías aéreas, Figura 5-12, se puede apreciar el humedal cercano a la ribera de la laguna, que se inunda desde el lago de sur a norte (se diferencia con un color marrón claro en época seca) y en el cual se puede observar que el caserío del Puerto es parte de este humedal.

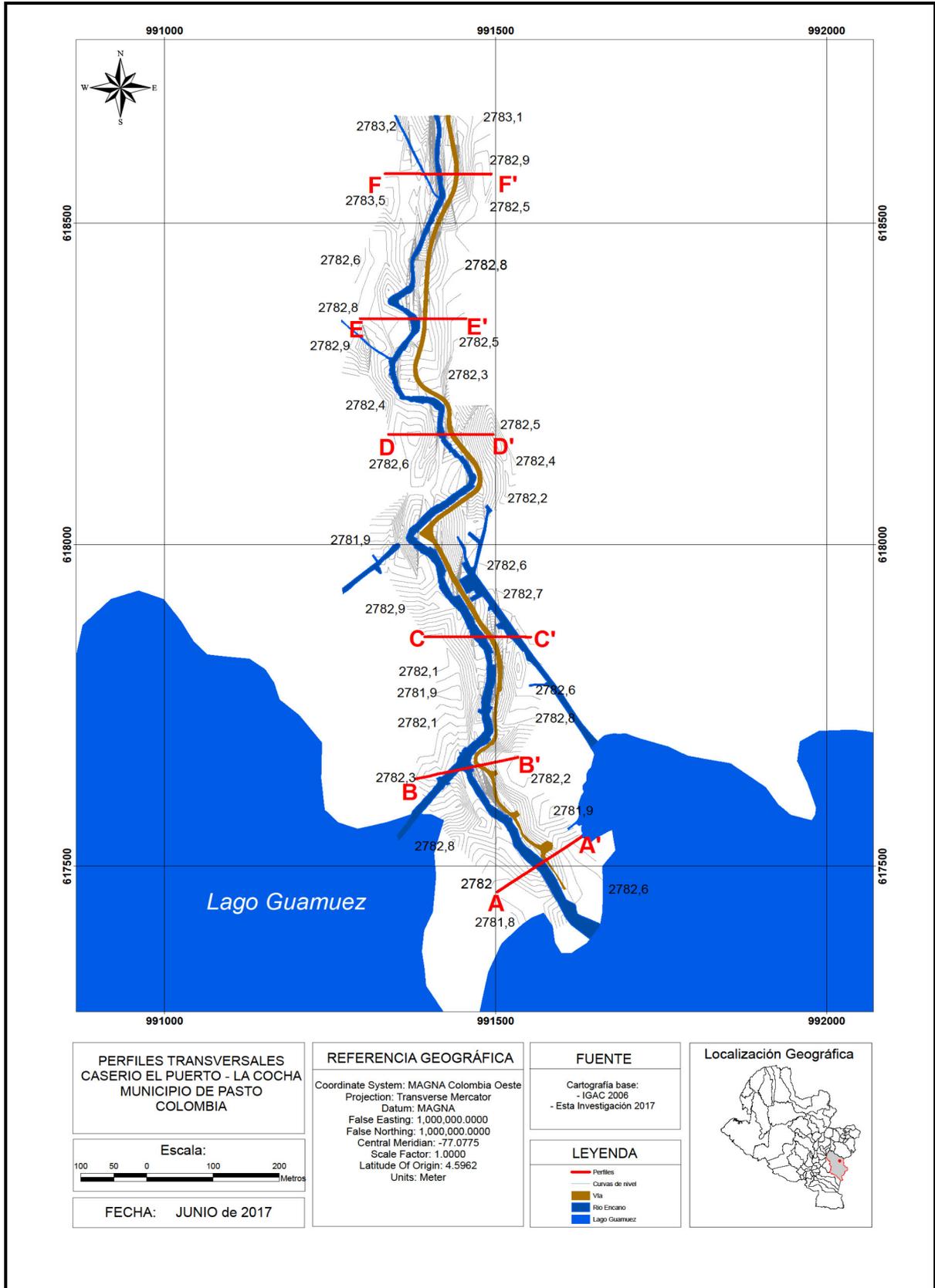
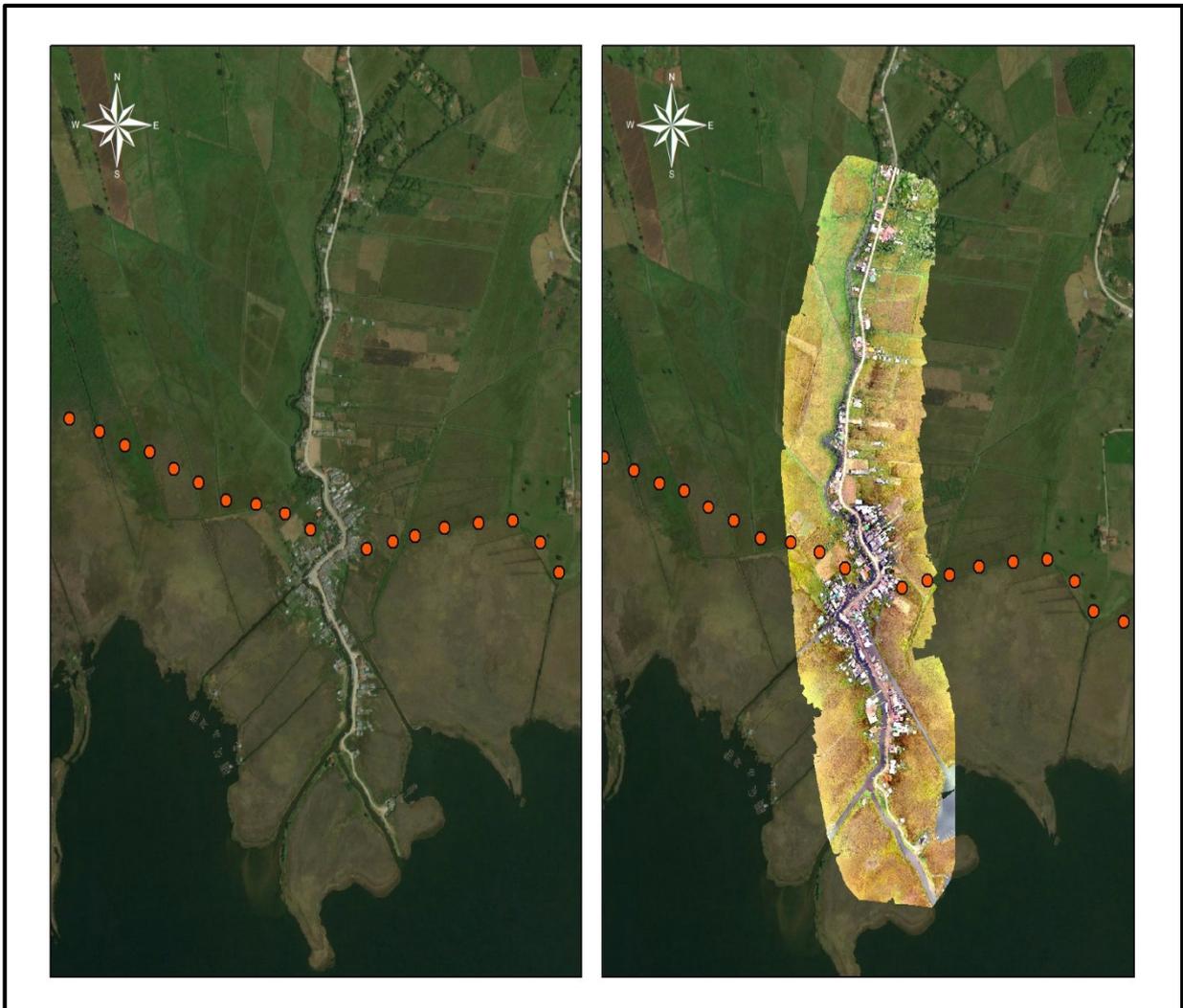


Figura 5-11: Mapa topográfico del área de estudio.



Base Map 2011

Imagen Dron 2017

Figura 5-12: Área de Inundación en las riberas del lago. Fuente: Google y Corponariño.

En la Figura 5-13 y 5-14, se indican seis perfiles topográficos en dirección Este – Oeste: A – A', B – B', C – C', D – D', E – E' y F – F', coincidentes con los localizados en el mapa topográfico. Se observa que el relieve tiene una configuración plana, con algunas concavidades y montículos irregulares característicos de la llanura de inundación. Cabe destacar que alrededor de la vía de acceso, que es el eje sobre el cual se ha desarrollado el caserío del Puerto de El Encano, se presentan cotas más altas, correspondientes a las áreas con curvas de nivel más densificadas, dado que, de manera artificial, con material pétreo se han rellenado el humedal para formar un terraplén sobre el que se localiza el camino adoquinado de ingreso al puerto, no obstante, las viviendas se encuentran por debajo de este terraplén y siguen siendo afectadas por las inundaciones; de igual manera se observan canales navegables abiertos artificialmente en el humedal.

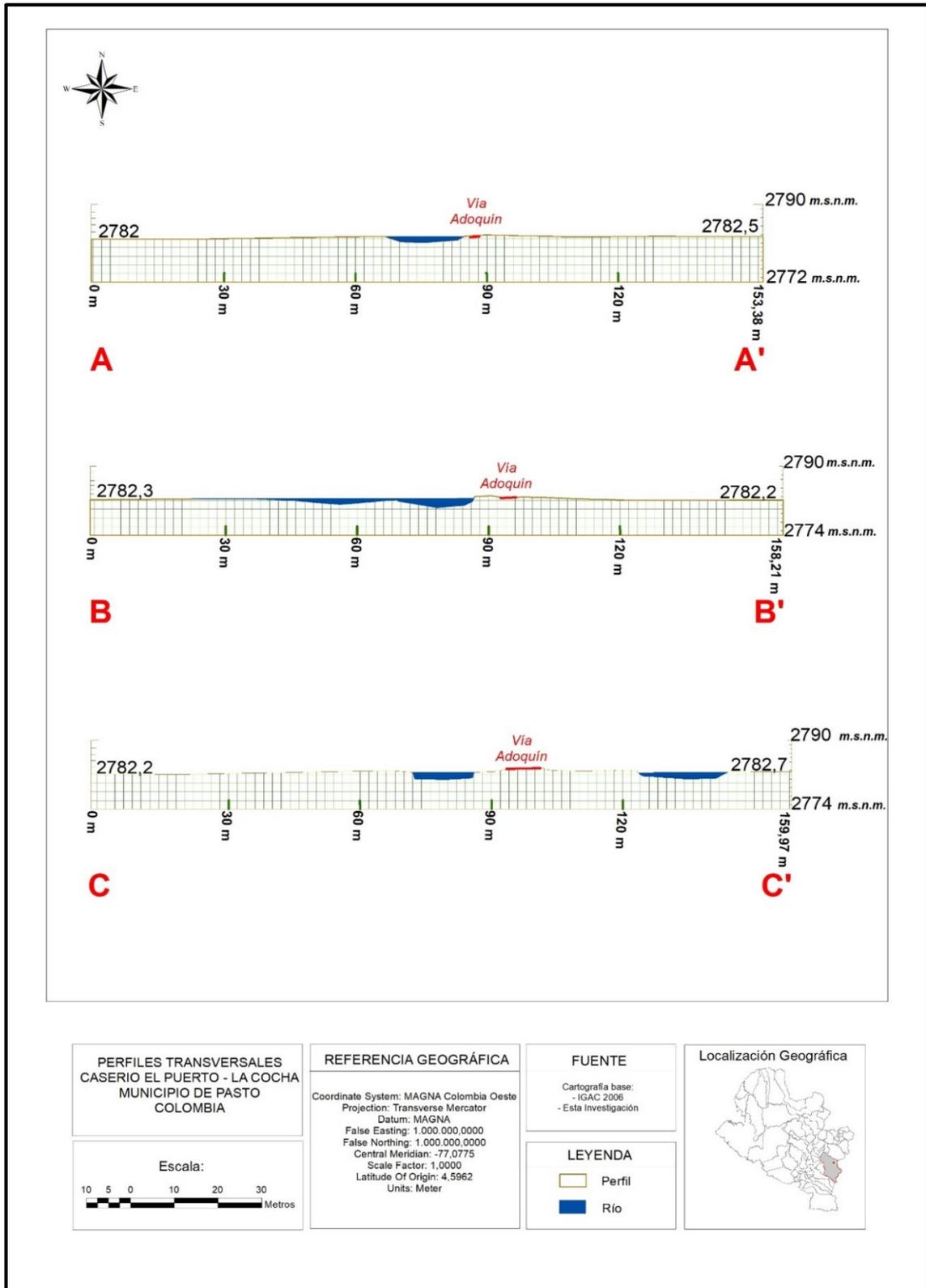


Figura 5-13: Perfiles topográficos transversales.

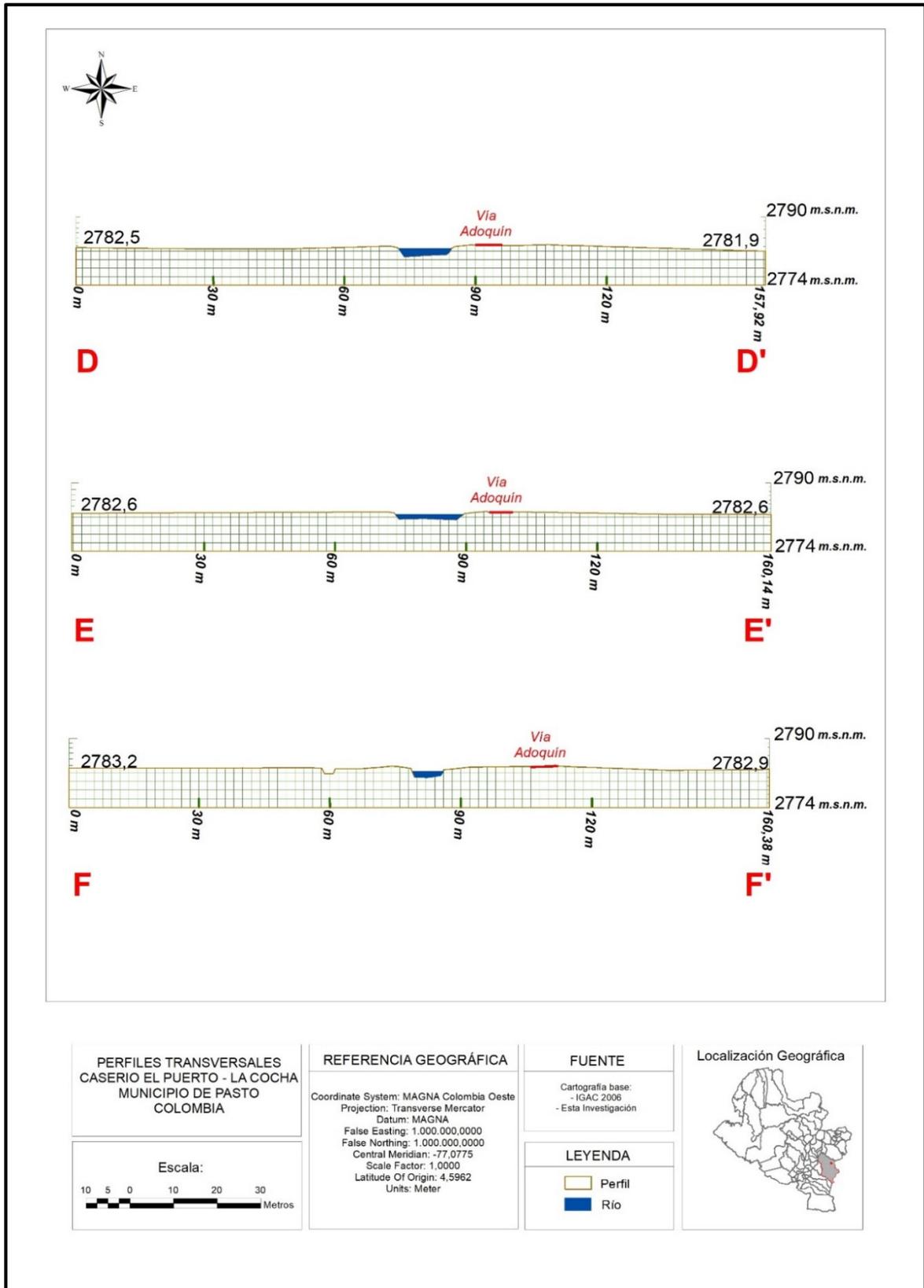


Figura 5-14: Perfiles topográficos transversales.

Las características fisiográficas principales en la microcuenca del río El Encano son: un área de 42 km<sup>2</sup>, la pendiente promedio del cauce de 4,91% y su longitud es de 11,59 km. Sin embargo, como se puede observar en la Figura 5-15, el caserío del Puerto de El Encano por donde atraviesa el río, se encuentra dentro del humedal de las márgenes del lago o inmerso en la llanura de inundación de la laguna; para este sector el cauce del río tiene una pendiente del 0,01% y la velocidad de la corriente es baja, promediando los 0,1 m/s.

En la Figura 5-16, se presenta la ubicación de los perfiles longitudinales G - G' y H - H', estos cortes longitudinales se observan en la Figura 5-17. En los dos perfiles, se exagera la escala vertical para poder apreciar algunas concavidades propias del área de estudio, la superficie del terreno es plana, la pendiente es muy baja, de 0,05% y corresponde a la llanura de inundación de la laguna; el lago en épocas de altas precipitaciones sube sus niveles por encima de las cotas de la planicie en la que se encuentra el caserío, inundándolo.



Figura 5-15: Llanura de inundación, caserío del Puerto de El Encano.

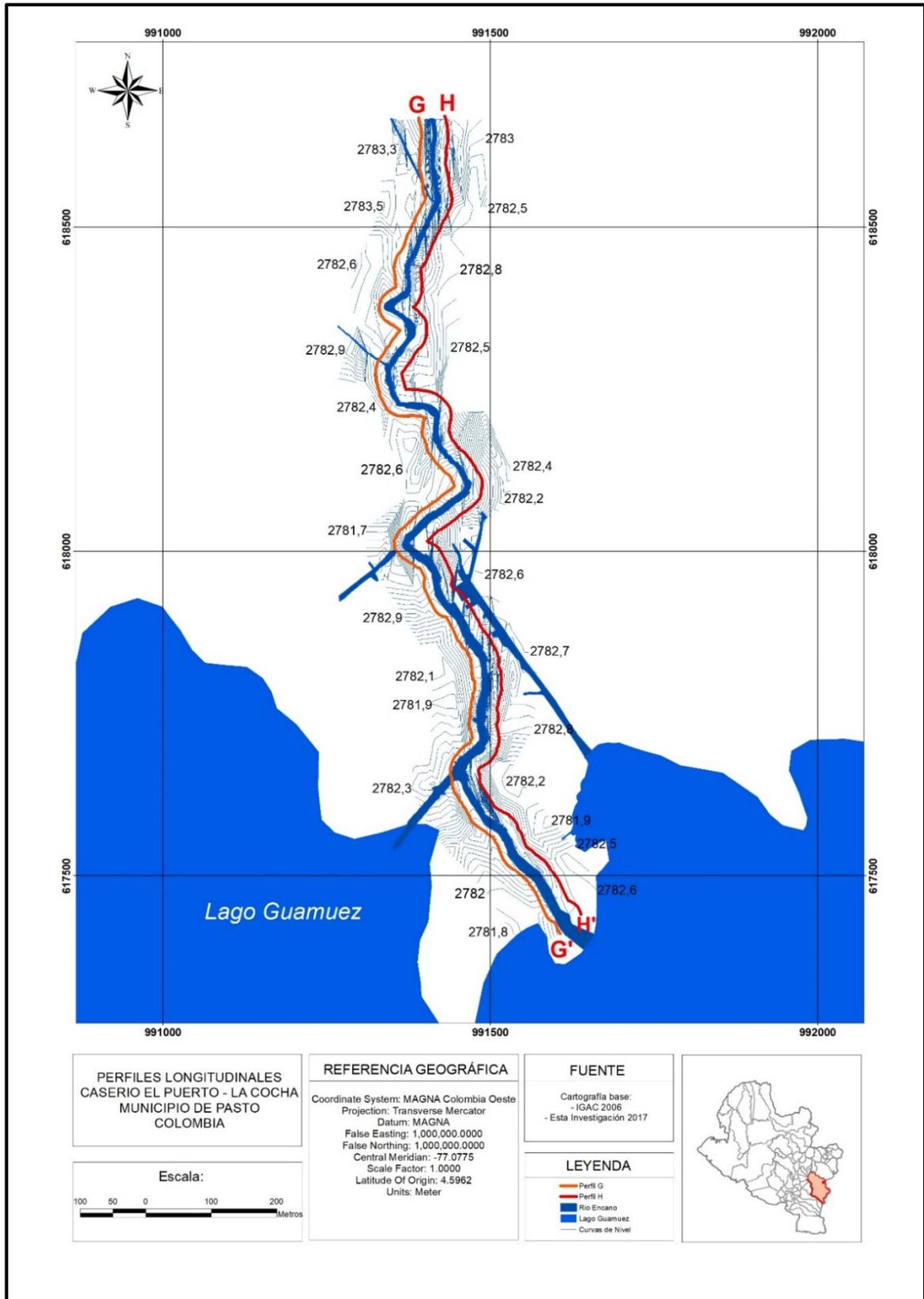


Figura 5-16: Ubicación Perfiles topográficos longitudinales.

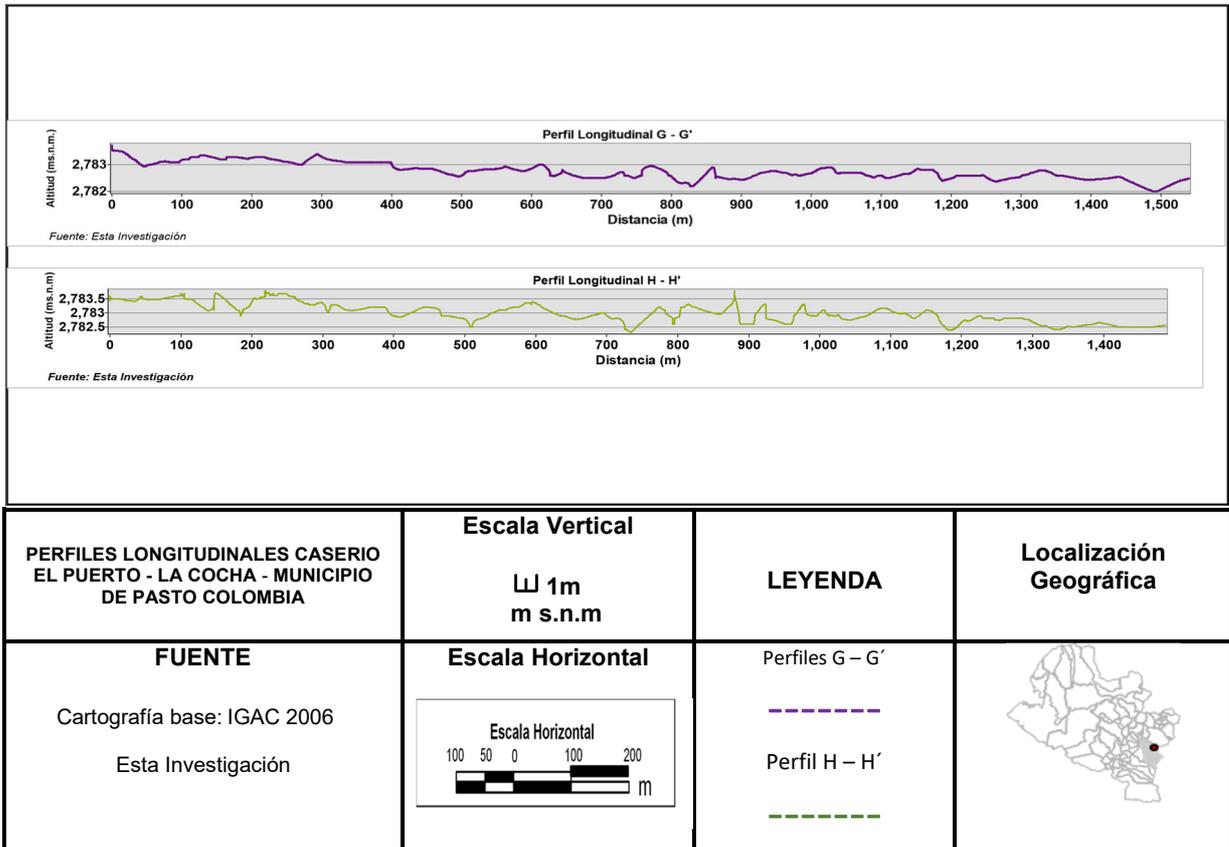


Figura 5-17: Perfiles topográficos longitudinales.

### 5.3 Análisis de la Amenaza

#### Definición de zonas de inundación:

Para la definición de las zonas de inundación se tuvo en cuenta que los valores de los niveles máximos anuales oscilan entre 261,00 cm y 370,00 cm. El valor de nivel que aparece con mayor frecuencia de la serie diaria de datos es de 274,00 cm y el nivel máximo 370,00 cm constituye la máxima inundación presentada en el sector de estudio.

El valor adoptado como mínimo nivel de inundación es 274,00 cm, que corresponde a un tiempo de retorno de 1,1 años (se aproxima a 1 año), la cota calculada para este periodo es de 2.782,11 m, que se puede considerar como la cota donde el lago perdura la mayoría del tiempo, ya que se reitera con mayor frecuencia (las inundaciones ocurren cuándo el nivel del agua alcanza cotas superiores). Para el mayor periodo de retorno considerado, esto es, 100 años, se calculó una cota de 2.783,25 m.

Una vez conseguidos los niveles mediante la distribución Pearson III para los periodos de retorno adoptados (1, 5, 25 y 100 años), se transformaron a cotas sobre el nivel del mar y así son llevados a planos topográficos levantados de la zona de estudio; la proyección de estos niveles a la planicie inundable de acuerdo con la topografía del terreno permitió obtener zonas de inundación para los periodos de retorno señalados.

Con las cotas ya obtenidas, se establecen tres intervalos o rangos correspondientes a los periodos de retorno mencionados, así se relacionan las frecuencias para diferentes rangos de cotas de inundación, Tabla 5-7.

Tabla 5-7: Rangos de cotas asociados a periodos de retorno.

| Recurrencia | Frecuencia | Rangos<br>Cotas (m s. n. m.) |
|-------------|------------|------------------------------|
| R (años)    |            | Curvas de nivel              |
| 1 a 5       | Alta       | 2.782,11 – 2.782,79          |
| 5 a 25      | Media      | 2.782,79 – 2.783,07          |
| 25 a 100    | Baja       | 2.783,07 – 2.783,25          |

Teniendo en cuenta lo enunciado por Ribera Masgrau (2004) y Escuder (2010) y lo establecido en la metodología, Punto 4.2.1, para determinar la amenaza por inundación en el caserío El Puerto del lago Guamués, la graduación y clasificación de la amenaza está dada por la profundidad de la lámina de agua, que depende de la configuración topográfica del área inundada, correspondiente a rangos o intervalos de cotas para los diferentes periodos de retorno adoptados.

La profundidad de la lámina de agua será superior para las áreas con cotas más bajas, e inferior para las áreas con cotas más altas. La zona de amenaza mayor corresponde al área comprendida entre las cotas acordes a una frecuencia alta.

Con los tres rangos de inundación ya establecidos, para la clasificación de la amenaza se asume una escala de valores de uno a tres.

En la Tabla 5-8, se establecen los tres rangos de amenaza por inundación, cuyos valores asignados van de 3 a 1, donde 3 indica grado de amenaza alta y 1 amenaza baja, y la equivalencia 2, valoración intermedia a las anteriores. A los grados finales se les fija un color para poder representar en el mapa las diferentes zonas de peligro que se determinan para el área de estudio, rojo para amenaza alta, naranja para intermedia y amarilla para baja.

Tabla 5-8: Valoración de los rangos y grados de amenaza por inundación.

| Recurrencia | Rangos              | Valor    | Grado   | Color    |
|-------------|---------------------|----------|---------|----------|
| R (años)    | Cotas (m s. n. m.)  | Criterio | Amenaza |          |
| 1 a 5       | 2.782,11 – 2.782,79 | 3        | Alto    | Rojo     |
| 5 a 25      | 2.782,79 – 2.783,07 | 2        | Medio   | Naranja  |
| 25 a 100    | 2.783,07 – 2.783,25 | 1        | Bajo    | Amarillo |

En el mapa de Amenaza presentado en la Figura 5-18, y en el Anexo 5, se diferencian dichas zonas.

**Zona de amenaza alta:** Es la zona que se extiende desde la cota 2.782,11 a 2.782,79 m s. n. m., abarcando un área de 0,24 km<sup>2</sup>, corresponde a un periodo de retorno entre 1 y 5 años.

**Zona de amenaza media:** Esta zona se extiende desde la cota 2.782,79 a 2.783,07 m s. n. m., involucra un área de 0,045 km<sup>2</sup>, acorde a un periodo de retorno entre 5 y 25 años.

**Zona de amenaza baja:** Es la zona que se extiende desde la curva de nivel 2.783,07 a 2.783,25 m s. n. m., abarca un área de 0,05 km<sup>2</sup>, limitada a un periodo de retorno que comprende entre 25 y 100 años.

En la Tabla 5-9, se indica el área en kilómetros cuadrados para cada zona de amenaza del total del área de 0,50 km<sup>2</sup>; esto no quiere decir que el área inundable (Humedal) no sea mayor, sino que, por razones de costo, el levantamiento topográfico a escala detallada se limitó a la zona de influencia del caserío. De igual manera, hay que tener en cuenta que se adoptó como tiempo de retorno mínimo de inundaciones, 1 año, ósea, que por debajo de este periodo, la cota correspondiente se considera que los incrementos o descensos del nivel están dentro del desarrollo normal del Lago.

Tabla 5-9 Área por zona de amenaza.

| Zona de amenaza            | Color           | Área (km <sup>2</sup> ) | Área Acumulada (km <sup>2</sup> ) |
|----------------------------|-----------------|-------------------------|-----------------------------------|
| <b>Alta</b>                | <b>Roja</b>     | 0,24                    | 0,24                              |
| <b>Media</b>               | <b>Naranja</b>  | 0,05                    | 0,29                              |
| <b>Baja</b>                | <b>Amarillo</b> | 0,05                    | 0,34                              |
| Humedal cercano al caserío | <b>Verde</b>    | 0,16                    | 0,50                              |

#### 5.4 Análisis de la Vulnerabilidad

Conforme lo establecido en los Puntos 4.1 y 4.3, para analizar la vulnerabilidad se adopta como criterios para su evaluación la presencia o no de población en las zonas de inundación y la exposición de infraestructura combinada con la existencia o no de instalaciones críticas que puedan estar comprendidas en dichas zonas, dando como resultado diferentes grados de vulnerabilidad.

Por lo tanto, el criterio de población se subdivide en dos categorías, sin y con población, dando una calificación cualitativa para mapear y diferenciar la presencia de población, así:

- Sin población igual a cero (0).
- Con población igual a uno (1).

De igual forma se procede con la infraestructura tomando en cuenta las características homogéneas del lugar, y contando que en el área la única infraestructura que permite diferenciarla del resto es: la escuela primaria (a la que acude diariamente la población infantil),

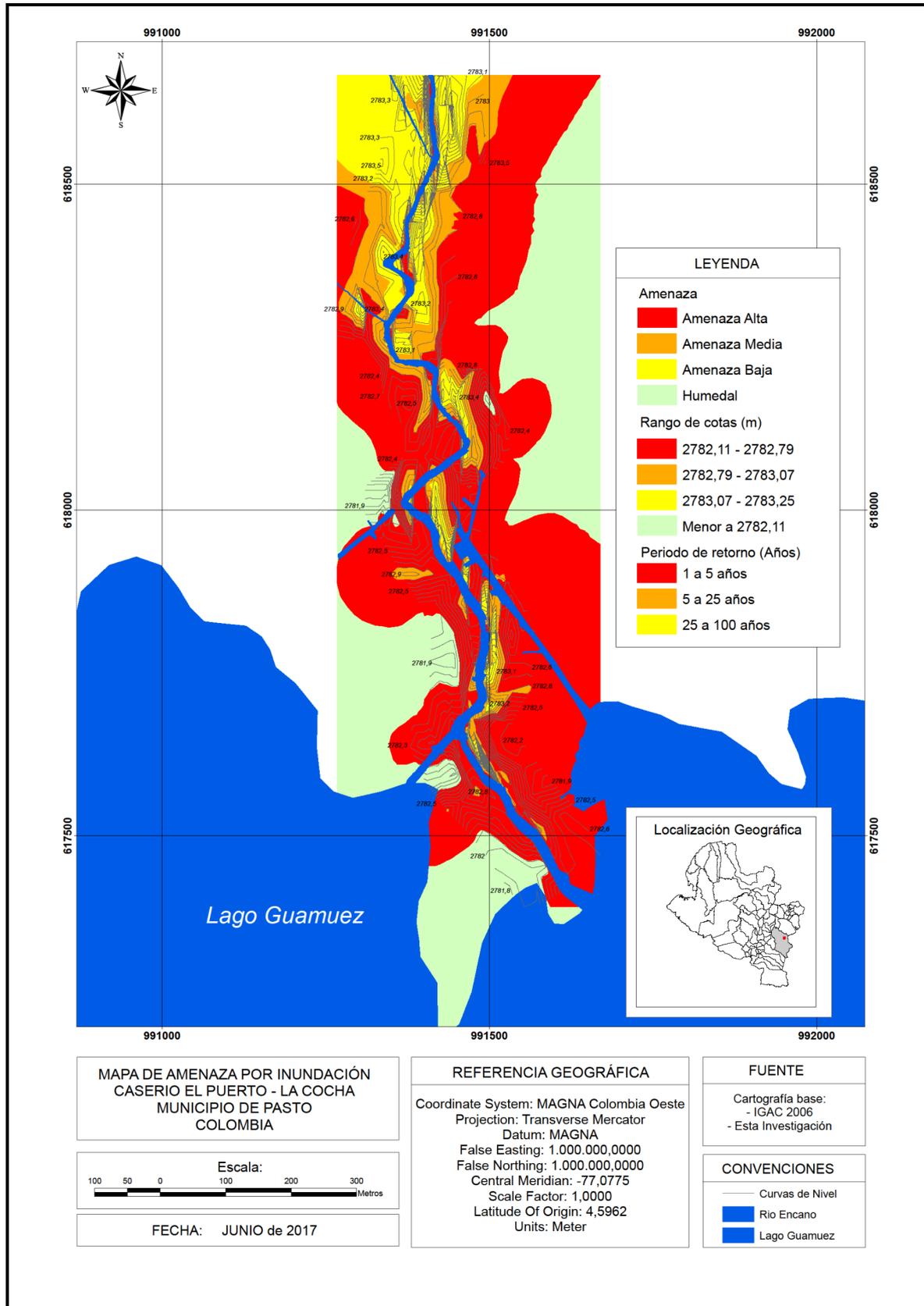


Figura 5-18: Mapa Zonificación de amenaza por inundación.

un puesto de bomberos, el muelle de embarque (con afluencia de turismo), la casa comunal y una capilla. Estas instalaciones, dados los servicios que presta a la comunidad, se la califica como crítica, así este criterio se subdivide en dos categorías:

- Infraestructura sin presencia de instalaciones críticas se la califica con 1.
- Infraestructura con presencia de instalaciones críticas se la califica con 2.

Prosiguiendo con el método, las calificaciones de los criterios población e infraestructura se suman para estimar el grado de vulnerabilidad del sector expuesto a la amenaza de inundación, así para el caso con población e infraestructura con instalación crítica, el grado de vulnerabilidad es igual a  $1 + 2 = 3$  como se indica en la matriz de la Tabla 5-10:

Tabla 5-10: Matriz de vulnerabilidad.

| Población               |   | Sin Población | Con Población |
|-------------------------|---|---------------|---------------|
|                         | + | 0             | 1             |
| Infraestructura         |   |               |               |
| Sin instalación crítica | 1 | 1             | 2             |
| Con instalación crítica | 2 | 2             | 3             |

Con los valores resultantes de la Tabla 5-10 y las características de exposición del área de estudio ya descriptas anteriormente, se establecen los distintos grados de vulnerabilidad:

**Vulnerabilidad alta:** Para el área de estudio se define zona de grado 3, con presencia de población, infraestructura (viviendas, acceso vial, redes de energía eléctrica y agua) e instalaciones críticas representadas por el sector de la escuela, el sector del muelle y puesto de bomberos.

**Vulnerabilidad media:** Zona de grado 2, se presentan dos casos, uno con presencia de población e infraestructura sin instalaciones críticas, representada por la mayor parte del poblado o caserío; y otro caso sin población, con infraestructura y presencia de instalaciones críticas, representada por el sector de la capilla y salón comunal que son sitios de reunión y solo aglutina población en determinadas ocasiones.

**Vulnerabilidad baja:** Zona de grado 1, sin población y sin infraestructura, área que está sujeta a invadirse y poblarse, dada la tendencia al aumento demográfico y la demanda local de terrenos para infraestructura turística, la constituye el área de humedales que bordea las otras dos zonas.

En las fotografías aéreas, Figura 5-12, se puede apreciar la dinámica de invasión que han sufrido los humedales o llanuras de inundación por parte de la población, en las mismas se puede distinguir parte del humedal cercano a la ribera de la laguna que normalmente se inunda y se diferencia con un color marrón claro.

Para la representación de la vulnerabilidad en el mapa de zonificación, Figura 5-19 (para una mejor visualización se puede observar el Anexo 5, Mapas), se usan diferentes colores de tono pastel para diferenciar los distintos grados de vulnerabilidad: alto, medio y bajo, y se encierra en un elipsoide el área de influencia de las instalaciones críticas; áreas y grados de vulnerabilidad que posteriormente se combinarán con la amenaza para obtener el riesgo.

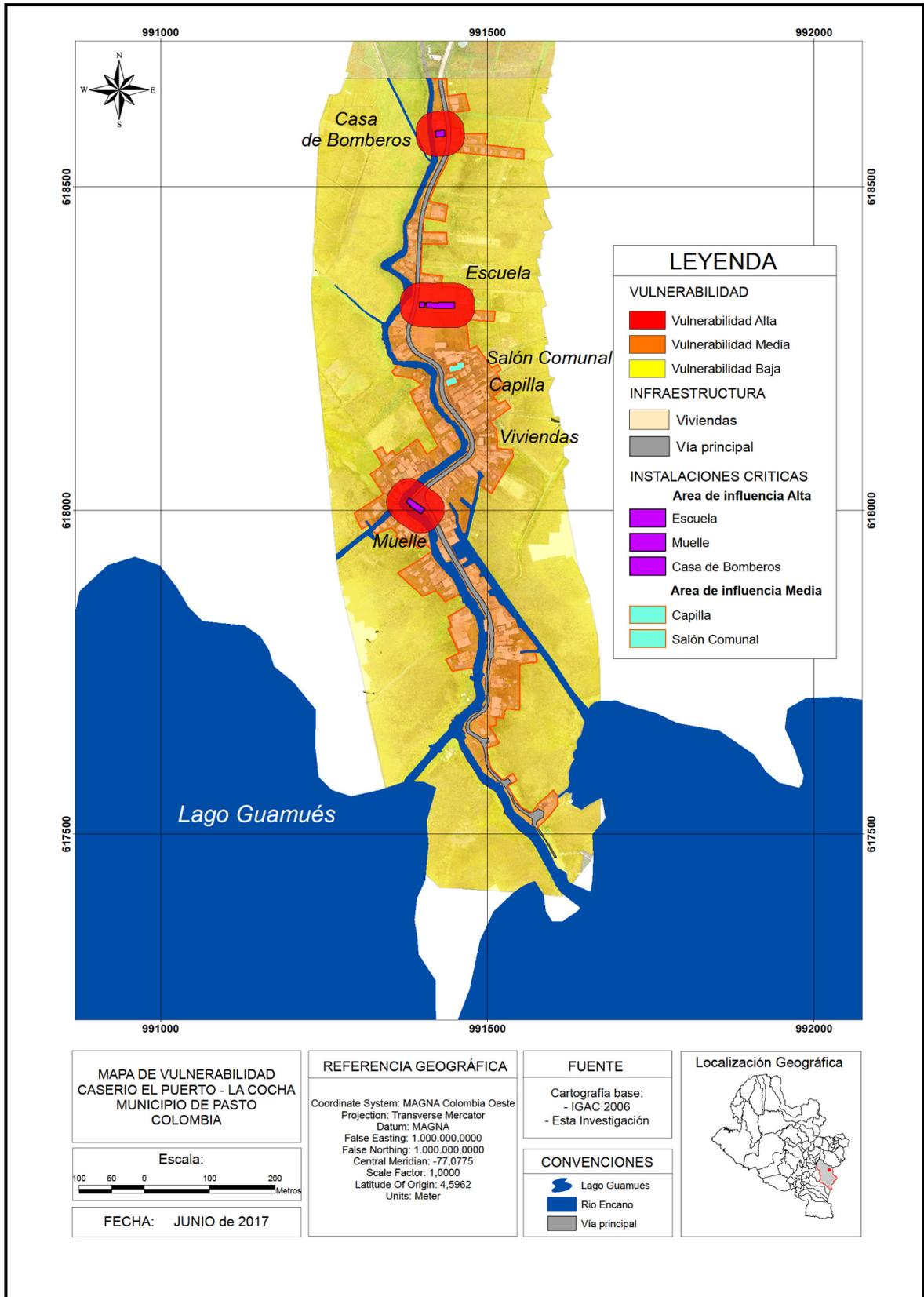


Figura 5-19: Mapa Zonificación de Vulnerabilidad.

## 5.5 Análisis del Riesgo

De acuerdo a Escuder (2010) y a lo establecido en los Puntos 4.1 y 4.4, una vez determinados los mapas de amenaza por inundación y de vulnerabilidad, se integran para poder obtener el mapa de riesgo.

Aplicando la expresión (4.18) se elabora una matriz donde se combinan los valores de las variables de amenaza y vulnerabilidad obtenidos en los Puntos anteriores 5.3 y 5.4, y consignados en la Tabla 5-11. Se considera que si no existe vulnerabilidad o exposición así haya amenaza, no concurrirá riesgo, asimismo se señala que a menor grado de vulnerabilidad y amenaza entonces, menor riesgo.

Tabla 5-11: Determinación del riesgo.

| Valor de la amenaza     |    | Baja | Media | Alta |
|-------------------------|----|------|-------|------|
|                         | X  | 1    | 2     | 3    |
| Grado de Vulnerabilidad |    |      |       |      |
| Baja                    | 1º | 1    | 2     | 3    |
| Media                   | 2º | 2    | 4     | 6    |
| Alta                    | 3º | 3    | 6     | 9    |

Teniendo en cuenta las características del área objeto estudio y los resultados de la Tabla anterior, se pueden clasificar zonas de diferente nivel de riesgo empalmando el grado de vulnerabilidad con el valor de la amenaza, de esta manera se logra establecer tres áreas de la siguiente forma:

Se cataloga como área crítica de alto riesgo (**A**) la que corresponde al valor 9; área de mediano riesgo (**M**) la que se encuentra en el rango de 4 a 6 y área de bajo riesgo (**B**) para el valor de 1 a 3. Con estos caracteres se identifican y jerarquizan las áreas que se dejan plasmadas en el mapa de riesgo para el área del caserío del Puerto de El Encano, Figura 5-20, 5-21 y 5-22, con sus respectivos colores: Rojo para riesgo alto, naranja para medio y amarillo para bajo (para una mejor visualización se puede observar en el Anexo 5 Mapas).

**Zona de riesgo alto (A):** Puede tener efectos potencialmente dañinos graves. Es la zona que pertenece al valor 9, con una vulnerabilidad alta, con presencia de población, infraestructura e instalaciones críticas, que pueden afectarse de manera grave por estar expuestos a amenaza alta, abarca un área de 0,005 km<sup>2</sup>.

**Zona de riesgo medio (M):** Puede tener efectos potencialmente dañinos moderados. Es la zona que corresponde al rango 4 a 6, con una vulnerabilidad media con presencia de población e infraestructura que pueden afectarse de manera moderada a considerable, por estar expuestos a amenaza media a alta, abarca un área de 0,082 km<sup>2</sup>.

**Zona de riesgo bajo (B):** Puede tener efectos potencialmente dañinos leves. Es la zona que corresponde al rango 1 a 3, con una vulnerabilidad baja sin presencia de población e infraestructura que puedan verse afectados por estar expuestos a amenaza baja a alta, abarca un área de 0,26 km<sup>2</sup>. En la Tabla 5-12, se indica el área en kilómetros cuadrados para cada zona de riesgo.

Tabla 5-12: Área por zona de riesgo.

| Zona de riesgo | Color    | Área (km <sup>2</sup> ) | Área acumulada (km <sup>2</sup> ) |
|----------------|----------|-------------------------|-----------------------------------|
| Alta           | Roja     | 0,005                   | 0,005                             |
| Media          | Naranja  | 0,082                   | 0,082                             |
| Baja           | Amarillo | 0,259                   | 0,259                             |
| Humedal        | Verde    | 0,16                    | 0,50                              |

Para un análisis de la situación previsible, es necesario tener en cuenta la tendencia en el crecimiento de la población, ya que este componente multiplicador, determinará si hay un aumento en la exposición de habitantes ante la amenaza existente y por ende si aumentaría la vulnerabilidad y el riesgo en el área de estudio.

Como se infirió en el análisis de las características poblacionales, la tendencia del crecimiento demográfico para el municipio de Pasto donde se localiza el caserío del Puerto de El Encano, tiene una tasa anual de 1,37 %, lo que involucraría una población para el caserío de 746 personas para el año 2027, 890 para dentro de 25 años y 1251 personas expuestas para dentro de 50 años.

Lo anterior, implica una posibilidad alta que la zona actualmente sin intervención sea objeto de intromisión, aumentando la vulnerabilidad y el riesgo, de igual forma generando un mayor impacto sobre el humedal y contaminación en el medio ambiente, dado que involucraría mayor descarga de excretas de origen humano y nivel de coliformes fecales en el lago originadas a partir de actividades inadecuadas de disposición que incide localmente en este sector.

Si combináramos los resultados de la vulnerabilidad actual con la tendencia del crecimiento poblacional, obtendríamos que el número de habitantes expuesto al peligro será mayor en las diferentes zonas de amenaza, aumentando los grados de vulnerabilidad de las diferentes áreas catalogadas desde bajo a alto riesgo.

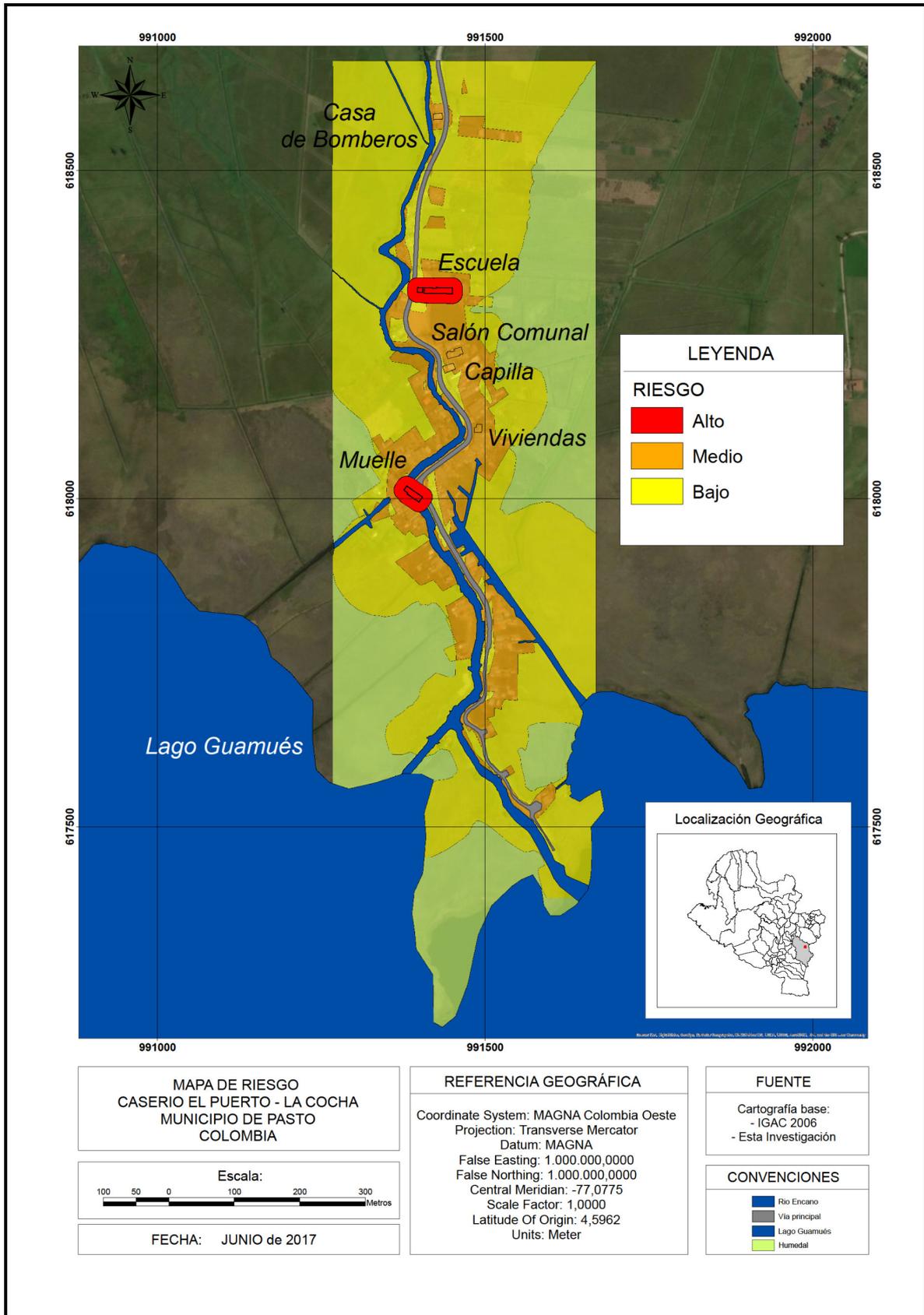


Figura 5-20: Mapa de zonificación de riesgo por inundación.

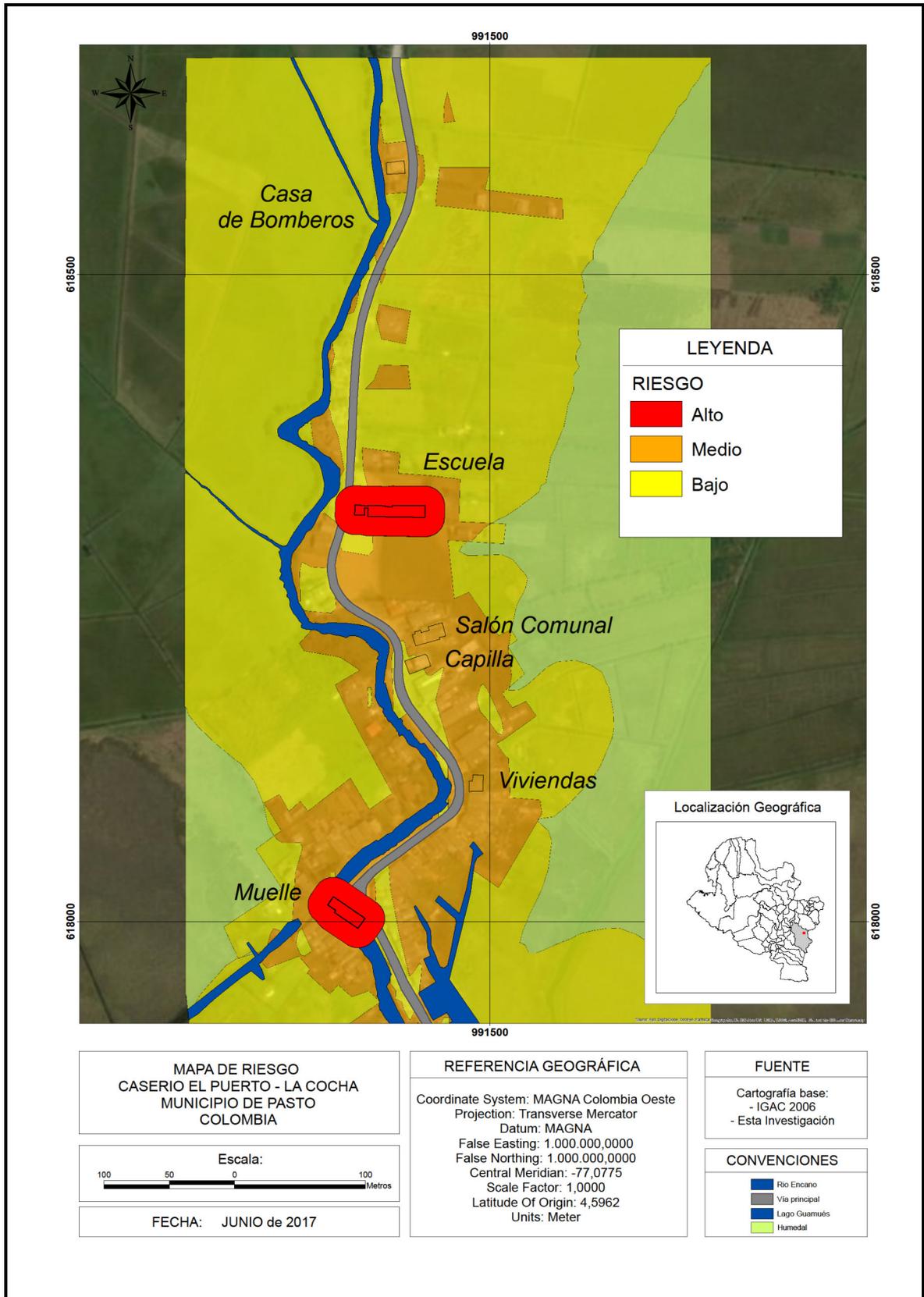


Figura 5-21: Mapa de riesgo – Zona Norte.

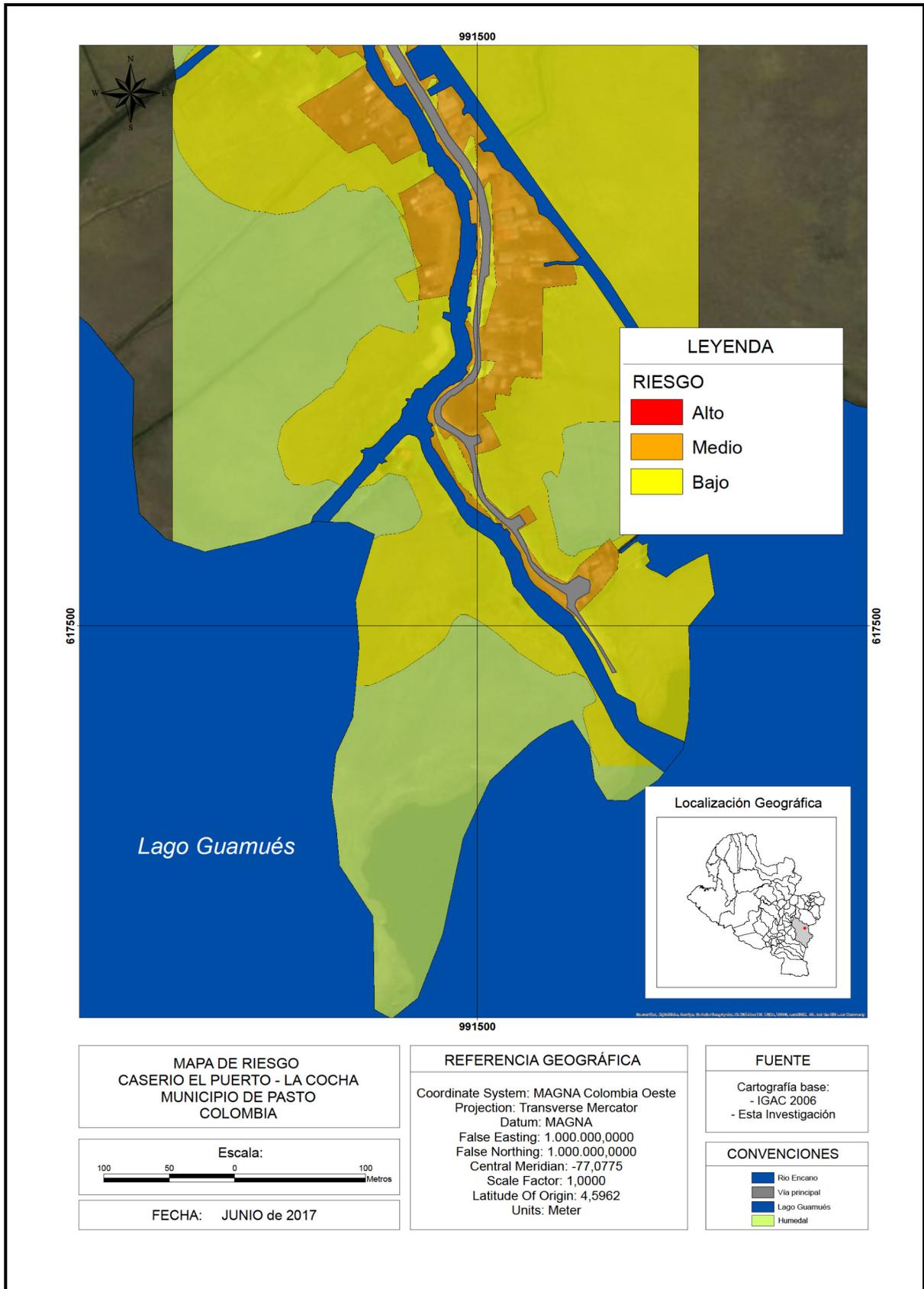


Figura 5-22: Mapa de riesgo – Zona Sur.

## 5.6 Pautas de prevención y ordenamiento

Una vez determinadas las zonas de riesgo, metodológicamente es procedente plantear un régimen de usos que adopte manejos prohibidos y compatibles de acuerdo a las características de cada zona, bajo el Principio de Sostenibilidad Ambiental y Prevención definidos en la Ley de Gestión del Riesgo 1523/2012, que establecen lo siguiente:

*Principio de sostenibilidad ambiental:* “El desarrollo es sostenible cuando satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de los sistemas ambientales de satisfacer las necesidades futuras e implica tener en cuenta la dimensión económica, social y ambiental del desarrollo. El riesgo de desastre se deriva de procesos de uso y ocupación insostenible del territorio, por tanto, la explotación racional de los recursos naturales y la protección del medio ambiente constituyen características irreductibles de sostenibilidad ambiental y contribuyen a la gestión del riesgo de desastres”.

*Prevención de riesgo:* “Medidas y acciones de intervención restrictiva o prospectiva dispuestas con anticipación con el fin de evitar que se genere riesgo. Puede enfocarse a evitar o neutralizar la amenaza o la exposición y la vulnerabilidad ante la misma en forma definitiva para impedir que se genere nuevo riesgo. Los instrumentos esenciales de la prevención son aquellos previstos en la planificación, la inversión pública y el ordenamiento ambiental territorial, que tienen como objetivo reglamentar el uso y la ocupación del suelo de forma segura y sostenible”.

La identificación y caracterización de áreas de riesgo, además de reconocer y valorar, permite propiciar la articulación con el Plan de Ordenamiento Territorial – POT, con los demás instrumentos de planificación local y regional en la perspectiva de lograr mejores y seguras condiciones de vida para la población. En este marco y teniendo en cuenta las normas de ordenamiento ya descritas en el Punto 2.6 “Usos de Suelo” y determinadas las diferentes zonas de riesgo se propone:

- **Para la zona definida con alto riesgo:** expuesta a amenaza alta y con vulnerabilidad alta, con presencia de población, infraestructura (viviendas, vía de acceso, redes de energía eléctrica y agua) e instalaciones críticas (escuela, muelle), que son áreas donde pueden ocurrir efectos potencialmente dañinos graves, se propone prohibir asentamientos de viviendas, y reubicar la escuela a un lugar fuera de las zonas de amenaza.
- **En las zonas determinadas como de medio riesgo:** expuestas a amenaza media y alta, y con vulnerabilidad media, con presencia de población e infraestructura, son áreas que pueden afectarse de manera considerable a moderada, se propone prohibir más asentamientos de viviendas, y la reubicación del salón comunal y la capilla a un lugar más seguro.

En las dos zonas mencionadas, hay que tener en cuenta que es donde se concentra la mayor parte de la población, la cual generan impactos negativos al medio ambiente, principalmente por la descarga de excretas que no tienen ningún tipo de tratamiento antes de ser vertidas al lago.

- **Para la zona de bajo riesgo:** por estar expuesta a amenaza baja a alta, con una vulnerabilidad baja sin presencia de población e infraestructura, área sobre la cual pueden presentarse efectos potencialmente dañinos leves y teniendo en cuenta los

Principios de Prevención de Riesgo y Sostenibilidad Ambiental, se sugiere evitar que sea poblado para no aumentar el grado de vulnerabilidad y riesgo, y de igual manera no aumentar el impacto ambiental negativo sobre el humedal y el lago.

Si se establecieran los usos específicos por zonas propuestos, reducirían las condiciones existentes de riesgo de desastre. Estos manejos son compatibles con el uso general definido y aprobado para las áreas de planicies inundables establecidas en el Plan de manejo ambiental integral del humedal Ramsar Laguna de La Cocha.

No obstante, en el POT para el municipio de Pasto, si bien, restringe la construcción de nuevas viviendas, no plantea la reubicación de las 641 personas agrupadas en 80 familias (población, con tendencia a crecer y a exponerse a amenaza por inundación). El traslado de instalaciones críticas como escuela, casa comunal, iglesia a zonas seguras, puede incentivar y conllevar a que la población inicie una reubicación espontánea, dado que son lugares de reunión que agrupan y de los cuales las personas de poblados rurales quieren estar cerca.

La reubicación sería una medida preventiva que limita con anticipación la ocupación de las zonas de amenaza, para evitar que se genere mayor riesgo e igualmente evitar impactos negativos sobre el humedal. Este humedal, conforme a su plan de manejo aprobado mediante Acuerdo 010/2011, debe tener un uso de protección, conservación y recuperación.

En este sentido una reubicación o reasentamiento colectivo se plantea como parte de una intervención prospectiva, que constituye esencialmente un proceso de ordenamiento territorial, planificación ambiental sostenible y regulación para garantizar que no surjan nuevas situaciones de riesgo e intervenciones correctivas en el futuro.

De manera similar, se puede sugerir evitar que las planicies de la zona del humedal lacustre Lago Guamués sean pobladas como medida preventiva ante inundaciones.

El POT del municipio de Pasto, a nivel general para el área de estudio, enmarca los usos del suelo en el Plan de Manejo Ambiental Integral Humedal Ramsar Laguna de La Cocha (2011), que define una franja para las zona de inundación en toda la periferia de la laguna de La Cocha a una escala poco detallada, por otra parte para el sector de El Puerto, el POT tiene en cuenta marcas de inundación del año 2011, sin embargo, no predice distintas zonas de amenaza de acuerdo a las cotas para diferentes periodos de retorno a una escala detallada como la realiza el presente estudio, en centímetros, que delimitan sobre el mapa una variabilidad espacial de franjas, que junto con la vulnerabilidad del sector de El Puerto permiten establecer restricciones específicas a los usos para cada zona definida con un grado de riesgo diferente, como lo hace la presente tesis.

Con perspectiva ecosistémica el Plan de Manejo para el humedal Ramsar, establece como zonas de recuperación ambiental las áreas de planicie con vegetación hidrofítica o totorales que soporta extensos períodos de inundación a través del año, su uso de suelo está definido para la recuperación y conservación de los humedales porque proporcionan grandes beneficios como hábitat de vida silvestre, especialmente de aves acuáticas migratorias y permanentes, y además, mantienen y soportan la recarga y descarga de acuíferos (Corponariño,2011).

De igual manera, determina como área de protección absoluta la ronda hídrica de la ribera del lago Guamués, la planicie inundable de El Puerto y las ciénagas, pantanos y turberas cubiertas por vegetación hidrofítica, haciendo referencia a áreas que deben ser preservadas,

entendiéndose como la acción de resguardar el ecosistema con el fin de evitar daños o prevenir el deterioro en el estado original de sus componentes ambientales o de lo que queda de ellos.

El lago Guamués está tipificado como un lago oligotrófico, su hábitat se caracteriza por presentar condiciones propicias para el desarrollo de la vida acuática en forma diversa en toda su extensión. Con respecto a las características físico – químicas y microbiológicas del agua del lago en el sector de El Puerto, se diferencian del resto del área, no obstante, esto no quiere decir que en los demás sectores no exista contaminación orgánica; al igual que en El Puerto, la contaminación concurre principalmente por actividades inadecuadas de disposición de excretas de origen humano, y deben cumplir con el manejo de vertimientos establecidos por la autoridad ambiental.

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 Conclusiones

A partir de la labor realizada en este trabajo de tesis sobre zonificación por inundaciones y ordenamiento territorial en el caserío del Puerto, en la laguna de La Cocha, se han podido establecer las siguientes conclusiones:

- Del análisis del comportamiento de los niveles del lago a lo largo del año, se logró determinar que los máximos niveles se presentan en los meses de julio y agosto; los mínimos niveles se registran en febrero y marzo. De igual manera, pudo establecerse que dentro de la serie de niveles máximos anuales diarios, los de mayor valor se presentaron en los años 2000 y 2014 con 70 cm aproximadamente por encima de la media anual, y en los años que se registraron mínimos niveles, fueron 1995 y 2002.
- Se pudo establecer que el valor de la cota máxima presentada es 2.783,07 m s. n. m., que representa la máxima inundación registrada en el sector de estudio y el valor que aparece con mayor frecuencia en la serie diaria de datos es la correspondiente a la cota 2.782,11.
- Para determinar las zonas inundables en el caserío del Puerto - lago Guamués, se evaluaron los niveles del lago en función de los tiempos de retorno de 1, 5, 25 y 100 años. Para representar la curva de frecuencia de la serie de niveles en la Laguna de La Cocha, se adoptó la ley de probabilidad de eventos extremos de Pearson III, por ser la que mejor ajustó, encontrando las respectivas cotas para cada recurrencia adoptada: 2.782,11 m s. n. m., 2.782,79 m s. n. m., 2.783,07 m s. n. m. y 2.783,25 m s. n. m.
- Considerando los períodos de retorno y las cotas calculadas, se delimitaron tres zonas de inundación en el caserío del Puerto: para un período de retorno con frecuencia alta, entre 1 y 5 años, el rango de cotas es 2.782,11 – 2.782,79 m s. n. m, zona catalogada como de amenaza alta; para un período de retorno con frecuencia media, entre 5 y 25 años, el intervalo de cotas es 2.782,79 – 2.783,07 m s. n. m, clasificada como amenaza media y para un período de retorno con frecuencia baja, entre 25 y 100 años, el rango de cotas es 2.783,07 – 2.783,25 m s. n. m, catalogada como zona de amenaza baja.
- A partir de la determinación de las zonas de amenaza y vulnerabilidad, se construyó el mapa de riesgo por inundación, donde se especifican tres áreas de riesgo: Alto (A), que puede tener efectos potencialmente dañinos graves sobre la población, infraestructura e instalaciones críticas, abarcando un área de 0,005 km<sup>2</sup>. Riesgo Medio (M), que puede tener efectos potencialmente dañinos moderados sobre la población e infraestructura, comprende un área de 0,082 km<sup>2</sup>. Riesgo Bajo (B), que puede tener efectos potencialmente dañinos leves, sin presencia de población e infraestructura, incluye un área de 0,25 km<sup>2</sup>.
- Una vez establecidas las zonas de riesgo por inundaciones, se propone las pautas de ordenamiento territorial para el caserío del Puerto, en la laguna de La Cocha:

*Para la zona definida con alto riesgo:* se plantea prohibir asentamientos de viviendas, y reubicar la escuela a un lugar fuera de las zonas de amenaza.

*En las zonas determinadas como de medio riesgo:* se aconseja prohibir más asentamientos de viviendas, y la reubicación del salón comunal y la capilla a un lugar más seguro.

*Para la zona de bajo riesgo:* se sugiere evitar que sea poblado para no aumentar el grado de vulnerabilidad y riesgo, y de la misma forma no extender el impacto ambiental negativo sobre el humedal y el lago

*En conjunto en el sector de El Puerto:* y de igual manera para toda la zona del humedal lacustre Lago Guamués, para mitigar la contaminación antrópica sobre las aguas del lago y propender por la recuperación y conservación del hábitat del humedal, debe cumplirse con el manejo de vertimientos establecido por la autoridad ambiental, y evitar que las planicies sean pobladas para prevenir la exposición ante inundaciones.

- De los datos censales se desprende que es esperable un incremento de población a asentarse en zonas de amenaza por inundación. De acuerdo con la tasa de crecimiento anual de 1,37 % usada para las proyecciones demográficas en el Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Pasto POT – 2015, la población para el caserío de El Puerto para el año 2016 es de 642 habitantes, para el año 2027 es de 746, para el año 2040 es de 890 y para el año 2065 es de 1.251 personas. Estos datos dan cuenta, de alguna manera, de la importancia del presente estudio en la prevención de situaciones futuras que, a partir de lo analizado podrían evitarse.

## 6.2 Recomendaciones

Una vez determinadas las zonas de riesgo por inundaciones y planteadas las pautas de ordenamiento territorial para el caserío del Puerto, en la laguna de La Cocha, y tomando en cuenta las conclusiones de este trabajo de tesis, se realizan las siguientes recomendaciones:

- Sería significativo que en un futuro se emprendan nuevos estudios de las microcuencas del área del humedal, que aporten a un conocimiento más detallado del comportamiento hidrológico del lago Guamués, teniendo en cuenta que hace parte de un humedal RAMSAR de importancia internacional.
- Es necesario que se aúnen esfuerzos institucionales para instrumentar las áreas de las microcuencas de la cuenca del río Guamués, tanto para su seguimiento ambiental, como para continuar con nuevas investigaciones.
- Se recomienda en toda el área de la cuenca, implementar un sistema de tratamiento de líquidos cloacales o aguas residuales, con el objeto de mitigar los impactos negativos al ambiente.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Campos, A., Díaz, C., Rubiano, D., Costa, C. y Ramirez, F. (2012). *Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia: Un aporte para la construcción de políticas públicas*. Bogotá: Banco Mundial.
- Cárdenas, G., y Mafla, F. (2014). *Estudio de capacidad de carga del lago Guamués del corregimiento de El Encano*. [Trabajo de grado] San Juan de Pasto: UMARIANA.
- Colombia. Congreso de Colombia. (1997). Ley 388 (Julio 18). *Ley de Ordenamiento Territorial por la cual se modifica la Ley 9 de 1989, y la Ley 2 de 1991*. Bogotá: Diario Oficial.
- Colombia. Congreso de Colombia. (2012). Ley 1523 (abril 24). *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*. Bogotá: Diario Oficial.
- Colombia. Ley General Ambiental de Colombia. (1993). Ley 99 (diciembre 22). *Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables y se organiza el Sistema Nacional Ambiental. SINA*. Bogotá: Diario Oficial.
- Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. (1992). *Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo*. Río de Janeiro, Brasil: s.n.
- Corporación Autónoma Regional de Nariño - CORPONARIÑO. (2011). *Acuerdo N° 010 del 29 de julio del 2011*. Recuperado de [www.Corponariño.com.co](http://www.Corponariño.com.co)
- Corporación Autónoma Regional de Nariño - CORPONARIÑO. (2011). *Plan de Manejo Ambiental Integral Humedal RAMSAR Laguna de La Cocha*. Recuperado de [www.Corponariño.com.co](http://www.Corponariño.com.co)
- Corpoamazonía & WWF. (2002). *Plan de manejo Corredor andino Amazónico páramo de Bordoncillo-Cerro de Patascoy: La Cocha como región estratégica para los departamentos de Nariño y Putumayo*. San Juan de Pasto: s.n.
- Departamento Nacional de Estadística - DANE. (2005). *Censo General, Información Básica*. Recuperado de [www.dane.gov.co](http://www.dane.gov.co)
- Escalante, C. y Reyes, L. (2005). *Técnicas Estadísticas en Hidrología*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Escuder, I., Morales, A., Castillo, J. y Perales, S. (2012). *Memoria proyecto SUFRI*. Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado de: [http://www.ipresas.upv.es/docs/2010\\_12\\_15\\_Memoria\\_SUFRI\\_WP3\\_borrador.pdf](http://www.ipresas.upv.es/docs/2010_12_15_Memoria_SUFRI_WP3_borrador.pdf)
- Fonade, Hidrotec. (1999). *Informe Caracterización Ambiental del área de influencia del Proyecto Multipropósito Guamués*. Recuperado de [www.fonade.com.co](http://www.fonade.com.co)
- Ghul. (1976). *Geografía Colombiana*. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC.

- Información general sobre el conjunto de herramientas Superposición.* (s.f.) Recuperado de <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/tool-reference/analysis/an-overview-of-the-overlay-toolset.htm>
- Instituto Alexander Von Humboldt. (2004). *Proyecto de incentivos para la laguna de La Cocha como sitio Ramsar*. Pasto: s.n.
- Instituto Colombiano de Geología y Minería. (1991). *Memoria explicativa Mapa Geológico de Colombia*. Plancha 429. Bogotá: Ingeominas.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. (2010). *Sistemas Morfogénicos del Territorio Colombiano*. Recuperado de [www.ideam.gov.co](http://www.ideam.gov.co).
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. (2017). *Guía Metodológica para la Elaboración de Mapas de Inundación*.
- Instituto Profesional Virginio Gómez. (2017). *Estadística y Probabilidades*. Chile: Universidad de Concepción.
- Kite, G. W. (1967). *Frequency and Risk Analyses in Hydrology*. Water Resources Pubns; Edición: Revised (1 de julio de 1988).
- Lavell, A. (2004). Universidad Nacional de Colombia - Programa RED. CD-ROM Incorporación del componente de riesgos en la escuela. Bogotá, 2004.
- Murcia, A., y Cepeda, H. (1991). *Mapa Geológico de Colombia*. Plancha 429. Escala 1:100.000. Bogotá: Ingeominas.
- Narvárez, A. (2014). *La precipitación en el humedal Laguna de la Cocha, Colombia, y su relación en la sustentabilidad de la región*. [Trabajo de tesis] Buenos Aires: U de Buenos Aires.
- Organización de Estados Americanos – OEA. (1993). *Departamento de desarrollo regional y medio ambiente: manual sobre manejo de peligros naturales en la planificación para el desarrollo regional integrado*. Recuperado de [www.oea.com.co](http://www.oea.com.co)
- Organización de las Naciones Unidas – ONU. (1992). *Programa de las Naciones Unidas para promover el desarrollo sostenible*. Agenda 21. Recuperado de [www.onu.gov.co](http://www.onu.gov.co)
- Organización Meteorológica Mundial - OMM. (2011). *Guía de prácticas hidrológicas, Gestión de recurso hídrico y aplicación de prácticas hidrológicas*. Vol. II. Recuperado de [www.organizaciónmeteorológicamundial.com.co](http://www.organizaciónmeteorológicamundial.com.co)
- Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Pasto – POT. (2014 – 2027). *Pasto Territorio Con Sentido*. Recuperado de [www.pasto.gov.co](http://www.pasto.gov.co)
- Ponce, A. (1979). *Anotaciones sobre la Geología del Sur Oriente del Departamento de Nariño*. Informe N°1769. Bogotá: Servicio Geológico Nacional, Ingeominas.
- Poveda, G. (2004). La hidroclimatología de Colombia: Una síntesis desde la escala interdecadal hasta la escala diurna. *En: Rev. Acad. Colomb. Cienc. Vol XXVIII, Número 107*.

Ribera, LI. (2004). Los mapas de riesgo de inundaciones: representación de la vulnerabilidad y aportación de las innovaciones tecnológicas. *En: Anàl. Geogr.* 2004, (43). 153-171.

Sánchez, F. (2016). *Cálculos Estadísticos en Hidrología*. Dpto. Geología- Universidad Salamanca- España. Recuperado de <http://hidrologia.usual.es>

Tucci, C. (2007). *Gestión de Inundaciones Urbanas*.  
Recuperado de [www.apfm.info/pdf/Urban\\_Flood\\_Management\\_Es\\_low.pdf](http://www.apfm.info/pdf/Urban_Flood_Management_Es_low.pdf)

Ven Te Chow., Maidment, D., May, L. (1994). *Hidrología aplicada*. Bogotá: Nomos, S.A.