



**MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE FACTORES BIÓTICOS Y ABIÓTICOS PARA CUMPLIR CON EL “PROGRAMA DE EJECUCIÓN DE COMPROMISOS DE LA ADMINISTRACIÓN PORTUARIA INTEGRAL MANZANILLO S.A. DE C.V. (API MANZANILLO) DE LAS MEDIDAS CORRECTIVAS ORDENADAS POR LA PROCURADURÍA FEDERAL DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE (PROFEPA) EN LA RESOLUCIÓN ADMINISTRATIVA NO. PFPA13.5/2C.27.5/0028/17/0110” PARA LOGRAR LA RESTAURACIÓN AMBIENTAL DE LAS LAGUNAS: VALLE DE LAS GARZAS Y CUYUTLÁN, COLIMA.**

**ESTUDIO DE LA PROCEDENCIA, CANTIDAD Y TIPO DE SEDIMENTO QUE PRODUCE EL AZOLVE EN LA LAGUNA DEL VALLE DE LAS GARZAS.**

**Responsable: Raúl Gutiérrez Márquez**

**Elaboró: Raúl Gutiérrez Márquez**

**Revisó: Manuel Patiño Barragán**

**INFORME FINAL 2019-2020**



## **INDICE**

I.	INTRODUCCION .....	9
I.1	Antecedentes. ....	10
I.2	Objetivo del programa. ....	10
I.2.1	Objetivo general.....	10
II.	INDICADORES AMBIENTALES Y METAS DEL PROGRAMA.....	11
III.	DESCRIPCION DE LOS TRABAJOS, METODOLOGIA EMPLEADA.....	12
III.1	Área de estudio. ....	13
III.2	Plano maestro. ....	14
III.3	Actividades en gabinete .....	14
III.3.1	Delimitación del área de estudio.....	16
III.3.2	Investigación en cartas topográficas del INEGI. ....	17
III.3.3	Ubicación de la Laguna Valle de las Garzas .....	18
III.3.4	Capacidad superficial de la Laguna Valle de las Garzas.....	19
III.3.5	Comparación de espejo de agua en el cuerpo lagunar.....	19
III.3.6	Descarga de aguas clandestinas en el cuerpo lagunar. ....	21
III.3.7	Bancos de nivel proporcionados por API Manzanillo.....	27
III.3.8	Estaciones meteorológicas cercanas al área de estudio. ....	28
III.3.9	Áreas urbanas aledañas al cuerpo lagunar. ....	29
III.3.10	Coordenadas de la Laguna Valle de las Garzas (Zona Federal).....	30
III.3.11	Dibujos de levantamiento topográfico.....	31
III.3.12	Indicadores ambientales.....	33
III.3.13	Graficas de perspectiva de precipitación en porcentaje en el año.....	44
III.3.14	Ubicación del cauce principal. ....	46
III.3.15	Ubicación de los suelos desnudos. ....	47
III.3.16	Ubicación de parcelas de cultivo. ....	49
III.3.17	Granulometría de las muestras de sedimento obtenidas en el cauce principal. 51	
III.3.18	Plano maestro de levantamiento topográfico en el cauce principal. ....	54
III.3.19	Fotos de tarquina en Laguna Valle de las Garzas.....	55
III.3.20	Ubicación, dimensiones y descarga de la tarquina.....	58
III.3.21	Estimación de perdida de suelo.....	60

III.3.22	Ecuación USLE .....	61
III.3.23	Sedimento proveniente de la cuenca.....	64
III.3.24	Intensidad de lluvia promedio anual en la zona de estudio. ....	88
III.3.25	Seccionamiento por tramo en el cauce principal. ....	89
III.3.26	Velocidad y gasto por tramo en el cauce principal. ....	90
III.3.27	Capacidad de gasto en la zona de bifurcación.....	92
III.3.28	Render de la Obra de Control Hidráulica.....	95
III.3.29	Origen de sedimento azolvado en la Laguna Valle de las Garzas. ....	96
III.3.30	PTAR Salagua.....	97
III.3.31	Zona urbana .....	101
III.3.32	Arroyo Punta de Agua. ....	105
III.3.33	Croquis de obra de control hidráulica. ....	106
III.4	Actividades en campo .....	110
III.4.1	Mediciones topográficas en el arroyo. ....	110
III.4.2	Recolección de muestras en el cauce principal. ....	113
III.4.3	Recorrido en la Laguna Valle de las Garzas.....	114
III.4.4	Recorrido por el cauce principal del Arroyo Punta de Agua.....	115
III.4.5	Sondeos exploratorios en Laguna Valle de las Garzas .....	117
IV.	RESULTADOS .....	118
IV.1	Área de estudio. ....	118
IV.2	Ubicación de la Laguna Valle de las Garzas. ....	119
IV.3	Áreas urbanas.....	120
IV.4	Granulometría de las muestras obtenidas en el Arroyo Punta de Agua.....	121
IV.5	Perdida de suelo en la cuenca de estudio.....	122
IV.6	Intensidad de lluvia para la erosión del suelo en la cuenca.....	125
IV.7	Obra hidráulica. ....	125
IV.8	Render del proyecto de la obra hidráulica. ....	127
IV.9	Aportaciones de sedimento a la Laguna Valle de las Garzas. ....	128
IV.10	Sondeos exploratorios en Laguna Valle de las Garzas.....	130
V.	INTERPRETACION DE RESULTADOS .....	133
VI.	TENDENCIA DE LA CALIDAD AMBIENTAL.....	135



VII. SUGERENCIAS PARA MEJORAR LA CALIDAD AMBIENTAL ..... 135

VIII. CONCLUSIONES ..... 136

IX. Bibliografía..... 138

**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1. Delimitación del área de estudio..... 13

Figura 2. Ubicación del cauce principal ..... 14

Figura 3. Localización de la zona de estudio..... 16

Figura 4. Carta topográfica obtenida del INEGI..... 17

Figura 5. Ubicación de la Laguna Valle de las Garzas con coordenadas..... 18

Figura 6. Posible capacidad superficial de la Laguna Valle de las Garzas..... 19

Figura 7. Espejo de agua en el año 2003..... 19

Figura 8. Espejo de agua en el año 2019..... 20

Figura 9. Comparativa de los espejos de agua año 2003 y 2019 en la Laguna Valle de las Garzas. .... 20

Figura 10. Identificación de descargas clandestinas en la Laguna Valle de las Garzas.21

Figura 11 Puntos y canales de descargas de aguas residuales que afecta a Laguna Valle de las Garzas. .... 22

Figura 12 Descarga de agua residual punto 1, Laguna Valle de Las Garzas..... 23

Figura 13 Descarga de aguas residuales con procedencia de la PTAR Salagua, punto 2. .... 24

Figura 14 Descargas de aguas residuales a la Laguna Valle de las Garzas, punto 4... 24

Figura 15 Descargas de aguas residuales a Laguna Valle de las Garzas, puntos 5 y 6. .... 25

Figura 16 Descarga de aguas residuales a Laguna Valle de las Garzas, punto 7. .... 25

Figura 17 Descarga de aguas residuales a Laguna Valle de las Garzas, punto 8. .... 26

Figura 18 Descarga de aguas residuales a Laguna Valle de las Garzas, punto 9. .... 26

Figura 19. Ubicación de los bancos de nivel. .... 27

Figura 20. Localización de las estaciones meteorológicas cercanas al área de estudio. .... 28

Figura 21. Áreas urbanas cercanas a la Laguna Valle de las Garzas ..... 29

Figura 22. Delimitación del cuerpo lagunar en base a coordenadas federales. ....	30
Figura 23. Imagen de proceso de datos en AutoCAD obtenidos en el levantamiento topográfico en el cauce principal. ....	31
Figura 24. Secciones dibujadas con extensión Civil-CAD 2014 en software AutoCAD. ....	32
Figura 25. Suelos dominantes en Manzanillo. ....	33
Figura 26. Perfil de un suelo Fluviosol. ....	35
Figura 27. Se indican las tres diferentes zonas donde se encuentra vegetación. Línea verde: parte superior izquierda. Polígono amarillo: Centro del canal. Línea azul: Parte superior derecha. ....	38
Figura 28. Vegetación perteneciente a selva baja caducifolia y selva baja subcaducifolia más abundante en la parte centro del arroyo. ....	39
Figura 29. Vegetación perteneciente a selva baja espinosa caducifolia con mayor abundancia a los laterales del arroyo y en el centro. ....	40
Figura 30. Zonas laterales al arroyo con mayor densidad de vegetación, donde se encuentra arbustos de elevada altura y árboles. ....	41
Figura 31. Árboles colapsados y a punto de colapsar por erosión en los bordes del arroyo. ....	42
Figura 32. Ubicación del cauce principal Arroyo Punta de Agua. ....	46
Figura 33 Suelos desnudos aledaños al cauce principal. ....	47
Figura 34 Acercamiento a suelos desnudos aledaños al cauce principal S1-S5. ....	47
Figura 35 Acercamiento a suelos desnudos aledaños al cauce principal S5-S9. ....	48
Figura 36 Parcelas de cultivo aledañas al cauce principal. ....	49
Figura 37 Acercamiento a parcelas de cultivo aledañas al cauce principal. ....	49
Figura 38 Propiedades físicas de la muestra en abril cadenamiento 1+200. ....	51
Figura 39 Propiedades físicas de la muestra en abril cadenamiento 3+400. ....	53
Figura 40 Seccionamiento del levantamiento topográfico por mes. ....	54
Figura 41 Vaso de depósito de material dragado en la tarquina. ....	55
Figura 42 Vaso de depósito de material dragado en construcción. ....	56
Figura 43 Descarga de agua proveniente de la tarquina. ....	57
Figura 44 Ubicación de tarquina y draga. ....	58



Figura 45 Ubicación de los puntos de interés dentro de la Zona Federal Estero del Valle de las Garzas. ....	59
Figura 46 Polígono lagunar con polígono de tarquina. ....	60
Figura 47 Nomograma para determinar la erosionabilidad del suelo. ....	62
Figura 48. Ubicación de las estaciones meteorológicas en la zona de estudio. ....	66
Figura 49. Ubicación de las estaciones climatológicas. ....	67
Figura 50 Mapa de Suelos Digitales del Mundo (DSMW). ....	68
Figura 51. DEM de la zona de estudio. ....	70
Figura 52. Pendiente en la zona de estudio. ....	71
Figura 53. Valor de Lambda ( $\lambda$ ) en la zona de estudio. ....	72
Figura 54. Valor de Beta ( $\beta$ ) en la zona de estudio. ....	73
Figura 55. Valor del exponente m en la zona de estudio. ....	74
Figura 56. Nomadismo en la zona de estudio. ....	76
Figura 57. Tipo de cobertura arbórea en la zona de estudio. ....	77
Figura 58. Agricultura en la zona de estudio. ....	78
Figura 59. Valores del factor R en la zona de estudio. ....	79
Figura 60. Valores del factor K en la zona de estudio. ....	80
Figura 61. Valor del factor L en la zona de estudio. ....	81
Figura 62. Valor del factor S en la zona de estudio. ....	82
Figura 63. Valor de L*S en la zona de estudio. ....	83
Figura 64. Valor del factor C en la zona de estudio. ....	84
Figura 65. Factor A en la zona de estudio. ....	86
Figura 66. Ubicación del cauce principal dividido por tramos. ....	89
Figura 67. Ubicación de la zona de bifurcación. ....	92
Figura 68. Direcciones de flujo en zona de bifurcación. ....	93
Figura 69. Capacidad de gasto en el punto de bifurcación. ....	94
Figura 70. Render la Obra de Control Hidráulica. ....	95
Figura 71. Render vista en planta de la zona de bifurcación. ....	96
Figura 72. Detección de algunos problemas y su posible causa en el tratado de aguas residuales. (Menéndez Gutiérrez, Pérez Olmo, & García Zumalacárregui, 2013). ....	99
Figura 73. Zonas urbanas aledañas a la Laguna Valle de las Garzas ....	105

Figura 74. Vista en planta general de las secciones en la zona de bifurcación.....	106
Figura 75. Acercamiento a secciones en la zona de bifurcación. ....	107
Figura 76. Secciones en la zona de bifurcación con propuesta de dique.....	108
Figura 77. Sección de recubrimiento propuesta en el cauce.....	109
Figura 78. Mediciones topográficas en el cauce principal de la cuenca en estudio 1..	111
Figura 79. Mediciones topográficas en el cauce principal de la cuenca en estudio 2..	112
Figura 80. Recolección de muestras en el cauce principal.....	113
Figura 81. Recorrido en la Laguna Valle de las Garzas .....	114
Figura 82. Recorrido por el cauce principal Arroyo Punta de Agua 1.....	115
Figura 83. Recorrido por el cauce principal Arroyo Punta de Agua 2.....	116
Figura 84. Ubicación de los sondeos exploratorios en la Laguna Valle de las Garzas.	117
Figura 85. Delimitación y ubicación del área de estudio para el proyecto.....	118
Figura 86. Ubicación de la Laguna Valle de las Garzas.....	119
Figura 87. Delimitación de áreas urbanas cercanas a la Laguna Valle de las Garzas.	120
Figura 88. Granulometría a muestra obtenida en el Arroyo Punta de Agua.....	122
Figura 89. Render la Obra de Control Hidráulica.....	127
Figura 90. Render vista en planta de la zona de bifurcación.....	128
Figura 91. Comparación de los perfiles de sondeos realizados en la Laguna Valle de las Garzas.....	130
Figura 92. Áreas del espejo de agua de Laguna Valle de las Garzas de 1996 a 2019	132

### **ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1 Coordenadas geográficas para la ubicación de la laguna.....	18
Tabla 2. Comparación de espejo de agua en año 2003 y 2019. ....	21
Tabla 3 Ubicación de puntos de descarga de aguas residuales en coordenadas UTM	23
Tabla 4. Bancos de nivel otorgados por API Manzanillo. ....	27
Tabla 5. Datos de las estaciones meteorológicas. ....	28
Tabla 6 Áreas urbanas aledañas al cuerpo lagunar. ....	30
Tabla 7. Resultados por mes en el estado en mm. ....	44
Tabla 8. Resultados por mes en la Cuenca en mm.....	45
Tabla 9 Áreas correspondientes a suelos desnudos.....	48



Tabla 10 Áreas correspondientes a las parcelas de cultivo.....	50
Tabla 11. Datos de las estaciones meteorológicas. ....	65
Tabla 12. Clasificación por la FAO al tipo de erosión. ....	86
Tabla 13. Cuantificación de erosión hídrica potencial. ....	87
Tabla 14. Días de tipo de lluvia al año.....	88
Tabla 15. Datos de velocidad y gasto del flujo por tramo. ....	90
Tabla 16. Clasificación por la FAO al tipo de erosión. ....	123
Tabla 17. Cuantificación de erosión hídrica potencial. ....	124
Tabla 18. Días de tipo de lluvia al año.....	125

### **ÍNDICE DE GRAFICOS**

Gráfico 1. Perspectiva de porcentaje de precipitación en el estado de Colima. ....	44
Gráfico 2. Perspectiva de porcentaje de precipitación en la Cuenca.....	45
Gráfico 3. Porcentaje de Erosión en la zona de estudio.....	87
Gráfico 4. Intensidad de lluvia en la zona de estudio. ....	88
Gráfico 5. Velocidad en m/s para cada tramo en el cauce principal.....	90
Gráfico 6. Gasto en m <sup>3</sup> /s para cada tramo en el cauce principal. ....	91
Gráfico 7. Capacidad de gasto máximo por tramo en el cauce. ....	91
Gráfico 8. Porcentaje de Erosión en la zona de estudio.....	123
Gráfico 9. Intensidad de lluvia en la zona de estudio. ....	125



## I. INTRODUCCION

Las lagunas costeras, se definen geomorfológicamente como depresiones en la costa por debajo del promedio máximo de las mareas más altas, protegidas de la dinámica oceánica por algún tipo de barrera, permanente o temporal, natural o construcción de ingeniería, que puede ser de tipo físico, principalmente de arena y con comunicación con el mar adyacente o barrera tipo hidrodinámica por la presencia de agua dulce y agua de mar (Lancin y Carranza, 1976).

La Laguna del Valle de las Garzas se encuentra ubicada dentro de la zona urbana de la ciudad y puerto de Manzanillo en el estado de Colima, al margen derecho de la vialidad denominada Boulevard Costero Miguel de la Madrid (Km. 7.5 Manzanillo-Santiago), teniendo una superficie de 255 ha., con solo una superficie actual de espejo de agua de 49 ha. Recibe agua pluvial principalmente del arroyo denominado Punta de Agua, sumándose el vertido de los drenajes pluviales urbanos, el agua superficial que aporta la superficie que conforma la rivera perimetral, el agua que recibe directamente producto de la lluvia y, finalmente funciona como laguna de oxidación de las aguas vertidas por la planta de tratamiento de aguas negras, ubicada en el ejido de Salagua, al margen izquierdo del libramiento carretero Manzanillo-Cihuatlán con una distancia aproximada a la laguna de 2.39 Km.

Todos estos afluentes aportan sedimentos que son los generadores del azolve que se encuentra en el vaso lagunar, como lo pueden ser de origen orgánico, vegetal e inerte como lo son rocas y fragmentos de las mismas pasando por limos, arcillas, arenas y gravas de diferente tamaño.

Este acarreo reduce la capacidad de embalse de agua medido en metros cúbicos de la zona lagunar, con lo que reduce considerablemente su capacidad para funcionar como laguna de oxidación de las aguas tratadas en la planta de tratamiento, y esto altera las condiciones físico-químicas del vaso. Éste estado de la laguna no es recomendable para el buen desarrollo de la flora y fauna de la zona, incluyendo los peces y demás organismos que se encuentran en las aguas de la laguna.

Existe una represa construida con bloques de gaviones (cubos de cantos rodados) en el inicio de la conexión del canal interlagunar, que impide el desalojo de las aguas y sedimentos hacia la laguna de San Pedrito, lo que ocasiona que el sedimento se quede en la Laguna del Valle de las Garzas, con las consecuencias antes mencionadas.

Para atender esta problemática se desarrolla el estudio de azolve, con la intención de establecer el estado actual de la laguna. Verificando el tipo de azolve, su origen y cantidad del mismo, haciendo estudios y mediciones en la cuenca hidrográfica que abastece el arroyo de Punta de Agua, escurrimientos de agua pluvial de la zona urbana periférica a la laguna, descarga de aguas residuales tratadas y descargas clandestinas, también se estudiarán los efectos que induce la represa de gaviones con la retención de sedimentos.

#### I.1 Antecedentes.

La Laguna del Valle de las Garzas, en la década de los ochentas y años atrás, se caracterizaba por contener un cuerpo de agua saludable, en el cual era común encontrar especies de peces y mariscos comerciales, cocodrilos y zonas de mangle. También era sitio de refugio de diferentes tipos de aves estacionales.

La laguna, con el crecimiento de la zona habitacional e industrial ha sufrido una presión muy elevada, sometiendo a un estrés a los diferentes indicadores ambientales que regulan la laguna, a tal grado de que las especies de flora y fauna que hacían uso de este ecosistema se ha reducido al mínimo, y en algunos casos ya no existen.

#### I.2 Objetivo del programa.

##### I.2.1 Objetivo general.

Como parte del programa de ejecución de compromisos de la Administración Portuaria Integral Manzanillo S.A. de C.V. (API Manzanillo), sobre medidas correctivas ordenadas por la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) en la resolución

administrativa no. PFFPA.5/2C.27.5/0028/17/0110, para lograr la restauración ambiental de las lagunas: Valle de las Garzas y Cuyutlán, Colima:

*“Se analizará con rigor técnico los principales problemas que presenta la Laguna de las Garzas, (el azolvamiento permanente de la laguna por el arrastre de materiales de su cuenca, la falta de aporte de agua marina, la recepción permanente de aguas residuales y parcialmente tratadas y el estar rodeada de asentamientos humanos, entre otros), los cuales originan que el cuerpo de agua tenga una caracterización francamente dulceacuícola, una mala calidad de sus aguas, un azolvamiento permanente y un proceso constante de eutroficación, presencia de especies vegetales invasoras, desarrollo de vegetación de manglar en condiciones desfavorables y avance de la mancha urbana. Por lo que la propuesta de restauración debe alcanzar una dimensión integral, objetiva y congruente con el escenario actual y futuro de dicho cuerpo de agua”.*

## II. INDICADORES AMBIENTALES Y METAS DEL PROGRAMA.

Para el desarrollo de este estudio se tomarán en cuenta entre otros, los siguientes indicadores ambientales:

- Climatológicos. Utilizando información del Servicio Meteorológico Nacional
- Zonificación y utilización de suelo en el área de estudio. Utilizando información del INEGI, con recorridos físicos del área
- Intensidad de lluvia en la cuenca. Utilizando información del Servicio Meteorológico Nacional.
- Densidad y tipo de vegetación. Utilizando información del INEGI, con recorridos físicos del área
- Topografía, Utilizando información del INEGI, complementada con mediciones físicas en el área.

-Tipo de suelo en el área de estudio. Utilizando información del INEGI, complementada con muestras físicas obtenidas en el área. La meta constituye la identificación de las fuentes de sedimento y su análisis.

### III. DESCRIPCION DE LOS TRABAJOS, METODOLOGIA EMPLEADA.

Localización y delimitación de la cuenca principal, así como las sub cuencas colectoras para el aporte hídrico a la laguna, utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG), obteniendo así las superficies que estarán sujetas a los estudios (Figura 1).

Localización de escurrimientos principales y secundarios, utilizando Sistemas de Información Geográfica, para la obtención de los gastos presentes en el sistema hídrico de la cuenca.

Obtención de la pendiente gobernadora utilizando métodos topográficos para cálculo de velocidades de escurrimiento e infiltración.

Estudio de curvas de nivel tomadas de los Sistemas de Información Geográfica (SIG-INEGI)

Investigación de la intensidad de lluvia con período de retorno de 50 años, datos a obtener de los registros oficiales de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y del Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

Obtención de datos del Clima en el área de estudio con período de retorno de 50 años datos a obtener de los registros oficiales de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y del Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

Estudio geológico de la cuenca, utilizando sistemas de información geográfica (INEGI) y con exploración física en campo, obteniendo muestras del material para su análisis y clasificación mediante los perfiles estratigráficos.

Estudio de mecánica de suelos, llevando a cabo penetraciones estándar en las capas superficiales obteniendo material para su análisis y determinar el efecto en la erosión.

Localización de obras de arte (embalses, represas, bordos, etc.), recorridos en el lugar físico para identificar y referenciar geográficamente las diferentes estructuras.

Estudio topobatemétrico de la Laguna Valle de las Garzas, obteniendo las coordenadas y delimitación del vaso, así como sus profundidades y capacidad de embalse.

Identificación del origen de sedimentos que son depositados en la laguna, con la obtención de muestras físicas en lugares estratégicos.

Localización de vertientes de aguas en toda la riera de la laguna, proporcionando sus coordenadas y el cálculo aproximado de agua vertida.

Estudio de vegetación existente en la cuenca, con visitas a campo para la correcta clasificación de la vegetación e identificar zonas de deforestación.

### III.1 Área de estudio.

La Laguna del Valle de las Garzas se encuentra en el Pacífico mexicano, se comunica con la Bahía de Manzanillo, tiene una superficie de 255 hectáreas y está ubicada en  $19^{\circ}5'43''$  de latitud Norte y  $104^{\circ}18'38''$  longitud Oeste (Figura 1).

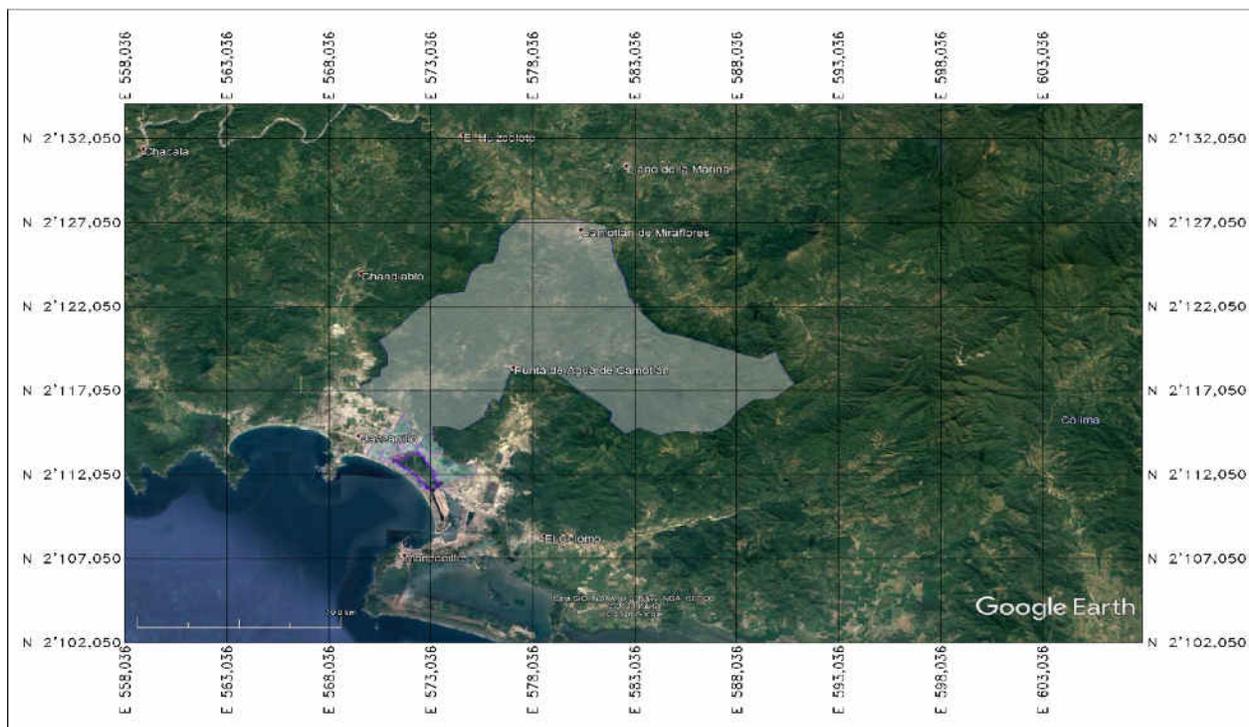


Figura 1. Delimitación del área de estudio.

### III.2 Plano maestro.



**Figura 2. Ubicación del cauce principal**

En la Figura 2 se ubica el cauce principal el cual se encuentra en estudio haciendo levantamiento topográfico, análisis de muestras de sedimento, identificación de vegetación y descripción del suelo.

### III.3 Actividades en gabinete

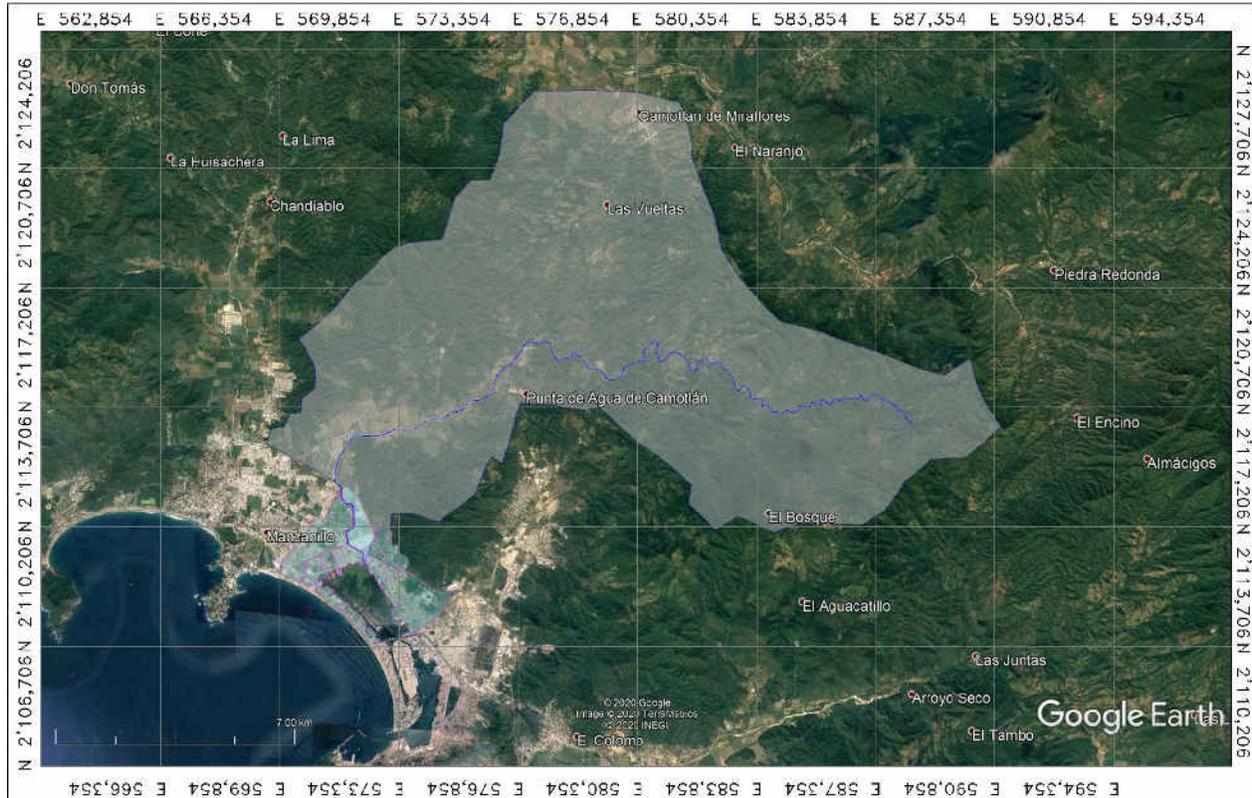
Para el informe final se realizó investigación bibliográfica y proceso de datos sobre:

1. Delimitación del área de estudio
2. Investigación en cartas topográficas del INEGI
3. Ubicación de la Laguna Valle de las Garzas
4. Capacidad superficial de la Laguna Valle de las Garzas

5. Comparación de espejo de agua del cuerpo lagunar
6. Descarga de aguas residuales en el cuerpo lagunar
7. Bancos de nivel proporcionados por API Manzanillo
8. Estaciones meteorológicas cercanas al área de estudio
9. Áreas urbanas aledañas al cuerpo lagunar
10. Coordenadas de la Laguna Valle de las Garzas (Zona Federal)
11. Dibujos de levantamiento topográfico
12. Indicadores ambientales
13. Graficas de perspectiva de porcentaje en el año
14. Ubicación del cauce principal en el área de estudio
15. Suelos desnudos en el área de estudio.
16. Parcelas de cultivo aledañas al cauce principal
17. Granulometría de las muestras de sedimento
18. Plano maestro de levantamiento topográfico en el cauce principal.
19. Fotografías de la tarquina
20. Ubicación, dimensiones y descarga de la tarquina
21. Estimación de perdida de suelo
22. Ecuación USLE
23. Sedimento proveniente de la cuenca
24. Erosión potencial hídrica
25. Intensidad de lluvia promedio anual en la zona de estudio
26. Seccionamiento por tramo en el cauce principal
27. Velocidad y gasto por tramo en el cauce principal
28. Capacidad de gasto en la zona de bifurcación
29. Render de la Obra de Control Hidráulica
30. Origen del sedimento azolvado en la Laguna Valle de las Garzas
31. PTAR Salagua
32. Zona urbana
33. Arroyo Punta de Agua
34. Croquis de obra de control hidráulica.

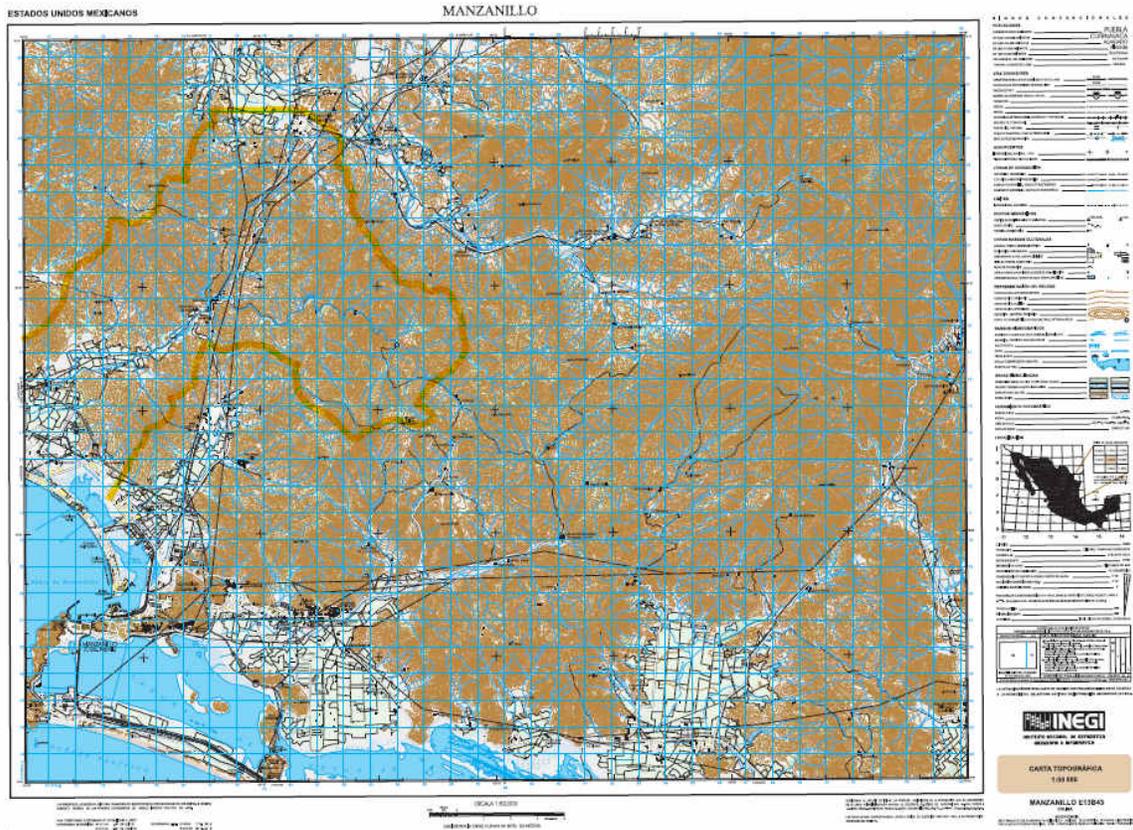
### III.3.1 Delimitación del área de estudio.

La zona de estudio se localiza dentro de la Región Hidrológica RH15 “Costa de Jalisco” que a su vez se subdivide en cuencas, ubicándose dentro de la cuenca del Río Chacala- Purificación. (Figura 3).



**Figura 3. Localización de la zona de estudio.**

### III.3.2 Investigación en cartas topográficas del INEGI.



**Figura 4. Carta topográfica obtenida del INEGI.**

En la Figura 4 se observa información de curvas de nivel topográficas que describen la zona de estudio.

### III.3.3 Ubicación de la Laguna Valle de las Garzas



**Figura 5. Ubicación de la Laguna Valle de las Garzas con coordenadas.**

En la Figura 5 se colocaron 5 marcadores para poder distinguir coordenadas para la ubicación de la Laguna Valle de las Garzas. En la Tabla 1 se muestran las coordenadas de la laguna para su ubicación.

**Tabla 1 Coordenadas geográficas para la ubicación de la laguna.**

<b>Punto</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>
<b>L1</b>	19° 5'9.13"N	104° 18'22.49"O
<b>L2</b>	19° 5'11.80"N	104° 18'8.39"O
<b>L3</b>	19° 5'40.80"N	104° 18'32.05"O
<b>L4</b>	19° 5'36.51"N	104° 18'45.20"O
<b>LC</b>	19° 5'26.58"N	104° 18'27.66"O

### III.3.4 Capacidad superficial de la Laguna Valle de las Garzas



**Figura 6. Posible capacidad superficial de la Laguna Valle de las Garzas.**

### III.3.5 Comparación de espejo de agua en el cuerpo lagunar.

En la Laguna de las Garzas se encuentra una zona con posible capacidad superficial que tiene un perímetro 3.35 km y un área de 0.49 km<sup>2</sup> o 49.3 ha. (Figura 6).



**Figura 7. Espejo de agua en el año 2003.**

En el año 2003. El espejo de agua de la Laguna de las Garzas contaba con un área de 113 ha y 6.5 km de perímetro. (Figura 7).



**Figura 8. Espejo de agua en el año 2019.**

En el año 2019, el espejo de agua de la Laguna de las Garzas cuenta con un área de 18.8 has y 8.37 km de perímetro. (Figura 8).



**Figura 9. Comparativa de los espejos de agua año 2003 y 2019 en la Laguna Valle de las Garzas.**

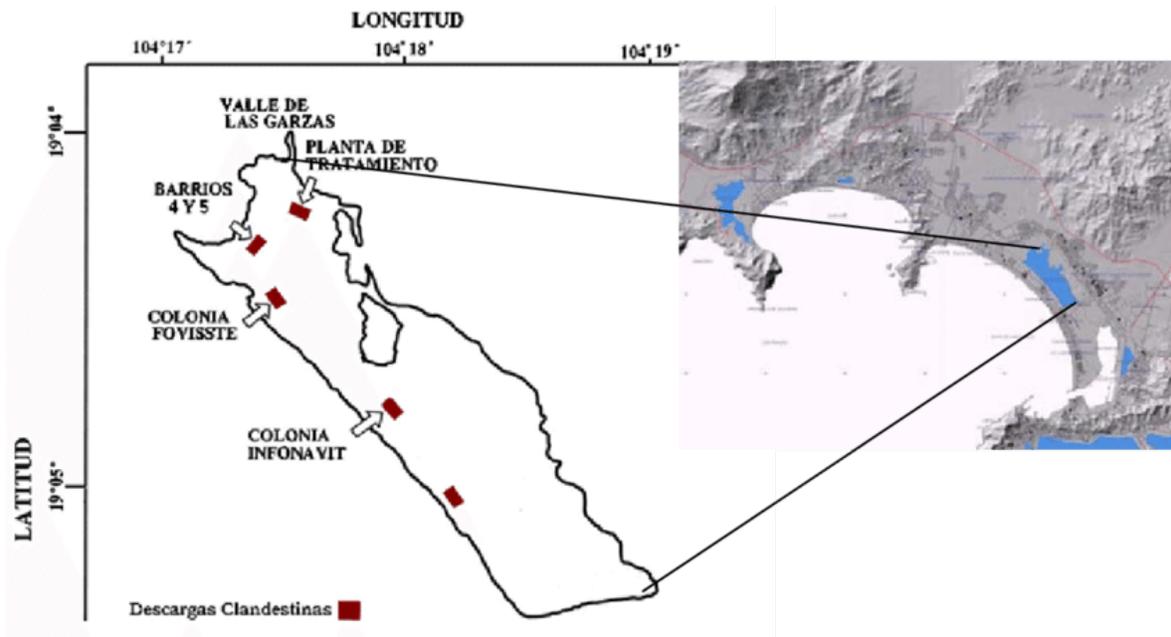
Se realizó una comparación respecto a esos años en la imagen lo cual genera cierta incertidumbre al notar la gran diferencia de tamaño en el espejo de agua (Figura 9), (Tabla 2).

**Tabla 2. Comparación de espejo de agua en año 2003 y 2019.**

<b>Año</b>	<b>Área (Ha)</b>	<b>Perímetro (Km)</b>
<b>2003</b>	113	6.5
<b>2019</b>	18.8	8.37

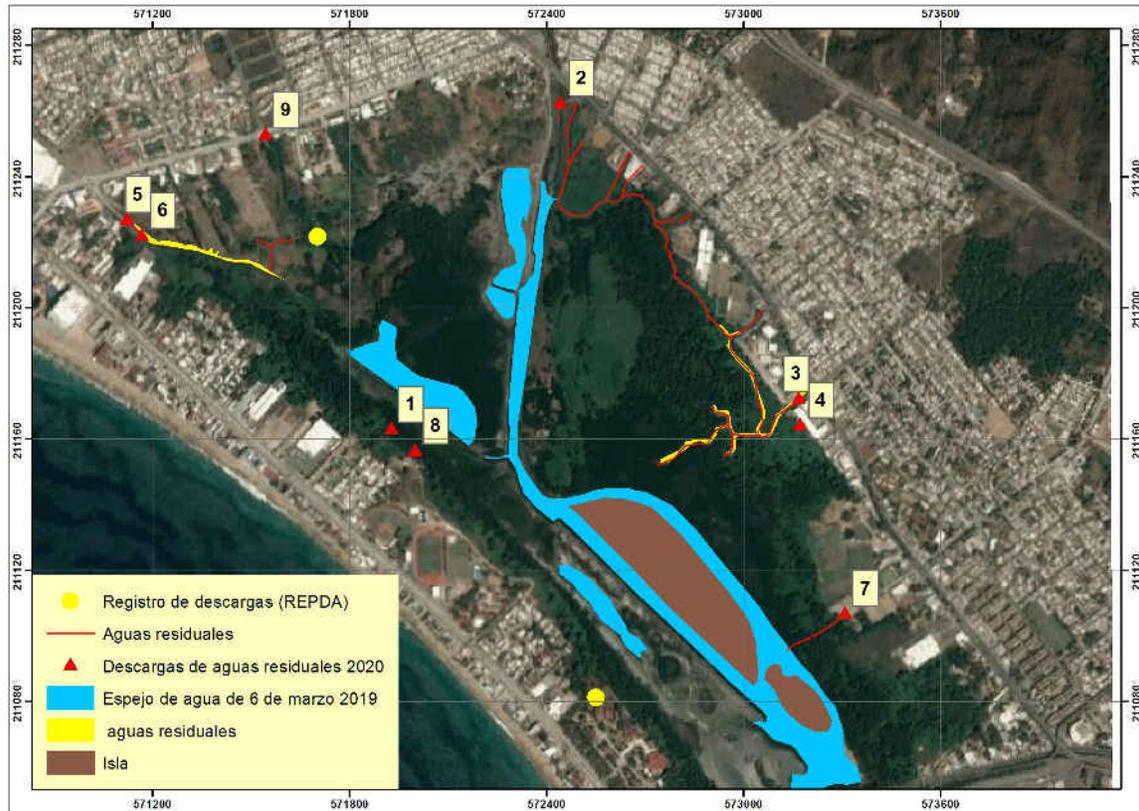
### III.3.6 Descarga de aguas clandestinas en el cuerpo lagunar.

Se identifican diversas descargas clandestinas de aguas negras hacia la laguna (Patiño-Barragan, Meyer-Willerer, Galicia-Pérez, Lezama-Cervantes, & Lara-Chavez, 2009), (Figura 10).



**Figura 10. Identificación de descargas clandestinas en la Laguna Valle de las Garzas.**

En base al programa “DELIMITACIÓN DEL HUMEDAL DE LA LAGUNA VALLE DE LAS GARZAS BAJO CRITERIOS EDAFOLÓGICOS, HIDROLÓGICOS Y BIÓTICOS” 2020, se obtiene la información para la ubicación de los puntos de descarga de aguas residuales.



**Figura 11 Puntos y canales de descargas de aguas residuales que afecta a Laguna Valle de las Garzas.**

En la zona aledaña de la Laguna Valle de las Garzas se encuentran varios canales de descargas de aguas negras (líneas rojas y amarillas). En varios de los canales se identificaron puntos de descargas de aguas residuales; los puntos amarillos están registrados en el REPDA y los triángulos rojos son descargas de aguas residuales irregulares identificadas de septiembre del 2019 a febrero del 2020 (Figura 12).

**Tabla 3 Ubicación de puntos de descarga de aguas residuales en coordenadas UTM**

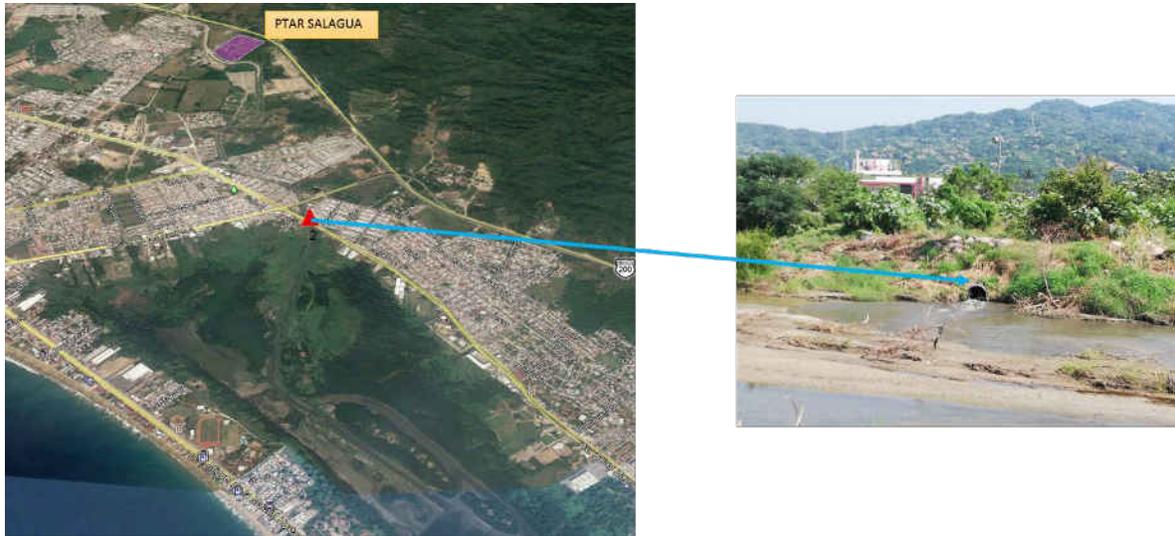
Punto	Fecha	Coordenadas UTM	
		X	Y
1	15-ene-20	571928.447	2111627.19
2	13-ene-20	572442.219	2112620.21
3	12-feb-20	573167.55	2111720.26
4	12-feb-20	573171.821	2111639.07
5	09-dic-19	571122.658	2112265.5
6	09-dic-19	571167.944	2112217.34
7	04-sep-19	573307.399	2111064.64
8	15-feb-20	571998.985	2111560.48
9	04-sep-19	571543.32	2112523.63

En Tabla 3 es mostrada la ubicación de los puntos de descargas de aguas residuales irregulares que tienen como cuerpo receptor la Laguna del Valle de las Garzas.



**Figura 12 Descarga de agua residual punto 1, Laguna Valle de Las Garzas.**

El punto 1 fue tomado el 15 de enero del 2020, está ubicado atrás de “SUITES LAS PALMAS” el tubo de descarga es mostrado en la (Figura 12).



**Figura 13 Descarga de aguas residuales con procedencia de la PTAR Salagua, punto 2.**

El punto 2 fue tomado el 13 de enero del 2020. El tubo de descarga de agua residual en este sitio proviene de la PTAR de Salagua (Figura 13). Según datos de diciembre del 2014 del inventario nacional de plantas, la planta Salagua ubicada en la localidad de Manzanillo tiene proceso de tipo de tratamiento de Lodos Activados, la capacidad de la planta es de 420 l/s y se tratan 322 l/s; el cuerpo receptor es la Laguna del Valle Las Garzas.



**Figura 14 Descargas de aguas residuales a la Laguna Valle de las Garzas, punto 4.**

Los puntos 3 y 4 de descarga fueron tomados el 12 de febrero del 2020, se encuentra al Noreste de la laguna el primer punto está ubicado a un costado de la y el otro atrás Plaza San José, en la intersección de la Av. Elías Zamora con Av. de los Manglares dentro de la zona lagunar (Figura 14).



**Figura 15 Descargas de aguas residuales a Laguna Valle de las Garzas, puntos 5 y 6.**

Las descargas en los puntos 5 (tomado el 9 de dic 2019) y 6 (tomado el 4 de septiembre de 2019) están ubicadas al Suroeste de la Laguna Valle de Las Garzas, atrás de la colonia Gaviotas en la intersección de las calles Av. Halcones y Las Gaviotas (Figura 15).



**Figura 16 Descarga de aguas residuales a Laguna Valle de las Garzas, punto 7.**

La descarga del punto 7 fue tomado el 4 de septiembre de 2019, está ubicado al noreste de la Laguna Valle de Las Garzas, en la colonia Valle de las Garzas en la intersección de las calles Av. Elías Zamora (Figura 16).



**Figura 17 Descarga de aguas residuales a Laguna Valle de las Garzas, punto 8.**

La descarga del punto 8 fue tomado el 15 de febrero de 2020, está ubicado al Sur de la Laguna Valle de Las Garzas, atrás de la colonia Fovissste en la intersección de las calles Av. Miguel de la Madrid y Veracruz (Figura 17).



**Figura 18 Descarga de aguas residuales a Laguna Valle de las Garzas, punto 9.**

La descarga del punto 9 fue tomada el 4 de septiembre de 2019, está ubicado al este de la Laguna Valle de Las Garzas, en la colonia Soleares en la intersección de las calles Av. de Los Patos y Paseo de las Gaviotas (Figura 18).

El REPDA (Registro público de derechos de agua), a través de la CONAGUA afirma que le falta regularizar varios puntos de descargas a los Acuíferos Jalipa-Tapeixtles y Salagua.

### III.3.7 Bancos de nivel proporcionados por API Manzanillo.

Se solicitaron bancos de nivel a la entidad API Manzanillo para referenciar el levantamiento topográfico con coordenadas ya establecidas.

**Tabla 4. Bancos de nivel otorgados por API Manzanillo.**

CLAVE DE REFERENCIA	COORDENADA UTM		ELEVACIÓN	ELEVACIÓN
	COORDENADA X	COORDENADA Y	MSNM (METROS SOBRE EL NIVEL DEL MAR)	NBMI (NIVEL DE BAJA MAR MEDIA INFERIOR)
<b>BN-01</b>	573830.773	2107167.742	5.16	5.46
<b>BN-02</b>	573362.0239	2110531.563	3.97	4.37
<b>BN-03</b>	572381.7494	2112601.486	4.48	4.88



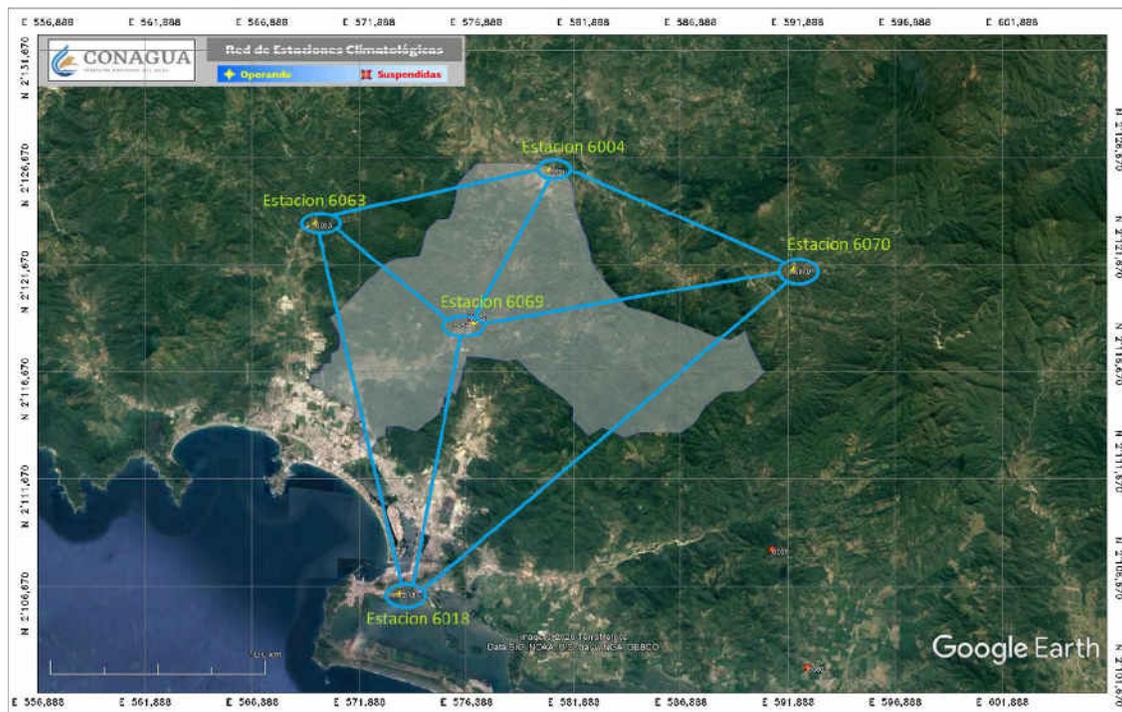
**Figura 19. Ubicación de los bancos de nivel.**

### III.3.8 Estaciones meteorológicas cercanas al área de estudio.

Se encuentran 5 estaciones cercanas al área de estudio, sus datos se muestran en la Tabla 5 con información detallada de cada una de ellas.

**Tabla 5. Datos de las estaciones meteorológicas.**

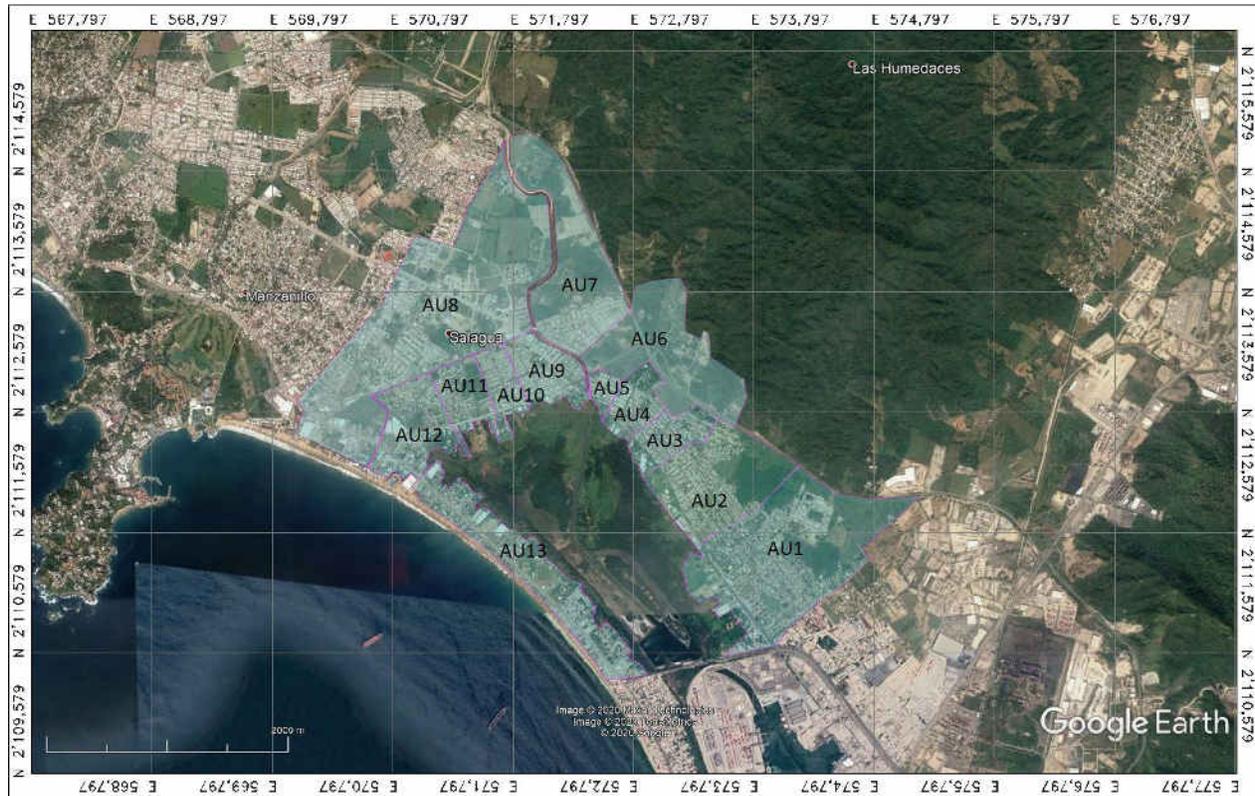
ESTACIÓN	6063	6004	6070	6018	6069
<b>NOMBRE</b>	CHANDIABLO	COMATLAN	SAN JOSE DE LUMBER	MANZANILLO (OBS)	PUNTA DE AGUA
<b>ESTADO</b>	COLIMA	COLIMA	COLIMA	COLIMA	COLIMA
<b>MUNICIPIO</b>	MANZANILLO	MANZANILLO	MANZANILLO	MANZANILLO	MANZANILLO
<b>SITUACIÓN</b>	OPERANDO	OPERANDO	OPERANDO	OPERANDO	OPERANDO
<b>ORGANISMO</b>	CONAGUA-DGE	CONAGUA-DGE	CONAGUA-DGE	CONAGUA-SMN	CONAGUA-DGE
<b>CVE-OMM</b>	Nulo	Nulo	Nulo	76654	Nulo
<b>LATITUD</b>	19.203	19.225	19.184	19.049	19.162
<b>LONGITUD</b>	-104.335	-104.232	-104.126	-104.298	-104.266
<b>ALTITUD msnm</b>	131	376	557	3	80



**Figura 20. Localización de las estaciones meteorológicas cercanas al área de estudio.**

En la Figura 20 se observa la distribución de las estaciones meteorológicas en la zona de estudio de las cuales se obtuvo información para proceso de datos.

### III.3.9 Áreas urbanas aledañas al cuerpo lagunar.



**Figura 21. Áreas urbanas cercanas a la Laguna Valle de las Garzas**

En la Figura 21 se observan las áreas de las zonas urbanas que están colindantes a la Laguna Valle de las Garzas las cuales pueden generar algún tipo de azolve por la escorrentía con traslado de sedimento en el cuerpo lagunar.

En la Tabla 6 se muestran las áreas correspondientes a las marcadas en la Figura 21.

Tabla 6 Áreas urbanas aledañas al cuerpo lagunar.

AREAS TRIBUTARIAS URBANAS	AREA EN HECTAREAS
Área urbana 1	141 h
Área urbana 2	69.4 h
Área urbana 3	22.3 h
Área urbana 4	19.7 h
Área urbana 5	6.8 h
Área urbana 6	76.6 h
Área urbana 7	80.9 h
Área urbana 8	212 h
Área urbana 9	27.6 h
Área urbana 10	17.8 h
Área urbana 11	22.2 h
Área urbana 12	40.4 h
Área urbana 13	68.2 h
<b>Area Total Urbana</b>	<b>804.9 h</b>

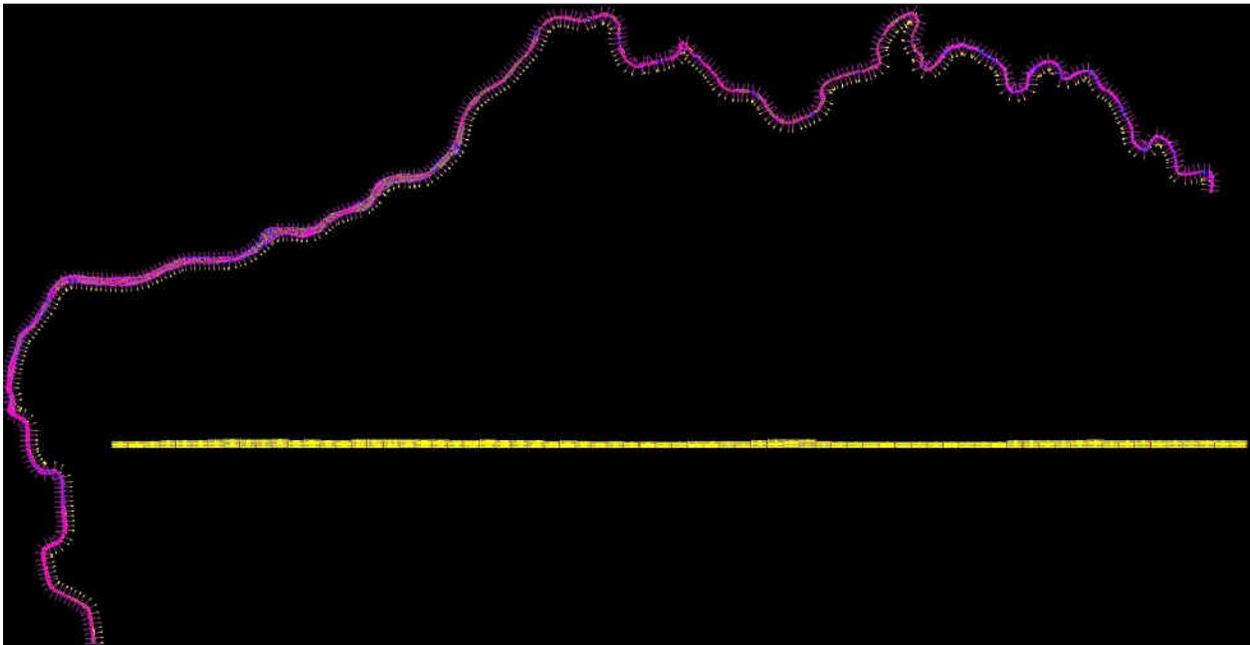
III.3.10 Coordenadas de la Laguna Valle de las Garzas (Zona Federal).



Figura 22. Delimitación del cuerpo lagunar en base a coordenadas federales.

En base al Diario Oficial de la Federación (Federación, Parque Metropolitano Estero Las Garzas, 2012), se obtuvieron las coordenadas de la Laguna Valle de las Garzas las cuales fueron utilizadas para delimitar la zona federal correspondiente al cuerpo lagunar del Valle de las Garzas.

### III.3.11      Dibujos de levantamiento topográfico.



**Figura 23. Imagen de proceso de datos en AutoCAD obtenidos en el levantamiento topográfico en el cauce principal.**

En la Figura 23 se observa el proceso de datos que se realizaron con el software de AutoCAD en la versión 2014. Los datos fueron obtenidos mediante el levantamiento topográfico por el cauce principal en el Arroyo Punta de Agua el cual parte de este cauce desemboca en la Laguna Valle de las Garzas.

En la Figura 24 se observa el proceso de dibujo de las secciones obtenidas en el levantamiento topográfico realizado en el cauce principal del Arroyo Punta de Agua.

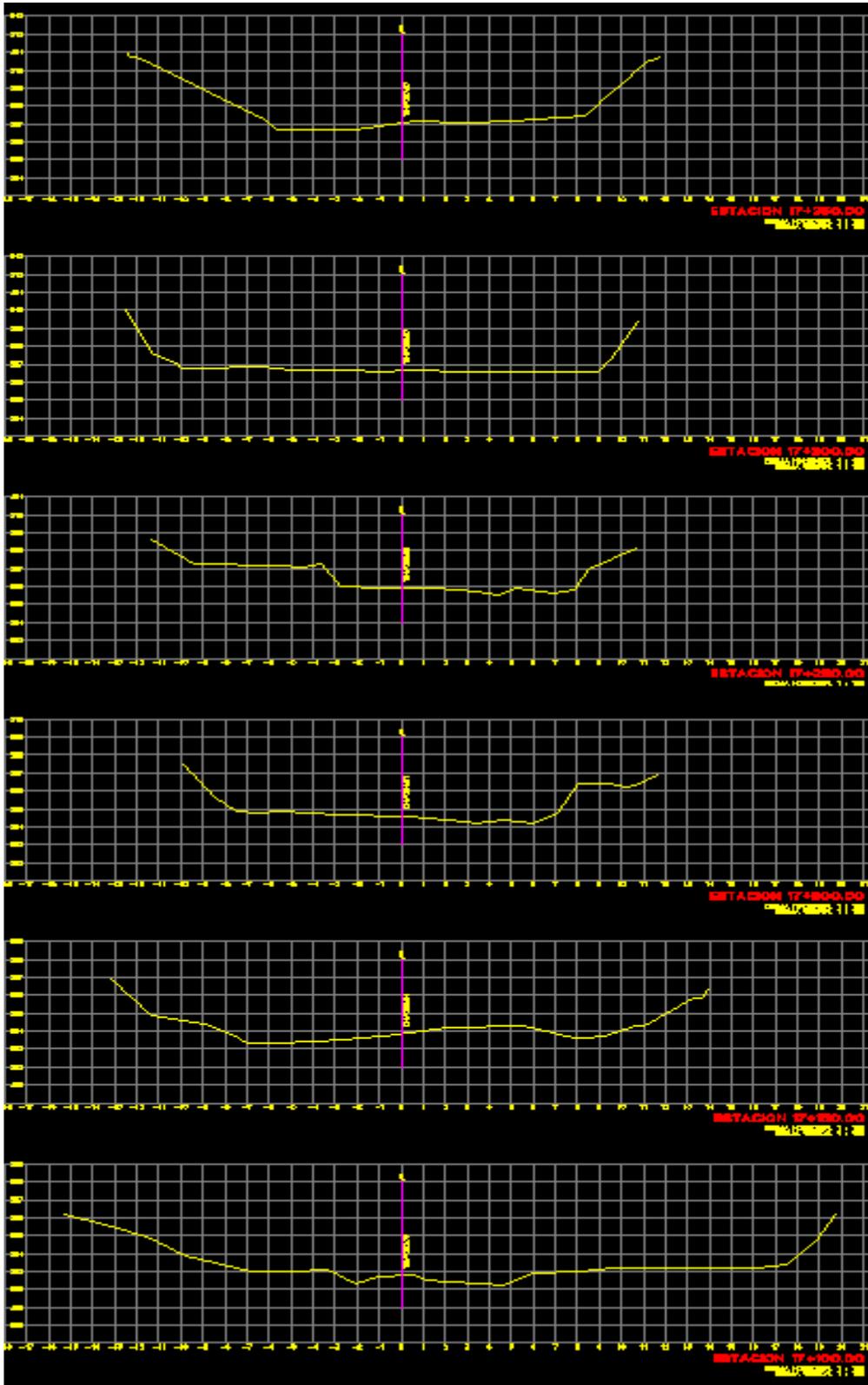


Figura 24. Secciones dibujadas con extensión Civil-CAD 2014 en software AutoCAD.

III.3.12 Indicadores ambientales.

Tipo de suelo, zonificación y utilización.

Los suelos dominantes que se encuentran alrededor de la zona de estudio es el Solonchak, Regosol y Fluvisol (Figura 25).

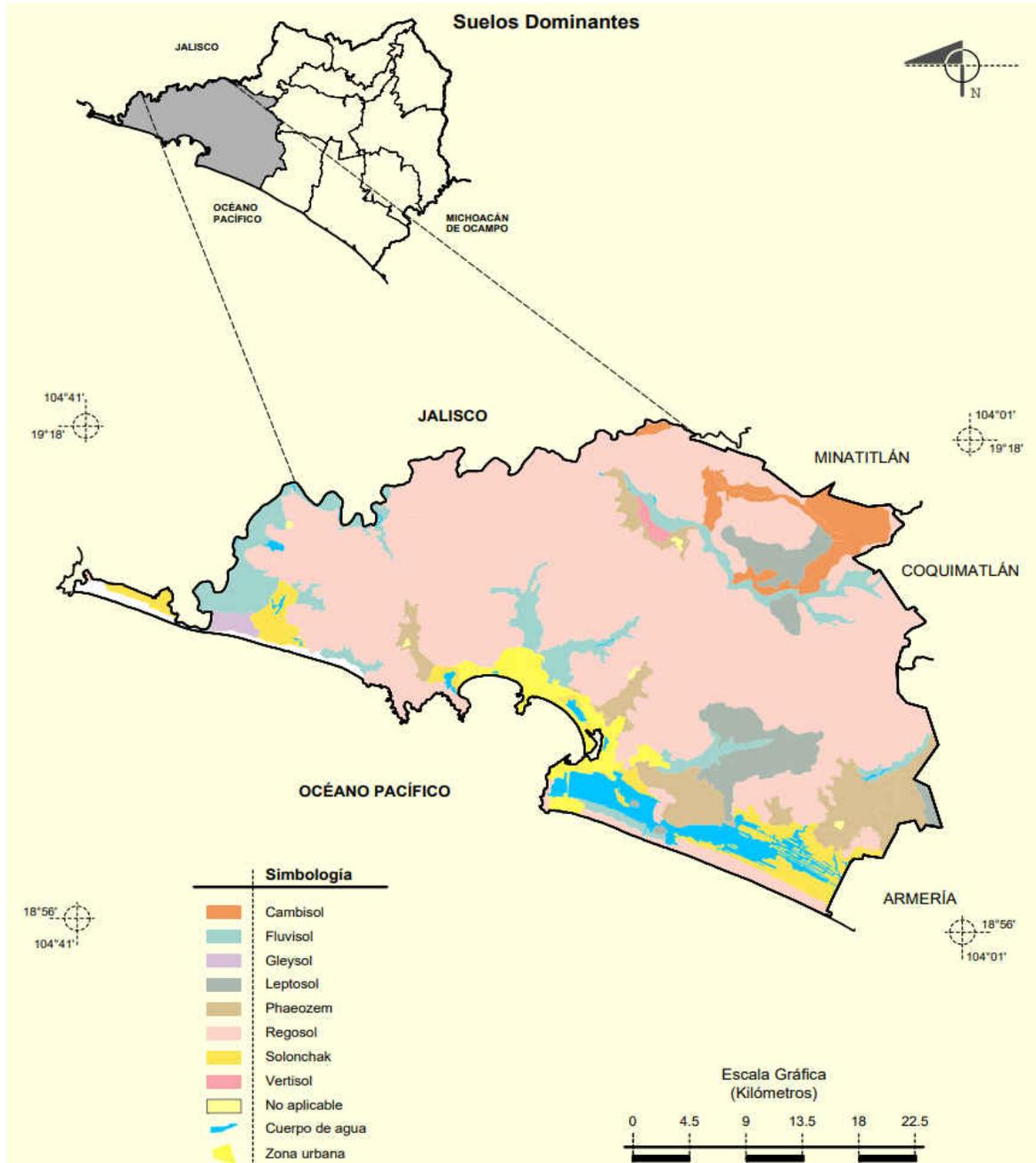


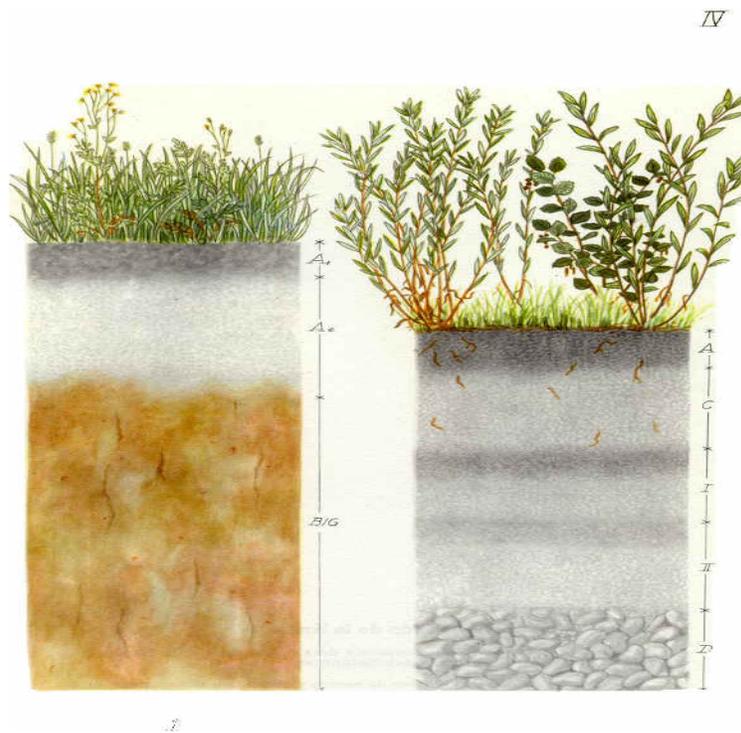
Figura 25. Suelos dominantes en Manzanillo.

Los Solonchaks son suelos con un alto contenido en sales solubles. La mayoría de las ocurrencias de los Solonchaks sucede en áreas de tierra adentro, es decir con climas continentales, en donde la evapotranspiración es considerablemente mayor que la precipitación, al menos durante gran parte del año. Las sales disueltas en la humedad del suelo permanecen en el suelo y se acumulan en la superficie después de la evaporación-transpiración (“Solonchaks externos”) o a alguna profundidad (“Solonchaks internos”). La mayoría de las sales que se forman/persisten son dependientes de la temperatura del enclave. La solubilidad resulta ser mayor durante la estación seca, es decir, cuando existe un flujo ascendente de agua desde el nivel freático hacia la superficie del suelo, mientras que, en la temporada húmeda, por el exceso de agua precipitacional, las sales son percoladas desde la superficie del terreno hacia los horizontes subsuperficiales del perfil edáfico. Esta histéresis entre (el rápido) influjo de las sales en el suelo y (su lenta) descarga, conduce a su acumulación en el suelo, dando lugar generalmente al desarrollo de un horizonte denominado Sálico, especialmente en regiones estacionalmente secas. Los Solonchaks externos se forman preferentemente en depresiones fisiográficas con una fuerte ascensión por capilaridad de las aguas salinas, o en territorios en donde el riego fue mal planificado. Los Solonchaks internos se desarrollan preferentemente en los lugares en los que el agua freática es más profunda y su ascenso por capilaridad no puede reponer completamente las pérdidas por evaporación en las temporadas secas. Los Solonchaks internos también pueden formarse a través de la percolación de sales desde la superficie a capas profundas.

Los Regosoles son suelos minerales, débilmente desarrollados en materiales no consolidados que tienen solo un horizonte superficial ócrico (pobre en materia orgánica) y que no son muy someros, arenosos o con propiedades flúvicas. Los Regosoles son muy extensos en tierras erosionadas, particularmente en tierras áridas, semi-áridas y regiones montañosas. Las propiedades físicas y químicas de los Regosoles son tan variadas como sus materiales parentales o roca madre. Es decir, que casi cabría discernir tantos tipos como los de rocas no consolidadas. Unos serán muy permeables (granulometría con dominancia de arenas) otros no (gran abundancia de limos y/o arcillas); unos serán muy pobres en nutrientes mientras que otros los atesoran en

abundancia; unos contienen muchas sales hasta el punto de convertirlos en tóxicos, otros ninguna, etc.

Los Fluvisoles son suelos azonales asociados a condiciones fisiográficas muy concretas condicionada por la estructura geomorfológica de estos ambientes ligados a la acción del agua, ya sea continental (ríos y lagos) o marina litoral (deltas, estuarios, marismas, playas de barrera, etc. etc.). Una de la característica más destacada de los Fluvisoles es el aporte más o menos continuado (y generalmente cíclico) de sedimentos por parte de las aguas, de tal modo que por tratarse de edafotaxa con muy escaso desarrollo edafogénico, la granulometría original de estos materiales aluviales queda reflejada en el perfil (Figura 26).



**Figura 26. Perfil de un suelo Fluvisol**

Los Fluvisoles se acomodan como suelos azonales genéticamente jóvenes, en depósitos aluviales. El nombre Fluvisoles puede ser confuso en el sentido de que estos suelos no están confinados sólo a los sedimentos de ríos (latín fluvius, río); también pueden aparecer en depósitos lacustres y marinos.

## Tipo de Vegetación.

### Vegetación.

El municipio de Manzanillo se encuentra ubicado en el Estado de Colima, en la República Mexicana, en las coordenadas geográficas: Latitud Norte 19°03.45 y Longitud Oeste 104°18.08, lo cual indica que pertenece a una zona que se presenta altamente influenciada por un clima tropical lluvioso, por lo tanto, el área de estudio cuenta con dos tipos de vegetación predominantes los cuales son selva tropical subcaducifolia y selva tropical caducifolia (Velarde, 2006).

Las Comunidades vegetales dominadas en estas zonas son por árboles pequeños que pierden sus hojas durante la época seca del año. Son propias de climas cálidos con lluvias frecuentes a escasa. Se ubican en zonas muy frágiles y en condiciones climáticas que favorecen la desertificación (CONABIO, 2013).

Dentro del área de estudio recorrida en el mes de enero se puede observar que la vegetación está concentrada en 3 secciones del arroyo, en las cuales existe una mínima diferencia de la flora que se pueda encontrar, estos son; parte superior derecha, centro del canal y parte superior izquierda (Figura 27).

En el centro del canal se observa una gran variedad de arbustos de baja y mediana altura, los cuales pertenecen a la clasificación de selva baja caducifolia y selva baja subcaducifolia (Figura 28). Asimismo, se encuentran diversas especies de plantas espinosas pertenecientes a la selva baja espinosa caducifolia (Figura 29), en general la flora encontrada se encuentra denominada como plantas indicadoras de humedales, de las cuales destacan:

- *Bolboschoenus maritimus subsp. Paludosus*
- *Cladium jamaicense*
- *Cyperus articulatus*
- *Cyperus giganteus*
- *Oxycaryum cubense*
- *Echinochloa colona*
- *Hydrocotyle verticillata*

- *Jaegeria glabra*
- *Ipomoea carnea*
- *Cephalanthus occidentalis*

En los laterales del arroyo es muy evidente la presencia de una mayor densidad de flora, encontrando con arbustos de gran altura, plantas espinosas (Figura 29) y arboles (Figura 30). De los cuales podemos encontrar:

- *Mimosa púdica*
- *Acacia espinosa*
- *Gleditsia triacanthos*
- *Pithecellobium dulce*
- *Distichlis spicata*
- *Enterolobium cyclocarpum*

La basta y densa vegetación dentro del arroyo es un factor sumamente importante en el transporte de los sedimentos, ya que las raíces de estos sirven como trampa de sedimentos la hora de presentarse la precipitación provocando una mayor compactación en el suelo, siendo así evita que mayores cantidades de material lleguen al cuerpo de agua, no obstante algunos grandes arboles se ven afectados por la erosión que se produce durante épocas de lluvia llegando a provocar que los árboles caigan al arroyo (Figura 31) y sean transportados añadiendo aún más carga al transporte pluvial.



**Figura 27. Se indican las tres diferentes zonas donde se encuentra vegetación. Línea verde: parte superior izquierda. Polígono amarillo: Centro del canal. Línea azul: Parte superior derecha.**



**Figura 28. Vegetación perteneciente a selva baja caducifolia y selva baja subcaducifolia más abundante en la parte centro del arroyo.**



**Figura 29. Vegetación perteneciente a selva baja espinosa caducifolia con mayor abundancia a los laterales del arroyo y en el centro.**



**Figura 30. Zonas laterales al arroyo con mayor densidad de vegetación, donde se encuentra arbustos de elevada altura y árboles.**



**Figura 31. Árboles colapsados y a punto de colapsar por erosión en los bordes del arroyo.**

### Climatológico e intensidad de lluvia.

El clima que impera en la región es tropical lluvioso, la temporada de lluvias corresponde al periodo Junio-octubre, siendo septiembre el mes con un índice mayor de precipitación, lo cual, está asociado a la presencia frecuente de fenómenos hidrometeorológicos durante esta fecha. El promedio anual de la humedad relativa es del 77% donde una vez más, septiembre alcanza los valores mayores de este parámetro con un promedio del 83%.

Según la clasificación de Köppen modificada por Enriqueta García (1964) el clima característico de esta zona es del tipo Awo(w)i, esto refiere a un patrón tropical cálido subhúmedo que manifiesta lluvias en verano y mantiene una humedad por debajo de los 88.95%, su temperatura oscila en menos de 5°C por lo que se considera una región isotermal. La temperatura media al año alcanza los 26.4°C, con máximos de 28°C y menores que registran valores de 18°C (Cartas de climas del INEGI, 2009)

#### Vientos

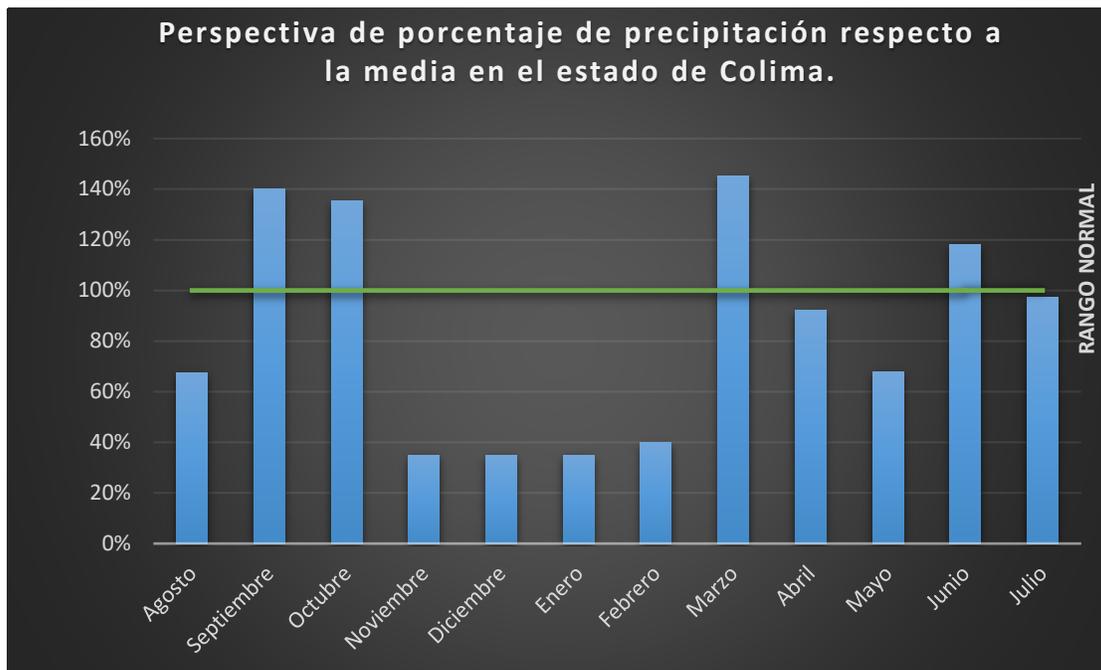
El viento dominante de esta ciudad proviene del oeste-noreste, estos alcanzan una velocidad media anual entre los 4.38 m/s y 4.77 m/s, se presentan en la temporada de secas durante el periodo noviembre-mayo o lo que representa un total del 46.6% de las horas de viento. Los vientos más intensos se registran en la época de lluvia (junio-octubre) y provienen desde la dirección Este-Sureste y Sur-Sureste.

### III.3.13      Graficas de perspectiva de precipitación en porcentaje en el año.

Se presenta un resumen del estado de Colima por mes en base a los datos de la CONAGUA expresados en mm.

**Tabla 7. Resultados por mes en el estado en mm.**

Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.
67.6	140.0	135.2	35.0	35.0	35.0	39.9	145.2	92.1	67.9	118.1	97.2



**Gráfico 1. Perspectiva de porcentaje de precipitación en el estado de Colima.**

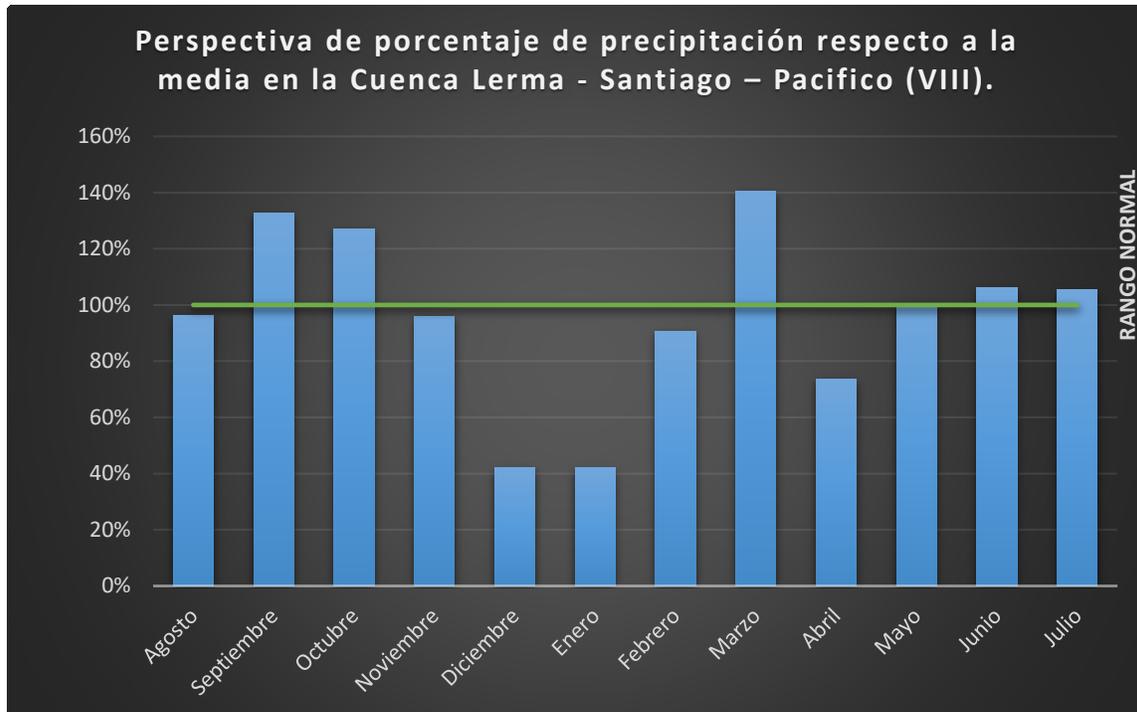
Durante el año de proyecto que se tiene contemplado se realiza una investigación de pronóstico de precipitación en el estado de Colima. Los datos se obtienen del Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2020), los cuales se publican el primer día de cada mes.

En el Gráfico 1 se representan los datos obtenidos únicamente para el estado de Colima de acuerdo con la Tabla 7 que tiene resultados por mes.

Se presenta un resumen de la Cuenca Lerma – Santiago – Pacifico (VIII) por mes en base a los datos de la CONAGUA expresados en mm.

**Tabla 8. Resultados por mes en la Cuenca en mm.**

Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.
96.2	132.6	127.2	96.0	42.1	42.1	90.6	140.4	73.6	100.4	106.3	105.3

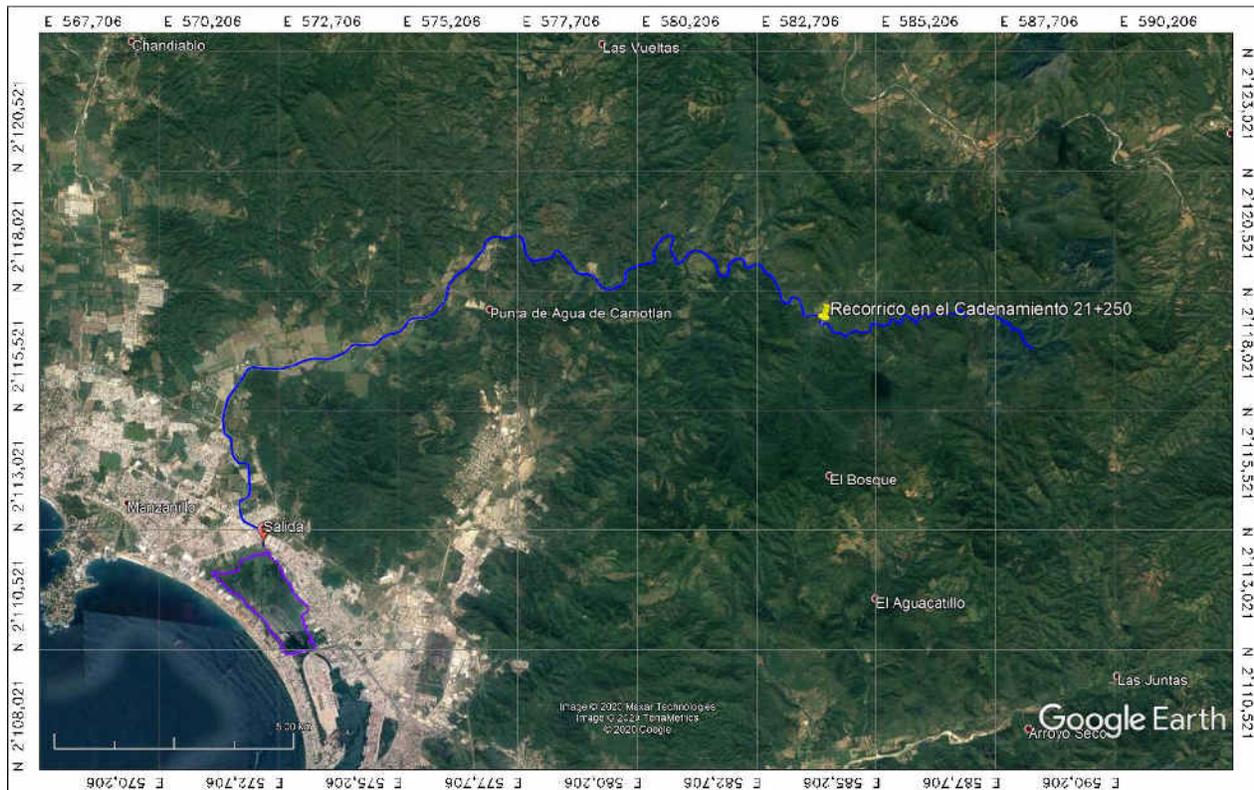


**Gráfico 2. Perspectiva de porcentaje de precipitación en la Cuenca.**

Durante el año de proyecto que se tiene contemplado se realiza una investigación de pronóstico de precipitación la cuenca donde pertenece el estado de Colima. Los datos se obtienen del Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2020), los cuales se publican el primer día de cada mes.

En el Gráfico 2 se representan los datos obtenidos únicamente para la Cuenca Lerma – Santiago – Pacifico (VIII) de acuerdo con la Tabla 8 que tiene resultados por mes.

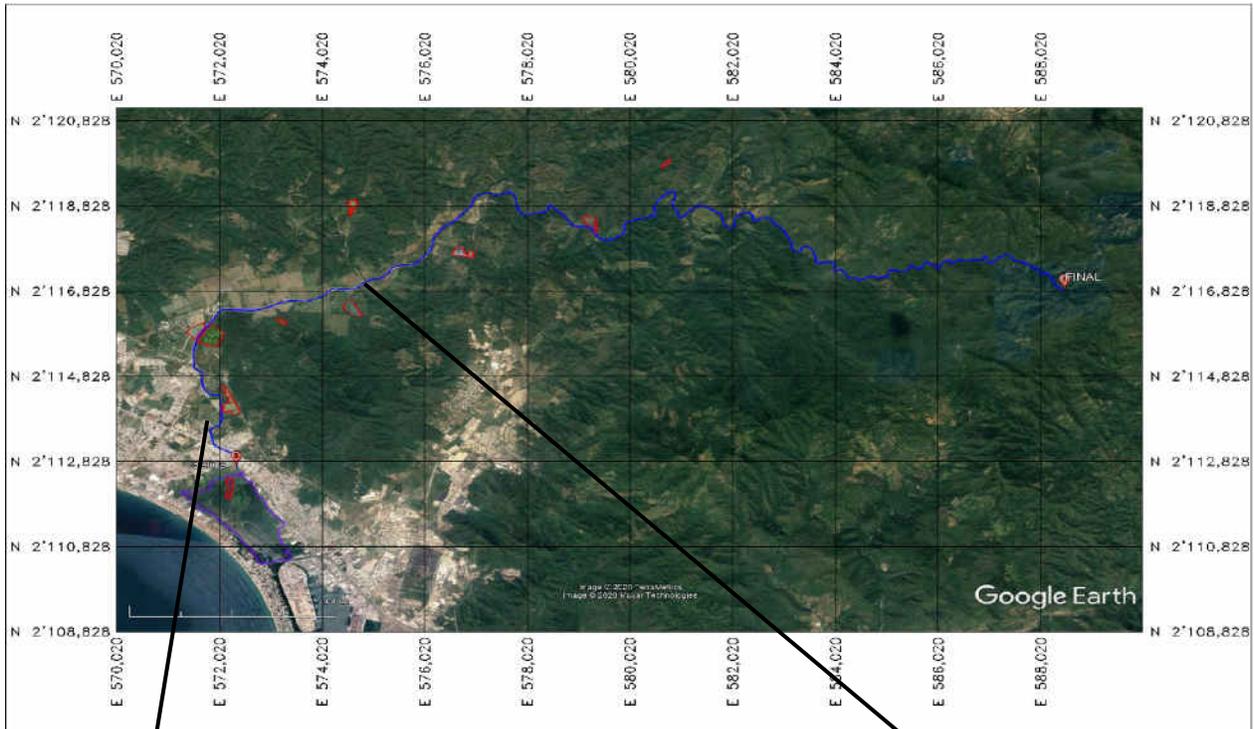
### III.3.14      Ubicación del cauce principal.



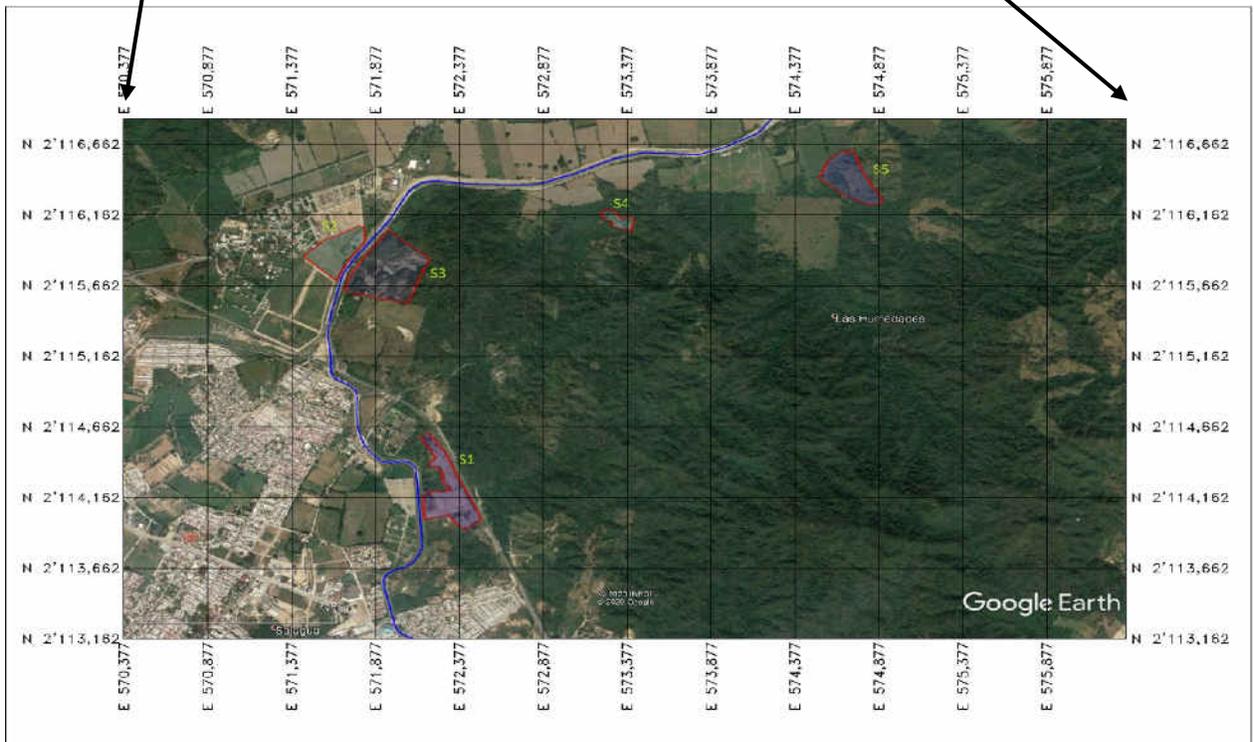
**Figura 32. Ubicación del cauce principal Arroyo Punta de Agua.**

En la Figura 32 se muestra el cauce principal distinguido por una línea color azul además de que se muestra el polígono lagunar con las coordenadas correspondientes a la zona federal.

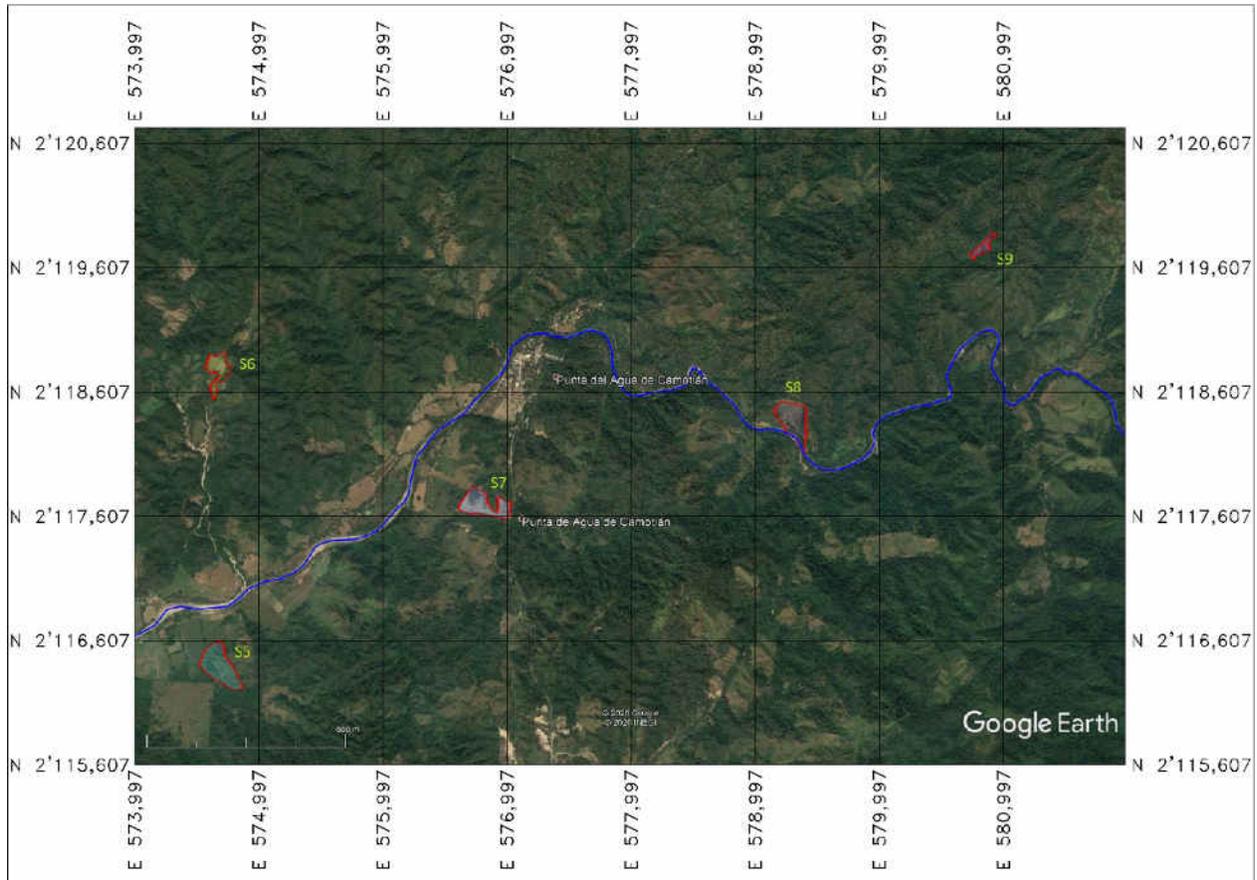
**III.3.15**      **Ubicación de los suelos desnudos.**



**Figura 33 Suelos desnudos aledaños al cauce principal.**



**Figura 34 Acercamiento a suelos desnudos aledaños al cauce principal S1-S5.**



**Figura 35 Acercamiento a suelos desnudos aledaños al cauce principal S5-S9.**

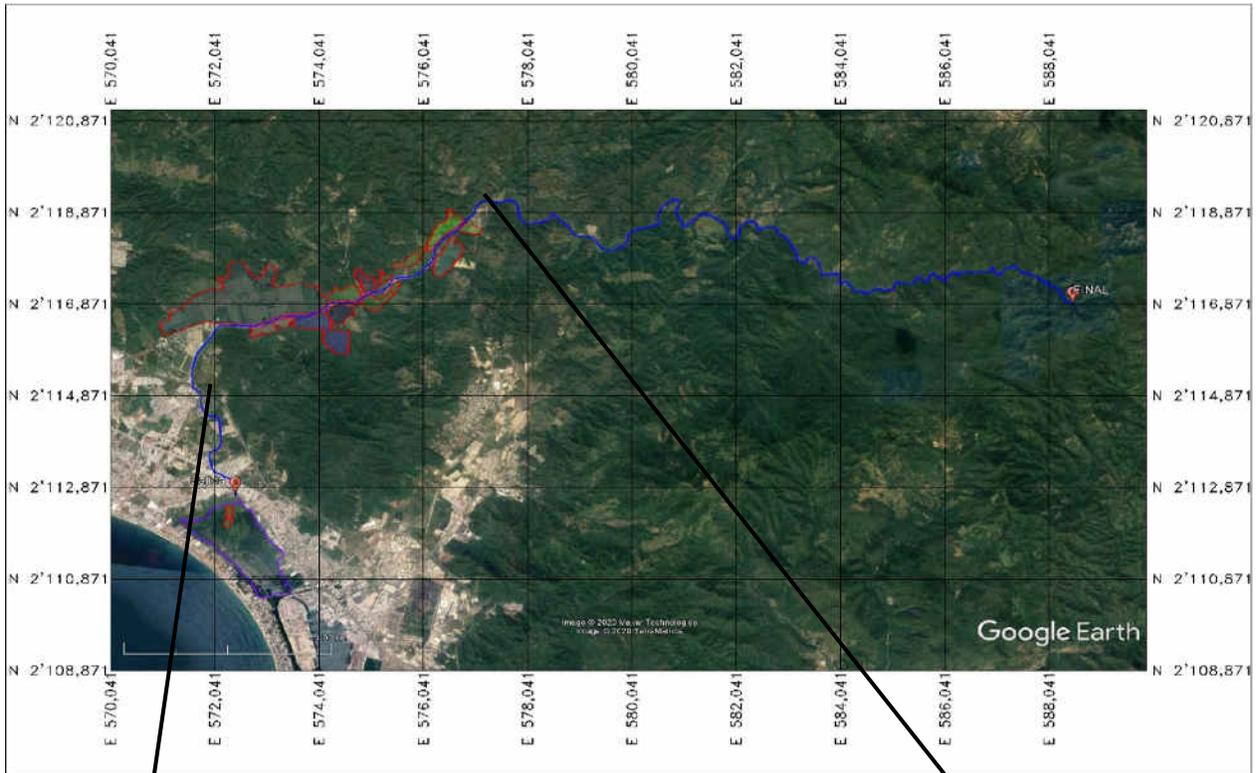
Los suelos desnudos son principales aportadores de sedimento al cauce principal debido a que no hay vegetación alguna que impida el escurrimiento. Estos generalmente son causados por actividades realizadas por el hombre en busca de materiales para construcción o de relleno en obras civiles. Sin embargo, en temporada de lluvia no se tiene un control de embarque de sedimento suelto lo que provoca que llegue a algún cauce cercano. (Figura 33)

**Tabla 9 Áreas correspondientes a suelos desnudos.**

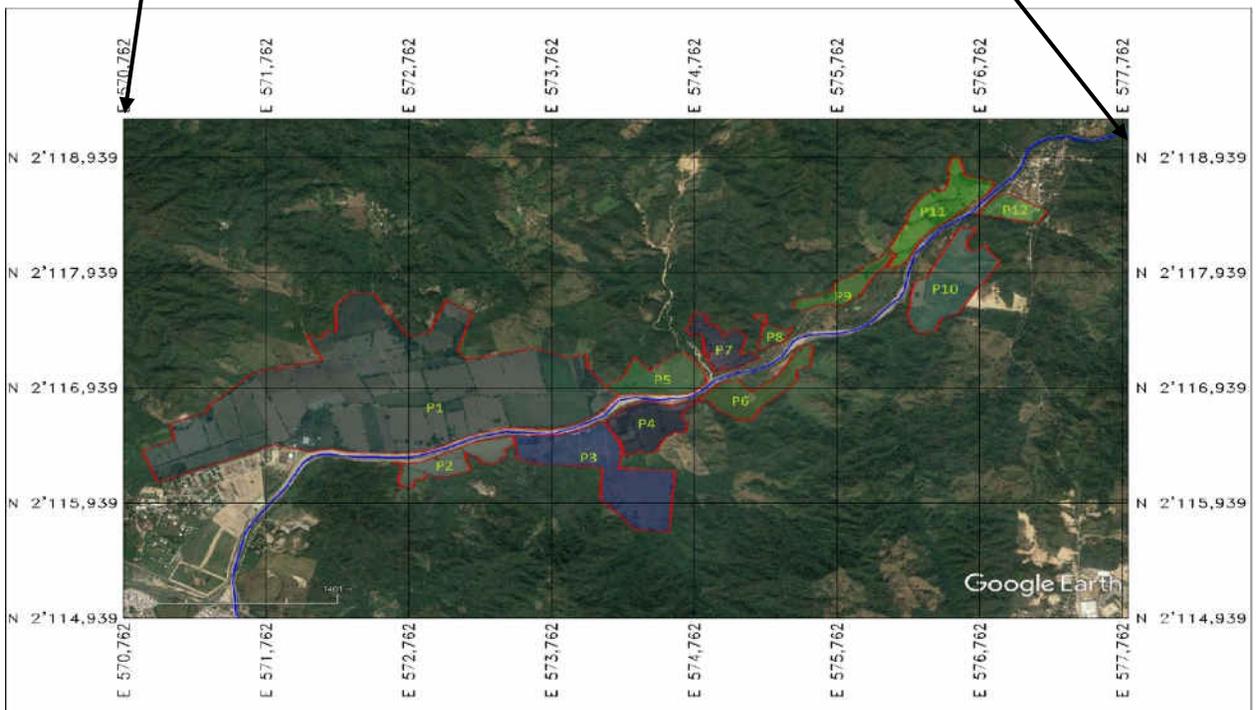
S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
9.98 ha	6.86 ha	15.4 ha	1.5 ha	7.28 ha	3.58 ha	5.63 ha	5.60 ha	1.22 ha

En la Tabla 9 se encuentran las áreas correspondientes a los suelos desnudos señalados en la Figura 34 y Figura 35.

**III.3.16** Ubicación de parcelas de cultivo.



**Figura 36** Parcelas de cultivo aledañas al cauce principal.



**Figura 37** Acercamiento a parcelas de cultivo aledañas al cauce principal.

Cercas del cauce se encuentran muchas parcelas de cultivo como se muestra en la Figura 36. La mayor parte del año se encuentran en cultivo. Estas actividades hacen un cambio en la zona por lo que se modifica la morfología del suelo. A su vez provocan que este no tenga la uniformidad de origen lo cual genera que sean suelos sueltos y estos en temporada de lluvia tengan que ser transportados por los escurrimientos que se generan en la zona. (Figura 37)

**Tabla 10 Áreas correspondientes a las parcelas de cultivo.**

P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
205 ha	11.3 ha	42.1 ha	17.6 ha	15.9 ha	15.6 ha	11.3 ha	3.3 ha	9.12 ha	26.7 ha	20.4 ha	6.81 ha

En la Tabla 10 se encuentran los datos correspondientes a las áreas de las parcelas aledañas al cauce principal que se observa en la Figura 37.

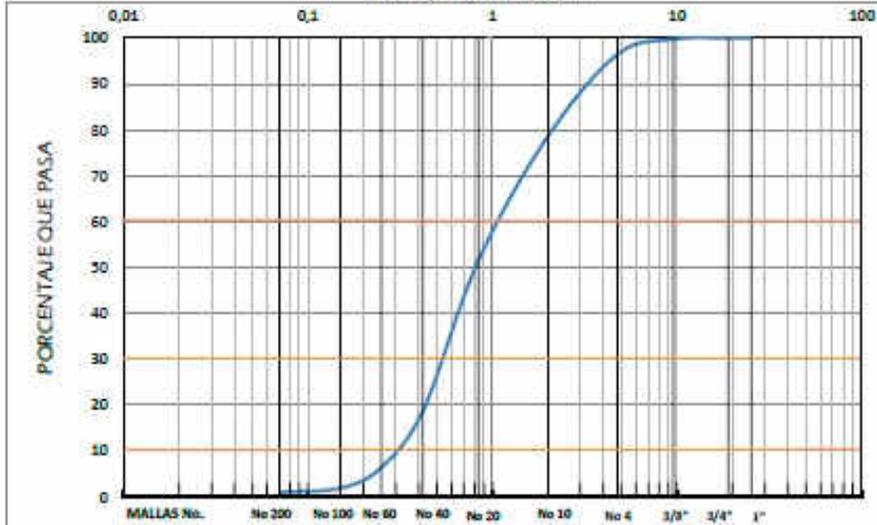
III.3.17 Granulometría de las muestras de sedimento obtenidas en el cauce principal.

**INFORME DE ANALISIS DE ARENA**

OBRA	"PROCEDENCIA DEL AZOLVE EN LA LAGUNA DE LAS GARZAS"		INFORME No:	25	
LOCALIZACION:	CUENCA HIDROLOGICA DEL ARROYO PUNTA DE AGUA, MANZANILLO, COLIMA.		FECHA DE MUESTREO	24-abr-20	
CONTRATISTA	UNIVERSIDAD DE COLIMA		FECHA DE INFORME	25-abr-20	
PROCEDENCIA DEL MATERIAL:			LECHO DEL CAUCE DEL ARROYO PUNTA DE AGUA		
CLASIFICACION S.U.C.S.	SP		CADENAMIENTO	KM 1+200	
<b>PROPIEDADES FISICAS</b>					
PESO VOLUMETRICO SECO SUELTO			kg/m <sup>3</sup>	1451,0	
<b>COMPOSICION GRANULOMETRICA</b>					
MALLA No	ABERTURA (mm)	MASA (gr)	% RET	% RET ACUM	% PASA
1"	25,40	0,0	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,05	0,0	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,53	2,0	0,24	0,24	99,76
No 4	4,76	28,0	3,33	3,56	96,44
No 10	2,00	150,0	17,81	21,38	78,62
No 20	0,84	228,0	27,08	48,46	51,54
No 40	0,42	276,0	32,78	81,24	18,76
No 60	0,25	104,0	12,35	93,59	6,41
No 100	0,15	38	4,51	98,10	1,90
No 200	0,07	8,0	0,95	99,05	0,95
CHAROLA	*	8,0	0,95	100,00	0,00
SUMA		842,0			
			$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$		3,55
			$C_c = \frac{(D_{30})^2}{(D_{10})(D_{60})}$		0,82

Tamaño de partículas en mm



OBSERVACIONES:

SP = ARENA MAL GRADUADA

LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN ESTE INFORME SE EVALUARAN DE ACUERDO A LAS ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

NORMAS APLICABLES: SCT-M-MWP-1-03/03 (SECADO, DISGREGADO Y CUARTEO DE MUESTRAS), SCT-M-MWP-1-06/03 (GRANULOMETRÍA), SCT-M-MWP-1-08/03 (MASAS VOLUMÉTRICAS) Y SCT-M-MWP-1-02/03 (CLASIFICACIÓN S.U.C.S.)

Figura 38 Propiedades físicas de la muestra en abril cadenamiento 1+200.

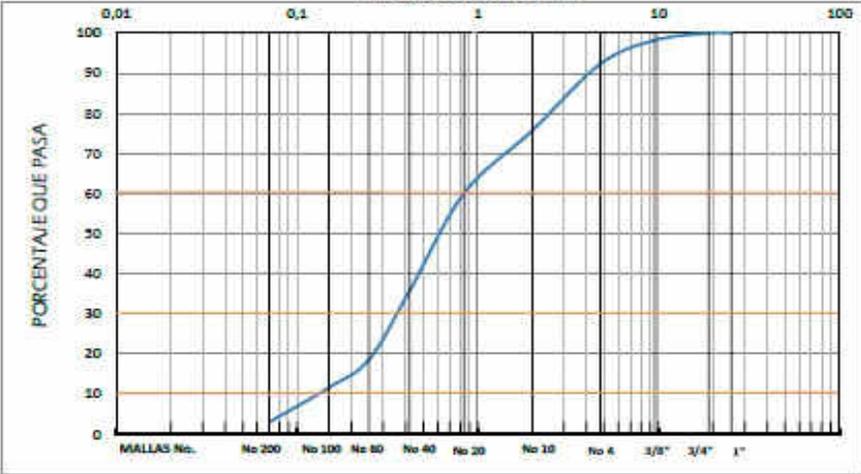
Las muestras de sedimento obtenidas en el arroyo por cadenamiento son analizadas en laboratorio de las cuales se obtiene un informe el cual indica el tipo de arena por medio del estudio granulometría. Debido a que son suelos de grano grueso a que más de la mitad del material es retenido por el tamiz no. 200. Para clasificación visual puede suponerse que la abertura del tamiz no. 4 equivale a medio centímetro por lo que el predominio de un tamaño o de un tipo de tamaños con ausencia de algunos tamaños intermedios se clasifica en (SP) arenas mal graduadas con grava, con pocos finos o sin ellos. En este caso el estudio determinó que son arenas mal graduadas (SP) (Figura 38).

### INFORME DE ANALISIS DE ARENA

OBRA	"PROCEDENCIA DEL AZOLVE EN LA LAGUNA DE LAS GARZAS"	INFORME No:	69				
LOCALIZACION:	CUENCA HIDROLOGICA DEL ARROYO PUNTA DE AGUA, MANZANILLO, COLIMA.	FECHA DE MUESTREO	24-abr-20				
CONTRATISTA	UNIVERSIDAD DE COLIMA	FECHA DE INFORME	25-abr-20				
PROCEDENCIA DEL MATERIAL:		LECHO DEL CAUCE DEL ARROYO PUNTA DE AGUA					
CLASIFICACION S.U.C.S.	SP	CADENAMIENTO	KM 3+400				
<b>PROPIEDADES FISICAS</b>							
PESO VOLUMETRICO SECO SUELTO		kg/m <sup>3</sup>	1455,0				
<b>COMPOSICION GRANULOMETRICA</b>							
MALLA No	ABERTURA (mm)	MASA (gr)	% RET.	% RET ACUM	% PASA		
1"	25,40	0,0	0,00	0,00	100,00	D <sub>10</sub> =	0,14
3/4"	19,05	0,0	0,00	0,00	100,00	D <sub>30</sub> =	0,35
3/8"	9,53	15,0	1,78	1,78	98,22	D <sub>60</sub> =	0,85
No 4	4,76	50,0	5,92	7,70	92,30	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$	6,07
No 10	2,00	140,0	16,59	24,29	75,71		
No 20	0,84	132,0	15,64	39,93	60,07	$C_c = \frac{(D_{30})^2}{(D_{10})(D_{60})}$	1,03
No 40	0,42	205,0	24,29	64,22	35,78		
No 60	0,25	145	17,18	81,40	18,60		
No 100	0,15	59,0	6,99	88,39	11,61		
No 200	0,07	73,0	8,65	97,04	2,96		
CHAROLA	*	25,0	2,96	100,00	0,00		
SUMA		844,0					

Tamaño de partículas en mm



OBSERVACIONES:

SW = ARENA BIEN GRADUADA

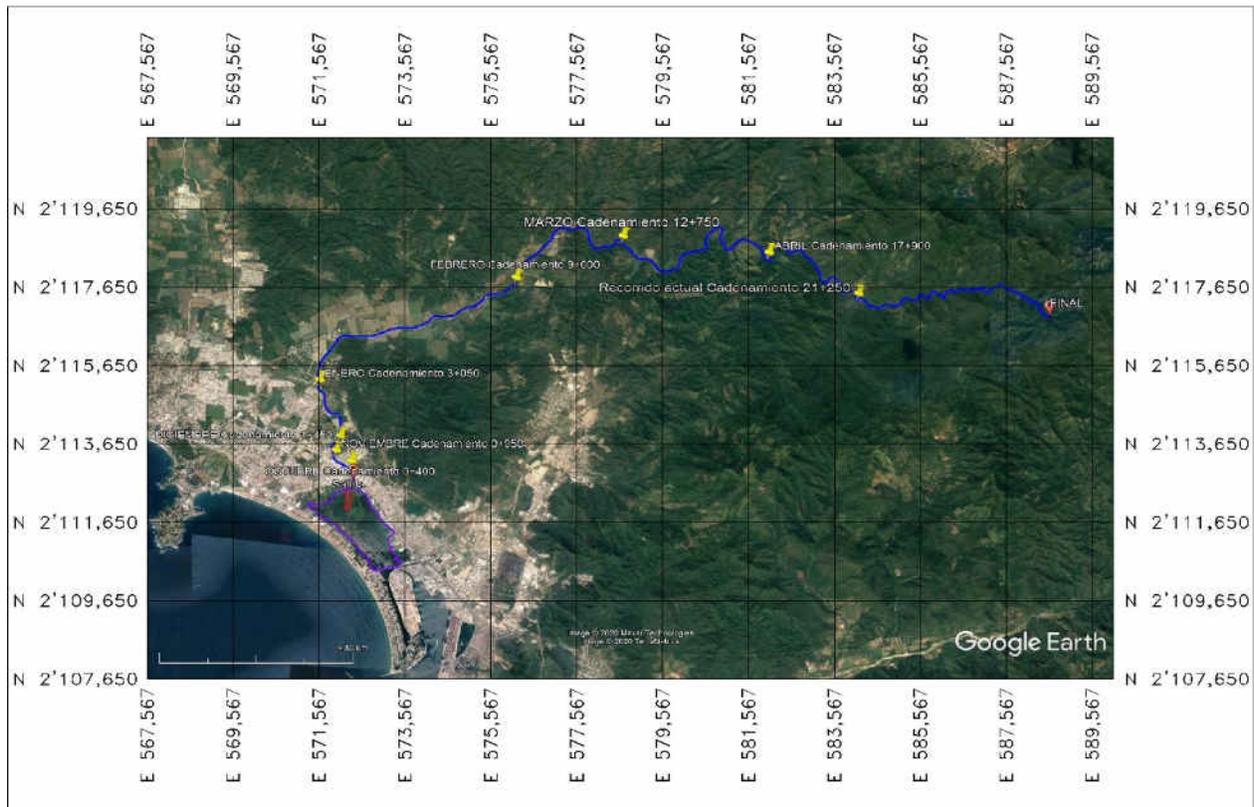
LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN ESTE INFORME SE EVALUARAN DE ACUERDO A LAS ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

NORMAS APLICABLES: SCT-M-MWP-1-03/03 (SECADO, DISGREGADO Y CUARTEO DE MUESTRAS), SCT-M-MWP-1-06/03 (GRANULOMETRÍA), SCT-M-MWP-1-08/03 (MASAS VOLUMÉTRICAS) Y SCT-M-MWP-1-02/03 (CLASIFICACIÓN S.U.C.S).

**Figura 39 Propiedades físicas de la muestra en abril cadenamiento 3+400.**

En cuanto a la Figura 39 se observa que el resultado son arenas bien graduadas (SW) debido que tiene una amplia gama de tamaños y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios incluyendo arenas con grava, con pocos finos o sin ellos.

**III.3.18 Plano maestro de levantamiento topográfico en el cauce principal.**



**Figura 40 Seccionamiento del levantamiento topográfico por mes.**

Se ubica en la Figura 40 el recorrido que se tuvo durante el proyecto, seccionando por meses desde octubre 2019 hasta abril 2020.

III.3.19

Fotos de tarquina en Laguna Valle de las Garzas



**Figura 41 Vaso de depósito de material dragado en la tarquina.**

Las fotos se han tomado el día 1 de marzo de 2020 durante el recorrido que se hizo dentro de la Laguna Valle de las Garzas. Haciendo el recorrido se encontró con el primer vaso de depósito del material dragado en la tarquina (Figura 41).



**Figura 42 Vaso de depósito de material dragado en construcción.**

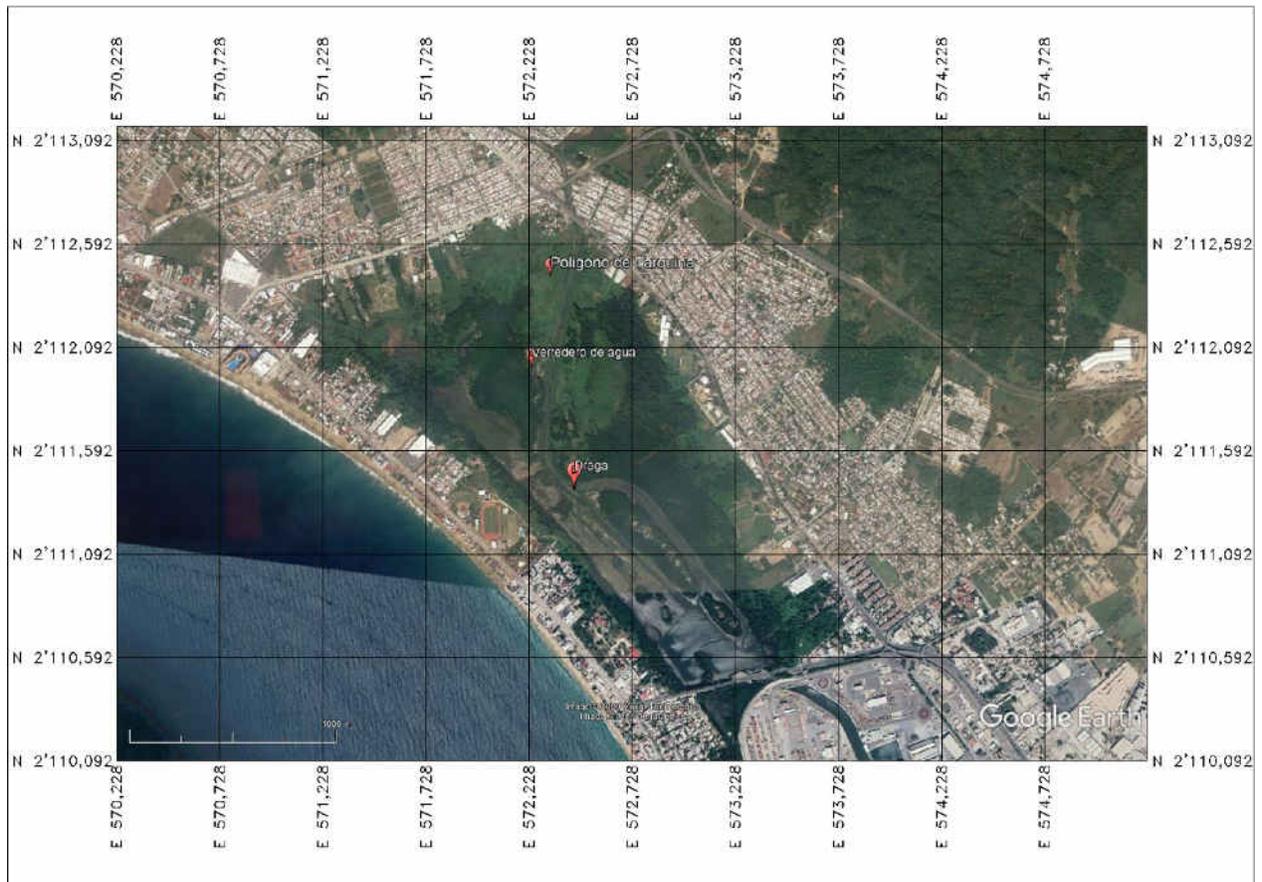
Se observa la construcción de un nuevo vaso debido a que el primer vaso está próximo a llegar a su capacidad máxima (Figura 42).



**Figura 43 Descarga de agua proveniente de la tarquina.**

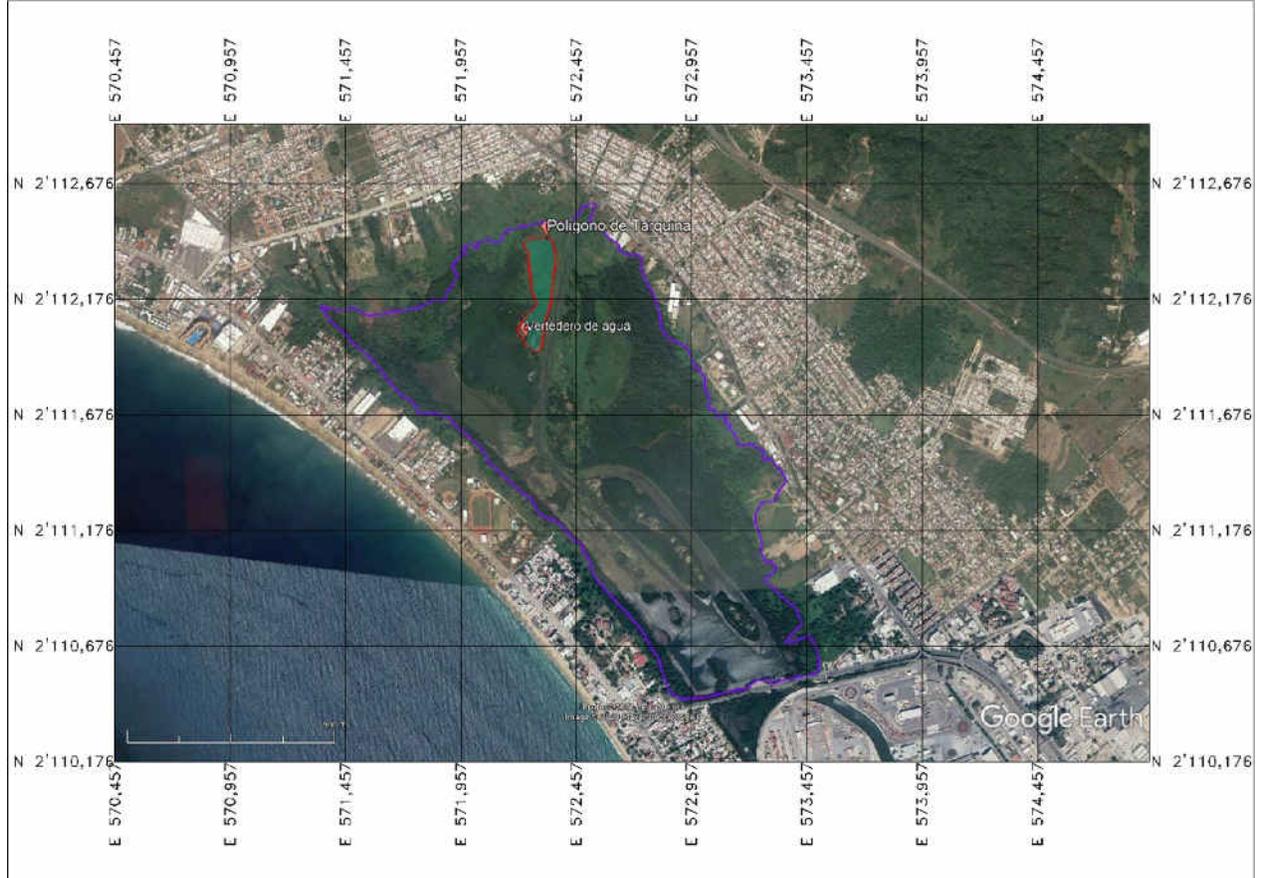
Al depositarse el material dragado en la tarquina, el agua debe excesiva debe regresar al vaso lagunar sin alguna mezcla de sedimento, sin embargo, se observa que el agua regresa con material dragado. (Figura 43).

### III.3.20      Ubicación, dimensiones y descarga de la tarquina.



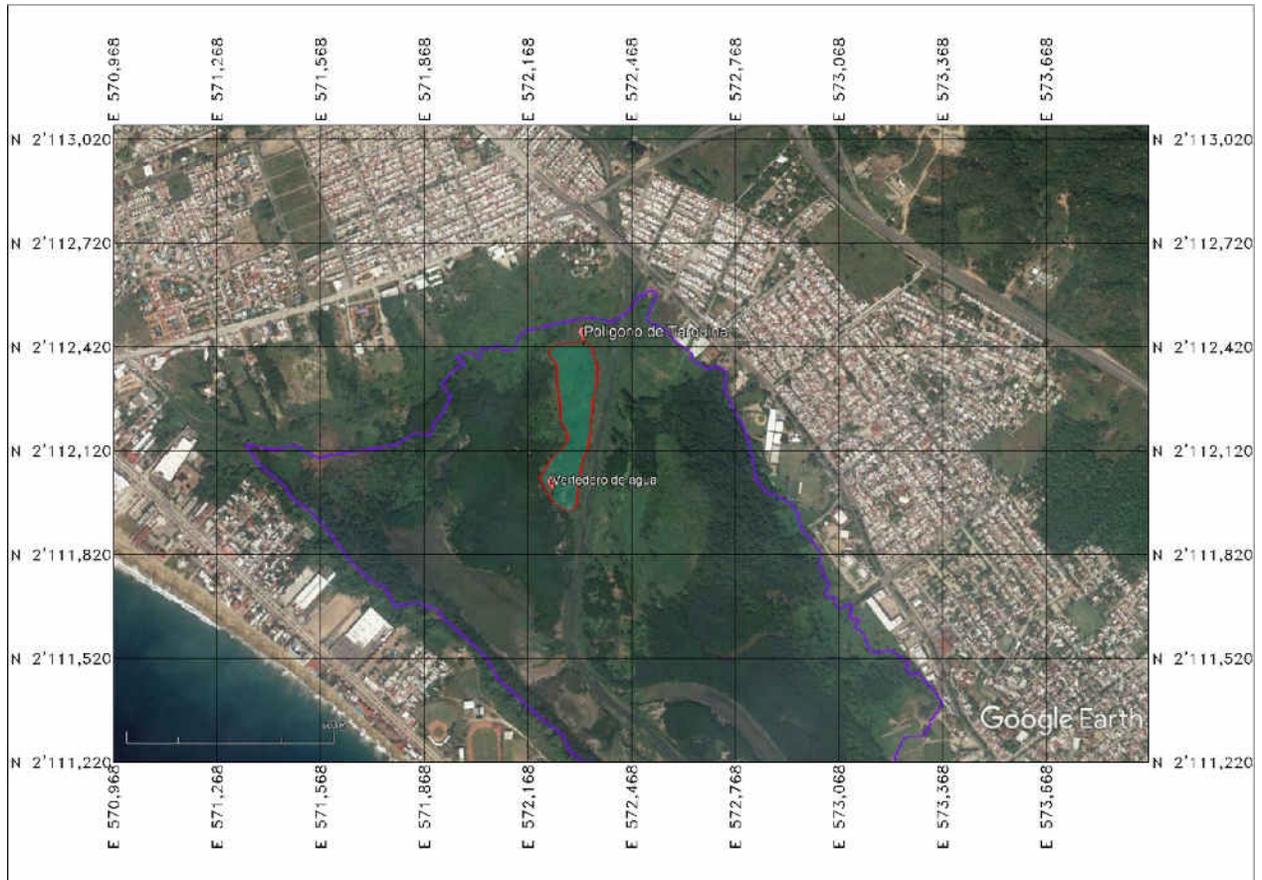
**Figura 44 Ubicación de tarquina y draga.**

El día 1 de marzo de 2020 se realizó una visita a la Laguna del Valle de las Garzas haciendo un recorrido por el área para la ubicación de la tarquina, la descarga de agua proveniente de la tarquina y la draga en ese momento. Se observa la ubicación en la (Figura 34).



**Figura 45 Ubicación de los puntos de interés dentro de la Zona Federal Estero del Valle de las Garzas.**

En la (Figura 45) se observa que la tarquina se encuentra dentro de la Zona Federal del Estero del Valle de las Garzas por lo que los trabajos de retiro y depósito de material dragado quedan dentro del área de desazolve.



**Figura 46 Polígono lagunar con polígono de tarquina.**

Dentro del polígono lagunar se observa que se encuentra el polígono de la tarquina (Figura 46). Las dimensiones del polígono de la tarquina obtenidas con el software Google Earth son perímetro 1,172 metros y área de 4.58 ha.

### III.3.21 Estimación de pérdida de suelo

Para la estimación de pérdida de suelo será utilizada la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) por sus siglas en inglés la cual consiste en calcular la pérdida de suelo o erosión en un área determinada. La ecuación fue desarrollada para predecir mediante un método establecido la pérdida anual de suelo medida anualmente y producida por un área influenciada por un cauce de agua es decir la cuenca hidrográfica de un río determinado. Esta ecuación estima la media pérdida de la tierra anual de la cuenca y la erosión del río. La situación se modela para datos específicos de campo.

### III.3.22 Ecuación USLE

La Ecuación Universal de Perdida de Suelo (USLE) por sus siglas en inglés se conforma por las siguientes variables las cuales corresponden a intensidad de lluvia, tipo de suelo, distancia e inclinación del terreno, cobertura vegetal en la zona de estudio y las prácticas de conservación de suelo. La ecuación es la siguiente:

$$A = R * K * L * S * C * P$$

Donde:

A es la pérdida de suelo por unidad de área (ton/ha.año).

- R es el factor erosividad de la lluvia en Mjmm/ha.año.

$$EI_{30} = (E) * (I_{30})$$

Donde:

$EI_{30}$  = índice de erosividad para un evento (MJ mm/ha hr)

E = Energía cinética de la lluvia (MJ/ha)

I = intensidad máxima en 30 minutos continuos de lluvia (mm/hr)

Con la suma de todos los  $EI_{30}$  de cada uno de los eventos del año, se obtiene el índice de erosividad anual (R). Entonces:

$$R = \sum_{i=1}^n (EI_{30})$$

Donde:

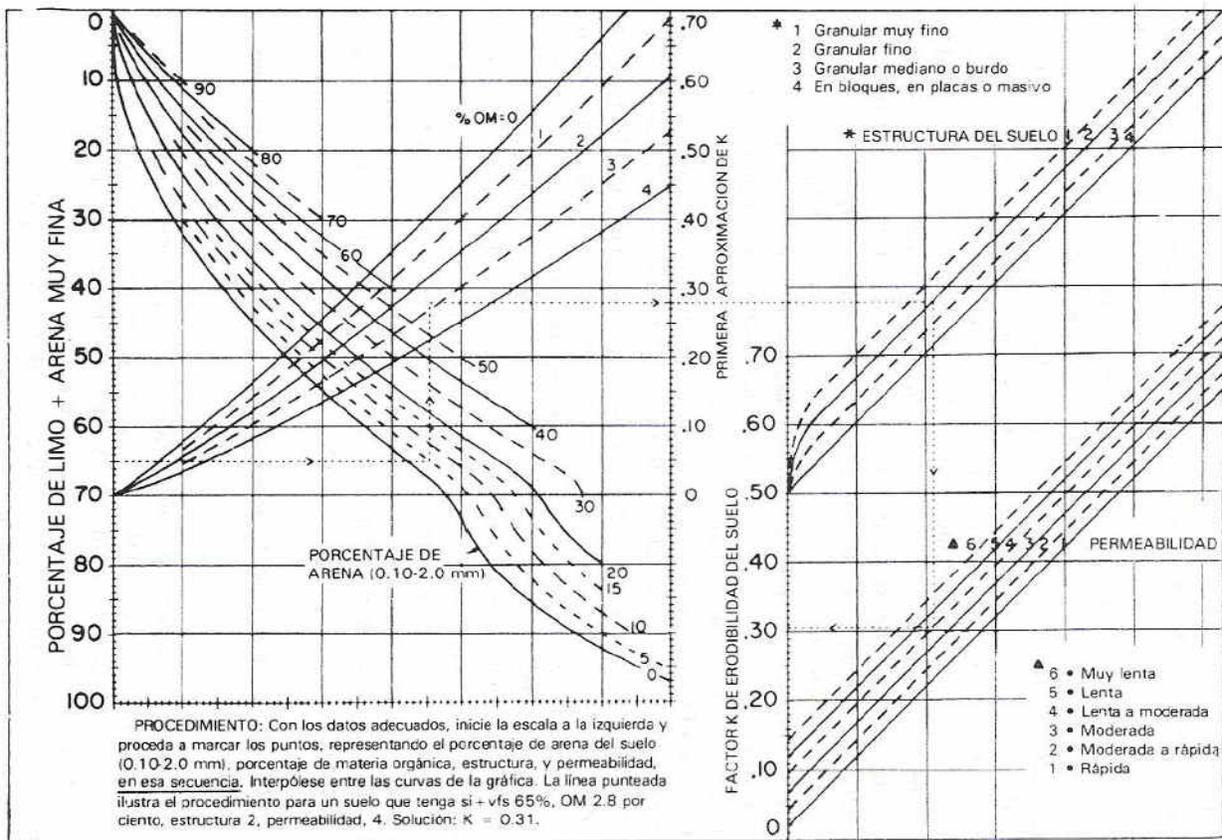
R = Erosividad de la lluvia

n = número de eventos durante el año

$EI_{30}$  = índice de erosividad para un evento

- K es el factor erosividad del suelo en (ton/ha)/(Mj.mm/ha.h)

Se propone una ecuación donde se incluyen los siguientes factores: porcentaje de limo+ arena fina (partículas de 0.002 a 0.1 mm de diámetro); porcentaje de arena (partículas de 0.1 a 2.0 mm); contenido de materia orgánica (%); estructura y permeabilidad. Los valores de los primeros cuatro parámetros son valores promedios para los primeros 20 cm y se estiman en laboratorio, a partir de muestra de suelo. La estructura y permeabilidad se determinan en campo considerando la valoración que se da en un nomograma a estructura en los primeros 20 cm y la permeabilidad en todo el perfil del suelo. Con el uso de este monograma ( ) se determinan valores promedio anuales del factor K, sin embargo, es necesario indicar que este factor presenta variaciones de una estación a otra durante el ciclo de desarrollo del cultivo.



**Figura 47 Nomograma para determinar la erosionabilidad del suelo.**

- L es el factor longitud de la pendiente (adimensional).
- S es el factor grado de pendiente del terreno (adimensional).

Para determinar el factor LS se calculará con las siguientes ecuaciones.

$\lambda$  es la longitud de la pendiente en metros.

$$L = \left(\frac{\lambda}{22.13}\right)^m$$

El exponente  $m$  varía de acuerdo con la pendiente (factor S)

$$m = \frac{F}{1+F}$$

El factor S se calcula con la fórmula:

$$F = \frac{\sin \beta / 0.0896}{3(\sin \beta) 0.8 + 0.56}$$

$\beta$  es el Angulo de inclinación del terreno uniforme en grados.

- C es el factor de uso de suelo y manejo de la vegetación (adimensional).

El factor C es considerado factor atenuante y toma valores de 0 a 1, correspondiendo el valor de la unidad al suelo que está desnudo, sin cobertura vegetal y en barbecho. El valor de C en la Ecuación es multiplicativo y a medida que aumenta la cobertura vegetal en densidad y frecuencia, el valor de C tiende a disminuir.

- P es el factor prácticas de conservación (adimensional).

Las prácticas mecánicas o manejo del terreno son un factor atenuante del proceso erosivo. Su principal objetivo es controlar los escurrimientos superficiales para disminuir la erosión hídrica en terrenos con pendiente. En la EUPS el valor de P varía de 0 a 1 e indica el valor de la práctica de conservación al compararse con un terreno continuamente barbechado en el sentido de la pendiente (adimensional). Cuando no se realizan prácticas, P es igual a 1.

Con esta ecuación en particular se pretende determinar la cantidad de azolve que se pueda presentar como pérdida de suelo del área de estudio en temporada de lluvia el cual tiene como destino el vaso lagunar del Valle de las Garzas obteniendo cantidades estimadas de sedimento aportado por la cuenca.

### III.3.23 Sedimento proveniente de la cuenca.

Para determinar el sedimento proveniente de la cuenca se desarrolló la fórmula de USLE.

Para obtener el resultado de la estimación de pérdida de suelo para el cálculo de azolve, se hará el análisis del cálculo dentro del software ArcGIS versión 10.3 utilizando sus extensiones ArcMap, ArcCatalog, ArcGlobe y ArcSense. Utilizando estas variantes en conjunto se tendrán los datos requeridos.

En este análisis estimación de pérdida de suelo será utilizada la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) por sus siglas en inglés la cual consiste en calcular la pérdida de suelo o erosión en un área determinada. La ecuación fue desarrollada para predecir mediante un método establecido la pérdida anual de suelo medida anualmente y producida por un área influenciada por un cauce de agua es decir la cuenca hidrográfica de un río determinado. Esta ecuación estima la media pérdida de la tierra anual de la cuenca y la erosión del río. La situación se modela para datos específicos de campo.

La ecuación es:

$$A = R * K * L * S * C * P$$

Donde:

A es la pérdida de suelo por unidad de área (ton/ha.año).

- R es el factor erosividad de la lluvia en (Mjmm/ha.año).

$$EI_{30} = (E) * (I_{30})$$

Donde:

$EI_{30}$  = índice de erosividad para un evento (MJ mm/ha.hr)

E = Energía cinética de la lluvia (MJ/ha)

I = intensidad máxima en 30 minutos continuos de lluvia (mm/hr)



Con la suma de todos los  $EI_{30}$  de cada uno de los eventos del año, se obtiene el índice de erosividad anual (R). Entonces:

$$R = \sum_{i=1}^n (EI_{30})$$

Donde:

R = Erosividad de la lluvia

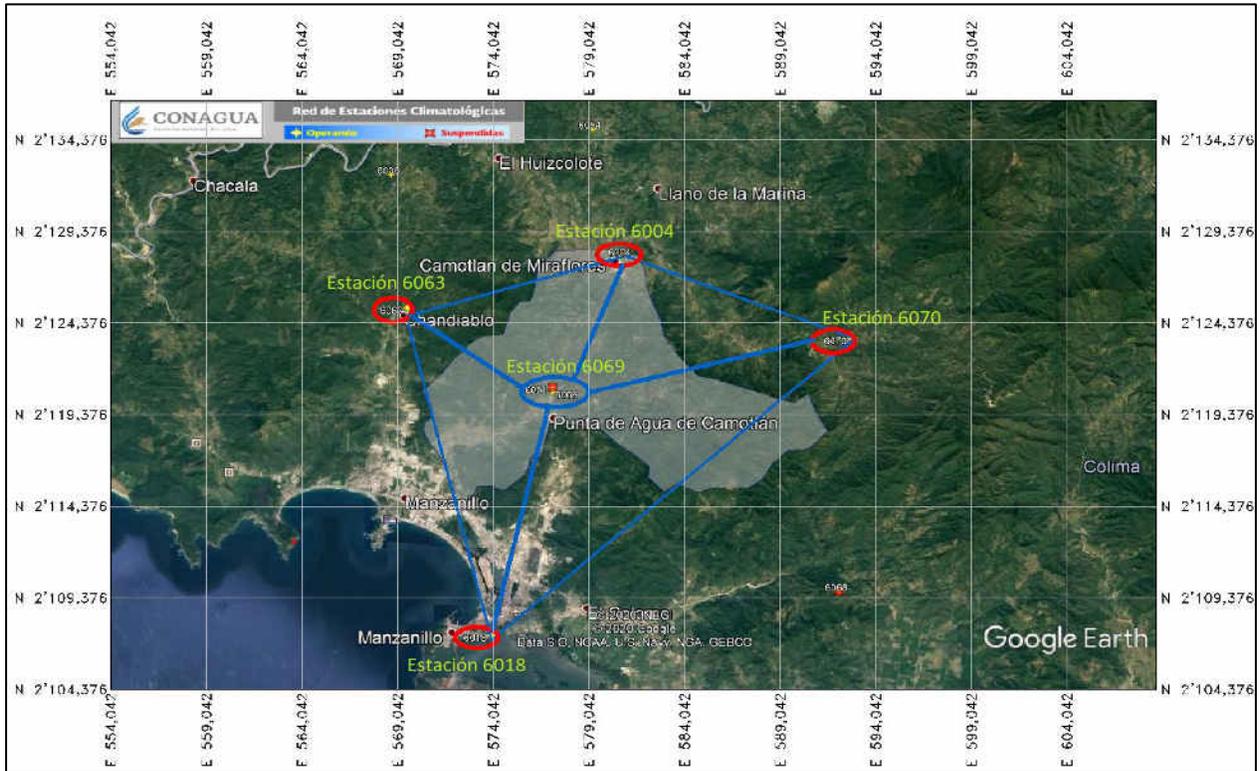
n = número de eventos durante el año

$EI_{30}$  = índice de erosividad para un evento

Para resolver esta variable es necesario tener datos de precipitación los cuales serán obtenidos de las estaciones meteorológicas más cercanas a la cuenca que se tiene en estudio. Se encuentran 5 estaciones y sus datos se muestran en la Tabla 11 con información detallada de cada una de ellas.

**Tabla 11. Datos de las estaciones meteorológicas.**

ESTACIÓN	6063	6004	6070	6018	6069
NOMBRE	CHANDIABLO	COMATLAN	SAN JOSE DE LUMBER	MANZANILLO (OBS)	PUNTA DE AGUA
ESTADO	COLIMA	COLIMA	COLIMA	COLIMA	COLIMA
MUNICIPIO	MANZANILLO	MANZANILLO	MANZANILLO	MANZANILLO	MANZANILLO
SITUACIÓN	OPERANDO	OPERANDO	OPERANDO	OPERANDO	OPERANDO
ORGANISMO	CONAGUA-DGE	CONAGUA-DGE	CONAGUA-DGE	CONAGUA-SMN	CONAGUA-DGE
CVE-OMM	Nulo	Nulo	Nulo	76654	Nulo
LATITUD	19.203	19.225	19.184	19.049	19.162
LONGITUD	-104.335	-104.232	-104.126	-104.298	-104.266
ALTITUD msnm	131	376	557	3	80



**Figura 48. Ubicación de las estaciones meteorológicas en la zona de estudio.**

En la Figura 48 se observa la distribución de las estaciones meteorológicas en la zona de estudio las cuales con sus datos a través de una interpolación se podrá tener el registro de lluvia dentro del área de estudio y con esto se tendrá el resultado del factor de erosividad de lluvia.



**Figura 49. Ubicación de las estaciones climatológicas.**

Ubicando las estaciones en la zona de estudio en el software de ArcMap Figura 49, se insertaron con los datos correspondientes extraídos de cada estación obtenidos de un .kml de Google Earth. Realizando el estudio de 20 años atrás se realizó un promedio por estación para insertar valores dentro del software ArcMap para lograr hacer una interpolación con la herramienta interpolation de ArcMap. Teniendo el resultado de la interpolación se ubica el valor del Factor R en la cuenca de estudio.

- K es el factor erosividad del suelo en  $(\text{ton/ha}) / (\text{Mj.mm/ha.hr})$

Se propone una ecuación donde se incluyen los siguientes factores: porcentaje de limo+ arena fina (partículas de 0.002 a 0.1 mm de diámetro); porcentaje de arena (partículas de 0.1 a 2.0 mm); contenido de materia orgánica (%); estructura y

permeabilidad. Los valores de los primeros cuatro parámetros son valores promedios para los primeros 20 cm y se estiman en laboratorio, a partir de muestra de suelo. La estructura y permeabilidad se determinan en campo considerando la valoración que se da en un nomograma a estructura en los primeros 20 cm y la permeabilidad en todo el perfil del suelo. Se encontró un mapa de suelos digitales del mundo el cual ya se encuentra establecido en formato compatible para manipulación del archivo en ArcGis. Figura 50

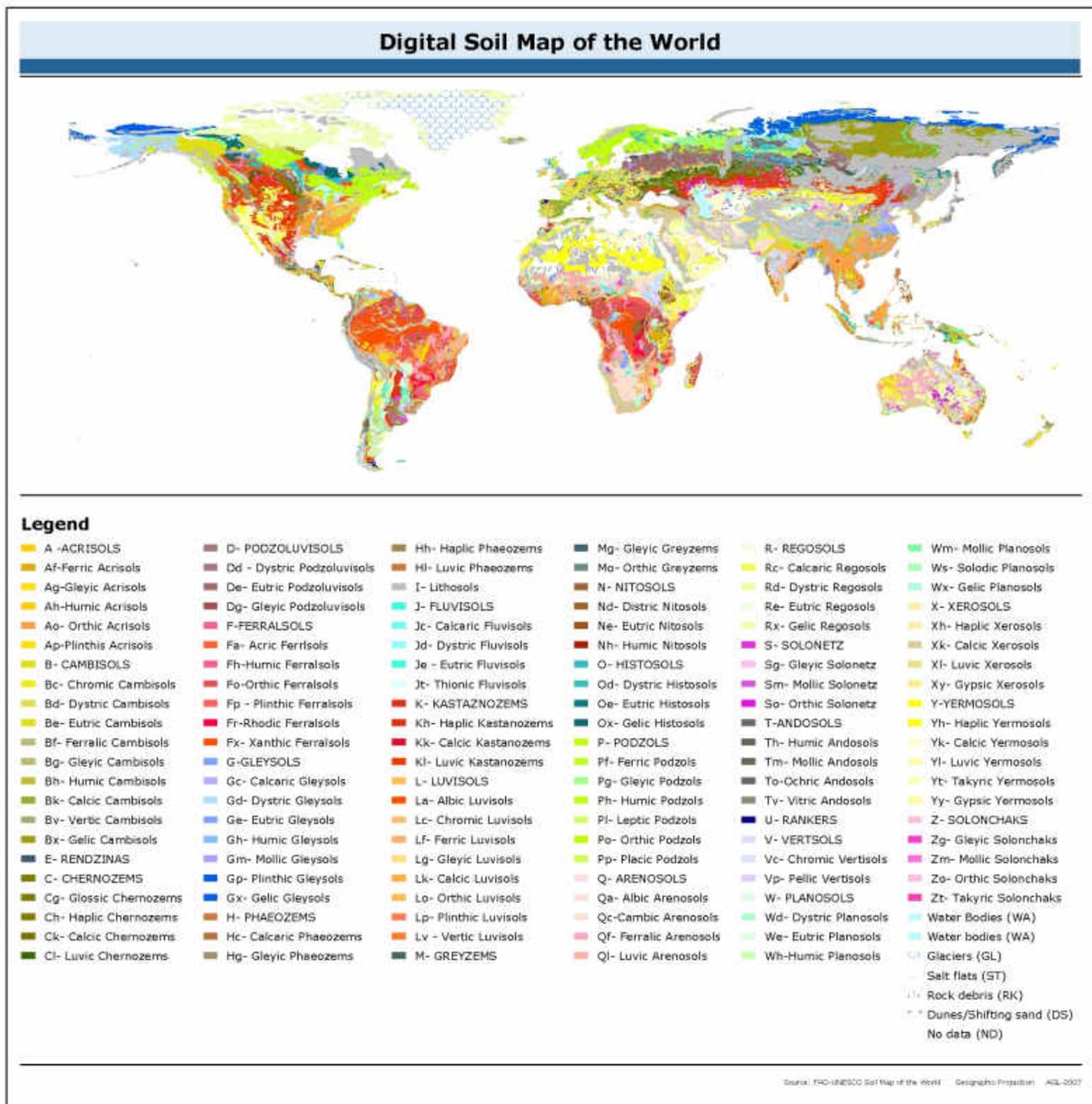


Figura 50 Mapa de Suelos Digitales del Mundo (DSMW).

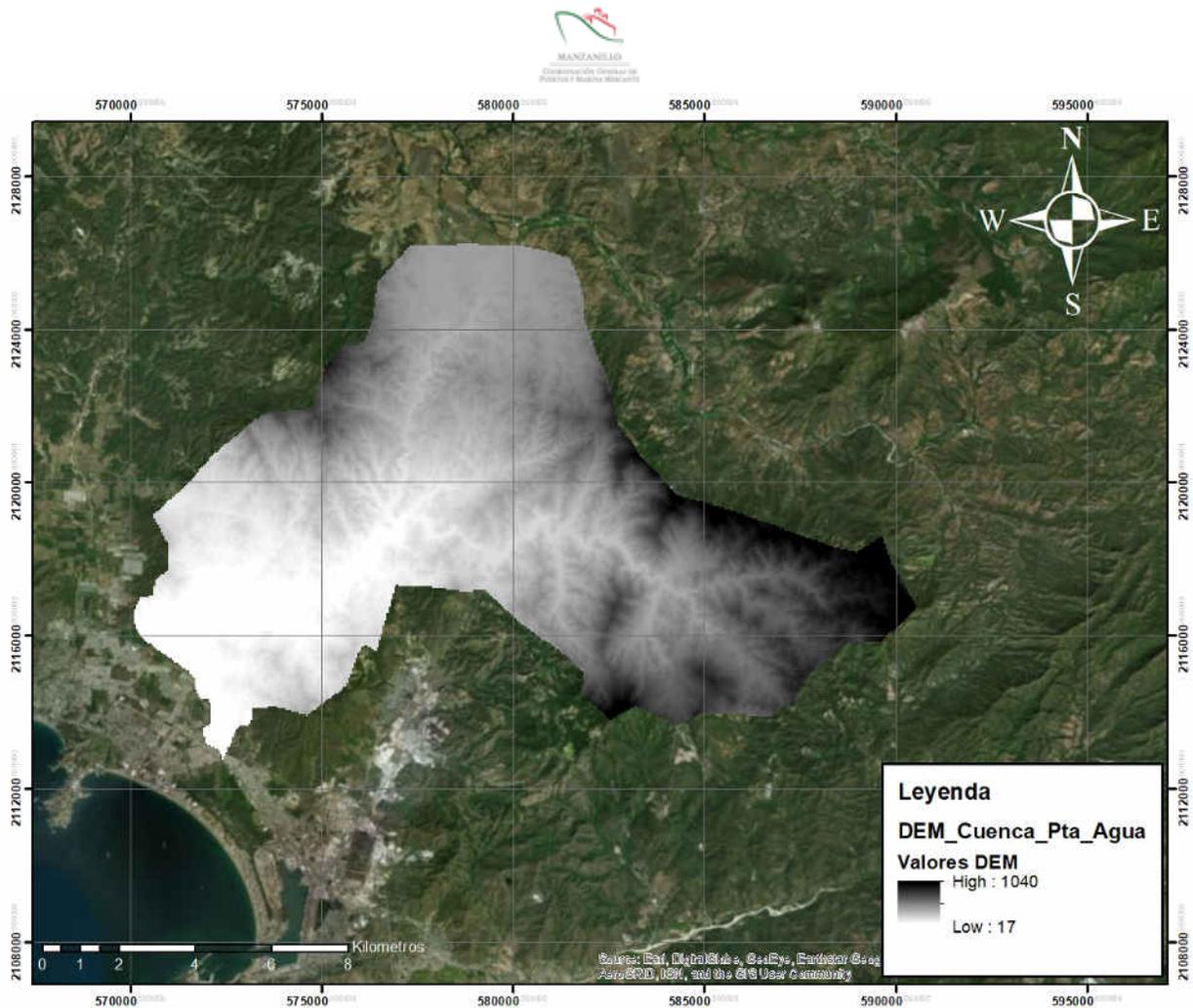
Recopilando información de la FAO se obtuvieron los datos necesarios en formato Shape File del Mapa de Suelos Digitales del Mundo (DSMW) por sus siglas en inglés Figura 50, los cuales fueron procesados dentro del software ArcMap para la obtención del Factor K para la cuenca de estudio.

- L es el factor longitud de la pendiente (adimensional).

Para determinar el factor L, es necesario obtener el resultado de la variable lambda ( $\lambda$ ) y el exponente (m) los cuales son necesarios para resolver la ecuación que da como resultado el factor L

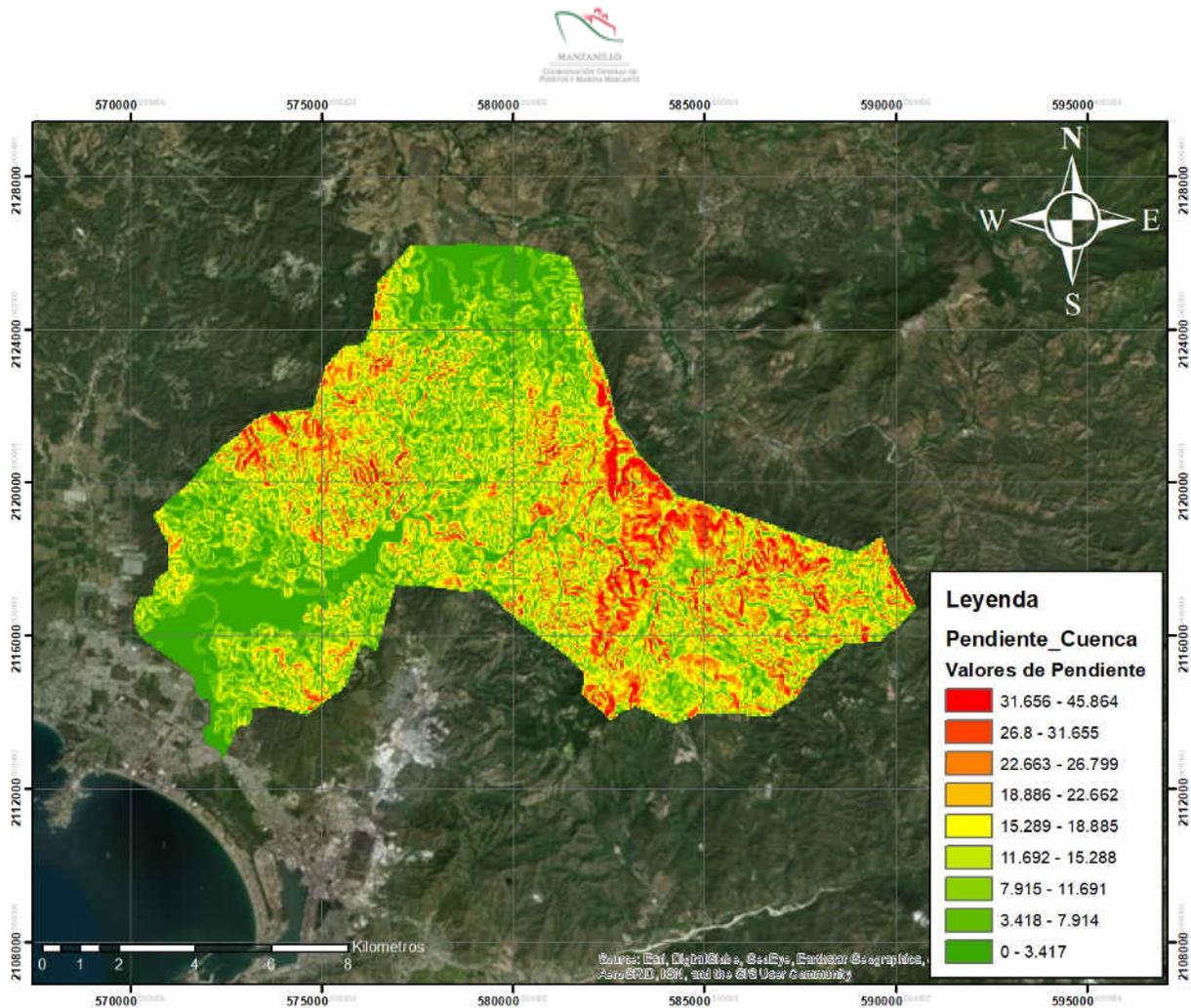
$$L = \left(\frac{\lambda}{22.13}\right)^m$$

Descargando datos que se encuentran en el portal oficial del INEGI, se obtienen en formato Bil el Modelo Digital de Elevación (DEM) por sus siglas en inglés, y se extrae el área de interés de estudio Figura 51.



**Figura 51. DEM de la zona de estudio.**

Teniendo el DEM de la zona, se procede con las herramientas de ArcMap para realizar el proceso de datos. Como los datos de resultado del factor L y S son para determinar la pendiente, se trabajará con la herramienta Slope que se encuentra en ArcToolBox dentro de ArcMap, la cual generará la pendiente que se encuentra dentro del área de estudio.



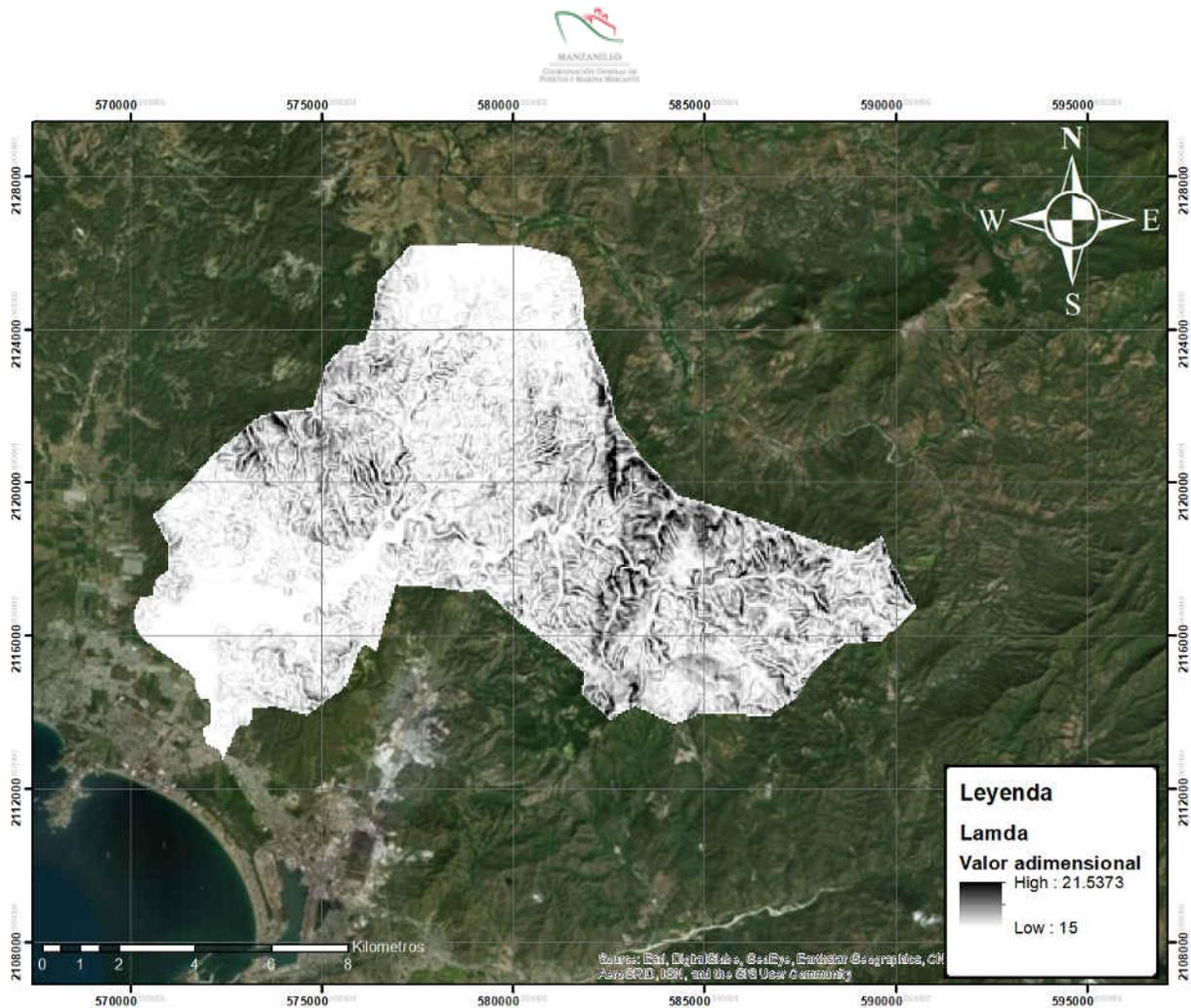
**Figura 52. Pendiente en la zona de estudio.**

El resultado de la Figura 52 se obtiene con unidades de grados para la pendiente. Teniendo estos resultados se trabajará con las variables que determinan L y S. La primera variable que se obtendrá será lambda ( $\lambda$ ) Figura 7 usando la siguiente ecuación.

$$\lambda = \frac{DX}{\cos\theta}$$

Donde: DX es la distancia entre pixeles.

En este caso se utilizó la herramienta el modelo de elevación digital que se obtuvo en el portal del INEGI con una distancia entre pixeles de 15 m y el ángulo se obtuvo con la herramienta Slope de ArcMap.



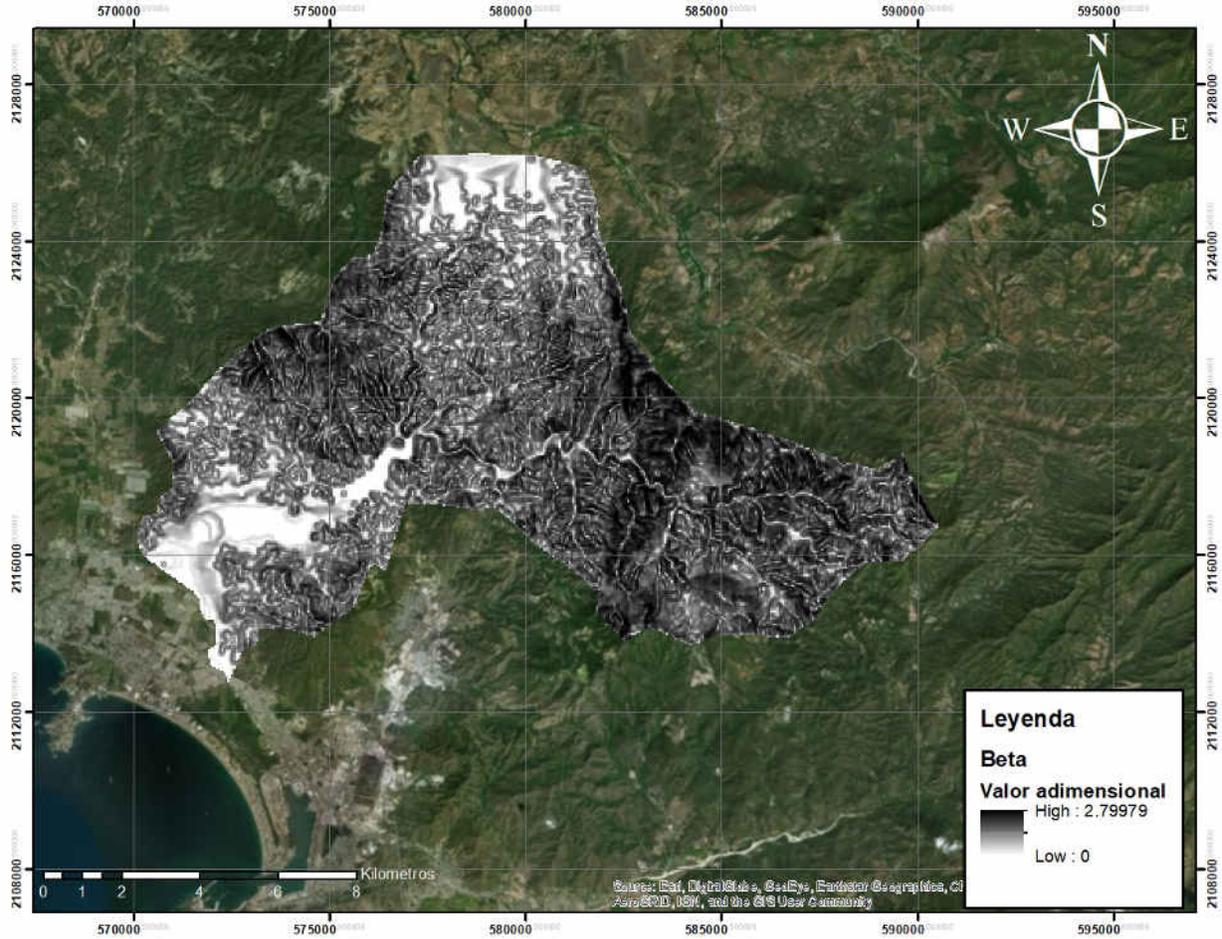
**Figura 53. Valor de Lambda ( $\lambda$ ) en la zona de estudio.**

Este valor de la variable Lambda ( $\lambda$ ) Figura 53 procede del cálculo usando la herramienta Raster Calculator.

Además del factor de Lambda se necesita el valor de Beta ( $\beta$ ) para poder determinar la variable del exponente m, por lo que se calculara Beta ( $\beta$ ) primeramente.

Para calcular Beta ( $\beta$ ) se utilizó la siguiente formula.

$$\beta = \frac{\sin \theta / 0.0896}{3(\sin \theta) 0.8 + 0.56}$$

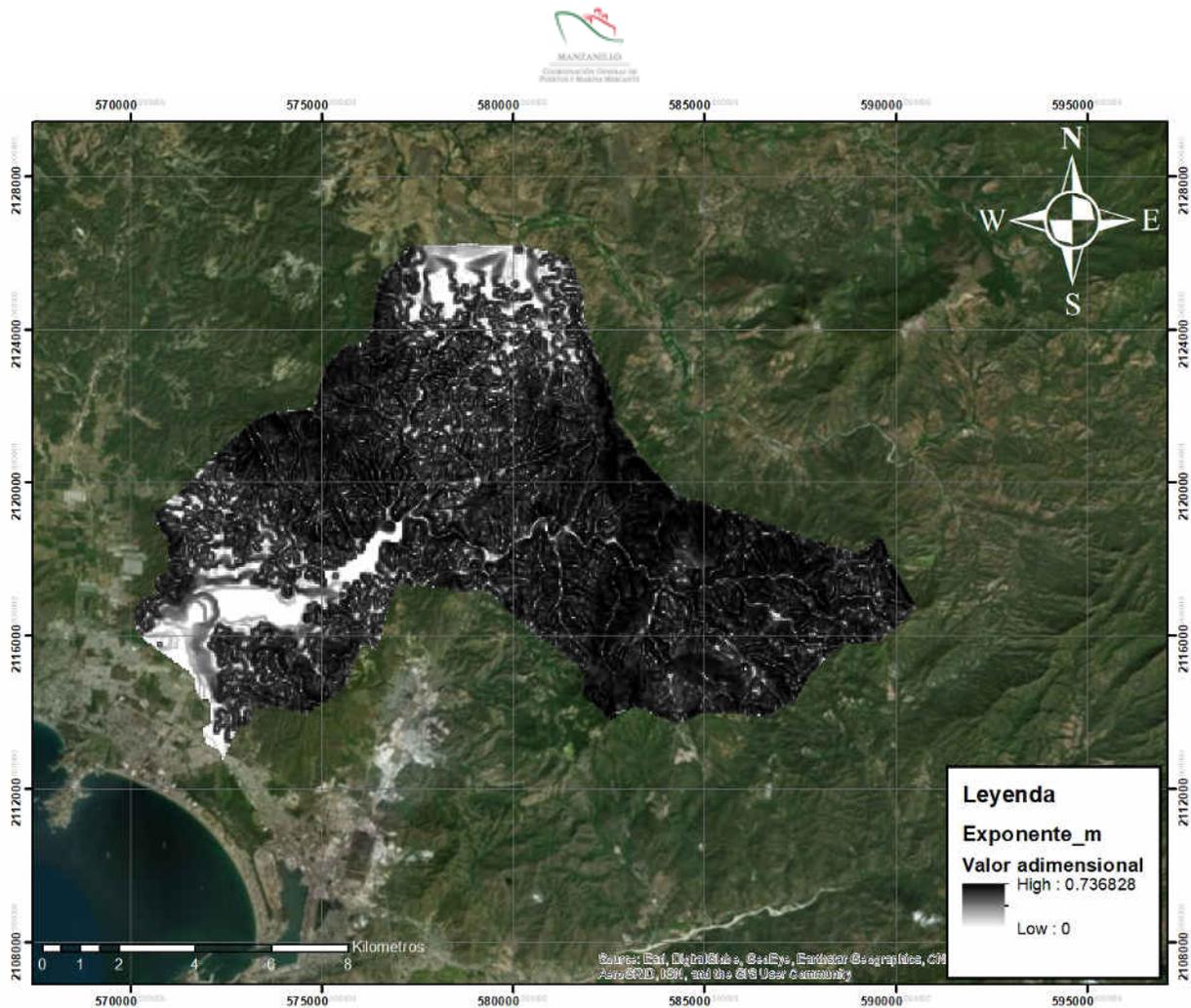


**Figura 54. Valor de Beta ( $\beta$ ) en la zona de estudio.**

Valores de Beta ( $\beta$ ) adimensionales Figura 54 en la zona de estudio los cuales servirán para el cálculo del exponente  $m$  el cual es necesario para obtener  $L$ .

Siguiendo la fórmula del exponente  $m$ , es necesario el valor de Beta, por lo que se precederá a realizar el cálculo y resultado de  $m$  en la Figura 55.

$$m = \frac{\beta}{1 + \beta}$$



**Figura 55. Valor del exponente m en la zona de estudio.**

Estos resultados de las variables son necesarias para poder realizar el cálculo del factor L el cual está asociado a la distancia horizontal desde donde se origina el flujo superficial hasta el punto donde el escurrimiento encuentra un punto de salida.

Para esta variable se seguirá la siguiente formula que incluye a Lambda y al exponente m.

$$L = \left(\frac{\lambda}{22.13}\right)^m$$

- S es el factor de grado de pendiente (adimensional)

El factor S será calculado mediante la siguiente formula, la cual tiene un a condicionante por la inclinación de terreno que se ha calculado con la herramienta Slope que se encuentra en la caja de herramientas de ArcMap



$$S = 10.8 \sin \theta_{(i,j)} + 0.3, \text{ para } \tan \theta_{(i,j)} < 0.09$$

$$S = 16.8 \sin \theta_{(i,j)} + 0.5, \text{ para } \tan \theta_{(i,j)} \geq 0.09$$

- C es el factor de uso de suelo y manejo de la vegetación (adimensional).

El factor C es considerado factor atenuante y toma valores de 0 a 1, correspondiendo el valor de la unidad al suelo que está desnudo, sin cobertura vegetal y en barbecho. El valor de C en la Ecuación es multiplicativo y a medida que aumenta la cobertura vegetal en densidad y frecuencia, el valor de C tiende a disminuir.

Para este factor se utiliza un conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación con clave E13-2 (Manzanillo) en escala 1:250,000 serie V (Conjunto Nacional) en formato Shape File (Shp). Esta serie de datos contiene información del uso de suelo y vegetación para la zona de estudio.

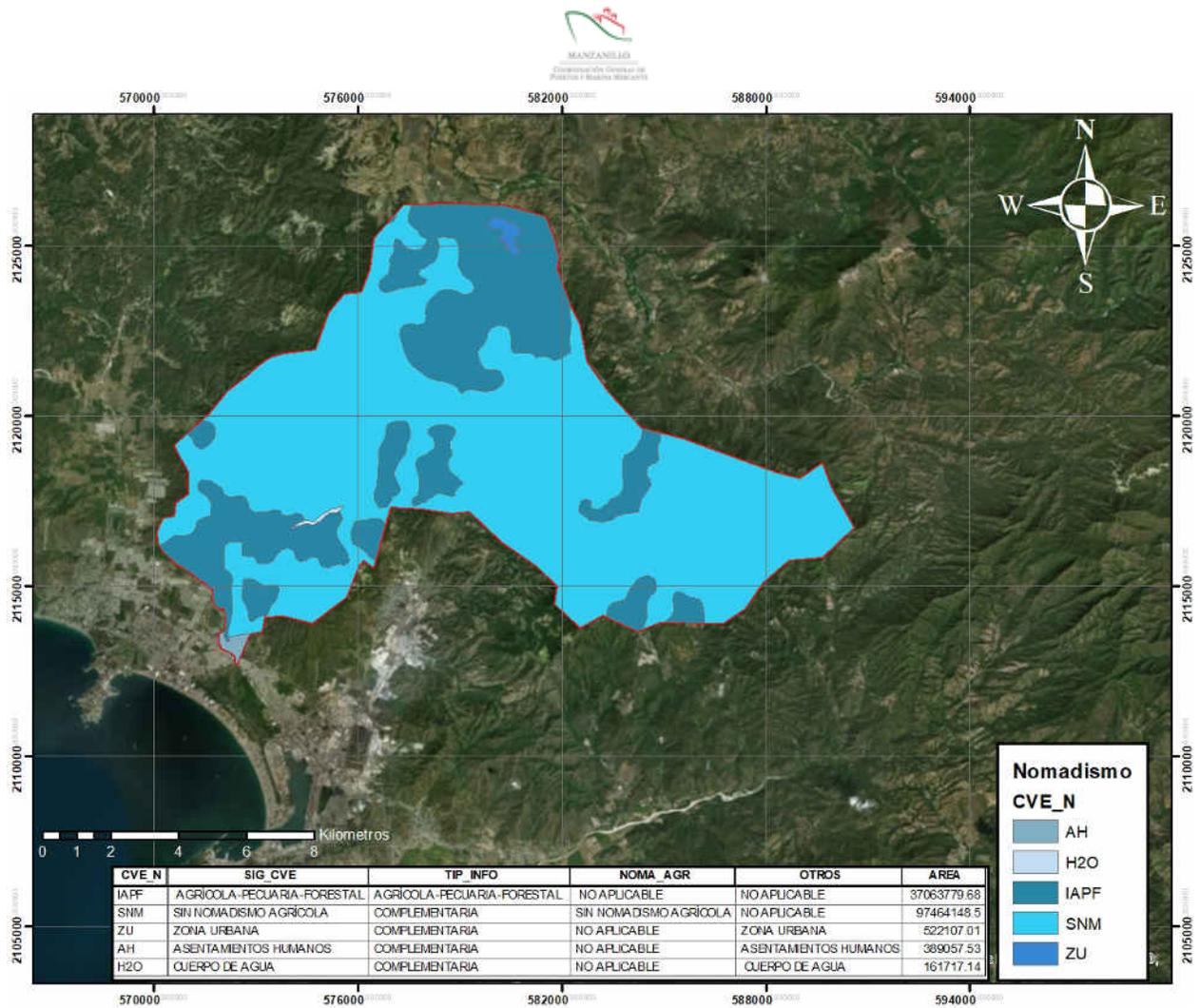
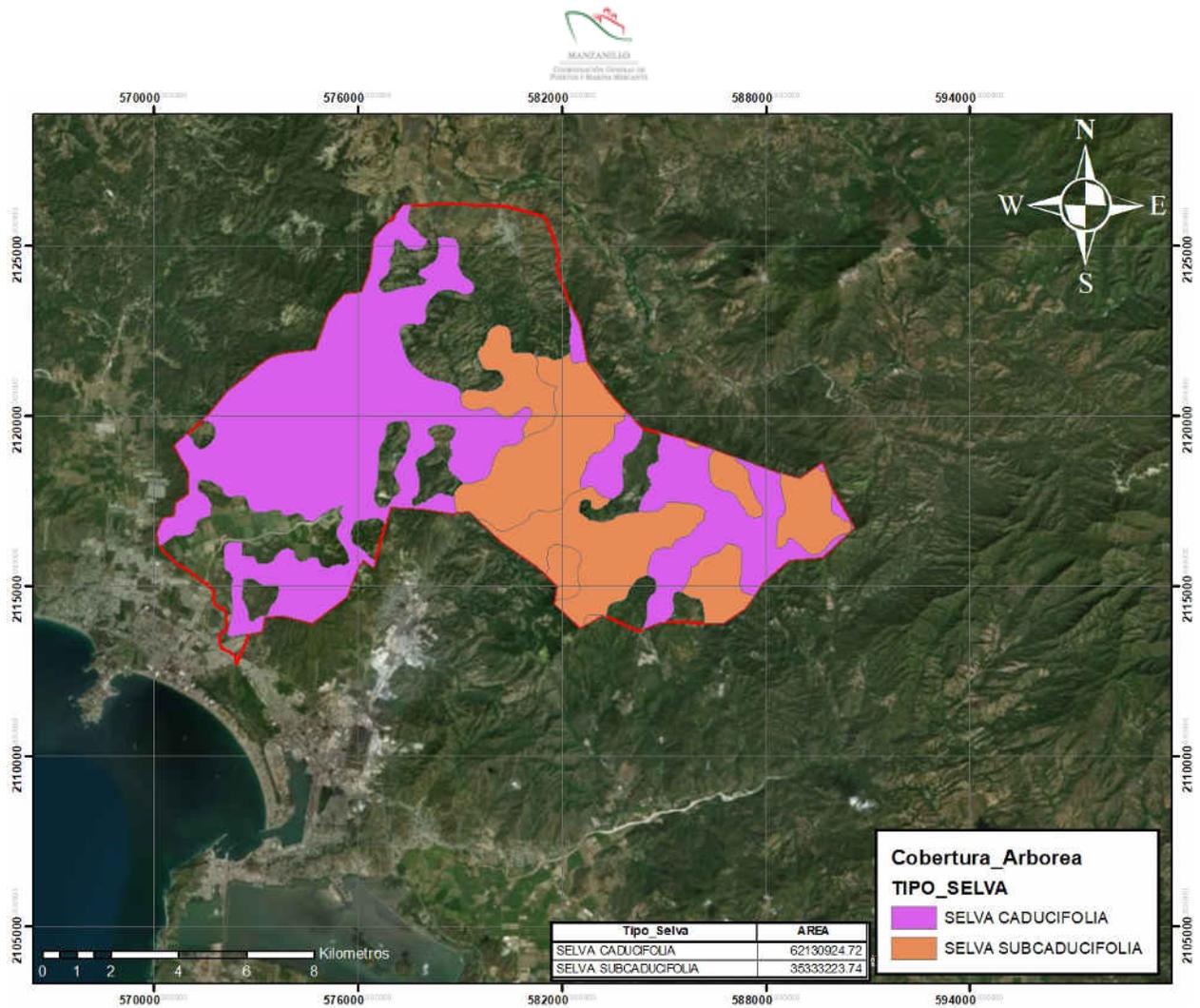


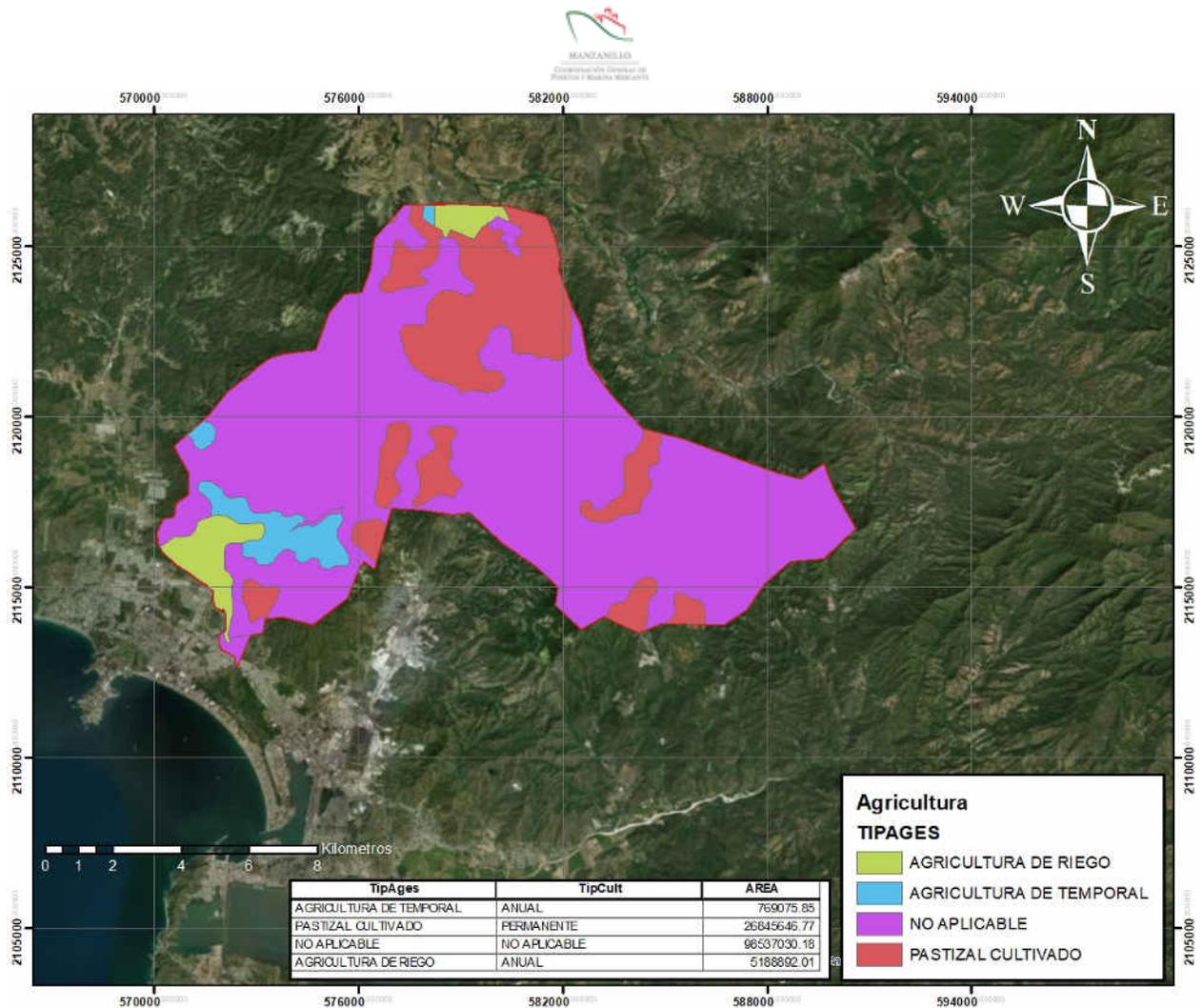
Figura 56. Nomadismo en la zona de estudio.

Dentro de la carta que se obtuvo se encontró con información de nomadismo Figura 56 el cual se refiere al tipo de uso de suelo que se da en la zona.



**Figura 57. Tipo de cobertura arbórea en la zona de estudio.**

Se determina el tipo de selva que hay en la zona de estudio Figura 57 diferenciándose con colores. Las áreas que no se encuentran coloreadas no contienen algún tipo de selva.



**Figura 58. Agricultura en la zona de estudio.**

Se obtienen los datos del tipo de agricultura que hay en la zona de estudio Figura 58 parte fundamental para determinar si el suelo queda expuesto a la intemperie sin ningún tipo de vegetación que lo cubra.

- P es el factor prácticas de conservación (adimensional).

Este último factor de la USLE recoge la influencia que tienen las prácticas de conservación de suelos sobre las tasas de erosión de una parcela, realizando los trabajos culturales o disponiendo la vegetación siguiendo curvas de nivel, en fajas o en terrazas para cortar las líneas de escorrentía. Cuando las prácticas de conservación no se aplican o son muy pocas el valor de P es igual a 1.

Resultados de la ecuación.

Con los resultados obtenidos en esta ecuación se pretende en particular determinar la cantidad de azolve que se pueda presentar como perdida de suelo del área de estudio en temporada de lluvia el cual tiene como destino el vaso lagunar del Valle de las Garzas obteniendo cantidades estimadas de sedimento aportado por la cuenca.

## Factor R

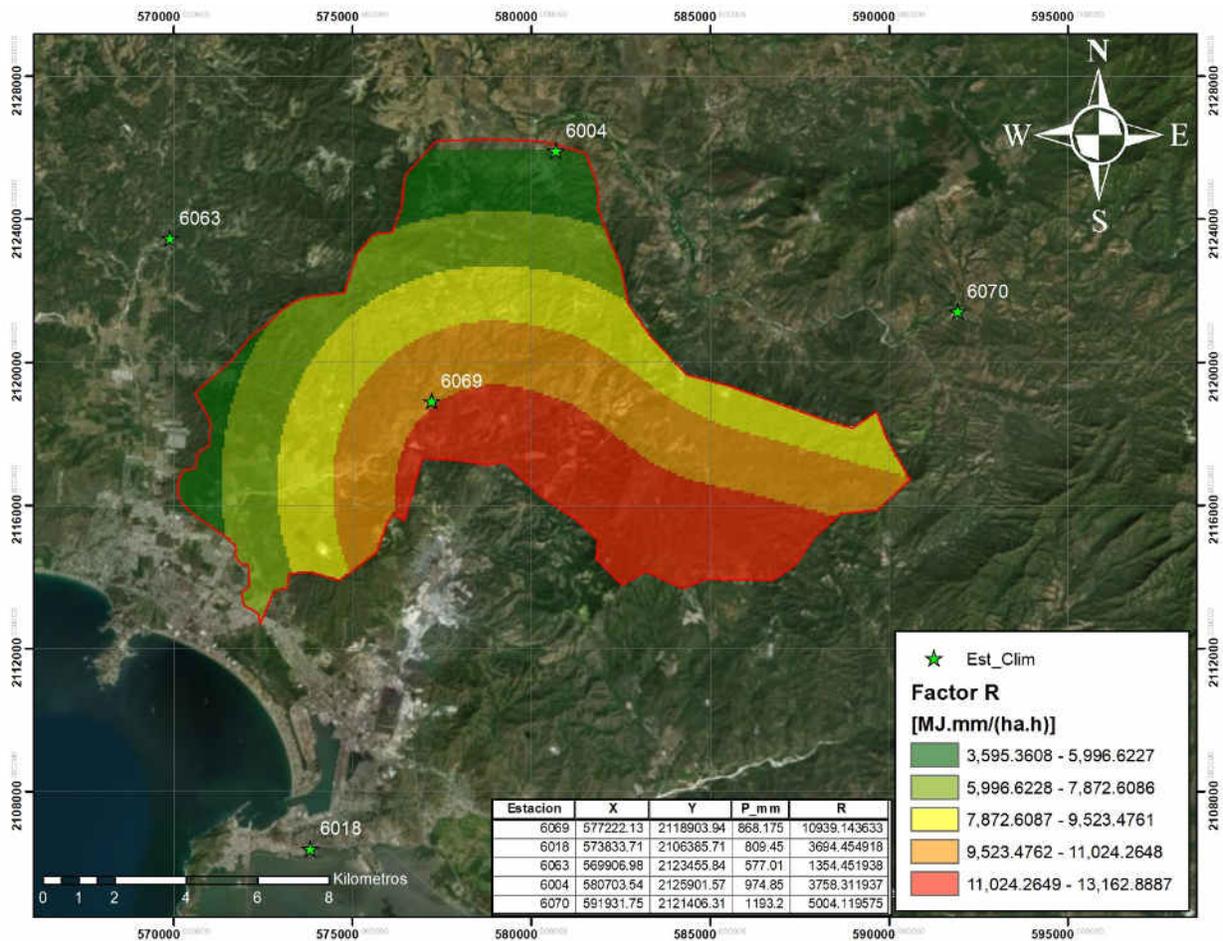
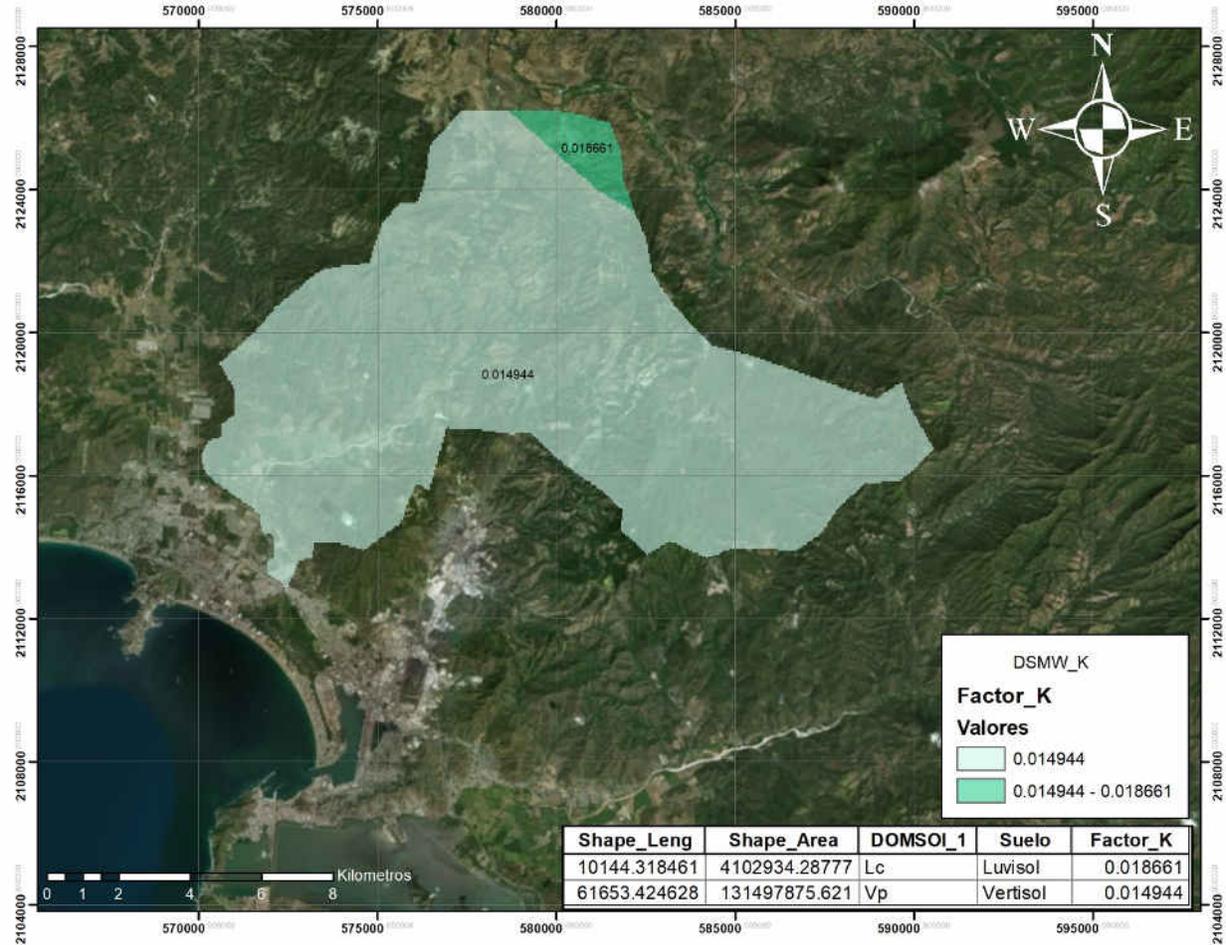


Figura 59. Valores del factor R en la zona de estudio.

El Factor R indica la energía que tiene la lluvia en la zona de estudio Figura 59, la cual toma parte importante en este cálculo pues entre más energía contenga la precipitación mayor será la afectación para el desprendimiento de las partículas del suelo.

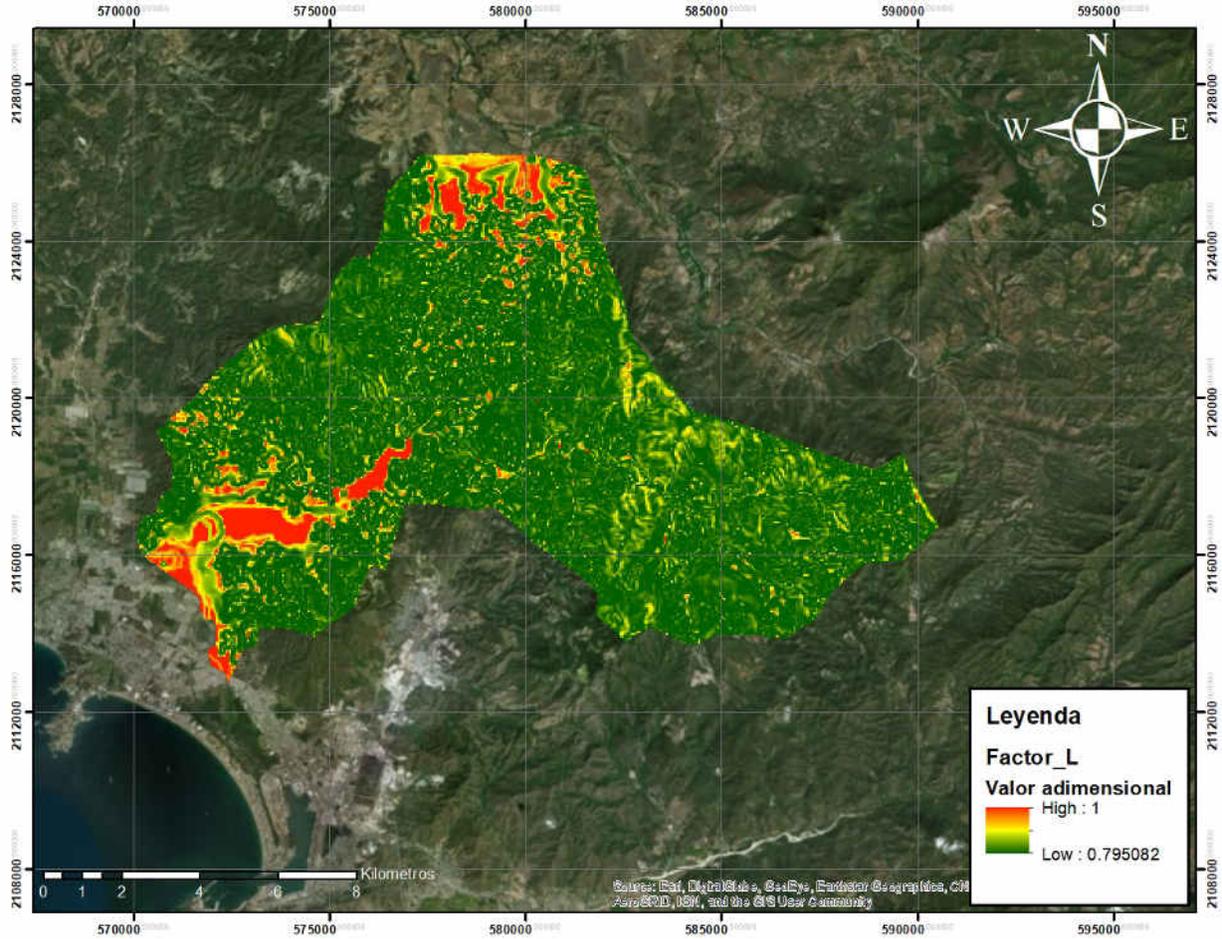
## Factor K



**Figura 60. Valores del factor K en la zona de estudio.**

Los valores del Factor K Figura 60 tendrán el indicio de determinar la posibilidad de la afectación que tendrá el suelo pues este valor define el tipo de suelo que se encuentra en la zona de estudio. Sin embargo, este se encuentra protegido por la vegetación que se encuentra sobre el suelo por lo que también se tendrá que tomar en cuenta el tipo de cobertura vegetal que hay en la zona.

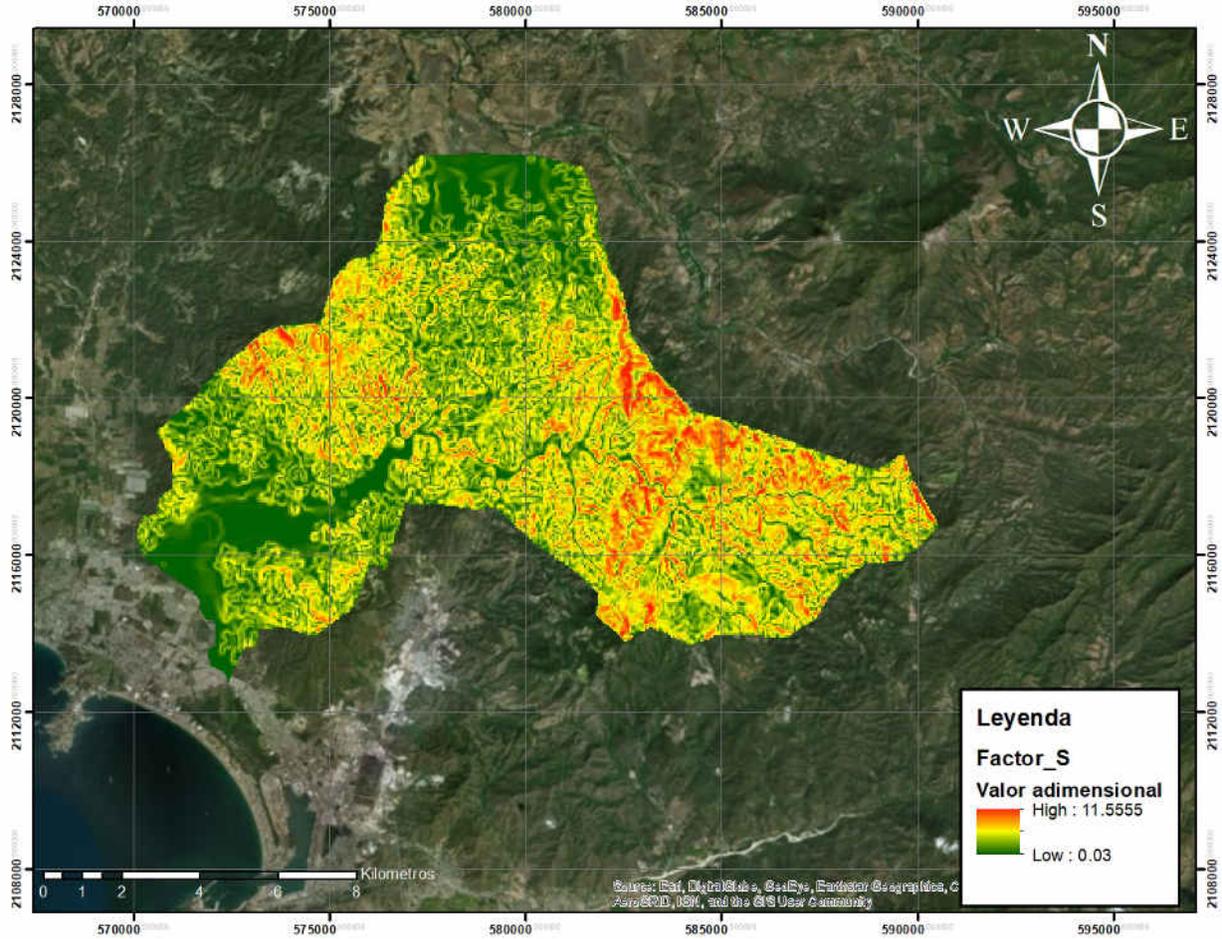
## Factor L



**Figura 61. Valor del factor L en la zona de estudio.**

El valor del factor L Figura 61 determina la distancia de la longitud de la pendiente la cual influye en el tiempo de recorrido que tendrá el flujo de alguna precipitación que se tenga dentro de la zona de estudio.

## Factor S



**Figura 62. Valor del factor S en la zona de estudio.**

El valor de S Figura 62 determina el grado de pendiente la cual modifica la permanencia del agua que circula por el terreno, cuando el terreno no tiene suficiente inclinación el agua tiene más probabilidad de infiltrarse en el suelo.

## Factor LS

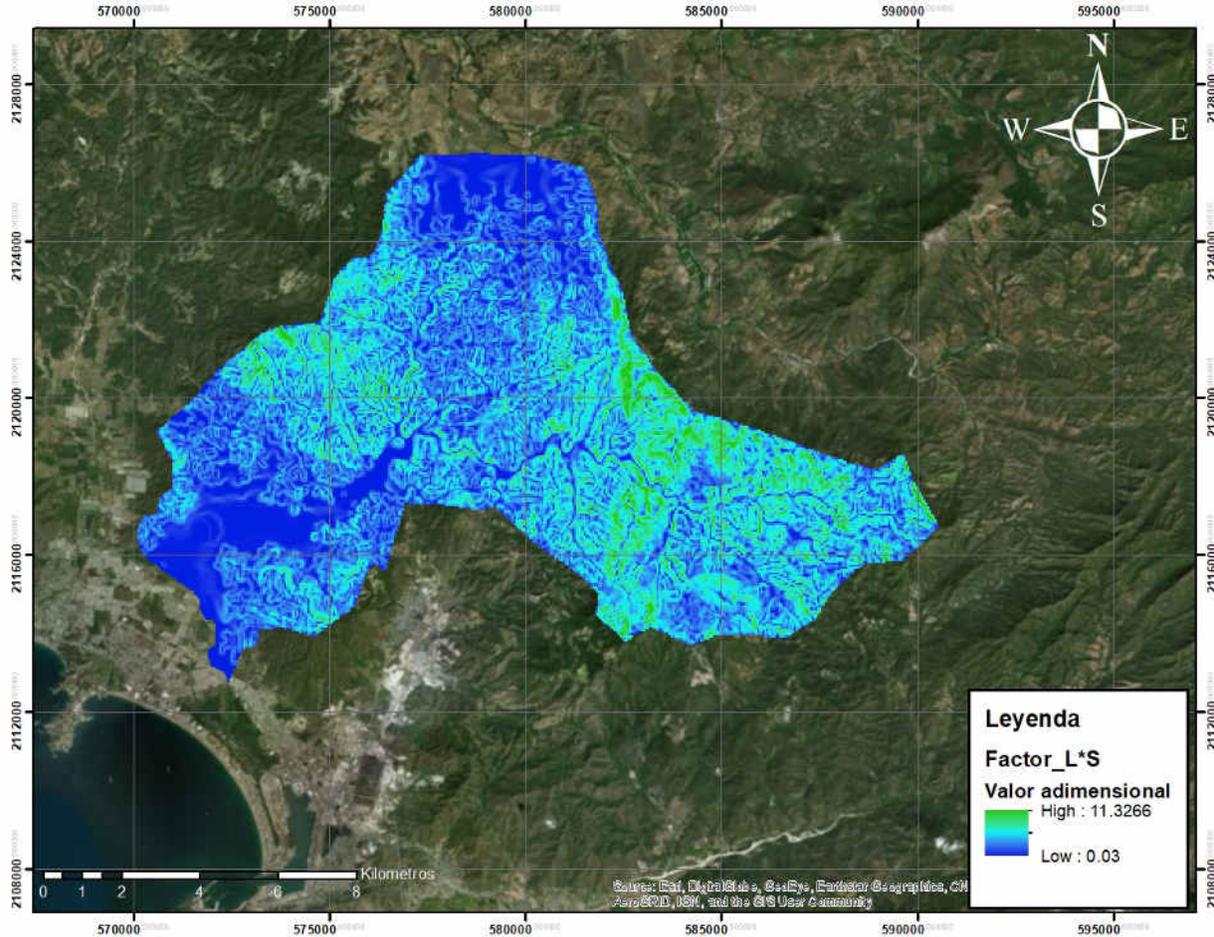
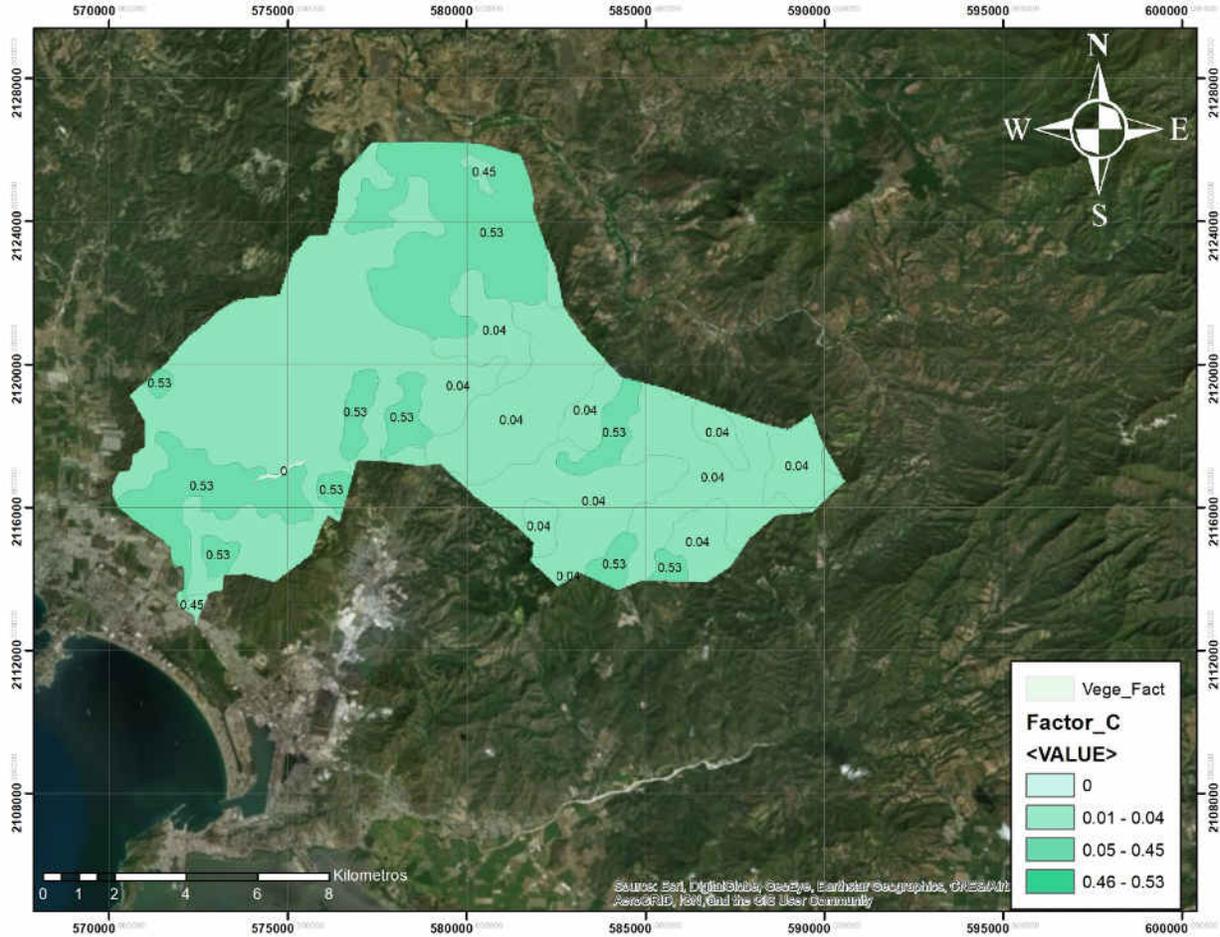


Figura 63. Valor de L\*S en la zona de estudio.

Teniendo los valores de L y S se obtiene los valores topográficos de toda la cuenca los cuales son importantes por la información de la pendiente que se encuentra en la zona. En la Figura 63 se muestra el valor final de los factores que determinan la topografía de toda la cuenca en estudio.

Este factor representa el efecto de la topografía sobre la erosión del suelo. La erosión aumenta conforme se incrementa la longitud del terreno (L) en el sentido de la pendiente y la inclinación de la superficie (S) se hace mayor.

## Factor C



**Figura 64. Valor del factor C en la zona de estudio.**

Los valores de C Figura 64 se determinan por el tipo de cobertura Arborea que se encuentra en la zona, además de los tipos de cultivo que se realizan y los asentamientos humanos.

## Factor P

Las prácticas mecánicas o manejo del terreno son un factor atenuante del proceso erosivo. Su principal objetivo es controlar los escurrimientos superficiales para disminuir la erosión hídrica en terrenos con pendiente. En la EUPS el valor de P varía de 0 a 1 e indica el valor de la práctica de conservación al compararse con un terreno continuamente barbechado en el sentido de la pendiente (adimensional). Cuando no se realizan prácticas, P es igual a 1. (Sánchez L. A.)

El factor P es la relación de pérdida de suelo entre una parcela donde se han aplicado prácticas mecánicas de conservación de suelos (contornos, terrazas, cultivos en fajas etc.) para el control de la erosión y las pérdidas que se producen en una parcela si tales prácticas no se utilizan o el laboreo se efectúa en sentido de la pendiente. Cuando las prácticas de conservación no se aplican o son muy pocas el valor de P es igual a 1. (Cortolima, 2018)

De acuerdo con bibliografía citada el valor de P para la zona de estudio será igual a 1 ya que no se detectaron prácticas de conservación durante el reconocimiento por imágenes satelitales en la cuenca, al igual que fue nula la práctica de conservación durante el recorrido por el cauce principal aledañas al mismo.

### **Factor A**

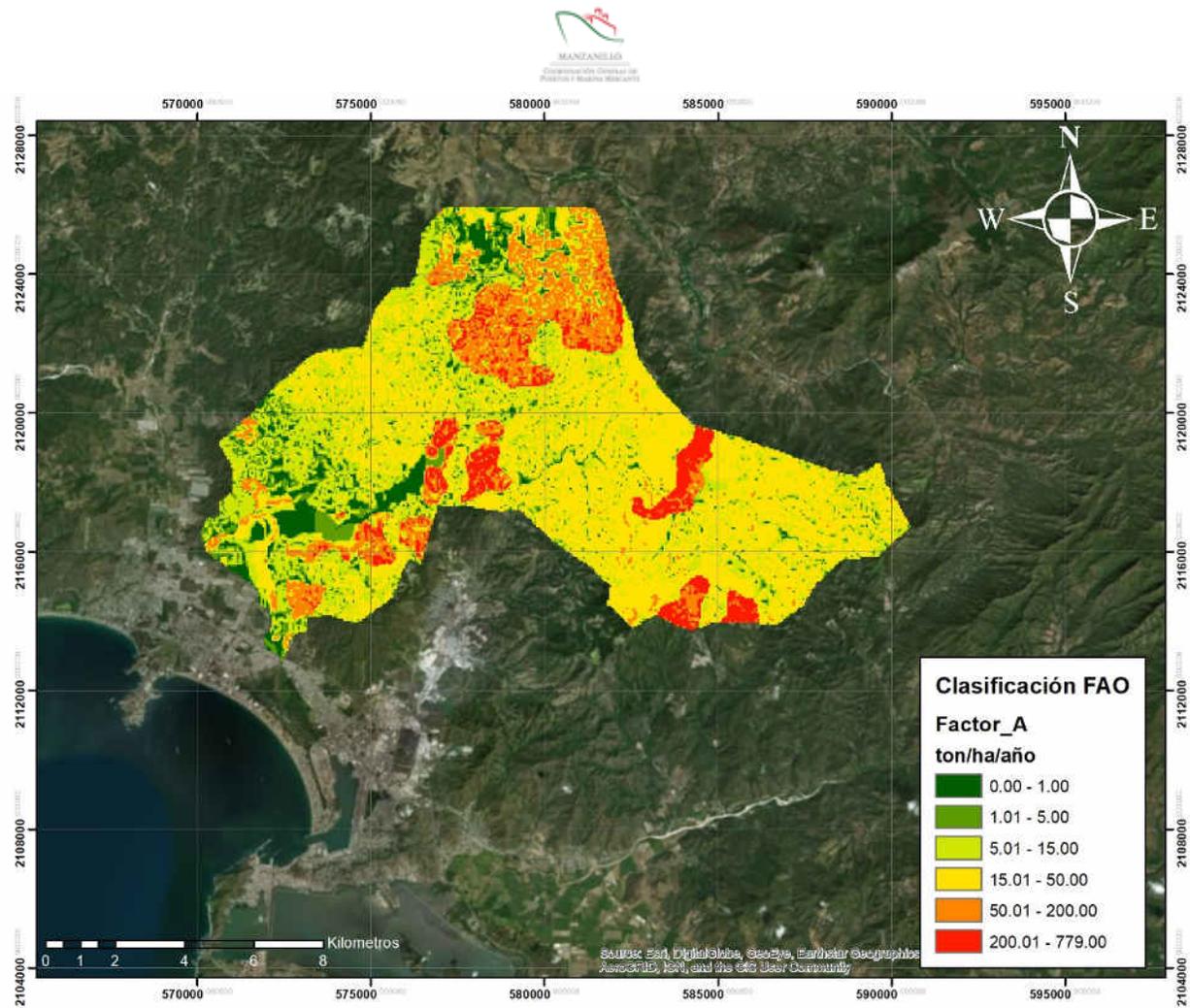
Como se observa en la ecuación de la USLE el producto de todas las variables da como resultado el Factor A.

$$A = R * K * L * S * C * P$$

Donde:

A es la pérdida de suelo por unidad de área (ton/ha.año).

Por lo que se realizó el proceso de este producto arrojando el resultado esperado por año.



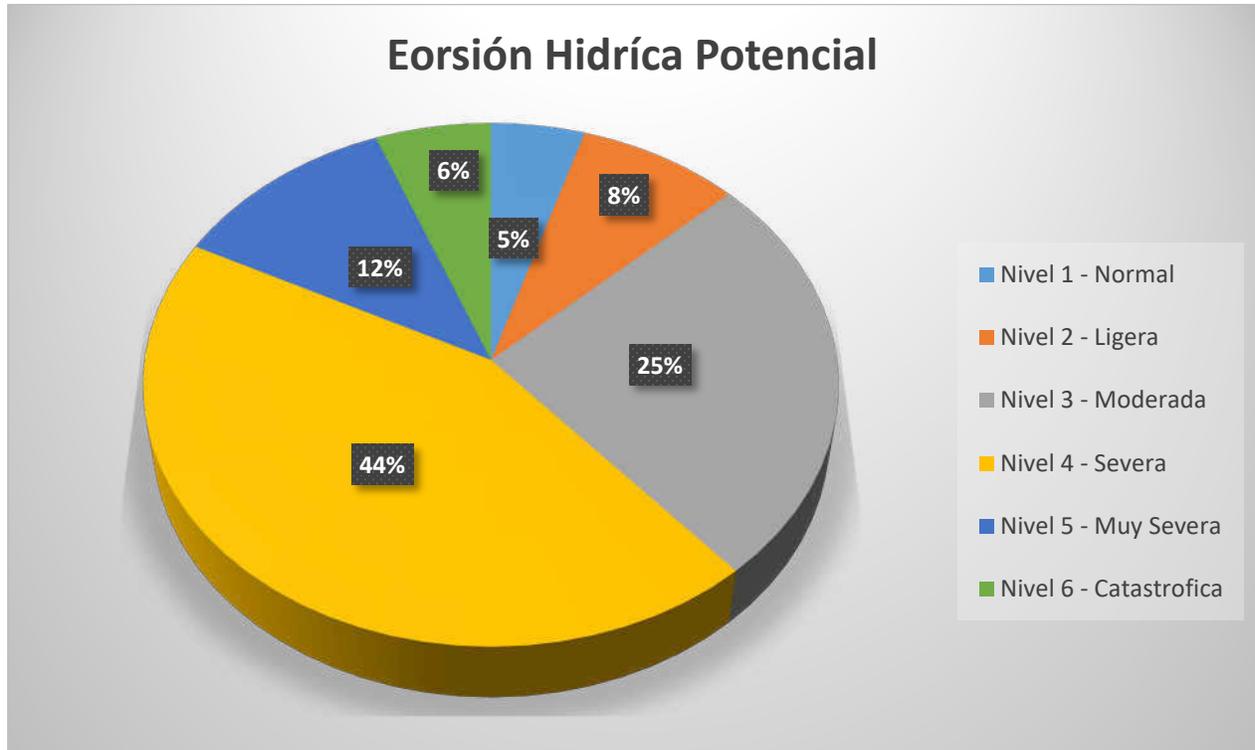
**Figura 65. Factor A en la zona de estudio.**

El resultado de este factor Figura 65 fue clasificado por niveles que propone la FAO siendo desde el normal hasta el catastrófico como se muestra en la siguiente Tabla 12.

**Tabla 12. Clasificación por la FAO al tipo de erosión.**

Nivel	Perdida de Suelo (Ton/ha/año)	Tipo de erosión
1	<1	Normal
2	1 - 5	Ligera
3	5 - 15	Moderada
4	15 - 50	Severa
5	50 - 200	Muy Severa
6	>200	catastrófica

En base a esta clasificación se realizó un gráfico el cual determina en porcentajes la pérdida de suelo conforme al área que se tiene clasificada por el tipo de erosión que se presenta en la zona de estudio.



**Gráfico 3. Porcentaje de Erosión en la zona de estudio.**

Los porcentajes mostrados en el Gráfico 3 son representativos del área de la cuenca, la cual tiene una extensión de 134 km<sup>2</sup>.

**Tabla 13. Cuantificación de erosión hídrica potencial.**

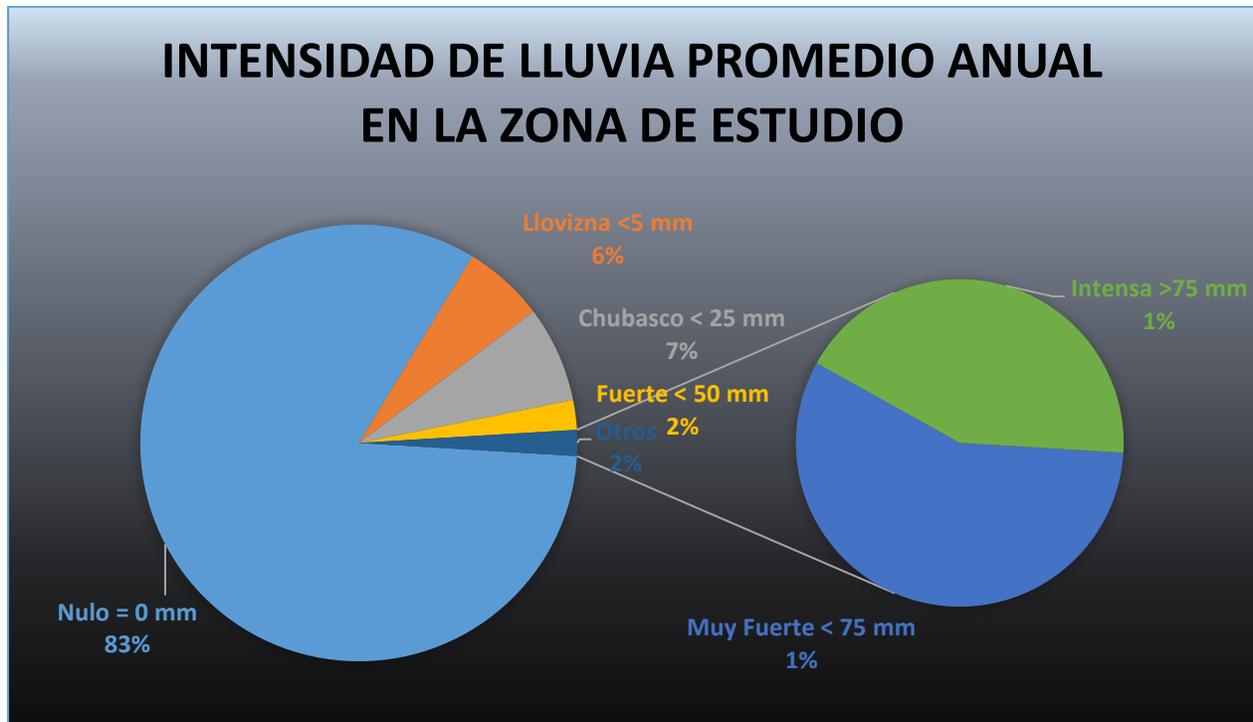
Nivel	Ton/ha/año	ha	Ton/ha/año	Ton/año	Kg/año	M3
1	0 - 1	640.25	1	640.25	640,250	355.69
2	1 - 5	1111	4	4,444.00	4,444,000	2,468.89
3	5 - 15	3419.75	10	34,197.50	34,197,500	18,998.61
4	15 - 50	5880.75	35	205,826.25	205,826,250	114,347.92
5	50 - 200	1550.25	150	232,537.50	232,537,500	129,187.50
6	200 - 779	790	579	457,410.00	457,410,000	254,116.67

Los datos de la Tabla 13 muestran cantidades que se esperan por la erosión que podría ocurrir en la zona de estudio, por lo que se considera que a partir del nivel 4 es un nivel

de erosión importante para la cuenca. Tomando en cuenta los datos partir del nivel 4 al 6 se tiene que se espera un volumen de 497,652.09 m<sup>3</sup>.

Para que se logren estos resultados de erosión es necesario que esté en consideración el tipo de intensidad de lluvia en la zona de estudio, Gráfico 4.

III.3.24 Intensidad de lluvia promedio anual en la zona de estudio.



**Gráfico 4. Intensidad de lluvia en la zona de estudio.**

En la Tabla 14 se muestran los días que se tiene con el diferente tipo de lluvia que ocurre en el año.

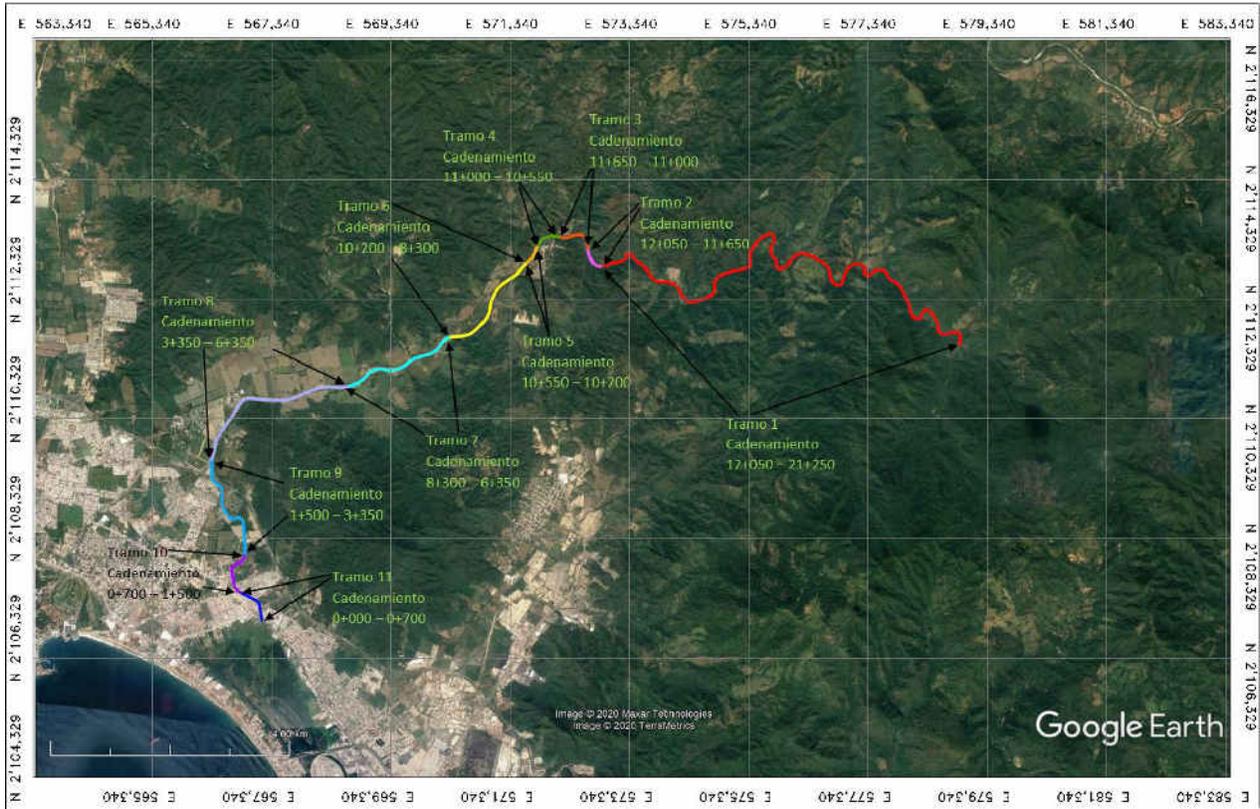
**Tabla 14. Días de tipo de lluvia al año.**

Nulo = 0 mm	Llovizna < 5 mm	Chubasco < 25 mm	Fuerte < 50 mm	Muy Fuerte < 75 mm	Intensa > 75 mm
302	22	26	8	4	3

Es importante destacar el tipo de lluvia que ocurre en el año, pues conlleva a la erosión hídrica de la zona de estudio.

**III.3.25 Seccionamiento por tramo en el cauce principal.**

Se hicieron levantamientos topográficos en el cauce del arroyo mediante seccionamientos transversales para calcular la capacidad de conducción del gasto hidráulico. se dividió por tramos el cauce para una mejor ubicación. Figura 66.



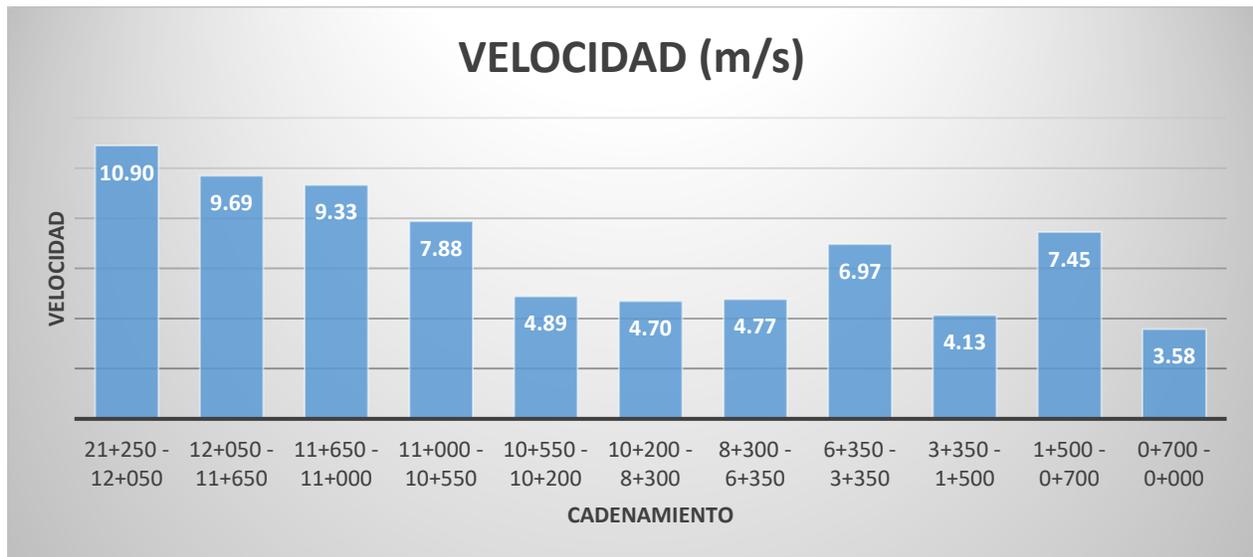
**Figura 66. Ubicación del cauce principal dividido por tramos.**

III.3.26 Velocidad y gasto por tramo en el cauce principal.

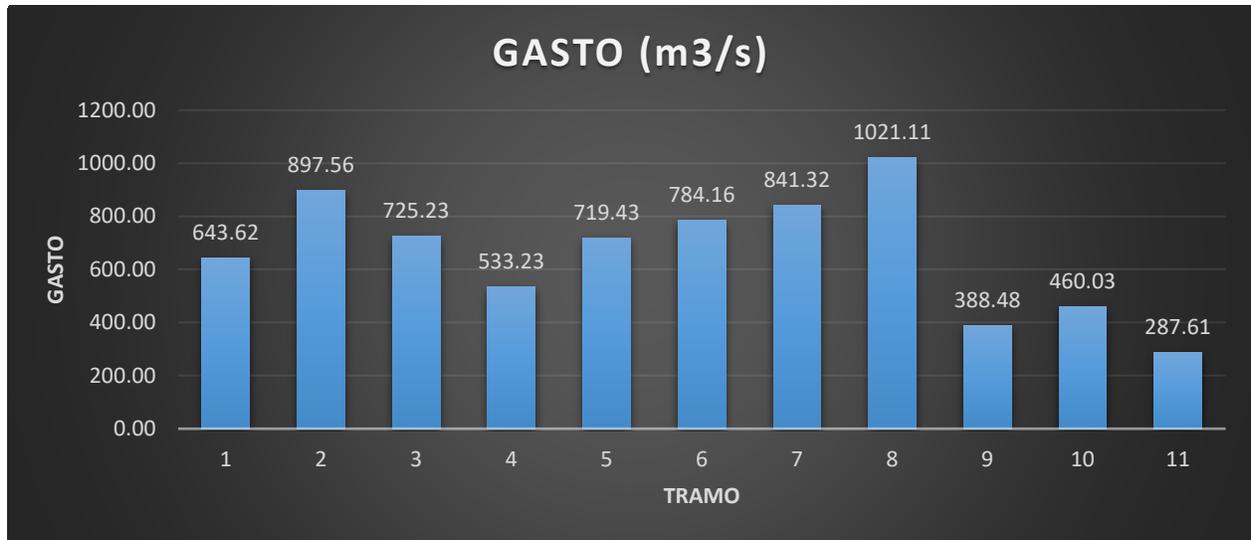
**Tabla 15. Datos de velocidad y gasto del flujo por tramo.**

TRAMO	CADENAMIENTO	VELOCIDAD (m/s)	GASTO (m3/s)
1	21+250 - 12+050	10.90	643.62
2	12+050 - 11+650	9.69	897.56
3	11+650 - 11+000	9.33	725.23
4	11+000 - 10+550	7.88	533.23
5	10+550 - 10+200	4.89	719.43
6	10+200 - 8+300	4.70	784.16
7	8+300 - 6+350	4.77	841.32
8	6+350 - 3+350	6.97	1021.11
9	3+350 - 1+500	4.13	388.48
10	1+500 - 0+700	7.45	460.03
11	0+700 - 0+000	3.58	287.61

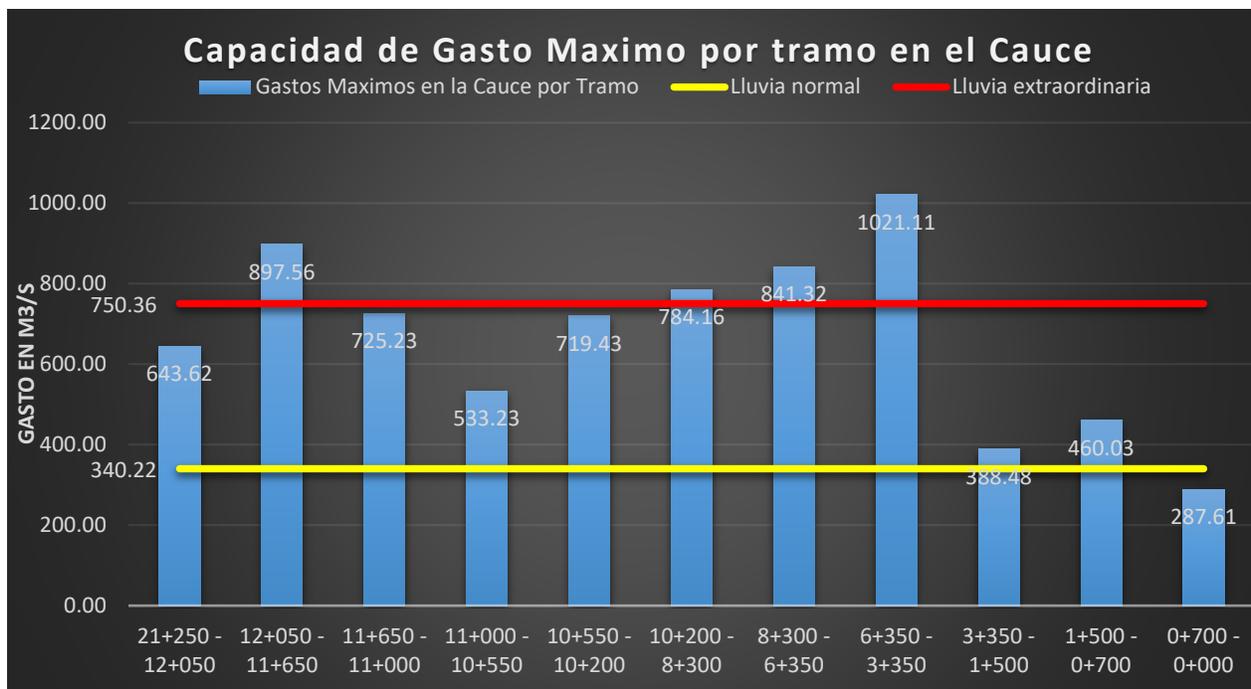
En la Tabla 15 se observa por tramo de cadenamiento la velocidad y el gasto que se tiene en el cauce principal.



**Gráfico 5. Velocidad en m/s para cada tramo en el cauce principal.**



**Gráfico 6. Gasto en m<sup>3</sup>/s para cada tramo en el cauce principal.**

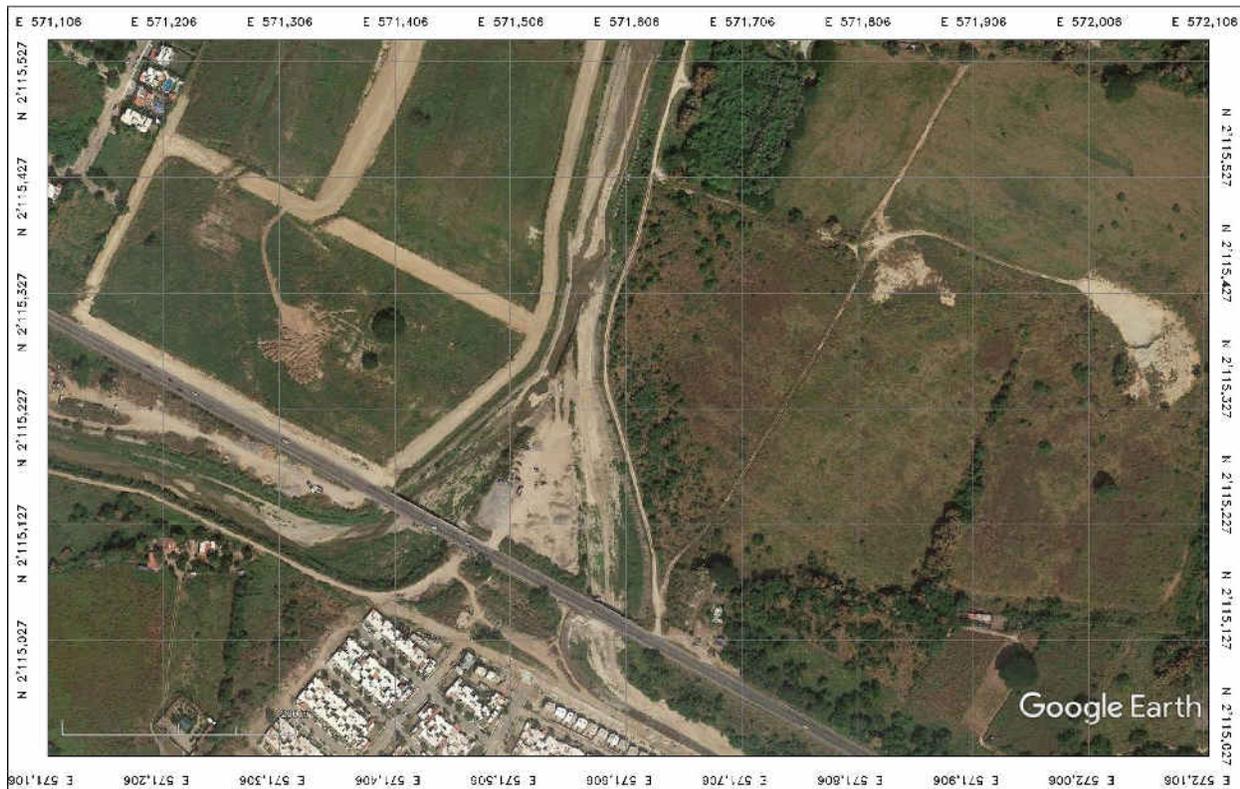


**Gráfico 7. Capacidad de gasto máximo por tramo en el cauce.**

En el Gráfico 7 se observa la capacidad de gasto máximo por cada tramo en el cauce principal, además de que se hace una comparación de capacidad para una lluvia normal y una lluvia extraordinaria. La lluvia normal hace referencia a las comunes en el año y lluvia extraordinaria a un evento con mayor precipitación de la normal.

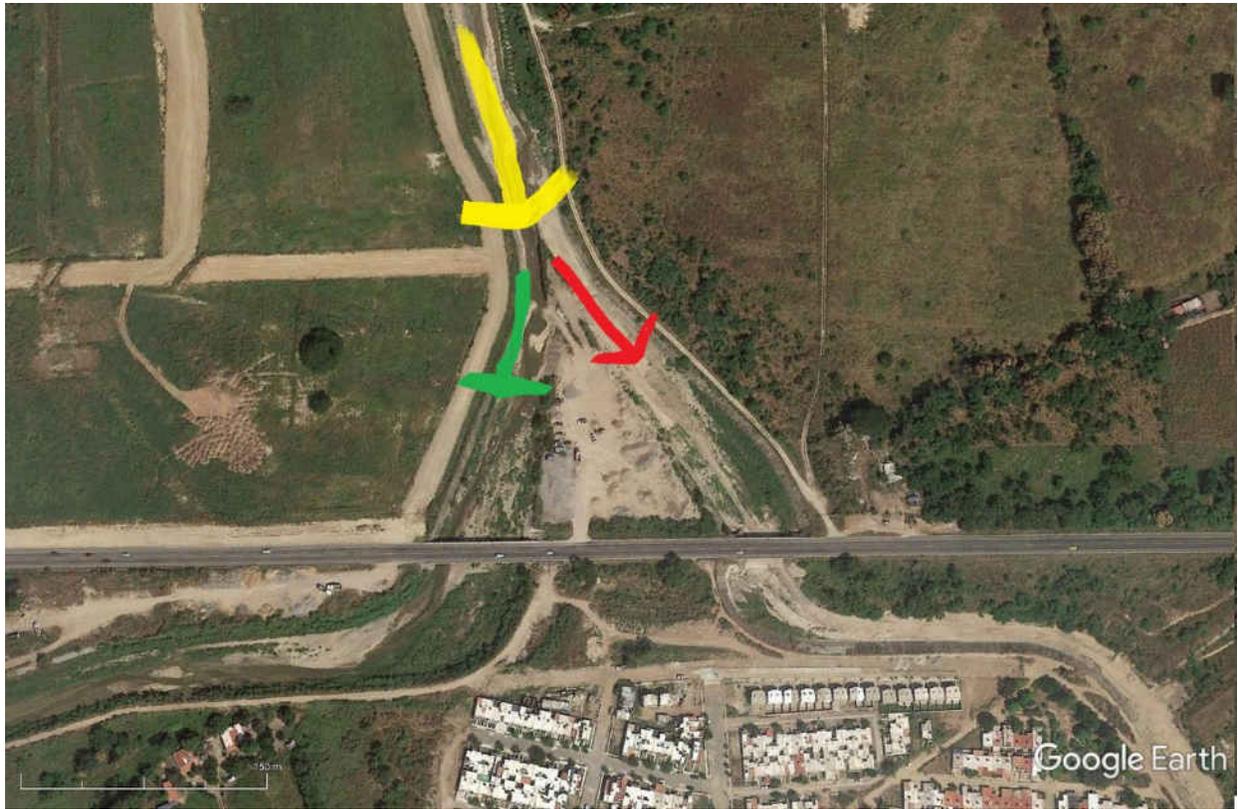
### III.3.27      Capacidad de gasto en la zona de bifurcación.

Se presentó mayor interés en esta zona debido a la problemática que presenta la Laguna Valle de las Garzas por el azolve que se presenta. Para ello se realizó un análisis de gasto antes de llegar al punto de bifurcación y los gastos que presenta cada división de este. La sugerencia de una solución para este problema se presentó en el proyecto denominado Obra de Control Hidráulica el cual fue presentado en un informe por separado para incluir más detalles informativos de la zona.



**Figura 67. Ubicación de la zona de bifurcación.**

En la Figura 67 se muestra la zona de interés a estudiar para una posible solución de la problemática de azolve que presenta la Laguna Valle de las Garzas.



**Figura 68. Direcciones de flujo en zona de bifurcación.**

En la Figura 68 se observan las diferentes direcciones que toma el flujo cuando se intercepta en la zona de bifurcación.



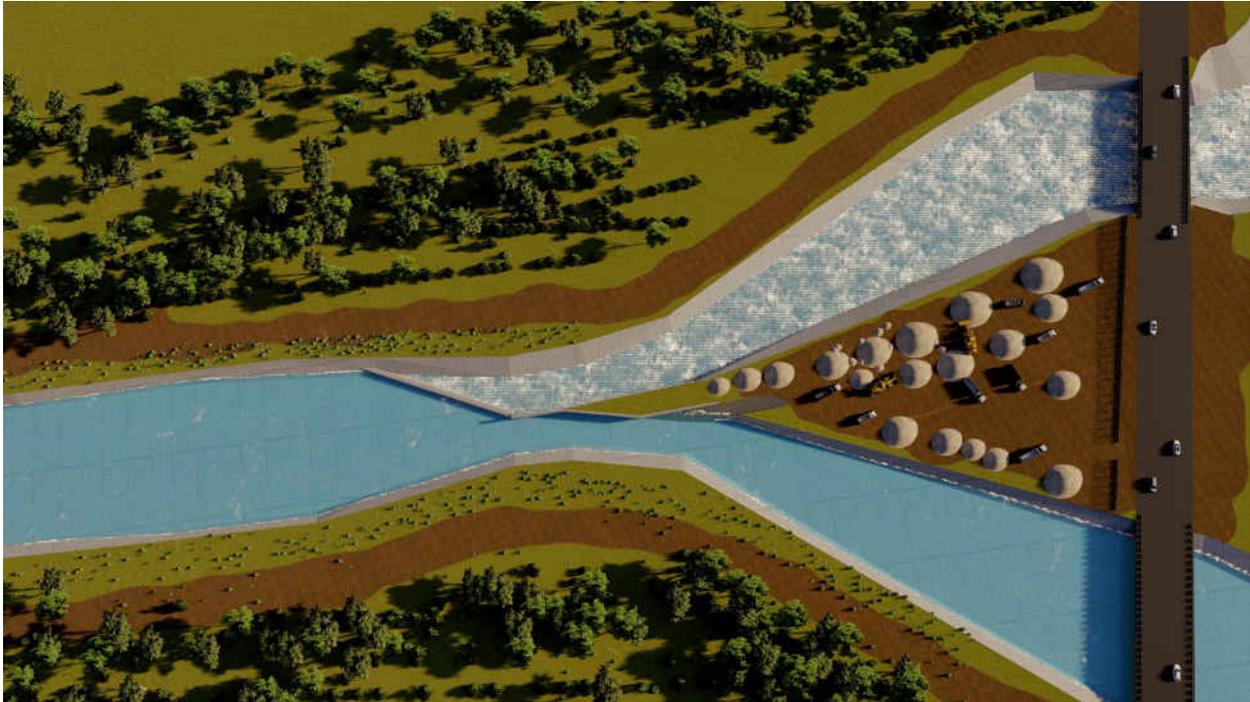
Figura 69. Capacidad de gasto en el punto de bifurcación.

Se observa en la Figura 69 el diferente gasto que se tiene antes de llegar a la bifurcación, así como los diferentes gastos para cada lado de la bifurcación.



**Figura 70. Render la Obra de Control Hidráulica.**

En la Figura 70 se observa un render de la zona de bifurcación donde se realiza una inclusión de la propuesta del proyecto Obra de Control Hidráulica el cual conlleva un dique para evitar el transporte de sedimento hacia la Laguna Valle de las Garzas.



**Figura 71. Rrender vista en planta de la zona de bifurcación.**

En la Figura 71. Se muestra una vista del render realizado en planta del proyecto Obra de Control Hidráulica el cual consiste en realizar un dique para evitar el transporte de sedimentos hacia el cuerpo lagunar receptor y conducirlo por el arroyo de salagua para que el sedimento transportado realice su ciclo natural y se deposite en el océano.

Esta propuesta propone una altura de dique que trabaje con lluvias normales en la zona para evitar el transporte de sedimento, sin embargo, se prevé que con fuertes lluvias pueda rebasar el dique para servir de apoyo y conducir el flujo necesario hacia la Laguna Valle de las Garzas sin desbordar los hombros ademados establecidos en el cauce.

### III.3.29 Origen de sedimento azolvado en la Laguna Valle de las Garzas.

Distinguir el origen de los sedimentos en la Laguna Valle de las Garzas es fundamental para tomar las medidas necesarias preventivas para lograr evitar la acumulación de estos en el cuerpo lagunar. Para la Laguna Valle de las Garzas intervienen al menos 3 posibles depositadores de sedimento, la PTAR Salagua, las áreas urbanas aledañas al cuerpo lagunar y el Arroyo Punta de Agua.

### III.3.30      PTAR Salagua.

El sedimento durante el tratamiento de agua se presenta en la etapa de pretratamiento y lo lleva a cabo el desarenador, que como su nombre lo indica, es el aparato encargado de remover las partículas de arena y otras similares, específicamente aquellas que cuentan con un peso específico de aproximadamente  $2.65 \text{ g/m}^3$  y los tamaños alcanzan los  $0.15 \text{ mm}$  de diámetro, malla no. 100 en ejemplo de una composición granulométrica. (Batista, 2007)

La velocidad del flujo en los desarenadores debe ser lo suficientemente baja como para permitir la separación por gravedad de las partículas que se desean eliminar, pero a su vez lo suficientemente alta como para que el desarenador no se convierta en un sedimentador. Tal condición se alcanza con velocidades de flujo cercanas a  $0,3 \text{ m/s}$ . (Batista, 2007)

Este tipo de partículas se encuentran principalmente en las aguas residuales urbanas e industriales y las consecuencias de no eliminarlas podrían ser grandes en el sistema de tuberías del lugar llegando a provocar abrasión y daños en las tuberías, así como en sistemas y equipos de la misma planta de tratamiento, estas partículas son sedimentadas durante el pretratamiento, por lo que la velocidad del flujo es disminuido, cabe resaltar que estas partículas sedimentan pero, existen otras que no precipitan rápidamente como la materia orgánica otro tipo de material sedimentario encontrado comúnmente en el tratamiento de aguas.

El objetivo del tratamiento primario es básicamente la remoción de aquellos sólidos en suspensión que son sedimentables, mediante el proceso físico de decantación o sedimentación. Colateralmente se remueve también una fracción de la DBO de las aguas residuales, Los sólidos se depositan en el fondo, de donde deben ser extraídos periódicamente a intervalos frecuentes para no dar tiempo a que tenga lugar su descomposición en el fondo, y la formación de gases. (Menéndez Gutiérrez, Pérez Olmo, & García Zumalacárregui, 2013)

El proceso denominado lodos activados modalidad "Aireación Extendida", seleccionado para depurar el efluente, es un método para el tratamiento de aguas residuales empleado por su facilidad de operación y eficiencia. Este proceso consiste en crear las

condiciones propicias para el desarrollo de un cultivo bacteriano disperso en forma de flóculos (lodos activados), en un depósito (Tanque de Aireación o Reactor Biológico), que es la parte medular en este tipo de procesos. En este tanque se mantienen en suspensión y aireados artificialmente los sólidos que contiene el agua residual, por medio de diferentes sistemas, en este caso por medio de aireadores superficiales de baja velocidad. (Guerrero, 2011)

Los lechos están considerados en lecho de secado convencional, el fango se extiende sobre la cama de arena formando una capa de 200 a 300mm de espesor y se deja secar. El lecho de arena debe tener un espesor de 200 a 300 mm, con un cierto espesor adicional para compensar las pérdidas que se puedan producir durante las operaciones de limpieza, la arena no debe tener un coeficiente de uniformidad superior a 4.0 y debe tener un tamaño efectivo de grano comprendido entre 0.3 y 0.75 mm. (Guerrero, 2011)

## Malos olores

Proceso	Observación	Posible causa
Desarenado	Exceso de sedimentos Malos olores	Deficiente extracción de sedimentos Acumulación de sólidos orgánicos
Sedimentación primaria	Aguas residuales negras/olorosas Desborde de la capa de impurezas Bajo contenido de sólidos en el lodo	Pretratamiento inadecuado de los residuos Pretratamiento inadecuado de los residuos Sobrecargas hidráulicas o exceso de extracción de lodo
Filtros Percoladores	Encharcamiento en la superficie Olores Colores en la capa de lama	Sobrecargas orgánicas, crecimiento biológico excesivo Sobrecargas orgánicas, condiciones anaeróbicas Metales, choque tóxico
Sedimentación secundaria	Aumento en los sólidos suspendidos del efluente	Desprendimiento excesivo debido al pH, cargas de choque tóxico o elevado tiempo de retención de sólidos en el fondo
Digestión anaerobia	Olor a huevo podrido Olor a mantequilla rancia Mala calidad del sobrenadante Caída en la temperatura del lodo Capa de impurezas demasiado gruesa	Sobrecargas orgánicas, sulfuros Choque tóxico (metales, amoníaco) Sobrecargas orgánicas, choque tóxico Sobrecargas hidráulicas Alto contenido de grasa

**Figura 72. Detección de algunos problemas y su posible causa en el tratado de aguas residuales. (Menéndez Gutiérrez, Pérez Olmo, & García Zumalacárregui, 2013)**

En la Figura 72 se presentan algunos problemas que pueden ocurrir en diferente proceso del tratado de las aguas y su posible causa para identificarse de una manera mas sencilla.

La generación de malos olores está generalmente asociada con los problemas de exceso de sobrecarga volumétrica del filtro y al crecimiento excesivo del espesor de la



capa de limo sobre el medio de relleno, razón por la cual la aireación en el filtro es insuficiente. (Menéndez Gutiérrez, Pérez Olmo, & García Zumalacárregui, 2013)

Los sólidos contenidos en los lodos sin digerir están constituidos aproximadamente en un 70 % por compuestos orgánicos (sólidos suspendidos volátiles, SSV) y un 30 % de compuestos inorgánicos (sólidos suspendidos fijos, SSF). (Menéndez Gutiérrez, Pérez Olmo, & García Zumalacárregui, 2013)

En el inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación del año 2006 menciona que la PTAR Salagua con Proceso de Lodos Activados tiene una capacidad de 320 lps y un caudal tratado de 250 lps. (CONAGUA, Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación, 2006)

En el inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación del año 2015 menciona que la PTAR Salagua con Proceso de Lodos Activados tiene una capacidad de 420 lps y un caudal tratado de 322 lps. (CONAGUA, Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación, 2015)

Se ha encontrado una MIA con fecha de febrero 2011 la cual contiene datos e información en particular para establecer un punto en comparación con la PTAR Salagua en Manzanillo.

El proyecto por desarrollar es la construcción de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de origen doméstico en una zona que por su situación actual demanda una serie de servicios que mejoren su calidad de vida y se atiendan los brotes de emergencia que por la falta de una canalización de las aguas residuales se vienen manifestando en la zona propuesta. Por lo anterior la Comisión de Agua Potable y alcantarillado de Manzanillo (CAPDAM), pretende llevar a cabo esta obra que se realiza en respuesta a las demandas requeridas por la zona céntrica de municipio y disminuir el rebombeo que actualmente se realiza para canalizar las aguas residuales hacia la planta de Salagua, la cual se viene saturando en su funcionamiento, por lo que conjuntamente con otras actividades se pretende llevar a cabo un saneamiento



ambiental de la zona centro de Manzanillo, que coadyuve a el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes. (Manzanillo, 2011)

El diseño de esta Planta de Tratamiento cuenta el uso de una tecnología eficaz, de vanguardia y que permite resolver la problemática sin presentar sinergias negativas al medio ambiente. La Planta para instalar desarrolla el tratamiento de Aguas Residuales, bajo un proceso de tipo secundario, a base de lodos activados con aireación extendida a base de difusores de burbuja fina, con una capacidad de 75 l/seg. (Manzanillo, 2011)

La planta de tratamiento Manzanillo Centro se diseñó con una capacidad de 75.0 l/s como caudal medio.

Los lodos primarios y secundarios se envían a una unidad de espesamiento primario por gravedad. En esta unidad se concentran la mezcla de lodos primarios y secundarios eliminando más del 50% del agua que contienen. El agua retirada (sobrenadante) sale por la parte superior de la unidad de espesamiento y se regresa a las etapas iniciales del tren de agua.

Caudal medio total en m<sup>3</sup>/día son 6,480.0

La producción y disposición del lodo es la siguiente:

Por día: 923.1 Kg/día lodo estable y seco.

Por mes: 28,616.1 Kg/mes, equivalente a 28.6 ton/mes de lodo estable y seco.

Por año: 343,393.2 Kg/año, equivalente a 344 ton/año de lodo estable y seco.

### III.3.31      Zona urbana

Diferentes situaciones y ambientes provocan acumulación de sedimento en las áreas urbanas, ya sea en azoteas, techados, andadores, calles o avenidas. Cuando ocurre precipitación en esa zona urbana ocasiona una acumulación de sedimento en el área donde termina el escurrimiento logrando azolvar esa área. Algunos orígenes del sedimento urbano se presentan a continuación.

Obra de construcción y desgaste de fachadas.

Las obras de demolición, construcción tanto de edificios como carreteras, producen indudablemente una elevada cantidad de polvo por lo que contribuye en gran medida al aumento del volumen del polvo urbano, y consecuentemente a la carga de elementos metálicos. Esta contribución obviamente varía de acuerdo con la naturaleza del material de que deriva o que se utilizan en dichas obras.

Vertido de residuos.

El vertido directo y acumulación de residuos urbanos o industriales pueden influenciar de forma intensa, aunque local, a los contenidos de elementos traza en el suelo y consecuentemente en el polvo, ya que una gran parte del polvo se deriva por la resuspensión de las partículas diminutas de suelo.

Polvo.

Sería importante iniciar el abordaje de este tema comenzando por recordar algunas ideas básicas: se denomina "aerosol" a una dispersión de partículas sólidas de fina granulometría y pequeñas gotas de líquidos en los gases de la atmósfera (Krauskopf, 1995). El aerosol urbano está constituido por partículas de origen natural, transportadas hasta la ciudad desde fuera de los límites de esta, y por partículas procedentes de fuentes típicamente urbanas, como los sistemas de calefacción, el tráfico de vehículos, etc.

Estas partículas sedimentadas no permanecen mucho tiempo en su lugar de deposición, sino que, bien entran rápidamente en resuspensión y se incorporan otra vez al aerosol urbano, bien son lavadas por las precipitaciones o por el riego de las calles, y arrastradas al sistema de alcantarillado o a los suelos situados dentro o en las cercanías de la ciudad.

El polvo puede presentar una composición bastante variada de acuerdo con la región de origen y de sus respectivas condiciones climáticas, así como en función de la presencia e intensidad de las distintas fuentes antrópicas de emisión, entre otros factores.

Suelos.

(White, 1997), considera el suelo como la interfaz entre la atmósfera y la litosfera (el manto de rocas que cubren la parte superficial de la corteza terrestre). Es también, considera, una interfaz con cuerpos de agua dulce y salada (a la que se llama hidrosfera). El suelo es el soporte del crecimiento de las plantas y animales, y forma parte de la biosfera.

De manera general, se podría definir el suelo como, "una mezcla de material mineral no consolidado, materia orgánica, solución acuosa y gases, que se localizan en la capa más superficial de la corteza terrestre y que proviene de la alteración fisicoquímica natural o antrópica de la misma".

En consulta bibliográfica de acuerdo con (Zafra Mejía, Temprano González, & Tejero Monzón, 2009) en su investigación determinaron que:

La granulometría del sedimento recolectado tiende a ser más fina a medida que aumentó el tiempo seco. Los tamaños de partícula  $<125 \mu\text{m}$  presentaron la mayor tasa de acumulación en tiempo seco, y los  $<500 \mu\text{m}$  la mayor susceptibilidad al lavado durante una lluvia.

Por lo que de acuerdo con la granulometría hecha con las muestras recolectadas la probabilidad de que una partícula sea transportada por la escorrentía aumenta a medida que disminuye su diámetro y crece la pendiente. Los resultados sugieren que los tamaños de partícula que presentan mayor susceptibilidad al lavado en el presente estudio son los  $<500 \mu\text{m}$ . Finalmente, la granulometría de la carga total tras los eventos de lluvia tiende a ser más gruesa.

Estos datos son relevantes debido a la determinación del origen de estas partículas en las zonas urbanas, por lo consultado en la revista SciELO los autores (Zafra Mejía, Temprano González, & Tejero Monzón, 2009) monitorearon una cuenca en la ciudad de Resistencia, Chaco, Argentina, de 4.76 ha y con un tipo de uso residencial por lo que sus resultados arrojaron cargas anuales de sedimentos transportadas oscilando entre 0.8 y 1.40 ton/ha.

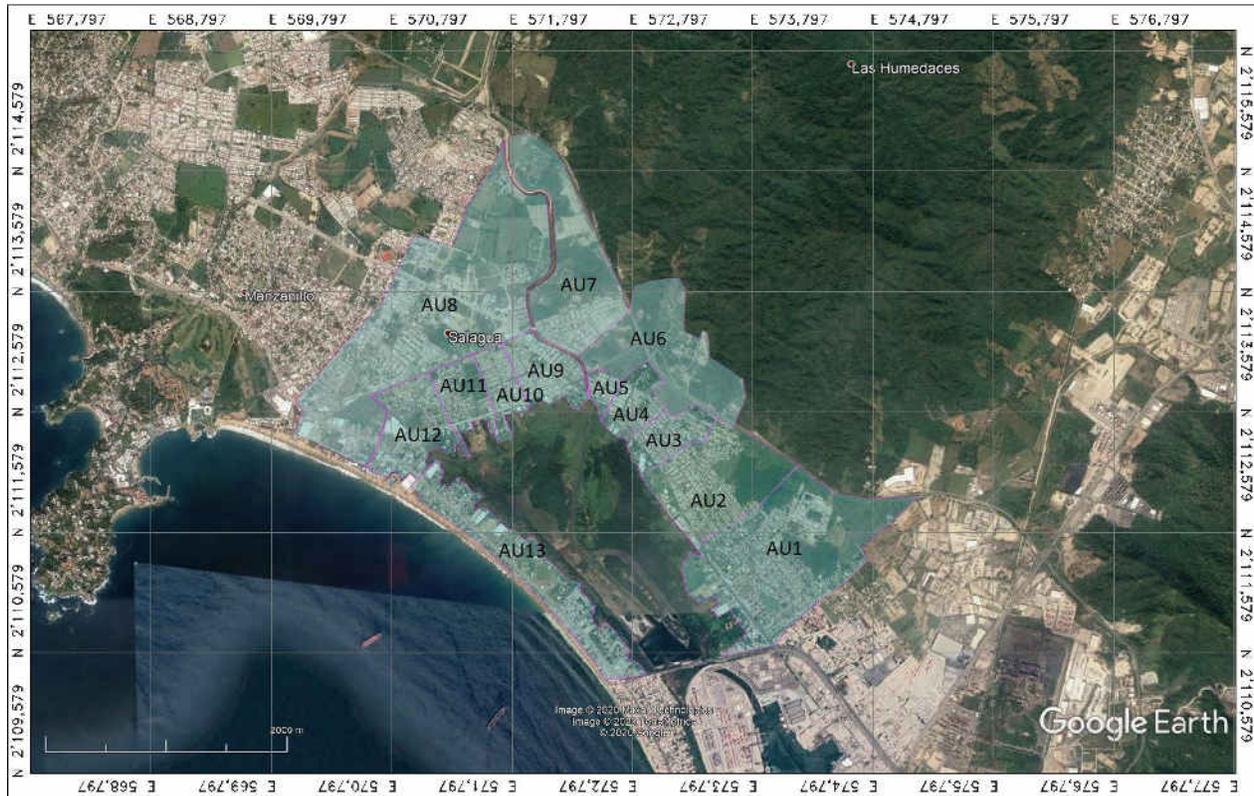
Todo esto conlleva a que las actividades humanas generan gran cantidad de polución, que se deposita en la superficie de calles, veredas y techos de los edificios, y es lavada

por la escorrentía urbana. Es por esto por lo que el efluente pluvial presenta altas concentraciones de contaminantes.

En contexto, unos de los contaminantes más importantes son los sedimentos. Éstos, transportados por el drenaje urbano, generan depósitos que obstruyen los conductos del sistema mayor además de que cambian el lecho del cuerpo receptor, reduciendo su capacidad de flujo y afectando la vida acuática de éste.

Dada la complejidad del proceso de erosión urbana es difícil identificar las fuentes de generación de sedimentos. En efecto, el ambiente urbano crea una gran y compleja mezcla de sedimentos que pueden ser provenientes de las cercanías, o bien ser importados de áreas próximas o, inclusive, lejanas. Además, los materiales de construcciones civiles son fuentes importantes de sedimentos urbanos; estudios demostraron que altas concentraciones de calcio en lagos son debidas a este tipo de sedimento. (Zafra Mejía, Temprano González, & Tejero Monzón, 2009).

Por esto se concluye que existe una fuerte incidencia de los volúmenes de escurrimiento en las cargas anuales de sedimentos, donde las áreas más impermeables son capaces de generar importantes caudales líquidos y, por tanto, mayores cargas de sedimentos que las zonas permeables presentando valores que van de 0.8 a 1.40 ton/ha.



**Figura 73. Zonas urbanas aledañas a la Laguna Valle de las Garzas**

### III.3.32 Arroyo Punta de Agua.

Otra aportación de sedimento a la Laguna Valle de las Garzas se debe al cauce principal de la cuenca en estudio el cual parte de este desemboca en el cuerpo lagunar y otra parte en la bahía de Manzanillo.

En la zona de estudio se determinó que al año se arrojan 497,652.09 m<sup>3</sup> de sedimento provenientes de la cuenca, sin embargo, este dato se deberá de dividir en 2 por el motivo de la zona de bifurcación que se aprecia por vista divide en 2 el cauce del Arroyo Punta de Agua por lo que solo 248,826.045 m<sup>3</sup> tendrán como destino la Laguna Valle de las Garzas.

Cabe destacar por granulometría que el tamaño de grano que predomina en el cauce es de 0.42mm, siendo así que necesita una velocidad de flujo de 3.8m/s para ser arrastrado y poder llegar a la zona de desembocadura.

III.3.33 Croquis de obra de control hidráulica.

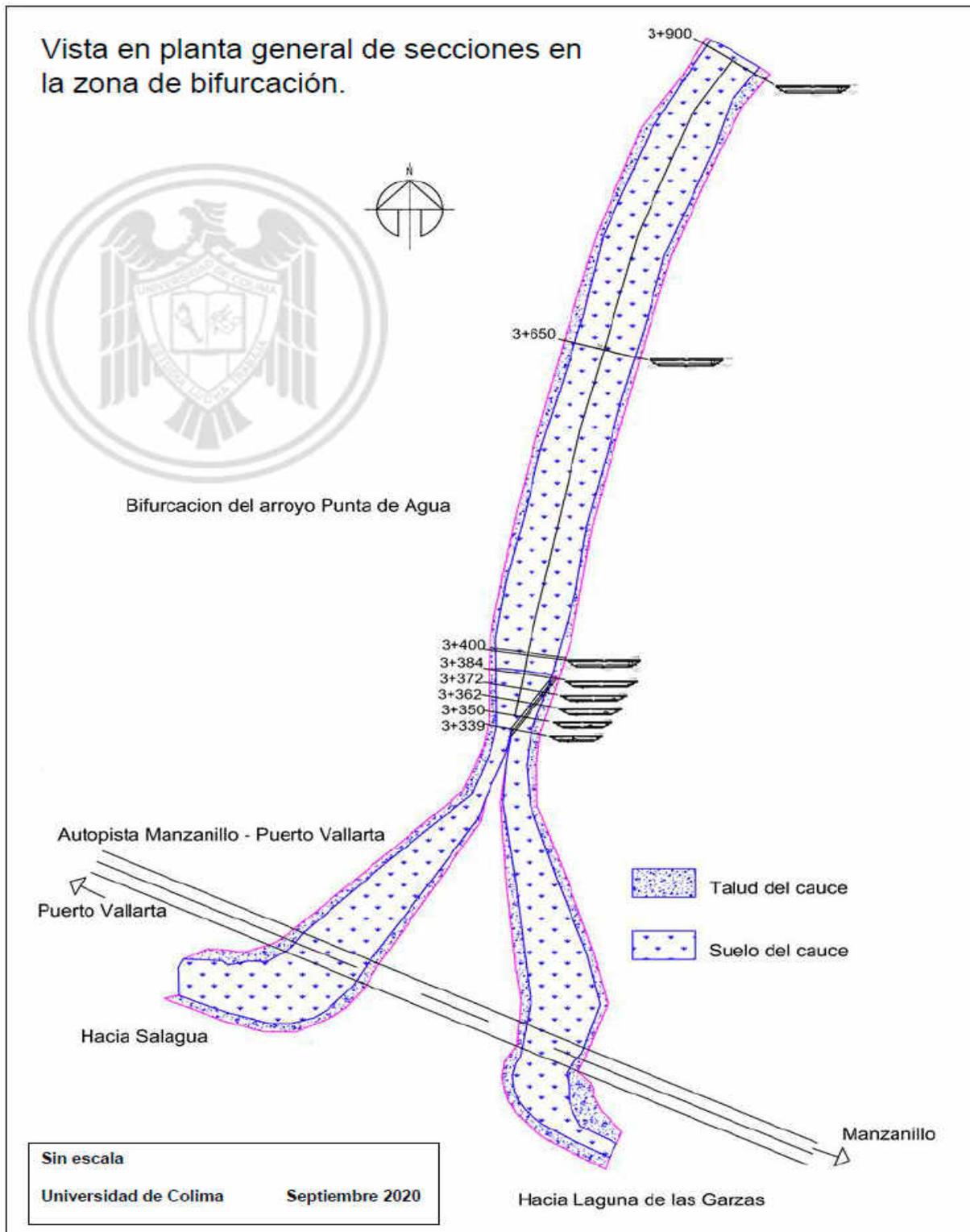


Figura 74. Vista en planta general de las secciones en la zona de bifurcación.



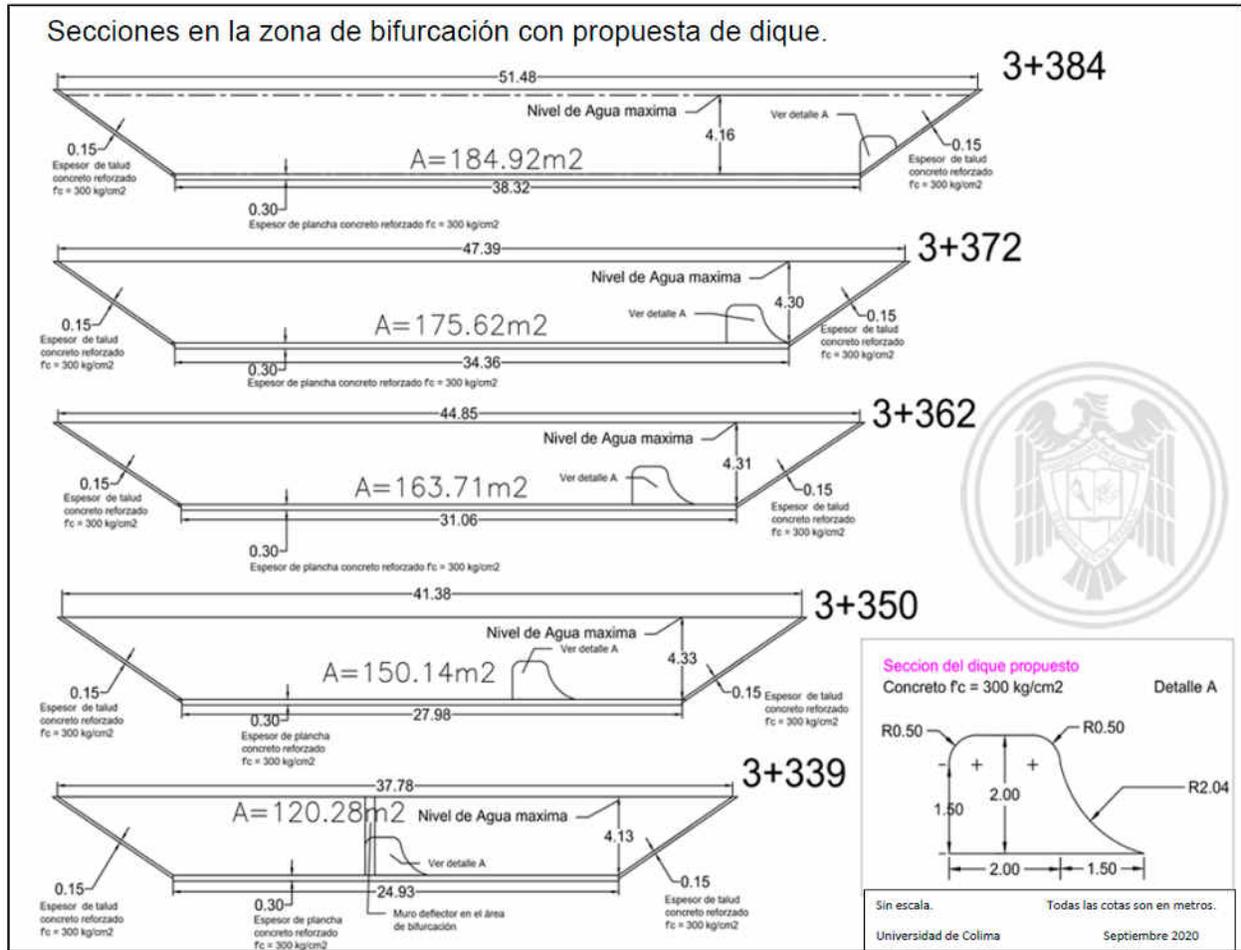
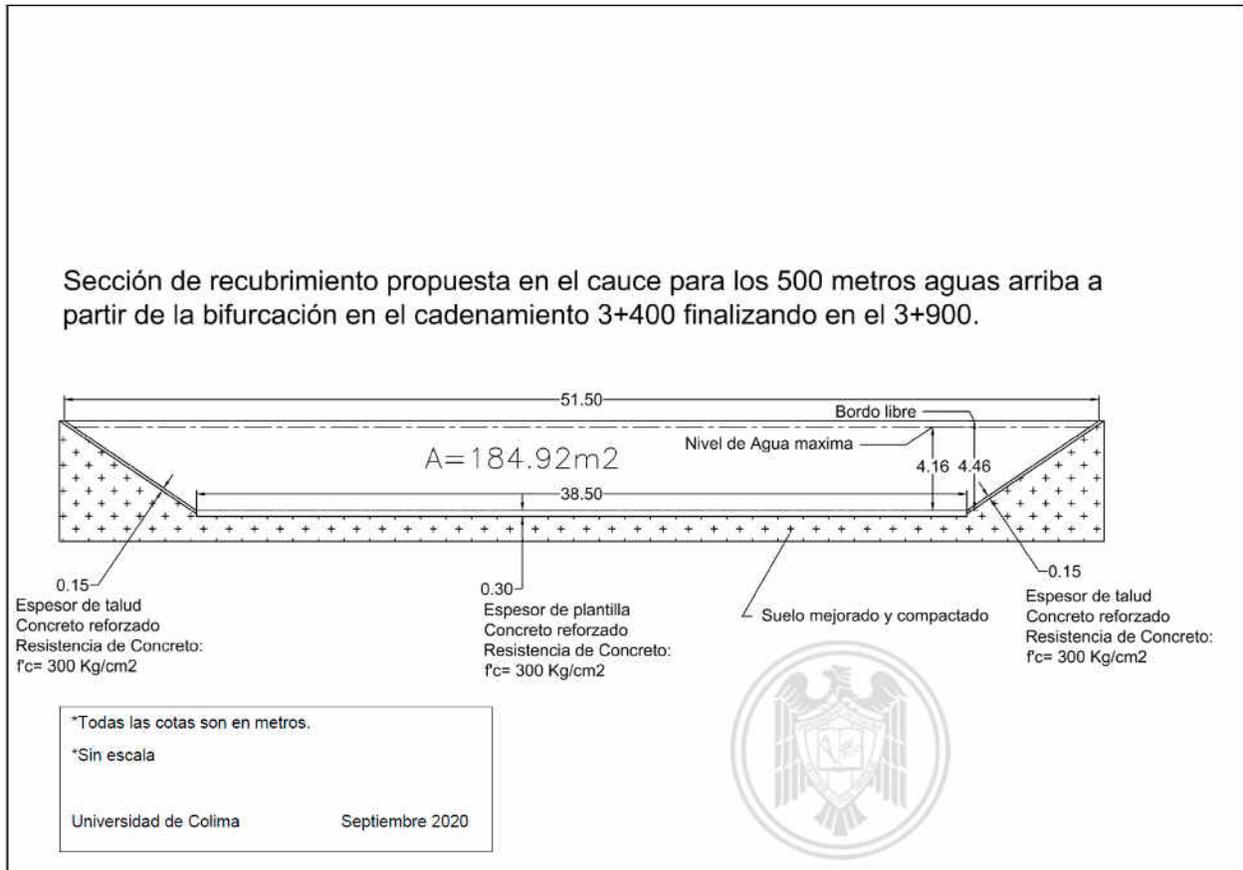


Figura 76. Secciones en la zona de bifurcación con propuesta de dique.

Más detalladamente se observa en la Figura 76 las secciones en la zona de bifurcación junto con la sección del dique propuesto.



**Figura 77. Sección de recubrimiento propuesta en el cauce.**

A partir del cadenamiento 3+400 se propone realizar un recubrimiento de concreto reforzado hasta el cadenamiento 3+900, lo cual abarcan una extensión de 500 metros antes de llegar a la zona de la bifurcación, esto permitirá canalizar de manera correcta el flujo. Figura 77.

### III.4 Actividades en campo

1. Mediciones topográficas en el arroyo
2. Recolección de muestras sobre el cauce principal
3. Recorrido en la Laguna Valle de las Garzas
4. Recorrido por el cauce principal del Arroyo Punta de Agua

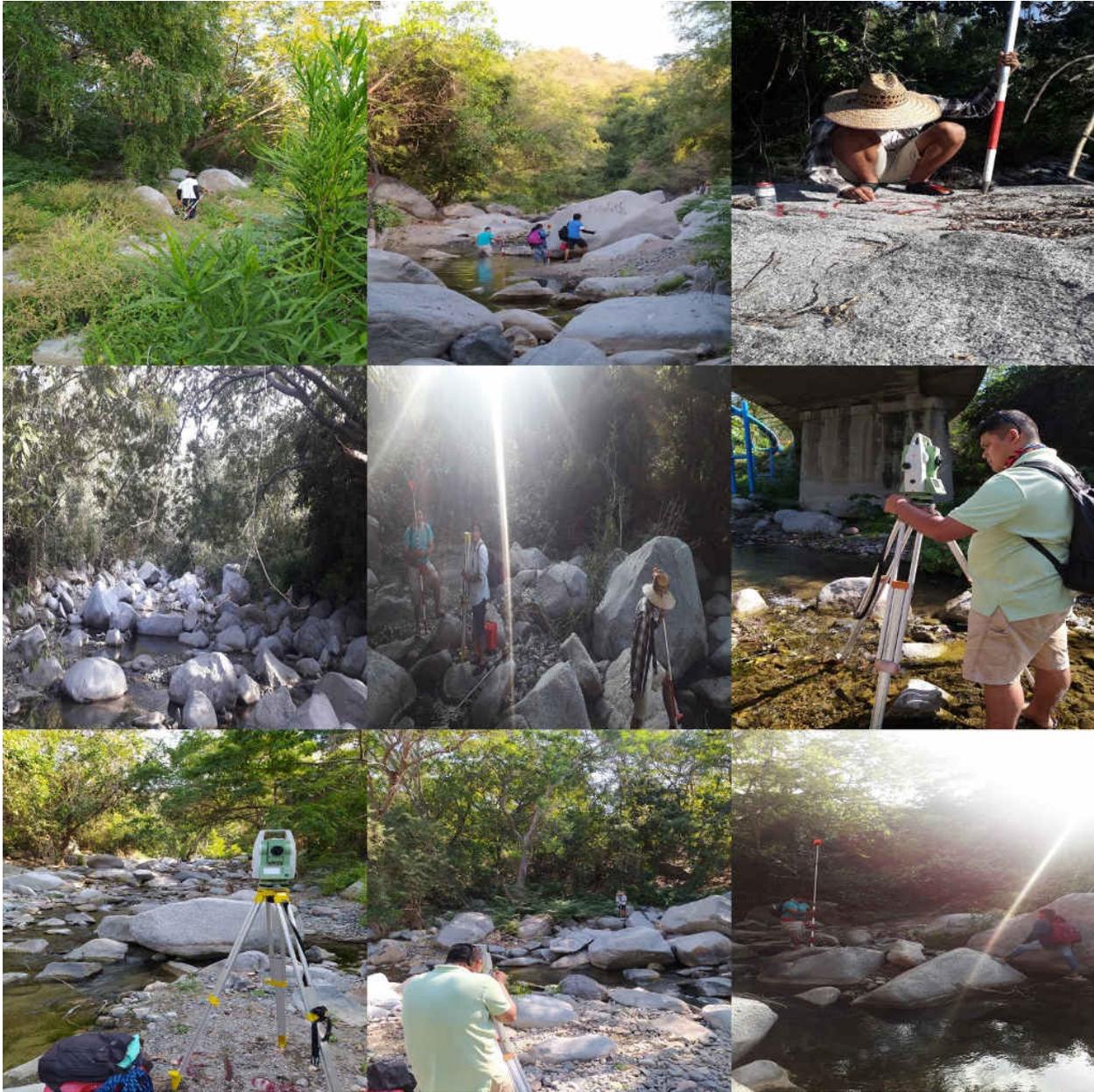
#### III.4.1 Mediciones topográficas en el arroyo.

Se realizaron mediciones topográficas en el cauce principal de la cuenca en estudio las cuales ayudaron a determinar la pendiente y longitud que tiene este cauce para diferentes cálculos que se realizaron con esta información.



**Figura 78. Mediciones topográficas en el cauce principal de la cuenca en estudio 1.**

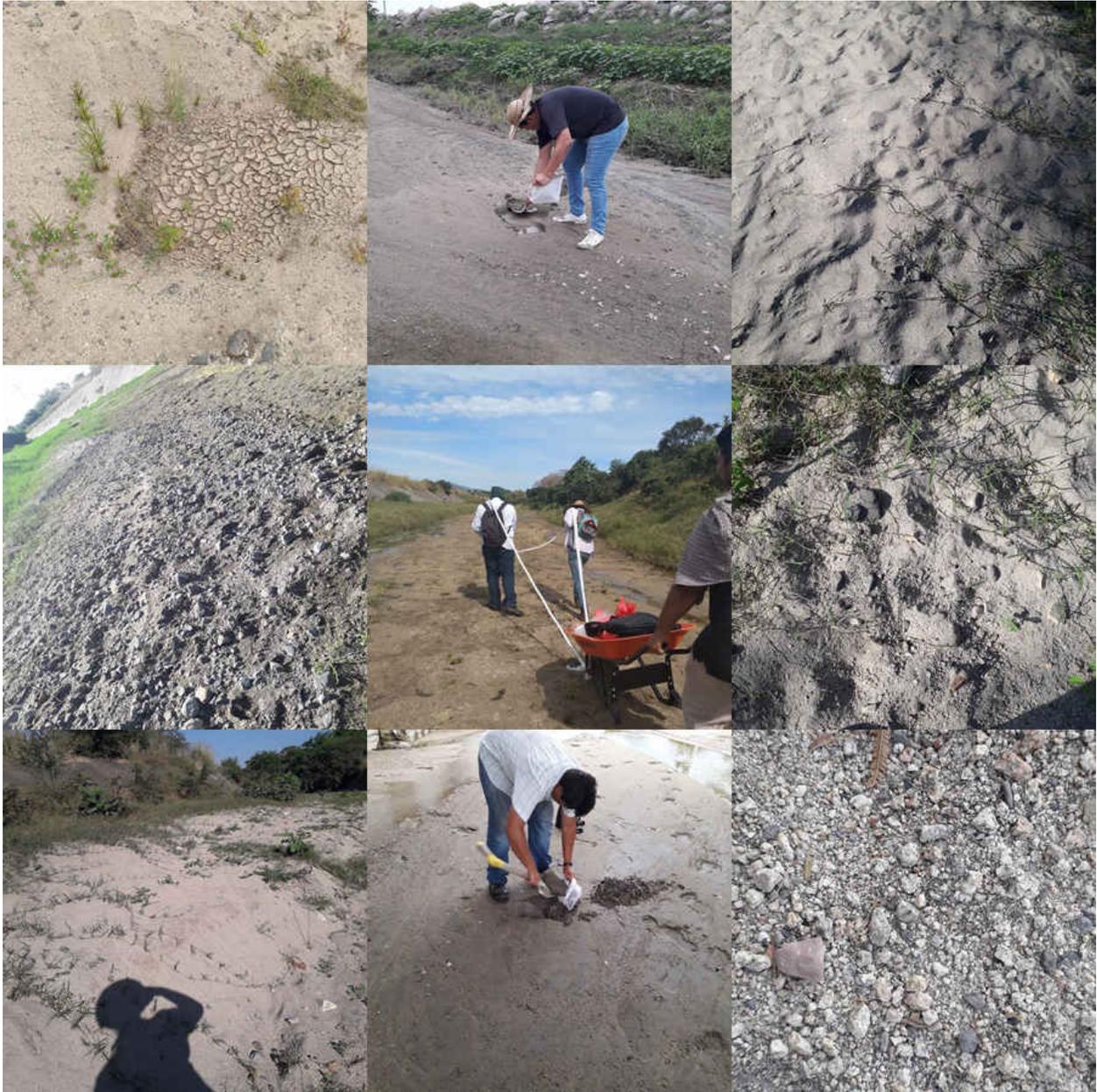
En la Figura 78 se observa al equipo de topografía que se encargó de estudiar el cauce principal recorriendo toda su longitud. Se muestran diferentes escenas en esta sección del cauce donde se observa vegetación densa a los extremos del cauce además de que el sedimento encontrado en la zona comprendía de granos finos no superando tamaños mayores a 1 pulgada.



**Figura 79. Mediciones topográficas en el cauce principal de la cuenca en estudio 2.**

En la Figura 79 se observa al equipo de topografía realizando las mediciones correspondientes en el cauce principal de la cuenca de estudio. Este cauce tiene por nombre Arroyo Punta de Agua, el cual se recorrió desde la desembocadura en la Laguna Valle de las Garzas hasta el cadenamamiento 21 +250, adentrándose debajo de densa vegetación distinguida de la zona. Se observa la presencia de un sedimento completamente diferente, rocas de gran tamaño y flujo particular de esa zona en estudio.

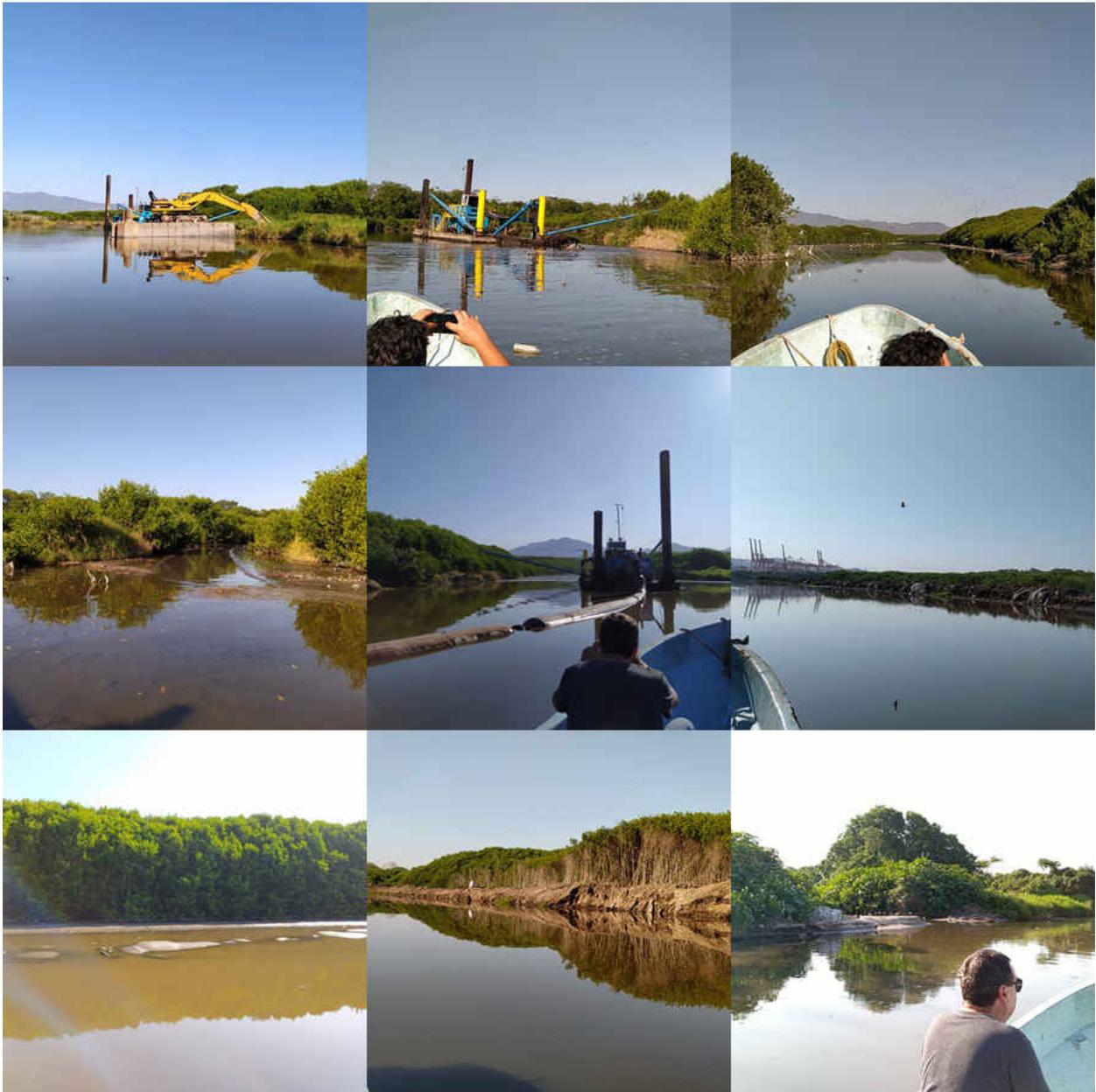
### III.4.2 Recolección de muestras en el cauce principal.



**Figura 80. Recolección de muestras en el cauce principal.**

Durante el recorrido por el cauce principal se tomaron diferentes muestras para realizar un análisis granulométrico y determinar el tamaño de grano que abunda por diferente tramo en el cauce para obtener el diámetro granular que define todo el cauce realizando un promedio de todas las muestras de sedimento recolectadas. (Figura 80).

### III.4.3 Recorrido en la Laguna Valle de las Garzas.



**Figura 81. Recorrido en la Laguna Valle de las Garzas**

En el recorrido que se realizó en la Laguna Valle de las Garzas se observó el trabajo que realizaba la draga, además de los canales ya rehabilitados en ese momento y el proceso de trabajo que realizaba la tarquina en esos momentos. (Figura 81)

### III.4.4 Recorrido por el cauce principal del Arroyo Punta de Agua.



**Figura 82. Recorrido por el cauce principal Arroyo Punta de Agua 1.**

Se realizó un recorrido por el cauce del arroyo Punta de Agua comenzando donde este desemboca. En la Figura 82 se muestran diferentes vistas que se encontraron durante el recorrido, detectando presencia de vegetación, algunas construcciones y brechas dentro del cauce, además de la presencia de rocas. Al igual se detectaron zonas donde el flujo que se conduce por este cauce comienza a erosionar varias partes de este.



**Figura 83. Recorrido por el cauce principal Arroyo Punta de Agua 2.**

En la Figura 83 se muestran algunas zonas donde se tiene presencia de vegetación densa en el cauce y a los extremos de este, además de varias construcciones que se encontraron durante el recorrido. Con la presencia de flujo que se conduce por este cauce se muestran algunas zonas que son erosionadas por el mismo ocasionando pérdida a las parcelas que se encuentran cercanas al cauce, además de presencia de rocas de gran tamaño.

### III.4.5 Sondeos exploratorios en Laguna Valle de las Garzas

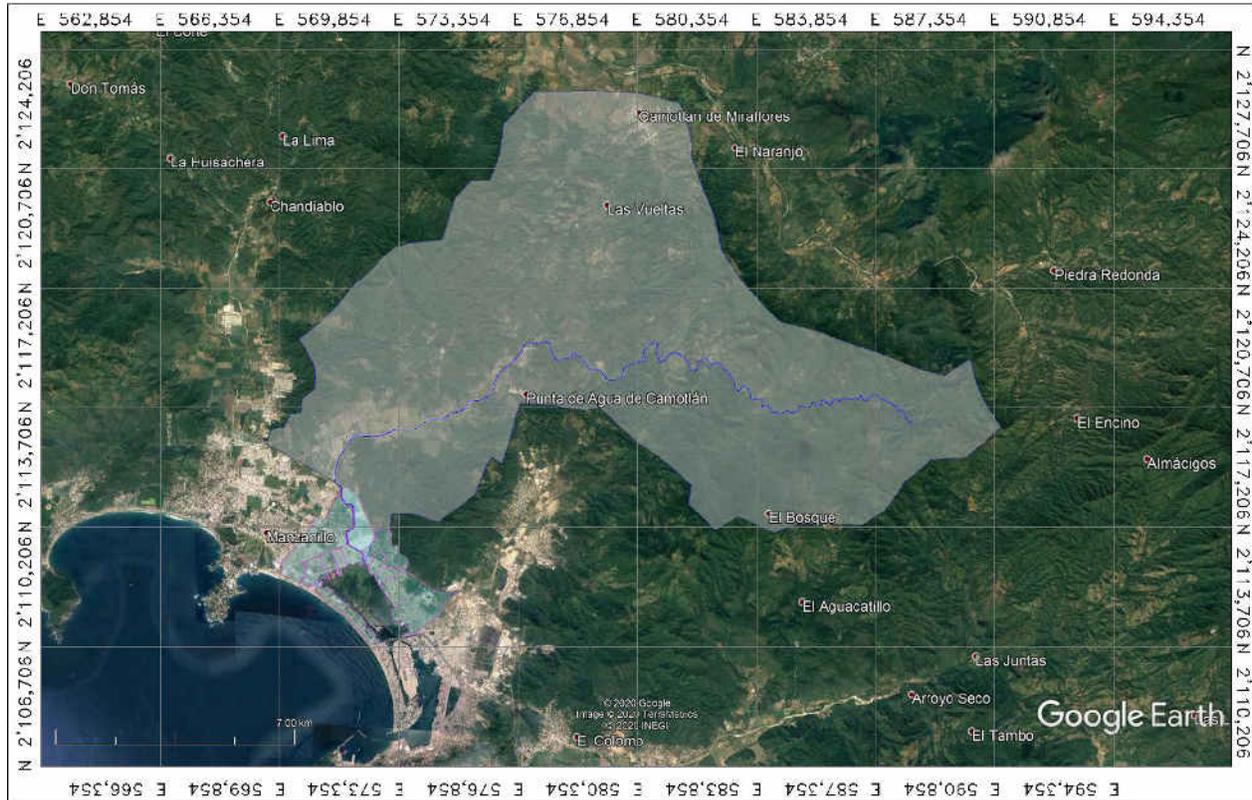
Debido a las problemáticas presentadas en la Laguna Valle de las Garzas, principalmente azolve en el vaso lacustre, se han realizado 3 sondeos por el canal principal del cuerpo lagunar. Los datos obtenidos serán relevantes para determinar las características de los estratos en el vaso lagunar, de igual forma que se pretende conocer si habrá algún tipo de suelo firme o estrato el cual pueda determinar el fondo por su resistencia. Como se muestra en la Figura 84, se realizaron y ubicaron los sondeos por el canal principal para tener mayor detalle de los estratos en diferentes zonas del cuerpo lagunar.



**Figura 84. Ubicación de los sondeos exploratorios en la Laguna Valle de las Garzas.**

## IV. RESULTADOS

### IV.1 Área de estudio.



**Figura 85. Delimitación y ubicación del área de estudio para el proyecto.**

La delimitación y ubicación del área de estudio como se muestra en la Figura 85 se realizó en base a curvas de nivel que se tomaron como referencia en las cartas topográficas obtenidas del INEGI, además de la confirmación con el software ArcGis donde se trabajaron con Modelos de Elevación Digital obtenidos igualmente del INEGI.

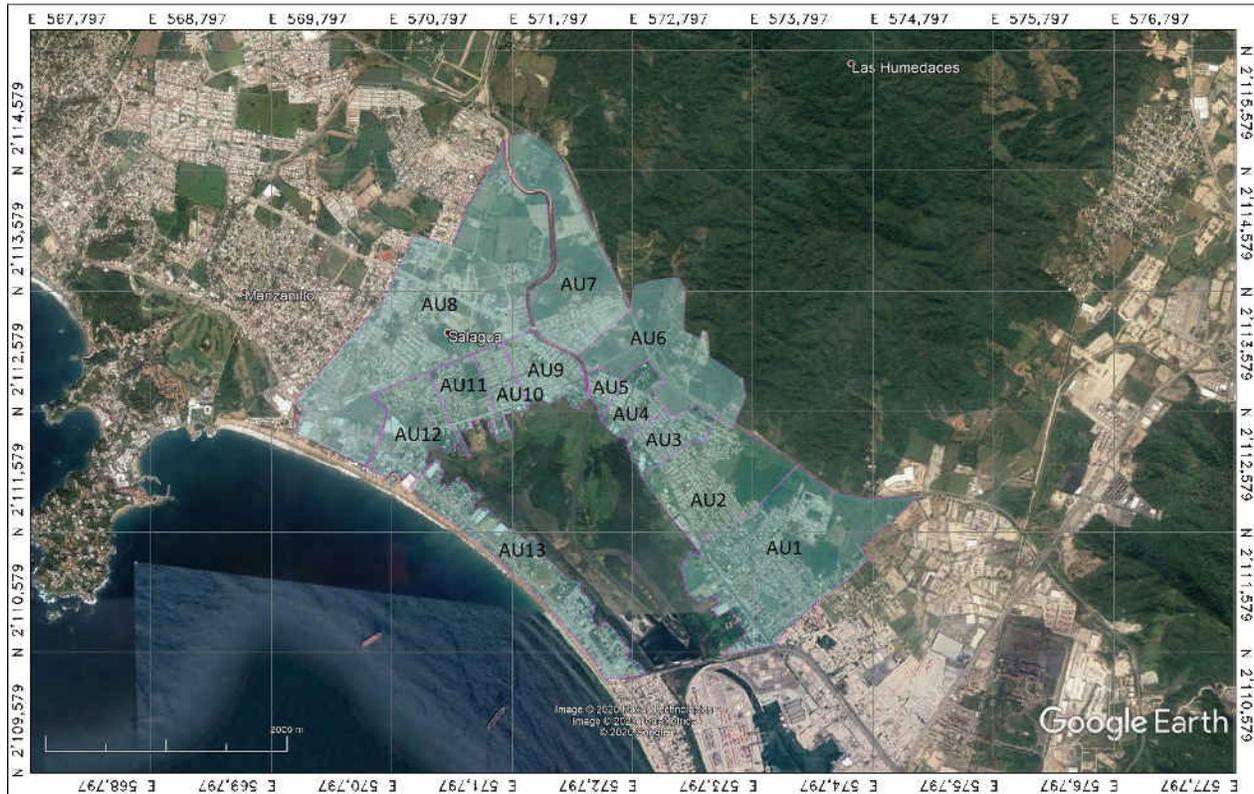
## IV.2 Ubicación de la Laguna Valle de las Garzas.



**Figura 86. Ubicación de la Laguna Valle de las Garzas.**

En cuanto a la Laguna Valle de las Garzas se definió su ubicación con 5 puntos estratégicos colocados en los extremos y al centro. (Figura 86).

### IV.3 Áreas urbanas.



**Figura 87. Delimitación de áreas urbanas cercanas a la Laguna Valle de las Garzas.**

La delimitación de las áreas urbanas cercanas a la laguna cumple para determinar cuanta área urbana total es la que rodea al cuerpo lagunar, y así obtener un aproximado de cuanto sedimento urbano se espera por la escorrentía que se presente en temporada de lluvias. (Figura 87).

De acuerdo con la investigación bibliográfica, (Zafra Mejía, Temprano González, & Tejero Monzón, 2009) sugieren tomar como índice 0.8 ton/ha en la zona urbana por lo que cercas de la laguna se presenta un área total de 805 ha. Anualmente se espera un transporte de 644 toneladas de sedimento urbano depositado en la Laguna Valle de las Garzas.



#### IV.4 Granulometría de las muestras obtenidas en el Arroyo Punta de Agua.

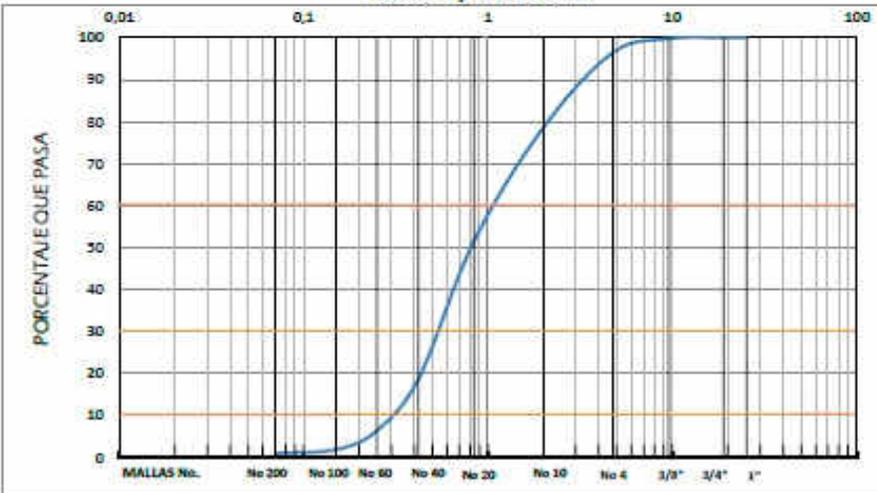
El estudio de la granulometría determinó que en la mayor parte del cauce principal se encuentran arenas mal graduadas (SP). Durante el análisis se llegó a la conclusión que el tamaño de grano más abundante es el que se retiene en la malla número 40.

### INFORME DE ANALISIS DE ARENA

OBRA	"PROCEDENCIA DEL AZOLVE EN LA LAGUNA DE LAS GARZAS"	INFORME No:	25				
LOCALIZACION:	CUENCA HIDROLOGICA DEL ARROYO PUNTA DE AGUA, MANZANILLO, COLIMA.	FECHA DE MUESTREO	24-abr-20				
CONTRATISTA	UNIVERSIDAD DE COLIMA	FECHA DE INFORME	25-abr-20				
PROCEDENCIA DEL MATERIAL:		LECHO DEL CAUCE DEL ARROYO PUNTA DE AGUA					
CLASIFICACION S.U.C.S.	SP	CADENAMIENTO	KM 1+200				
<b>PROPIEDADES FISICAS</b>							
PESO VOLUMETRICO SECO SUELTO		kg/m <sup>3</sup>	1451,0				
<b>COMPOSICION GRANULOMETRICA</b>							
MALLA No	ABERTURA (mm)	MASA (gr)	% RET	% RET ACUM	% PASA		
1"	25,40	0,0	0,00	0,00	100,00	D <sub>10</sub> =	0,31
3/4"	19,05	0,0	0,00	0,00	100,00	D <sub>30</sub> =	0,53
3/8"	9,53	2,0	0,24	0,24	99,76	D <sub>60</sub> =	1,10
No 4	4,76	28,0	3,33	3,56	96,44		
No 10	2,00	150,0	17,81	21,38	78,62	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$	3,55
No 20	0,84	228,0	27,08	48,46	51,54		
No 40	0,42	276,0	32,78	81,24	18,76	$C_c = \frac{(D_{30})^2}{(D_{10})(D_{60})}$	0,82
No 60	0,25	104,0	12,35	93,59	6,41		
No 100	0,15	38	4,51	98,10	1,90		
No 200	0,07	8,0	0,95	99,05	0,95		
CHAROLA	*	8,0	0,95	100,00	0,00		
SUMA		842,0					

Tamaño de partículas en mm



OBSERVACIONES:

SP = ARENA MAL GRADUADA

LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN ESTE INFORME SE EVALUARAN DE ACUERDO A LAS ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

NORMAS APLICABLES: SCT-M-MMP-1-03/03 (SECADO, DISGREGADO Y CUARTEO DE MUESTRAS), SCT-M-MMP-1-06/03 (GRANULOMETRÍA), SCT-M-MMP-1-08/03 (MASAS VOLUMÉTRICAS) Y SCT-M-MMP-1-02/03 (CLASIFICACIÓN S.U.C.S.)

**Figura 88. Granulometría a muestra obtenida en el Arroyo Punta de Agua.**

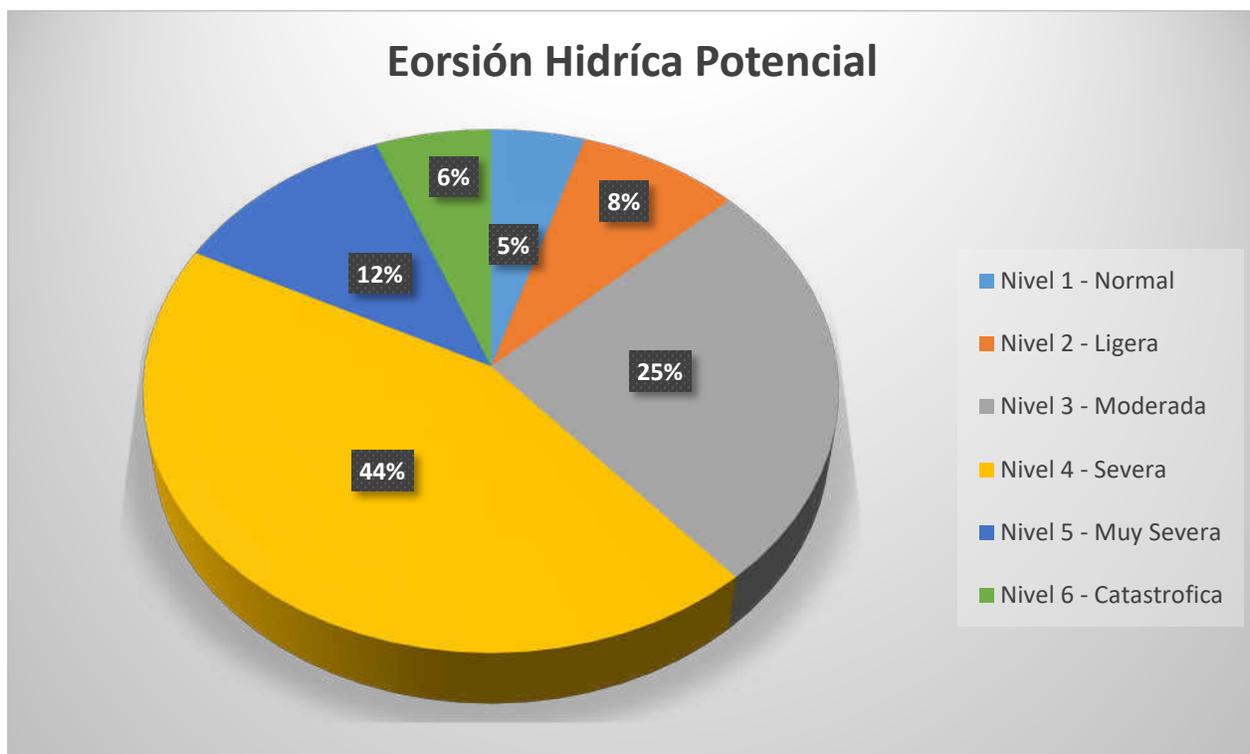
#### IV.5 Perdida de suelo en la cuenca de estudio.

Con el uso del software de ArcGis se determinó la erosión que se encuentra en la cuenca de estudio. Junto con este resultado se recomienda clasificar el tipo de erosión por la clasificación que propone la FAO como se muestra en la Tabla 16.

**Tabla 16. Clasificación por la FAO al tipo de erosión.**

Nivel	Perdida de Suelo (Ton/ha/año)	Tipo de erosión
1	<1	Normal
2	1 - 5	Ligera
3	5 - 15	Moderada
4	15 - 50	Severa
5	50 - 200	Muy Severa
6	>200	catastrófica

En base a esta clasificación se realizó un gráfico el cual determina en porcentajes la pérdida de suelo conforme al área que se tiene clasificada por el tipo de erosión que se presenta en la zona de estudio.



**Gráfico 8. Porcentaje de Erosión en la zona de estudio.**

Los porcentajes mostrados en el Gráfico 8 son representativos del área de la cuenca, la cual tiene una extensión de 134 km<sup>2</sup>.

**Tabla 17. Cuantificación de erosión hídrica potencial.**

Nivel	Ton/ha/año	ha	Ton/ha/año	Ton/año	Kg/año	M3
1	0 - 1	640.25	1	640.25	640,250	355.69
2	1 - 5	1111	4	4,444.00	4,444,000	2,468.89
3	5 - 15	3419.75	10	34,197.50	34,197,500	18,998.61
4	15 - 50	5880.75	35	205,826.25	205,826,250	114,347.92
5	50 - 200	1550.25	150	232,537.50	232,537,500	129,187.50
6	200 - 779	790	579	457,410.00	457,410,000	254,116.67

Los datos de la Tabla 17 muestran cantidades que se esperan por la erosión que podría ocurrir en la zona de estudio, por lo que se considera que a partir del nivel 4 es un nivel de erosión importante para la cuenca. Tomando en cuenta los datos partir del nivel 4 al 6 se espera un volumen de 497,652.09 m<sup>3</sup>.

Sin embargo, este volumen que se obtiene debe ser dividido en 2 por la cuestión de la zona de la bifurcación pues a vista se determina que el flujo que pasa por ahí se divide en 2 por lo que solo la mitad del volumen de sedimento esperado llegara a la Laguna Valle de las Garzas teniendo como valor 248,826.045 m<sup>3</sup>.

Para que se logren estos resultados de erosión en la cuenca y la acumulación de azolve en el cuerpo lagunar es necesario que esté en consideración el tipo de intensidad de lluvia en la zona de estudio, (Gráfico 9).

#### IV.6 Intensidad de lluvia para la erosión del suelo en la cuenca.

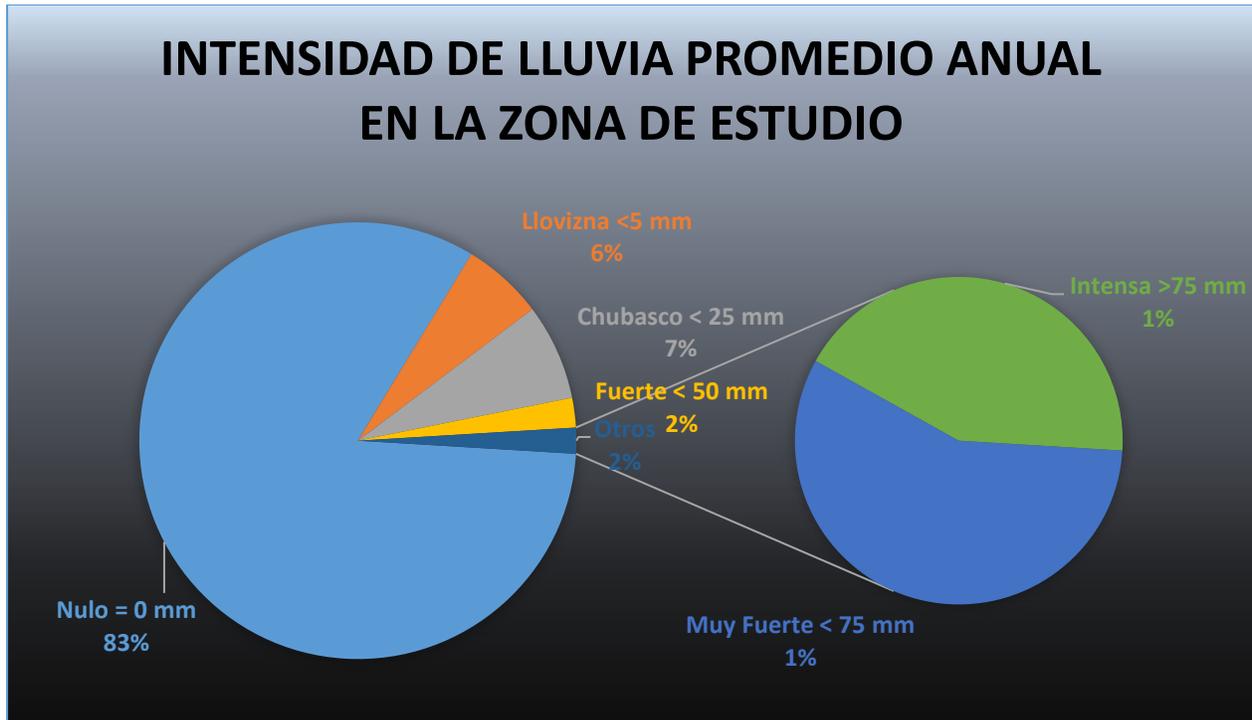


Gráfico 9. Intensidad de lluvia en la zona de estudio.

En la Tabla 18 se muestran los días que se tiene con el diferente tipo de lluvia que ocurre en el año.

Tabla 18. Días de tipo de lluvia al año.

Nulo = 0 mm	Llovizna < 5 mm	Chubasco < 25 mm	Fuerte < 50 mm	Muy Fuerte < 75 mm	Intensa > 75 mm
302	22	26	8	4	3

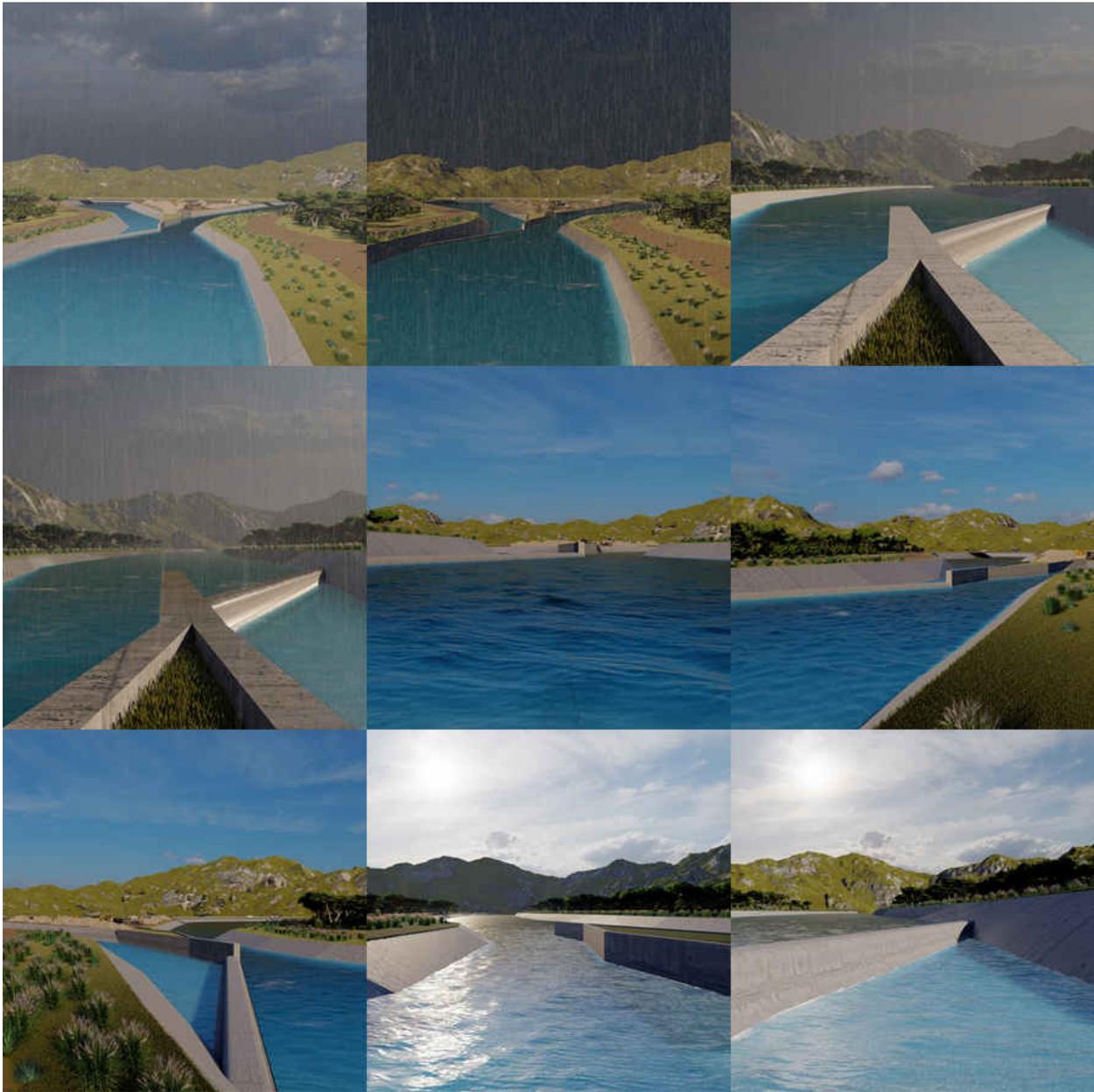
Es importante destacar el tipo de lluvia que ocurre en el año, pues conlleva a la erosión hídrica de la zona de estudio.

#### IV.7 Obra hidráulica.

Como solución al problema de azolve en la Laguna Valle de las Garzas se sugiere una solución ubicada en la zona de bifurcación del Arroyo Punta de Agua donde se divide en 2, hacia la delegación de Salagua y la delegación del Valle de las Garzas. Para esto se propone un dique de una altura aproximada de 2 metros el cual evitará el paso de

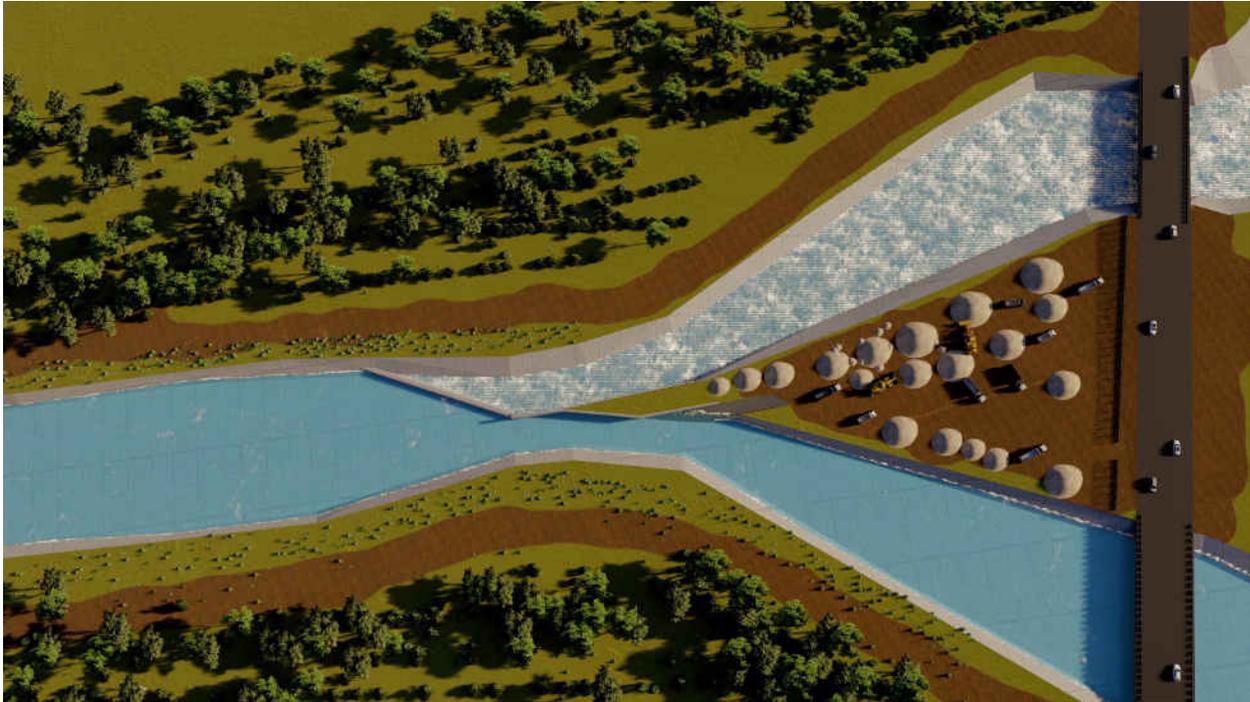
sedimento hacia la delegación del Valle de las Garzas en lluvias normales, sin embargo, cuando se presente una lluvia extraordinaria en la zona el flujo que rebase los 2 metros del dique continuará en dirección al Valle de las Garzas para desembocar en el cuerpo lagunar. La función del dique es redireccionar el sedimento que se transporta por el cauce principal, además de que, si se rebasa el dique, el brazo que conduce al Valle de las Garzas entrara como apoyo para evitar el desborde. Siendo así la disminución considerable de transporte de sedimento con destino al cuerpo lagunar. Para este proyecto de Obra de Control Hidráulica se realizó un informe por separado para lograr cubrir todos los datos necesarios que conlleva esta propuesta como solución a la problemática.

#### IV.8 Render del proyecto de la obra hidráulica.



**Figura 89. Render la Obra de Control Hidráulica.**

En la Figura 89 se observa un render de la zona de bifurcación donde se realiza una inclusión de la propuesta del proyecto Obra de Control Hidráulica el cual conlleva un dique para evitar el transporte de sedimento hacia la Laguna Valle de las Garzas.



**Figura 90. Rrender vista en planta de la zona de bifurcación.**

En la Figura 90. Se muestra una vista del render realizado en planta del proyecto Obra de Control Hidráulica el cual consiste en realizar un dique para evitar el transporte de sedimentos hacia el cuerpo lagunar receptor y conducirlo por el arroyo de salagua para que el sedimento transportado realice su ciclo natural y se deposite en el océano.

#### IV.9 Aportaciones de sedimento a la Laguna Valle de las Garzas.

La zona urbana que rodea la Laguna Valle de las Garzas cuenta con un área de 805 ha aproximadamente, tomando en cuenta la sugerencia de (Zafra Mejía, Temprano González, & Tejero Monzón, 2009) de 0.8 ton/ha se tiene un aporte de 644 toneladas de sedimento urbano.

En cuanto al Arroyo Punta de Agua después de la bifurcación con dirección hacia la delegación del Valle de las Garzas se espera un volumen de 248,826.045 m<sup>3</sup> de sedimento.

La PTAR Salagua produce 1,476.9 ton/año de sedimento con un gasto de 27,820.8 m<sup>3</sup>/día. Estos datos toman como referencia a la PTAR Manzanillo Centro que produce 344 ton/año con un gasto de 6480 m<sup>3</sup>/día, pues ambas trabajan bajo el proceso de

Lodos Activados. (Menéndez Gutiérrez, Pérez Olmo, & García Zumalacárregui, 2013) sugieren una tabla de algunos problemas fáciles de detectar y su posible causa, la cual menciona que si hay presencia de malos olores es debido a la causa de acumulación de sólidos orgánicos en el flujo por lo que el tratamiento no es el correcto o no se ha realizado al 100%, desechando hacia el cuerpo receptor un flujo con presencia de sólidos orgánicos.

Para esto se estima que la PTAR Salagua arroje un flujo con presencia de sólidos orgánicos debido a la presencia de malos olores donde se encuentra su comunicación con el cuerpo receptor. Diversas fuentes informativas declaran que la PTAR Salagua se encuentra rebasada por lo que el flujo que termina en el cuerpo receptor no cuenta con el tratamiento adecuado. Para esto se sugiere que la aportación de sedimentos hacia la laguna sea un estimado del 50% del sedimento que produce por tratamiento, siendo así una aportación de 738.45 ton/año al cuerpo receptor Laguna Valle de las Garzas.



### Estratigrafía de sondeo SE-01

En este sondeo el lecho lacustre se localizó a -1.30 metros con respecto al espejo del agua. Se detectó primeramente un estrato de limo de Alta Plasticidad color café claro, con presencia de materia orgánica vegetal (fragmentos de rama seca) nano-palizada. De aproximadamente 1.35 metros de espesor, seguido de una capa de Arena arcillosa DE ALTA plasticidad color gris de 45 cm. de espesor. Luego continúa una capa de limo-arenoso color café de baja plasticidad y posteriormente se encuentra un estrato de Limo de alta plasticidad color gris oscuro, hasta los -5.10 metros de profundidad. Finalmente se detectó una capa de Arena arcillosa DE ALTA plasticidad color gris, la cual se prolonga hasta los -6.15 m. de profundidad. En esta cota se suspendió el sondeo.

### ESTRATIGRAFÍA DE SONDEO SE-02

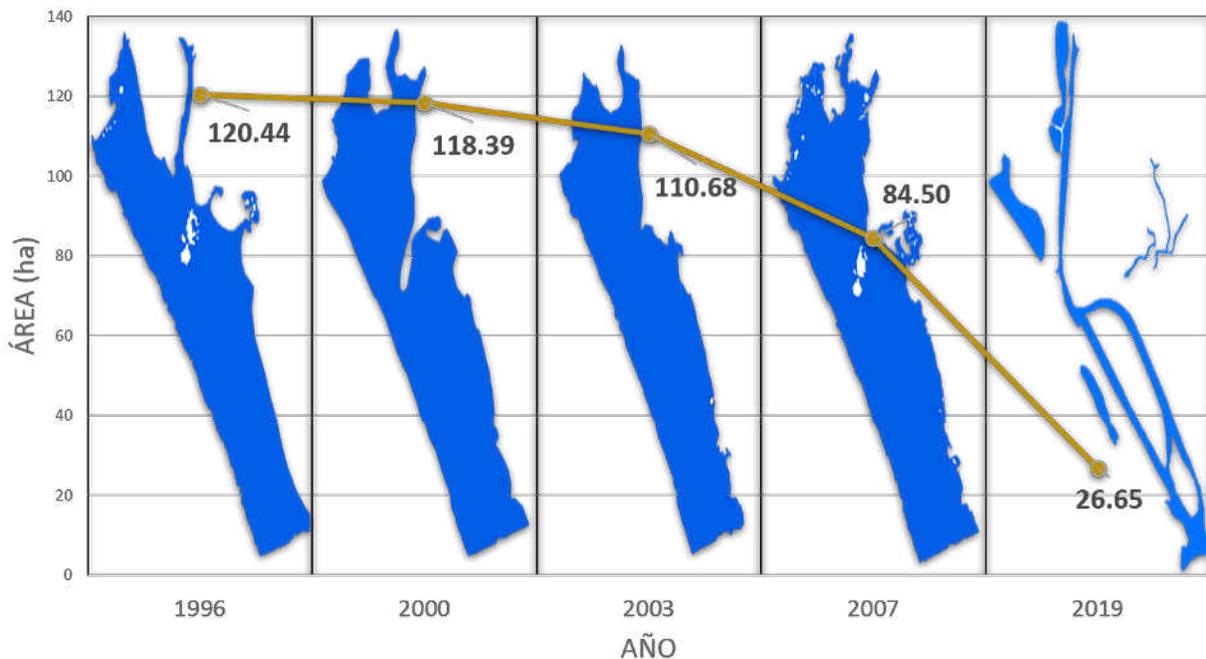
La profundidad del espejo de agua al lecho lacustre fue de -1.20 m. En este sondeo, se aprecia primeramente una capa de Limo Orgánico color café, con presencia de materia orgánica vegetal (fragmentos de rama seca) nano-palizada, de la cota 0.0 a la cota -0.90. Después se localizó un estrato de Limo Orgánico color café-grisáceo, la cual se prolonga hasta la cota -3.15 metros. Posteriormente se detectó un estrato de Limo de alta plasticidad color gris oscuro hasta la cota de -5.55 metros. En esta cota existe una capa de Arena arcillosa DE ALTA plasticidad color gris. Y luego continúa la capa de Limo de alta plasticidad color gris oscuro hasta los -6.15 metros en que se suspendió el sondeo SE-02.

### ESTRATIGRAFÍA DE SONDEO SE-03

En este punto, el tirante de agua se determinó con una altura de 0.70 metros. En este sondeo aparece primeramente un estrato de Limo de alta plasticidad color café-grisáceo con espesor de 0.45 m. seguido de una alternancia de Limo de alta plasticidad color gris oscuro con limo café grisáceo hasta el nivel de -2.70 con respecto al lecho marino. A partir de esta cota se presenta material clasificado como Limo de alta plasticidad color gris oscuro, el cual se prolonga hasta la cota de -6.15 metros. Nivel en que se suspendió el sondeo SE-03.

Realizando un promedio de las profundidades se obtiene una profundidad de 6.30 metros de espesor de azolve en el vaso lagunar.

En base al programa “Delimitación del humedal de la Laguna Valle de las Garzas bajo criterios edafológicos, hidrológicos y bióticos” se obtiene la información del área en el año 1996 la cual es de 120.44 ha en base a información obtenida de una ortofoto del INEGI



**Figura 92. Áreas del espejo de agua de Laguna Valle de las Garzas de 1996 a 2019**

Con esta información se pretende estimar la cantidad de azolve acumulado dentro del vaso lagunar. Realizando la conversión de hectáreas a metros cuadrados se tiene 1,204,400 m<sup>2</sup>

Obteniendo volúmenes con estos datos, el resultado ronda los 7,587,720 m<sup>3</sup> de azolve en la Laguna Valle de las Garzas tomando en cuenta el área del cuerpo lagunar en el año de 1996.



## V. INTERPRETACION DE RESULTADOS

El área de estudio analizada con el software de ArcGis solo comprende la cuenca que se determinó por las cartas topográficas del INEGI que incluyen curvas de nivel además de la confirmación con un Modelo de Elevación Digital trabajado con ArcMap, por lo que la ubicación y delimitación de la laguna no se comprendieron en el proceso de delimitación con ArcMap.

La Laguna Valle de las Garzas se delimitó con las coordenadas publicadas en el Diario Oficial de la Federación ubicando la zona federal de este cuerpo lagunar. Se ubicaron y se estimaron las áreas urbanas colindantes con la Laguna Valle de las Garzas para contabilizar el área total y de esa manera señalar la posible cantidad de sedimento que espera el cuerpo lagunar como receptor al año.

Durante el recorrido por el cauce principal se tomaron muestras de sedimento a lo largo de este para determinar la presencia de qué tamaño de grano es el que abunda y con qué velocidad de flujo es como se conduce por todo el arroyo. Esto debido a la pérdida de suelo presentada en la cuenca de estudio que comprende una superficie de 134 km<sup>2</sup> conduciéndose por el cauce principal de la cuenca que es el Arroyo Punta de Agua. Sin embargo, la erosión de esta superficie se debe a la presencia de lluvia en la zona de estudio. Se estudio la precipitación de las diferentes estaciones meteorológicas aledañas a la zona de estudio y realizando una interpolación se logró establecer la cantidad de lluvia que ocurre en cada área de estudio, por lo que la cantidad esperada de sedimento se debe a una lluvia promedio en esta área, ya sea que sea una lluvia más fuerte del promedio al año se espera mayor cantidad de erosión o viceversa para la misma situación.

La propuesta que se presenta en el proyecto Obra de Control Hidráulica es debida a una solución que se propone a la problemática del azolve en la Laguna Valle de las Garzas situándose en la zona donde bifurca el Arroyo Punta de Agua. Consiste en un dique con altura de 2 metros para evitar el pase de sedimento transportado por el flujo que se conduce por el cauce. En alguna ocasión donde se presente un tirante con una elevación mayor a 2 metros y rebase el dique, el brazo que conduce hacia la delegación del Valle de las Garzas entrará como apoyo para evitar el desborde del cauce, sin

embargo, ya no se transportará la misma cantidad de sedimento con destino al cuerpo lagunar. Este proyecto de Obra de Control Hidráulica es una sugerencia de solución para la problemática que presenta la Laguna Valle de las Garzas, sin embargo, no propone detalles técnicos de construcción ni medidas establecidas bajo criterio de estudio pues conlleva a realizar un estudio más preciso para esa zona en particular.

En las aportaciones de sedimento hacia la Laguna Valle de las Garzas, se toman 3 posibles orígenes y su aportación en particular, la PTAR Salagua genera una aportación aproximada 738.45 ton/año, la zona urbana aledaña al cuerpo lagunar cuenta con una posible aportación de 644 toneladas de sedimento urbano y el cauce principal de la cuenca de estudio el Arroyo Punta de Agua podría generar un arrastre de volumen de 248,826.045 m<sup>3</sup> de sedimento para depositarse en el cuerpo lagunar

La realización del recubrimiento con concreto reforzado en el cauce principal desde el cadenamiento 3+400 hasta 3+900 facilitara la dirección del flujo logrando un efecto estable conforme se encuentra con la dirección del dique propuesto.

De los resultados obtenidos en el análisis de las muestras se determinó lo siguiente: Las muestras de suelo recuperadas se clasifican en su mayoría como limo de alta plasticidad (MH), limo de alta plasticidad (OL) y con presencia de materia orgánica vegetal (fragmentos muy pequeños de rama u hojas) nano-palizada.

También se encontraron algunos estratos o capas de menor espesor constituidas de arenas-arcillosas de ALTA PLASTICIDAD (SC) color gris (SE-01 en la cota -5.10), (SE-02 en la cota -5.55).

Todas las muestras de suelo presentan bajos pesos volumétricos del orden de entre los 500 al 600 Kg/m<sup>3</sup> en las capas de limos y limos orgánicos. Y las arenas arcillosas del orden de los 1,100.0 a 1,200.0 kg/m<sup>3</sup>., los cuales se consideran también bajos.

Otro aspecto por mencionar es el alto contenido de agua que presentaron todas las muestras de suelo recuperadas, del orden de entre 100 a 140% de agua.

Cabe destacar además que, como se mencionó anteriormente, en las muestras recabadas se detectó nano-palizada, mini fragmentos de ramas u hojas secas mezcladas con el material azolvado (limos, arenas arcillosas). Ver imagen 5 y 6. Pero

También se observó materia orgánica vegetal en fragmentos más grandes, trozos de madera, ramas, hojas.

Los sondeos se finalizaron a la cota de -6.15 metros aproximadamente, ya que en este nivel el número de golpes para hincar las barras de acero se incrementó por el orden de los “N”, 40 golpes. Por lo que se hasta esta profundidad se muestreo el sub-suelo lacustre.

En base a los datos de obtenidos de profundidad de azolve con los sondeos y con el área presentada en el programa “Delimitación del humedal de la Laguna Valle de las Garzas bajo criterios edafológicos, hidrológicos y bióticos” se estima la cantidad de azolve en el cuerpo lagunar de 7,587,720 m<sup>3</sup>.

## VI. TENDENCIA DE LA CALIDAD AMBIENTAL

El sedimento proveniente de la cuenca ocasiona afectaciones a los predios de cultivo que se encuentran aledaños al cauce principal debido a que el retiro del azolve acumulado en el mismo no es el adecuado logrando así el aumento del nivel del flujo expandiendo el cauce a los lados, al igual que las trampas de azolve que se encuentran en el cauce no tienen el mantenimiento adecuado ocasionando que el azolve llegue directo a los canales principales dragados en la laguna ocasionando repetidamente el azolve de los mismos impidiendo el flujo del agua por el vaso lagunar.

## VII. SUGERENCIAS PARA MEJORAR LA CALIDAD AMBIENTAL

Encontrar una solución pertinente para cada una de las fuentes de sedimento que están depositándose en el cauce principal al igual que en el Vaso Lacustre del Valle de las Garzas.



## VIII. CONCLUSIONES

La Laguna Valle de las Garzas presenta importante depositación de sedimentos en 1 año 250,239 M<sup>3</sup> que contribuyen el cauce del río punta de agua, zona urbana perimetral y PTAR, por lo que la propuesta que se sugiere en el área donde bifurca el Arroyo Punta de Agua podría ser una solución muy importante para disminuir la carga de sedimentos con destino al cuerpo lagunar. En cuanto a la PTAR Salagua se sugiere que se realicen estudios para determinar con exactitud el caudal tratado que recibe la laguna, y examinar si el tratamiento que se realiza es adecuado, de lo contrario establecer algunas medidas de corrección.

La zona urbana genera importante cantidad de sedimento que se alojan en el cuerpo lagunar por lo que se propone realizar estudios de mayor exactitud para identificar la carga exacta de acumulación de sedimento en estas áreas y realizar una propuesta para la mitigación de transporte de sedimento con destino a la Laguna Valle de las Garzas.

El área de estudio correspondiente a la cuenca comprende de 135 km<sup>2</sup> los cuales fueron estudiados para obtener la cantidad estimada de sedimento que genera esta. Los suelos desnudos generan aportación importante, el cual tiene un área estimada de 57 ha, junto con las parcelas de cultivo, se estima el área de 385 ha, estos dos datos se comprenden dentro del territorio de los 135 km<sup>2</sup>. Además, se ubica la Laguna Valle de las Garzas que es el cuerpo receptor del cauce principal de la cuenca.

Se cuantificaron las áreas urbanas que rodean a la Laguna Valle de las Garzas debido al origen del sedimento en estas zonas el cual se deposita en el cuerpo lagunar teniendo un área total estimada de 805 ha.

Para identificar el transporte de sedimento que proviene de la cuenca se realizó un estudio de granulometría tomando muestra del sedimento depositado por el cauce principal, esto con el fin de distinguir el tamaño de grano abundante y determinar la velocidad a la que se transporta con el flujo.

La pérdida de suelo en la cuenca de estudio genera aportación importante de sedimento el cual se acumula en el cauce principal de la cuenca. Para que se lleve a



cabo esta acción es necesario tomar en cuenta la intensidad de lluvia dentro de la zona de estudio. La cantidad estimada de sedimento que genera la cuenca con la intensidad promedio de lluvia es de 497,652.09 m<sup>3</sup>, sin embargo, debido a una bifurcación en el cauce principal el sedimento depositado en la laguna disminuye al 50%.

Tomando en cuenta el proyecto de Obra de Control Hidráulica, se estima reducir la aportación de sedimento originado en la cuenca hasta en un 80%, esto debido a la redirección del flujo que se transporta por el cauce principal junto con el sedimento acumulado el cual tendrá como desfogue la bahía de Manzanillo a través del arroyo Salagua.

La aportación de sedimento a la Laguna Valle de las Garzas tiene diferentes orígenes, la cuenca que es la principal aportación, este sedimento se transporta por el cauce principal Arroyo Punta de Agua y concluye en la Laguna Valle de las Garzas. El sedimento acumulado en las áreas urbanas aledaños al cuerpo lagunar, también generan acumulación de sedimentos y estos son transportados por escorrentías urbanas las cuales suceden normalmente en temporada de lluvia teniendo como finalidad la Laguna Valle de las Garzas. La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Salagua concluye su proceso y utiliza como vaso receptor para tratamiento final de las aguas el vaso de la Laguna Valle de las Garzas, sin embargo, estas aguas aun cuentan con partículas de sedimento los cuales se depositan en esta zona ocasionando azolve.

Con la finalidad de encontrar un estrato resistente dentro de la Laguna Valle de las Garzas, se hicieron 3 sondeos exploratorios dentro de los límites de la laguna. Los resultados arrojados concluyen con un suelo resistente a la cota -6.30m con respecto al Nivel de Bajamar Media Inferior (NBMI).

Realizando una estimación de acumulación de sedimento dentro de la Laguna Valle de las Garzas, se tiene como dato final un azolvamiento estimado de 7,587,720 m<sup>3</sup>. Este azolve se conforma por limos de alta plasticidad, presencia de materia orgánica vegetal como lo son fragmentos pequeños de ramas u hojas y arenas arcillosas de alta plasticidad, esta última en capas de menor espesor a las capas de los limos.

## IX. RECOMENDACIONES

Se recomienda la elaboración del estudio y proyecto ejecutivo de la propuesta del dique hidráulico en la zona de la bifurcación del cauce del arroyo punta de agua.

Mediante la construcción de esta obra, se estima reducir el aporte de sedimento a la laguna del Valle de las Garzas de 248,826 m<sup>3</sup> anuales a 50,000 M<sup>3</sup>. 80% aproximadamente.

Se recomienda solucionar el problema de la calidad del agua y sedimento aportado por la PTAR, ya que el producto que actualmente vierte actúa como un floculador, adhiriendo el sedimento al perímetro de las islas, provocando su crecimiento y por lo tanto la pérdida de superficie de la laguna.

Se recomienda el retiro del sedimento en el cauce del arroyo punta de agua, ya que actualmente se encuentra a su máxima capacidad, aprox. 531,030 M<sup>3</sup>. Al parecer existen concesiones de explotación, pero el sobrante de la criba (Rezaga) se deposita en el mismo lugar.

Este recurso genera ingresos económicos importantes si se comercializa adecuadamente, proporcionando un beneficio al buen manejo del caudal y sus sedimentos.

Otro aspecto que se sugiere es no utilizar el sistema de la tarquina en los trabajos de dragado, ya que se observó que no tiene una eficiencia importante en el retiro del sedimento. Se debe de retirar a una zona y confinarlo.

## X. BIBLIOGRAFÍA

Agrícola, D. d. (2010). *Erosión Hidrca. Evaluación con la USLE*. Granada: Universidad de Granada.

Agua, C. N. (2007). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento*. México: CNA.



AMBIENTAL, M. D. (2011). *Obra Hidráulica para la protección de áreas productivas y centros de población, sobre el arroyo Punta de Agua, Municipio de Manzanillo, Colima*. Mexico: MODALIDAD PARTICULAR.

Bateman, A. (2007). *HIDROLOGIA BASICA Y APLICADA*. UPC.

Batista, N. (2007). *Pre Tratamiento y Tratamiento de Aguas Residuales*. México: Academia.

Béjar, M. V. (2007). *Hidraulica de Canales*. Lima: Villón.

Castro Mendoza, I. (2013). Estimación de pérdida de suelo por erosión hídrica en microcuenca de presa Madín, México. *SciELO*, 9.

Colotti B., E. (1999). La erosividad: cualidad de la lluvia poco conocida. *Terra. Nueva Etapa*.

CONABIO. (20 de 04 de 2020). *Biodiversidad Mexicana*. Obtenido de Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad: <http://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/selvaSeca>

CONAGUA. (2006). *Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

CONAGUA. (2008). *Estadísticas del Agua en México*. México: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.

CONAGUA. (2015). *Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

CONAGUA. (s.f.). *Información Histórica*. Obtenido de <https://smn.conagua.gob.mx/es/ciclones-tropicales/informacion-historica>

Cortés Patiño, J. (2015). CARACTERIZACIÓN DE ARENAS SECAS MAL Y BIEN GRADUADAS BAJO PRUEBAS DE CORTE DIRECTO. (*Tesis de Licenciatura*). UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, Mexico D.F.



Cortolima. (2018). Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica mayor del río Totare. *Cortolima*, 820-853.

FAO. (28 de 02 de 2007). *FAO/GeoNetwork*. Obtenido de Digital Soil Map of the World: <http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/metadata.show?id=14116>

FAO. (2009). *Guía para la descripción de suelos*. Roma: FAO.

Febles Díaz, J. M., & Vega Carreño, M. B. (2016). Estimación del aporte de la erosión hídrica al azolve del embalse Mampostón. *SciELO*, 11.

Federación, D. O. (2012). *Parque Metropolitano Estero Las Garzas*. México: DOF.

Federación, D. O. (2012). *Parque Metropolitano Estero Las Garzas*. México: DOF.

Flores Islas, E. (2016). ESTIMACIÓN DE LA PÉRDIDA DE SUELO POR EROSIÓN HÍDRICA EN TRES CUENCAS DE LA REPÚBLICA MEXICANA, UTILIZANDO LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELO. (*Tesis de Licenciatura*). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.

Flórez Molina, M. P. (2018). Tasas de sedimentación y características de sedimentos de fondo en tres embalses de Antioquia, Colombia. *Ingeniería del Agua*, 177-194.

Guerrero, C. d. (2011). *Construcción y operación de planta de tratamiento de aguas residuales para la ciudad de Oxtotitlan, Guerrero*. Guerrero: MIA Particular.

IMTA. (2014). *ATLAS CLIMATOLOGICO DE CICLONES TROPICALES EN MEXICO*. Mexico: Versión Electrónica.

IMTA. (2015). *ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRODINÁMICO EN LA LAGUNA DE LAS GARZAS, EN MANZANILLO, COLIMA*. MEXICO: Informe Final.

INEGI. (1 de JULIO de 2020). *INEGI*. Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=06>

INIFAP. (2005). *Recursos edafo-climáticos para la planeación del Sector Productivo en el Estado de Colima*. Jalisco: CIRPAC.



Instituto Nacional de Estadística, G. e. (1995). *Estudio Hidrológico del Estado de Colima*. México: INEGI.

José Méndez, G., Alberto Depettris, C., Víctor Pilar, J., Orfeo, O., & Ricardo Ruberto, A. (2014). Transferencia de sedimentos de una microcuenca a la red de drenaje urbano. *SciELO*, 1-9.

Krauskopf, K. y. (1995). *Introduction to geochemistry*. Singapore: McGraw-Hill, 3 edition.

M. Patiño-Barragán<sup>1</sup>, A. O.-W. (2009). ZONA DE MAYOR AFECTACIÓN EN EL PUERTO DE. *Scielo*, 48-60.

Manzanillo, P. (2011). *Planta de Tratamiento de Aguas Residuales "Manzanillo Centro" (PTAR Manzanillo)*. Manzanillo: Manifestación de Impacto Ambiental.

Mendez, G. J. (2014). Transferencia de sedimentos de una microcuenca a la red de drenaje urbano. *Scielo*, 1-9.

Menéndez Gutiérrez, C., Pérez Olmo, J., & García Zumalacárregui, J. (2013). PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES MEDIANTE FILTROS PERCOLADORES. *ResearchGate*, 1-51.

ORTIZ, O. P. (s.f.). DETERMINACIÓN DE LA EROSIÓN HIDRICA POTENCIAL Y ACTUAL A TRAVÉS DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA. *Tesis de Licenciatura*. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO, Coahuila, México.

Padilla Velarde, E., Cuevas Guzmán, R., Ibarra Manríquez, G., & Moreno Gómez, S. (2006). Riqueza y biogeografía de la flora arbórea del estado de Colima, México. *SciELO*, 15.

Pando Moreno, M., Gutiérrez Gutiérrez, M., Maldonado Hernández, A., Palacio Prieto, J. L., & Estrada Castellón, A. E. (2003). Comparación de métodos en la estimación de erosión. *SciELO*, 14.



Patiño-Barragan, M., Meyer-Willerer, A.-O., Galicia-Pérez, M.-A., Lezama-Cervantes, C., & Lara-Chavez, B. (2009). ZONA DE MAYOR AFECTACIÓN EN EL PUERTO DE. *Revista de la Facultad de Ingeniería*, 47-60.

Puyol, A. F. (2006). *Principios y fundamentos*. Mexico: Proyectos Especiales.

Ramirez Leon, J. M., & Aparicio, J. (2008). ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS EN CUENCAS: APLICACIÓN A UNA CUENCA EN MÉXICO. *ResearchGate*, 8.

Román, J. S. (2007). *Hidrología Superficial (III): Relación Precipitación - Escorrentía*. España: Departamento de Geología.

Salazar Abaroa, M., & Lozoya Baeza, J. (7 de Septiembre de 1999). Diario de Colima. *Manzanillo, Incomunicado por las Inundaciones*, págs. 9-10.

Sánchez, J. A. (s.f.). ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DEL RIO PUNTA DE AGUA EN EL TRAMO CANALIZADO DE LA AUTOPISTA MANZANILLO-PUERTO VALLARTA AL PUENTE PASEO DE LAS GAVIOTAS. *Tesis de Licenciatura*. Universidad de Colima, Colima.

Sánchez, L. A. (s.f.). RIESGO A LA EROSIÓN HÍDRICA Y PRÁCTICAS DE MANEJO EN LA MICROCUENCA GARROCHITAS PANALILLO II. (*Tesis de Licenciatura*). UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ, SAN LUIS POTOSÍ.

SEMARNAT. (2013). *Cuencas Hidrograficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestion*. Mexico: semarnat.

SEMARNAT. (2015). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México*. Mexico: Semarnat.

SIAPA. (2014). *CRITERIOS Y LINEAMIENTOS TÉCNICOS PARA FACTIBILIDADES. Criterios Básicos de Diseño*. Jalisco: siapa.

Sinoga, J. D. (2003). *Erosión del suelo y procesos de la urbanización*. España: OMAU.

SMN. (01 de Abril de 2020). *CONAGUA*. Obtenido de Servicio Meteorológico Nacional: <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/pronostico-climatico/precipitacion-form>



Villafaña, A. P. (s.f.). Estimación de la erosión hídrica mediante dos métodos de la ecuación universal de pérdida de suelo EUPS en la cuenca del río chapingo, Texcoco. *Tesis de Licenciatura*. Universidad Autónoma del Estado de México, México.

White, R. E. (1997). *Principles and Practice of Soil Science: The Soil as a Natural Resource*. Massachusetts: Blackwell Science.

Wischmeier, W. H. (1978). *Predicting Rainfall Erosion Losses*. Washington, DC.: Agriculture Handbook No. 537. USDA.

Zafra Mejía, C. A., Temprano González, J., & Tejero Monzón, I. (2009). Evaluación de la contaminación por escorrentía urbana: sedimentos depositados sobre la superficie de una vía. *REVISTA INGENIERÍA E INVESTIGACIÓN VOL. 29*, 101-108.