

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

"REHABILITACIÓN Y SANEAMIENTO DEL RIO CHICHARRÓN"

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO CIVIL

Presentado por:

William Andrés Jaén Sánchez

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2016

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, Jenny del Carmen Sánchez Álvarez y William Alonso Jaén Sánchez; mis hermanos Charles y Jennifer, por haberme apoyado en cada proceso de mi preparación profesional

A mis profesores, por ser el catalizador del aprendizaje a lo largo de mi vida estudiantil.

A mis amigos, compañeros y personas que han compartido su etapa estudiantil conmigo.

A los integrantes de IAHR – ESPOL, por el apoyo que le han prestado al instituto y a cada uno de sus proyectos.

DEDICATORIA

A mis padres, Jenny del Carmen Sánchez Álvarez y William Alonso Jaén Sánchez; mis hermanos Charles y Jennifer, por su paciencia, cariño; por ser fuente de inspiración, perseverancia y siempre brindarme su apoyo incondicional en todas mis metas.

A mis profesores, por la oportunidad de brindar sus experiencias y ser pilares en mi preparación profesional.

A mis amigos, compañeros y personas que de cierta manera han estado presentes a lo largo de este capítulo de mi vida, que han sido fuente de motivación y apoyo.

A los integrantes de IAHR – ESPOL, por la motivación que me han dado en seguir investigando y compartir mis conocimientos.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Ph.D. Miguel Ángel Chávez
DIRECTOR DEL PROYECTO

M.Sc. Alby del Pilar Aguilar
COORDINADORA DE
INGENIERIA CIVIL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en el presente Trabajo Final de Graduación me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

William Andrés Jaén Sánchez

RESUMEN

La comuna de Montañita se desarrolla junto a las márgenes del río Chicharrón; el crecimiento de la población sin una buena planificación, ha provocado que los pobladores ocupen las márgenes del cauce; que las descargas de sus aguas residuales se dirijan directamente hacia pozos sépticos o directamente al río sin un tratamiento previo. Se planificó y construyó una laguna anaeróbica, con el fin de tratar las descargas de la población. Para la construcción de la laguna se levantaron caminos provisionales que invadían el lecho del cauce, obstruyendo el flujo natural, alterando la condición natural. La laguna descarga su efluente al estero Cucaracha, muchas veces sin recibir un tratamiento previo, y este flujo llega al río Chicharrón, el cual posee un comportamiento intermitente; en épocas de estiaje se comporta como bahía oceánica y en épocas de precipitaciones intensas, se convierte en estuario descargando hacia el mar. El caudal que alimenta el río en época de estiaje es netamente el producto de la descarga de la laguna anaeróbica y las descargas ilícitas. A lo largo del 2015 y parte del 2016 se realizó un monitoreo de la calidad del agua, para identificar las

fuentes aportantes de contaminación. Se determinó que el río presenta una contaminación fecal a lo largo de su cauce, junto al estero Cucaracha. A estos problemas se les suma, la construcción del, que también atraviesa el cauce; parte del material de su cobertura obstruye el cauce provocando un pequeño represamiento en la zona central.

Se plantearon tres alternativas para poder solucionar estos problemas, determinando como solución a corto plazo la rehabilitación fluvial del cauce, y a largo plazo la construcción de un emisario submarino, con el fin de eliminar la laguna anaeróbica, y el daño que está causando a lo largo de su descarga. El diseño y la construcción de emisarios submarinos en el país, es un tema prácticamente nuevo, ya que no poseemos experiencia en esta área, incluyendo las normas orientadas a este tipo de estructuras. El diseño de la infraestructura, se complementó con normativas de la EPA, y países de Europa y modelos numéricos para llegar a mejores resultados de análisis.

INDICE GENERAL

1. INTRODUCCION.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Objetivos.....	2
1.2.1. Objetivo principal.....	2
1.2.2. Objetivos específicos.....	2
1.3. Justificación.....	3
1.4. Alcance.....	4
1.5. Área de estudio.....	4
2. ESTUDIOS PRELIMINARES.....	6
2.1. Geología regional.....	6
2.2. Geomorfología.....	10
2.3. Tipos de suelos.....	14
2.4. Uso del suelo.....	20
2.5. Climatología.....	21
2.5.1. Precipitación.....	23
2.5.2. Heliofania.....	25
2.6. Hidrografía.....	25
2.6.1. Características físico-química del lecho del estuario.....	27
2.7. Calidad del agua.....	28
2.8. Agua potable, alcantarillado sanitario y pluvial.....	29
2.8.1. Abastecimiento de agua potable.....	29

2.8.2. Alcantarillado pluvial y sanitario.....	30
2.8.3. Estación de bombeo y línea de impulsión.....	31
2.8.4. Sistema de tratamiento: Laguna anaeróbica.....	33
2.9. Componente social.....	33
3. INFORMACION GENERADA.....	35
3.1. Topografía.....	35
3.2. Batimetría.....	36
3.3. Hidrología.....	37
3.3.1. Cuenca Chicharrón y cuenca Cucaracha.....	39
3.3.2. Cuenca urbana Comuna de Montañita.....	42
3.4. Hidrosanitaria.....	46
3.4.1. Caudales AASS.....	46
3.5. Hidráulica fluvial.....	52
3.5.1. Características morfológicas de los cauces	52
3.5.2. Modelación hidráulica con flujo permanente (HEC-RAS)	56
3.6. Comportamiento estuarino.....	63
3.7. Costas.....	64
3.7.1. Morfología	64
3.7.2. Corrientes.....	66
3.8. Calidad del agua.....	69
3.8.1. Parámetros físicos, químicos y microbiológicos	69
3.8.2. Aguas residuales urbanas de origen domestico	72
3.8.3. Autodepuración	75
3.8.4. Fuentes de contaminación.....	76

3.8.5. Monitoreo de calidad del agua.....	78
4. PLANTEO DE ALTERNATIVAS PARA REHABILITACION SANEAMIENTO.	88
4.1. REHABILITACION Alternativa #1: Eliminación de obstrucciones	
transversales.....	90
4.1.1. Ventajas.....	90
4.1.2. Restricciones.....	91
4.2. REHABILITACION Alternativa #2: Construcción de escolleras.....	91
4.2.1. Ventajas.....	92
4.2.2. Restricciones.....	93
4.3. REHABILITACION Alternativa #3: Construcción de obras de drenaje y	
rehabilitación del cauce.....	93
4.3.1. Ventajas.....	94
4.3.2. Restricciones.....	94
4.4. SANEAMIENTO Alternativa #1: Construcción de presa e islas	
artificiales.....	95
4.4.1. Ventajas.....	97
4.4.2. Restricciones.....	97
4.5. SANEAMIENTO Alternativa #2: Humedal artificial.....	98
4.5.1. Ventajas.....	98
4.5.2. Restricciones.....	99
4.6. SANEAMIENTO Alternativa #3: Emisario submarino.....	99
4.6.1. Ventajas.....	101
4.6.2. Restricciones.....	101

5. ANALISIS Y DESARROLLO DE LAS ALTERNATIVAS PROPUESTAS.....	102
5.1. Rehabilitación fluvial.....	104
5.1.1. Eliminación de vados.....	104
5.1.2. Eliminación de especies invasoras.....	108
5.1.3. Revegetación.....	115
5.1.4. Funcionalidad del río Chicharrón.....	124
5.2. Saneamiento.....	135
5.2.1. Etapas de diseño.....	140
5.2.2. Datos mínimos requeridos.....	141
5.2.3. Bases para la determinación de la localización del difusor y la longitud del emisario submarino.....	142
5.2.4. Diseño del emisario.....	143
5.2.5. Sistema constructivo.....	160
5.2.6. Costos.....	177
5.2.7. Matriz de impacto ambiental.....	181
6. MODELACION NUMERICA	184
6.1. Modelos de dilución.....	184
6.1.1. Visual Plumes.....	185
6.1.2. CORMIX.....	199
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	210
7.1. Conclusiones.....	210
7.2. Recomendaciones.....	213

INDICE FIGURAS

Figura 1.- Área de estudio.....	5
Figura 2.- Climograma.....	22
Figura 3.- Diagrama de temperatura.....	23
Figura 4.- Precipitacion total mensual multianual.....	24
Figura 5.- Red hidrografica del rio Chicharrón.....	27
Figura 6.- Reservorios que abastecen la comuna de Montañita.....	30
Figura 7.- Indice de cartas IGM 50000.....	36
Figura 8.- Levantamiento topografico y batimetrico del estuario Chicharrón.....	37
Figura 9.- Cuenca del rio Chicharrón y subcuenca del estero Cucaracha.....	38
Figura 10.- Distribucion de coeficientes de escorrentia.....	43
Figura 11.- Estacion de bombeo, comuna de Montañita.....	51
Figura 12.- Laguna anaerobica.....	51
Figura 13.- Coeficiente de sinuosidad del rio Chicharrón.....	55
Figura 14.- Modelo digital del terreno.....	57
Figura 15.- Vista en planta de las secciones transversales del modelo.....	58
Figura 16.- Vista tridimensional del modelo.....	60

Figura 17.- Efecto de Overtopping sobre barra costera, Marzo 2015.....	62
Figura 18.- Creciente violenta y de corta duracion en el rio Chicharron, Marzo 2015.....	62
Figura 19.- Imagen historica, septiembre 2011.....	64
Figura 20.- Esquema de la circulacion oceanica del Pacifico Tropical Este.....	67
Figura 21.- Comportamiento anual de las mareas Enero – Diciembre 2015.....	68
Figura 22.- Descarga de la laguna de oxidacion en el estero Cucaracha.....	77
Figura 23.- Ducto cajon de aguas lluvias que descarga hacia el esturio del Chicharrón.....	78
Figura 24.- Conductividad electrica, (Max. 7.76 – Min. 4.15).	80
Figura 25.- Oxigeno disuelto, (Max. 17.0 – Min. 4.0).....	81
Figura 26.- Nitrogeno - Nitrato, (Max. 50.0 – Min. 17.72).....	82
Figura 27.- Nitrogeno - Amonia, (Max. 7.20 – Min. 1.0).....	83
Figura 28.- Coliformes Totales.....	85
Figura 29.- Coliformes Fecales.....	86
Figura 30.- Zonificacion del area de estudio.....	89
Figura 31.- Seccion tipica de la Zona C.....	92
Figura 32.- Modelo conceptual de una isla artificial.....	96

Figura 33.- Tuberias presentes en el vado.	108
Figura 34.- Analisis satelital multianual.....	114
Figura 35.- Tuberias presentes en el vado.....	115
Figura 36.- Tecnicas de estabilizacion de taludes.....	121
Figura 37.- Tecnicas especificas de mayor utilizacion en la restauracion de rios y riberas. a) Introduccion de bolos, b) reperfilado de taludes, c) y d) utilizacion de tecnicas de bioingenieria.....	122
Figura 38.- Estero Cucaracha.....	123
Figura 39.- Rio Chicharron, Zona C. Margenes inestables.....	124
Figura 40.- Cross section layout for culver method.....	130
Figura 41.- Cross section #2 of culvert model.....	132
Figura 42.- Seccion aguas arriba de la estructura de drenaje.....	134
Figura 43.- Seccion aguas abajo de la estructura de drenaje.....	135
Figura 44.- Ubicaci3n de arranque del emisario.....	143
Figura 45.- Salinidad promedio del agua.Junio 2015.....	146
Figura 46.- Temperaturas promedio del agua.....	147
Figura 47.- Direccion predominante de la velocidad del viento.....	148

Figura 48.- Comportamiento del viento, en magnitud regional. 25 Enero 2015.....	149
Figura 49.- Comportamiento del periodo de mareas, en magnitud regional. 1 Enero 2015.....	150
Figura 50.- Metodo Langrangiano.....	151
Figura 51.- Orientacion y velocidad de corrientes a 2.00 de profundidad.....	152
Figura 52.- Esquema general y ubicación del emisario.....	157
Figura 53.- Perfil longitudinal del emisario, sin el difusor.....	158
Figura 54.- Perfil Transversal del difusor.....	158
Figura 55.- Costo de construccion pretratamiento y tratamiento.....	179
Figura 56.- Costo de construccion emisario.....	180
Figura 57.- Costo de construccion emisario.....	181
Figura 58.- Matriz de la evaluacion de los impactos ambientales negativos.....	183
Figura 59.- Esquema del chorro individual UM3.....	193
Figura 60.- Dilucion inicial en funcion de la distancia horizontal.....	197
Figura 61.- Direccion del desplazamiento de la pluma.....	198

Figura 62.- Comportamiento de la pluma de dispersion.....	199
Figura 63.- Concentracion en funcion de la trayectoria del contaminante.....	206
Figura 64.- Isolineas de la dilucion en funcion de la distancia de la trayectoria.....	207
Figura 65.- Conportamiento del E. Coli, a la salida del emisario.....	209

INDICE TABLAS

Tabla I.- Característica físico-química del suelo del estero.....	28
Tabla II.- Descarga de Aguas Servidas, Parroquia de Manglaralto.....	31
Tabla III.- Areas de las cuencas del area de estudio.....	38
Tabla IV.- Areas de las cuencas del area de estudio.....	41
Tabla V.- Areas de las cuencas del area de estudio.....	42
Tabla VI.- Areas de las cuencas del area de estudio.....	43
Tabla VII.- Caudales de infiltracion.....	50
Tabla VIII.- Caudales del estero Cucaracha y rio Chicharrón para periodos de retorno de 25, 50 y 100 años.....	59
Tabla IX.- Muestreo en el rio Chicharron, en el mes de Febrero del 2015.....	79
Tabla X.- Muestreo de Escherichia Coli y Coliformes Totales en los puntos A y B, y en el sector de descarga del estuario (Marzo, 2015).....	84
Tabla XI.- Comparacion de resultados con el TULAS y recomendaciones de la EPA.....	87
Tabla XII.- Coeficientes de contraccion y expansion.....	133

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La comuna de Montañita, posee un estuario del río Chicharrón, que se alimenta de los esteros Colorado, Chico, Churo y Cucaracha, delimitando una cuenca de drenaje de 938.0 Hectáreas aproximadamente. El río Chicharrón, tiene un comportamiento intermitente, el cual no posee caudal en época de estiaje, condición que afecta el comportamiento del estuario del mismo nombre. En las épocas de lluvia, el estuario descarga al mar en eventos de fuertes precipitaciones, convirtiéndose en un estuario de cuña salina, mientras que en su época seca, se comporta como bahía oceánica, limitando su descarga por las barras costeras formadas paralela a la costa.

El crecimiento poblacional, el desarrollo de la comuna, el paso del gasoducto, la construcción de una laguna anaeróbica que descarga al estero Cucaracha y las conexiones clandestinas de aguas servidas que descargan al estuario del río Chicharrón, han provocado problemas higiénicos y fluviales a lo largo del desarrollo de la red hídrica.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Principal

Brindar una alternativa amigable al entorno del río y el estuario, con el fin de mitigar los impactos ambientales negativos que posee el cauce sobre la comuna.

1.2.2 Objetivos específicos

- Analizar el comportamiento de la cuenca del río Chicharrón.
- Identificar los caudales urbanos de la comuna y los de la cuenca del río Chicharrón.
- Analizar un monitoreo de la calidad del agua en los puntos de descarga, e identificar el tipo de contaminación presente.
- Interpretar el comportamiento de los contaminantes en el agua.

- Proponer alternativas para la rehabilitación y saneamiento del cauce.

1.3 Justificación

La rehabilitación del río, pesa sobre las alteraciones geométricas que ha recibido el cauce aguas arriba, con fines constructivos y de comunicación, provocando limitaciones al desarrollo de sus cuencas.

El saneamiento del río y el estuario se enfoca en dos puntos; el primero se encuentra en la descarga de los colectores de aguas lluvias, que posee dentro de su red, conexiones clandestinas de redes de alcantarillado sanitario proveniente de la comuna y el segundo punto esta aguas arriba, en el estero Cucaracha, que se alimenta del efluente de la laguna anaeróbica que recibe la descarga de toda la comuna.

1.4 Alcance

Plantear alternativas que puedan brindar soluciones de rehabilitación y saneamiento al estuario Chicharrón, teniendo en cuenta el comportamiento de los caudales y las fuentes de contaminación del cauce.

1.5 Área de estudio

El río Chicharrón y el estuario de su mismo nombre, se encuentra en la comuna de Montañita, tiene sus orígenes en la Cordillera Costera, a una altura de aproximadamente 240.00 m sobre el nivel del mar, uno de sus afluentes sobre la margen izquierda del río, se lo conoce como estero Cucaracha; que recibe la descarga directa del caudal proveniente de la laguna anaeróbica, que tratan las aguas residuales de la comuna que se encuentra a una cota aproximada de 13 m.s.n.m.; aguas abajo, en la margen izquierda, junto al malecón de la comuna, se encuentra un ducto cajón de aguas lluvias, que recepta conexiones clandestinas de aguas servidas no tratadas, que terminan descargando al estuario Chicharrón. (Figura 1).

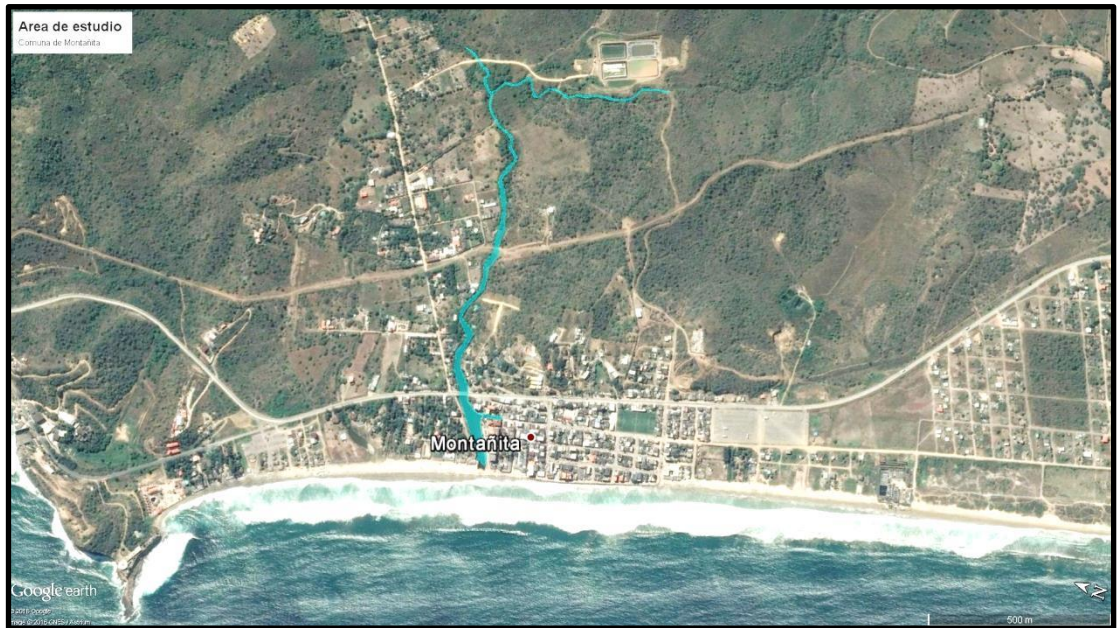


Figura 1.- Área de estudio.

Fuente: Google Earth PRO.

CAPÍTULO 2

2. ESTUDIOS PRELIMINARES

2.1 Geología regional

El Paleógeno o terciario temprano es una división de la escala temporal geológica, un período geológico que inicia la era Cenozoica; comenzó hace $65,5 \pm 0,3$ millones de años y acabó hace 23,03 millones de años. Con una duración de unos 43 millones de años, el Paleógeno destacó especialmente por la evolución de los mamíferos a partir de especies pequeñas y relativamente poco importantes como eran a finales del Cretácico. Se divide en Paleoceno, Eoceno y Oligoceno. Durante el Cretácico Superior, la subducción activa provoca el rompimiento de la corteza oceánica dejándola concrecionada en parte como basamento de la costa actual.

El complejo ígneo volcánico conocido como formación (Fm) Piñón constituye el mencionado basamento y aflora en varios Horst de la región. La sedimentación marina se establece durante el Cretácico Tardío en alternancia con Volcano sedimentos de una actividad tardía; el Fm Cayo con lutitas y tobas silicificadas representa esta etapa y aflora puntualmente en zonas. Durante el Terciario y en el Paleoceno se produce una intensa actividad tectónica con el levantamiento de la cordillera casi hasta la posición actual y da origen a la deposición continental.

El área de estudio se caracteriza por encontrarse sobre el periodo Paleógeno, en las épocas del Eoceno y Oligoceno:

El Oligoceno, una división de la escala temporal geológica, es la tercera época geológica del Período Paleógeno en la Era Cenozoica. Comenzó hace $33,9 \pm 0,1$ millones de años y finalizó hace 23,03. El nombre hace referencia a la escasez de nuevos mamíferos modernos después de la ráfaga de evolución del Eoceno. El Oligoceno es a menudo considerado como un momento de transición entre el mundo tropical arcaico del Eoceno y los ecosistemas de aspecto más moderno del Mioceno. El cambio más significativo de los ecosistemas del Oligoceno es la expansión global de los pastizales y una regresión de los bosques tropicales de la franja ecuatorial.

El límite Oligoceno-Mioceno no está marcado por un evento tan fácilmente identificable, sino más bien por límites regionales entre el más cálido Oligoceno tardío y el relativamente frío Mioceno. Principalmente en Sudamérica fueron muy abundantes los glyptodontes, doedicurus, megaterios y piroterios. En fin, los mamíferos y las aves evolucionaron y prosperaron.

El Eoceno, una división de la escala temporal geológica, es una época geológica de la Tierra, la segunda del período Paleógeno en la Era Cenozoica. Comprende el tiempo entre el final del Paleoceno (hace $55,8 \pm 0,2$ millones de años) y el principio del Oligoceno (hace $33,9 \pm 0,1$ millones de años).

Durante esta época se formaron algunas de las cordilleras más importantes del mundo, como los Alpes o el Himalaya, y acontecieron varios cambios climáticos importantes como el máximo térmico del Paleoceno-Eoceno, que aumentó la temperatura del planeta y delimita el inicio de esta época geológica, el evento Azolla, un enfriamiento global que daría paso a las primeras glaciaciones, o eventos de extinción masiva como la Grande Coupure, que marca el fin del Eoceno.

Las aves predominaban sobre los demás seres, y los primeros cetáceos comenzaron su desarrollo. Además, la especie de serpiente más grande que ha existido data del Eoceno, y se produjo una gran expansión y diversificación de las hormigas. El Cretácico, o Cretáceo, una división de la escala temporal geológica, es el tercer y último período de la Era Mesozoica; comenzó hace $145,5 \pm 4,0$ millones de años y terminó hace $65,5 \pm 0,3$ millones de años. Está comúnmente dividido en dos mitades, conocidas como Cretácico Inferior y Cretácico Superior. Con una duración de unos 80 millones de años, es el período Fanerozoico más extenso, y es, incluso, más largo que toda la Era Cenozoica.

La vida en mares y tierra aparecía como una mezcla de formas modernas y arcaicas. Como ocurre con la mayoría de las eras geológicas, el inicio del período es incierto por unos pocos millones de años.

Fm. San Mateo (ESm): Eoceno medio a superior. Según el IECP (International Ecuadorian Petro Co.), 1947 y Olsson, 1942, los afloramientos típicos se encuentran en los acantilados cercanos a San Mateo y se los puede observar en los cortes de talud de la vía Costanera que une San Mateo con El Aromo y San Lorenzo. Corresponden a una secuencia de

conglomerados y areniscas finas a gruesas de colores gris y habano interestratificadas con lutitassiltosas.

Fm Tablazo (Ct): Pleistoceno. Descansa discordantemente sobre cualquier formación Terciaria y ha sido afectada por la tectónica de fallas cuaternarias. Corresponde a una sucesión de estratos duros, microconglomeráticos, con cemento calcáreo hasta calizas detríticas, conchíferas. Esta es la formación que está representada por una capa métrica de caliza pulverulenta. Las mesetas formadas por Tablazo, están por lo general cubiertas por limos grises de alteración. Se la encuentra en los alrededores de las costas de la Provincia.

2.2 Geomorfología

La zona de la Cuenca Sedimentaria Interior montañita presenta una serie de colinas que salen de una zona de planicie erosionada y disectada por un sistema hidrográfico poco activo pero maduro y modelado por la meteorización.

Algunos procesos de hundimiento y levantamiento ligados a la tectónica del cuaternario permiten la formación de terrazas aluviales disectadas por la erosión fluvial reciente. Estos a manera de valles, entre los que sobresale el del río Chicharrón y Dos Bocas, tienen una morfología casi plana y de poca pendiente lo que favorece la migración lateral y divagación de los cursos fluviales; resulta evidente que en los valles, a causa de la baja pendiente, predominan los procesos constructivos (sedimentación) sobre los denudativos.

Las colinas se extienden ampliamente en la región. Los terrenos son redondeados y con laderas de pendientes bajas en terrenos constituidos por rocas relativamente blandas o cubiertas por potentes suelos residuales.

En las colinas donde el basamento es duro, estas poseen aristas y laderas con pendientes moderadas a fuertes. El drenaje en las zonas de colinas es subparalelo a reticulado a causa de las orientaciones Nor – Noreste – Sur Suroeste predominante y Noroeste - Sureste que tienen las quebradas y serían consecuencia de sistemas de diaclasamiento y de fallamiento que afectaron el basamento rocoso.

Los tablazos marinos corresponden a la llanura ubicada entre la línea de costa y las estribaciones septentrionales de las colinas. Se caracterizan por tener relieves suaves y ondulados de muy bajas pendientes; el drenaje no tiene una orientación o diseño preferencial. Esto sugiere la presencia de materiales poco consolidados. No se establecen formas asociadas a la estructura de estos sedimentos a partir del foto análisis realizado, pero se conoce respecto a su posición subhorizontal.

Las unidades geomorfológicas generalmente poseen playas emergidas dentro de zonas litorales de acumulación; también se pueden observar superficies de colmatación, la erosión es de plan a ondulada sin disección a poco disectado; las colinas de vertiente son rectilíneas con desnivel menor a 20 m y forma de la cima redondeada y las unidades son de las mismas características pero con desnivel de 20 m y 50 m; los grupos de relieve de cuesta tienen superficies de plan a ondulada y las colinas de vertientes son convexo-cóncavas, con desniveles menores a los 20 m.

El relieve de esta zona es diversificado debido, a su compleja geología histórica y morfogénesis. La geomorfología se presenta con ondulaciones y

capas que no superan los 150 metros sobre el nivel del mar, en las áreas marginales cercanas al proyecto, de 300 m las zonas más periféricas.

La costa desde Olón hasta la Puntilla de Santa Elena es muy irregular; los acantilados son bajos, verticales, muy inestables, lo que ha traído como consecuencia que muchas viviendas construidas en la cima, se hayan destruido, o estén con serios daños, por no haber considerado en la planificación de construcción, el avance lento pero inexorable de la erosión.

La tectónica regional que produjo el fallo y la formación de una secuencia de Horst y graben es el principal proceso morfogénético que controla la forma de los relieves colinares y de valles, en especial la dirección Suroeste -Noreste de la Cordillera de la Costa y Este – Oeste.

La meteorización actúa de forma diferencial según la litología formando relieves con colinas suaves, aunque se observan algunas de pendiente fuerte asociadas a los Horst con rocas Ancón y sedimentarias duras.

En la región se identifican tres unidades de características morfológicas bien definidas: valles fluviales, colinas y tablazos marinos.

2.3 Tipos de suelos

En referencia a la clasificación de los suelos en función de las pendientes, la zona se encuentra en una zona poco montañosa con mayor presencia de mesetas y formas acolinadas sin sobrepasar los 300 m.s.n.m. hasta zonas caracterizados por pequeños valles y esteros muy bajos a ondulados tomando en cuenta que en esta área se expande en rangos altitudinales de que van desde los 0 m.s.n.m. hasta una altura máxima de 300 m.s.n.m.

La zona de estudio de acuerdo a la clasificación de suelos de la Soil Taxonomy de la USDA, pertenece al orden Entisol, que es el Orden de suelos caracterizados por ser de zonas en climas templados a cálidos; con un horizonte superficial blando; rico en materia orgánica, espesa y oscura.

Entisoles, son los suelos más jóvenes según la Soil Taxonomy; no tienen, o de tenerlas son escasas, evidencias de desarrollo de horizontes pedogenéticos. Sus propiedades están por ello fuertemente determinadas (heredadas) por el material original. De los horizontes diagnósticos únicamente presentan aquéllos que se originan con facilidad y rapidez; por tanto muchos Entisoles tienen un epipediónóchrico o antrópico, y sólo unos pocos tienen álbico (los desarrollados a partir de arenas).

Resumiendo, son suelos desarrollados sobre material parental no consolidado que en general no presentan horizontes genéticos (excepto un horizonte A), ni de diagnóstico. El perfil característico de un Entisol es AC, ACR, AR, A2C3C...nC. También son suelos típicos de laderas donde la escorrentía no permite la evolución de los suelos en profundidad a causa de la erosión hídrica. Aparecen principalmente en zonas forestales.

No obstante también suelen aparecer entisoles en zonas de barrancos con aluviones constantes que no permiten el desarrollo en profundidad, no obstante son suelos potencialmente muy fértiles debido a los diferentes aluviones recibidos, utilizándose principalmente para cultivos hortícolas y frutícolas. Fluvents, son suelos aluviales donde el desarrollo se ve impedido por deposiciones repetidas de sedimento en periódicas inundaciones. Se los halla en valles y en deltas fluviales, especialmente los que cargan mucho sedimento.

Son Entisoles desarrollados sobre materiales aluviales estratificados. Se encuentran formando parte de las vegas y deltas de los ríos, y son suelos muy fértiles cuyo principal uso es la horticultura. La mayoría de los sedimentos aluviales estratificados en el perfil de los Fluvents derivan de los

suelos erosionados de los que proceden. Presentan un apreciable contenido de carbono orgánico, distribuido de manera irregular con la profundidad pero que debe mantenerse por encima del 0,2% a una profundidad de 125 cm. Los Fluvents pueden sustentar cualquier tipo de vegetación y presentar cualquier régimen de temperatura del suelo, si bien los suelos formados en aluviones recientes y que están permanentemente congelados pertenecen al orden de los Gelisoles.

Los Entisoles son suelos típicos de laderas donde la escorrentía no permite la evolución de los suelos en profundidad a causa de la erosión hídrica. Aparecen principalmente en zonas forestales. No obstante también suelen aparecer entisoles en zonas de barrancos con aluviones constantes que no permiten el desarrollo en profundidad (perfil A C A C A C), no obstante son suelos potencialmente muy fértiles debido a los diferentes aluviones recibidos, utilizándose principalmente para cultivos hortícolas y frutícolas.

Inceptisoles, Se evidencia suelos de este orden en mínimo porcentaje y se caracteriza por suelos que están empezando a mostrar el desarrollo de los horizontes puesto que los suelos son bastante jóvenes todavía en evolución.

En el área de estudio se encuentran en zonas de cultivo y pastizales donde siempre este presente una abundante humedad, generalmente presenta una reacción ácida y para el cultivo tiene que ser encalado y fertilizado.

Existe una buena cantidad de ellos en zonas ligeramente onduladas y planas y su origen proviene del efecto de meteorización que sufren los sedimentos aluviales, coluviales y coluvio aluviales depositados cuando permanecen sin recibir nuevos aportes por un cierto período de tiempo. Si en estas situaciones se produce una condición de mal drenaje por la presencia de una tabla de agua muy superficial, estos Inceptisoles se clasifican como aquepts, que son suelos importantes en los primero 100 m de elevación del país. Cuando el agua es salobre, además, se puede encontrar un horizonte, sulfhídrico bajo vegetación de mangle lo que permite clasificarlos como Sulfaquepts.

Este gran grupo es importante pues en esos terrenos se explota el mangle, se crían camarones y de ellos se extraen sal. Las inceptisoles de zonas aluviales planas o casi planas son los suelos de mayor potencial agrícola

Los Inceptisoles son aquellos suelos que están empezando a mostrar el desarrollo de los horizontes puesto que los suelos son bastante jóvenes todavía en evolución. Es por ello, que en este orden aparecerán suelos con uno o más horizontes de diagnóstico cuya génesis sea de rápida formación, con procesos de translocación de materiales o meteorización extrema.

Incluye una amplia variedad de suelos. En algunas zonas los Inceptisoles son suelos con un mínimo desarrollo del perfil (aunque eso sí, más desarrollados que los Entisoles), mientras que en otras son suelos con horizontes de diagnóstico que no cumplen los requisitos exigidos para otros órdenes de suelos. Pueden presentar horizontes de diagnóstico y epipedones como los úmbricos, antrópicos, óchricos, hísticos, móllicos y plaggen. Pero sólo unos pocos tienen un epipediónmóllico y los horizontes de diagnóstico más comunes son el horizonte cámbico y un fragipan, aunque también pueden aparecer horizontes cálcicos, petrocálcico o duripan.

No se le permiten horizontes óxicos, nítricos o sálicos, ni la presencia de plintita en fase continúa, así como tampoco argílico, nítrico o kándico (a menos que estos horizontes estén enterrados).

Tropept, Son suelos formados sobre materiales residuales, superficiales a moderadamente profundos y de topografía entre inclinada a muy empinada. La formación de estos suelos está ligada a condiciones climáticas del tipo tropical húmedo. Este suborden comprende dos Grandes Grupos: Eutropept y Distropept.

Los Mollisoles, son los suelos de los ecosistemas de pastizales. Se caracterizan por un horizonte de espesor, superficie oscura. Este horizonte superficial fértil, conocido como un epipedónmólico, los resultados de la adición a largo plazo de materiales orgánicos derivados de raíces de las plantas, son generalmente suelos minerales típicos de las estepas que tienen un horizonte superficial muy oscuro, coloreado y rico en bases. Casi todos estos suelos tienen un epipedónmólico y muchos también poseen un horizonte de diagnóstico subsuperficialargílico, nátrico o cálcico. Algunos pocos pueden presentar un horizonte de diagnóstico albico, petrocálcico o duripan. La vegetación típica de los Mollisoles es de pradera o herbacea y se desarrollan en una gran variedad de climas cuyos regímenes de humedad van desde el acuico al xeric, mientras que los regímenes de temperatura del suelo van desde el cryico al hipertérmico. Normalmente la precipitación de las zonas donde hay Mollisoles oscila entre los 200 y los 800 mm anuales.

Los Ustolls, son Mollisoles más o menos drenados de climas subhúmedos a climas semiáridos. La precipitación ocurre principalmente durante una época de cultivos, a menudo en lluvias intensas de carácter puntual. La sequía es frecuente y puede ser severa. Sin riego, el bajo suministro de humedad por lo general limita la producción de las cosechas. Los regímenes de temperaturas de los Ustolls son más cálidos que cryic, y el régimen de humedad es normalmente ustic, pero algunos de los suelos marginales de Aridisoles tienen un régimen aridic. Los Udolls: son Mollisoles drenados de climas húmedos. Además del epipediónmólico, estos suelos pueden tener un horizonte cámbico, cálcico, nátrico o argílico.

2.4 Uso de suelo

El uso de suelo del área de estudio del proyecto corresponde a un área que llega al 99% con una vegetación arbustiva, la agricultura y la ganadería no son actividades representativas para este lugar ya que se basa la mayor parte de su economía del turismo, de acuerdo al INEC el 30% de la zona trabaja por cuenta propia en referencia a servicios turísticos, en general para la parroquia de Manglaralto se considera que la agricultura y la ganadería representa el 25% como la principal actividad económica, seguida de la industria manufacturera que representa el 15%, el 10% a la construcción y el 9% al comercio.

Si bien las condiciones climáticas y geográficas del cantón en el filo costero, no permiten un desarrollo intensivo y extensivo de la agricultura, condición dada principalmente por la escasez de agua dulce; muchos pobladores, sobre todo al interior viven de esta actividad, e incluso han conformado asociaciones con este propósito. Hay poblaciones ricas en la agricultura: Cadeate, Barcelona, Valdivia, Loma Alta, BambilCollao, El Azúcar entre otras, con sus sembríos y cosechas de plátanos, tomates, sandías, pimientos, limones, maíz y otros productos.

2.5 Climatología

Debido a la posición geográfica del país, el Ecuador posee un clima tropical, a pesar de esta condición el país atraviesa una cadena montañosa y las diferentes características que la representan, por eso no es posible identificar condiciones propias de los climas tropicales en todo el país.

El clima en Montañita es definido como desértico, la temperatura media anual se encuentra en 24.7 °C. El clima es clasificado como BWh. (Kottek et al, 2006). Figura 2.

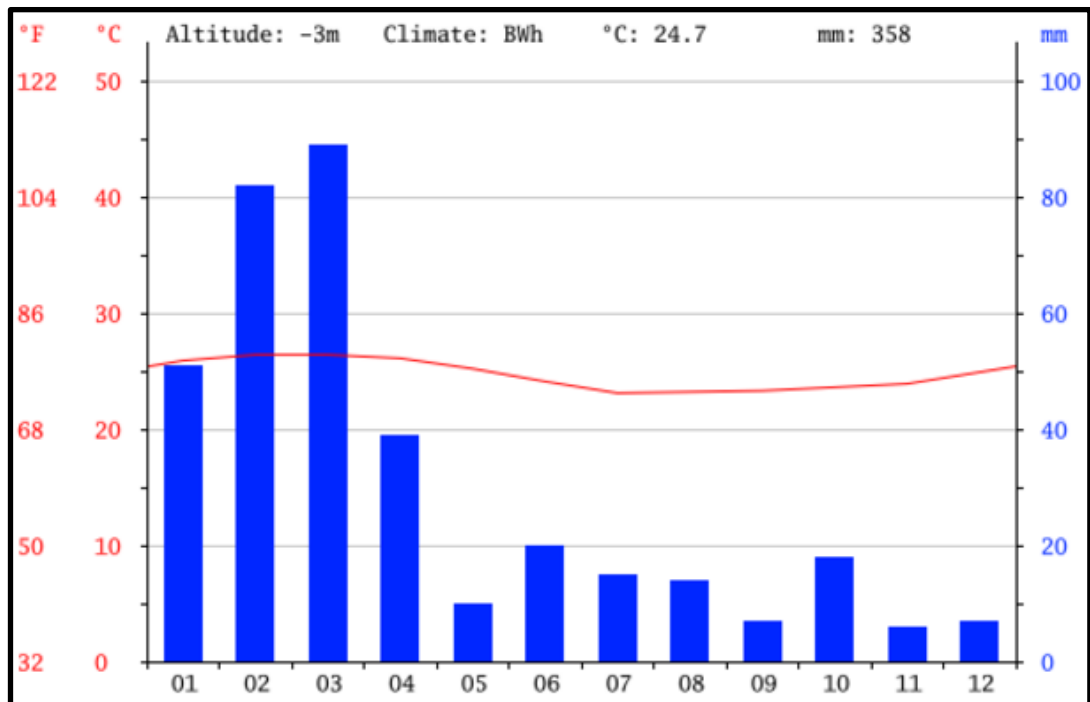


Figura 2.- Climograma.

Fuente: Climate-Data.org.

El mes más caluroso del año con un promedio de 26.4 °C de febrero. El mes más frío del año es de 23.1 °C en el medio de julio. Figura 3.

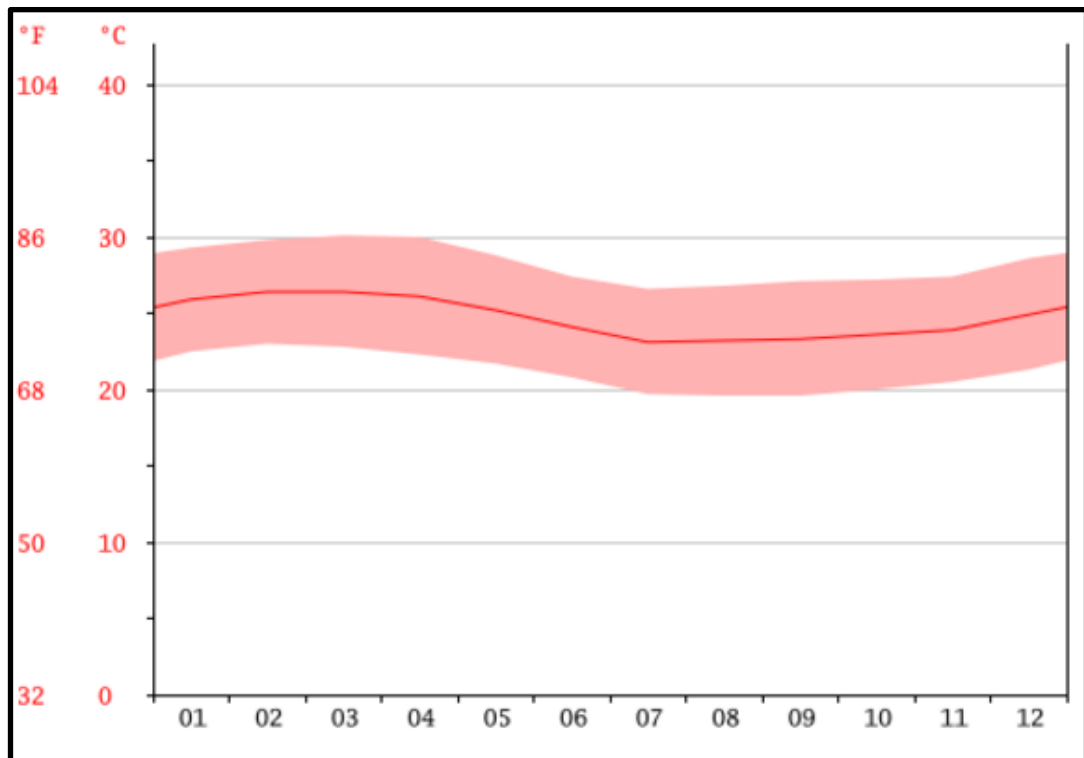


Figura 3.- Diagrama de temperatura.

Fuente: Climate-Data.org.

2.5.1 Precipitación

La zona presenta una temporada lluviosa entre los meses de enero a abril y una temporada seca entre los meses de mayo a diciembre. Para el período comprendido entre los años 1989 y 2013, la precipitación responde a los datos presentados en la Figura 4, tomados de la estación Manglaralto. La información meteorológica disponible, permite concluir sobre la presencia

anual de dos épocas estacionales bien diferenciadas: la lluviosa; y la seca o no lluviosa.

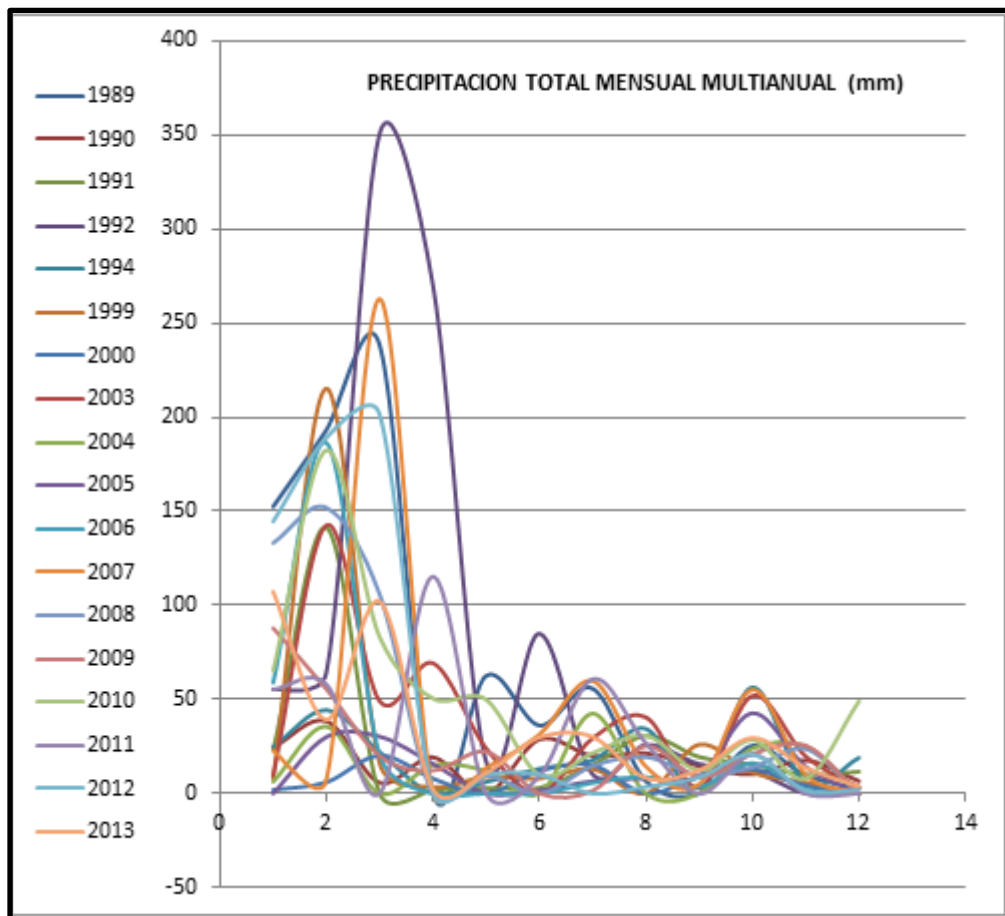


Figura 4.- Precipitación total mensual multianual.

Fuente: INAMHI.

2.5.2 Heliofania

La cantidad de horas de brillo solar tiene un promedio anual de 1221.98 horas de brillo. Los valores máximos se dan entre los meses de Junio y Septiembre, y los valores mínimos en el mes de Febrero. (Anuario Meteorológico INAMHI, 2010)

2.6 Hidrografía

El río Chicharrón tiene sus orígenes en la Cordillera Costera, a una altura de aproximadamente 240.00 m sobre el nivel del mar; en el sitio de cruce con la vía Santa Elena - Puerto Cayo, define una cuenca de drenaje de 10.00 Km² aproximadamente. La cuenca de drenaje es de forma irregular y el cauce principal tiene una extensión aproximada de 6.00 Km, con pequeños afluentes que ingresan por ambas márgenes, el sentido general de escurrimiento del río es Noreste - Suroeste y descarga muy cerca del puente, en el Océano Pacífico.

La cuenca presenta vegetación arbustiva alta, muy densa, que se extiende hasta las márgenes del río. La erosión lateral del cauce, que se genera

durante las avenidas, socava las raíces de los árboles ubicados en las márgenes, produciendo su volcamiento y consecuente arrastre aguas abajo.

El río Chicharrón, es de carácter efímero o intermitente; puede producir crecientes importantes, violentas y de corta duración, durante el período lluvioso, pero, en el resto del año sus caudales son nulos o insignificantes. Hasta aproximadamente 1000.00 m aguas arriba del puente, el río tiene cauce definido sin llanuras de inundación; al aproximarse al puente, el río forma varios meandros, y el nivel de las márgenes se reduce, pero el río mantiene su cauce definido. Figura 5.

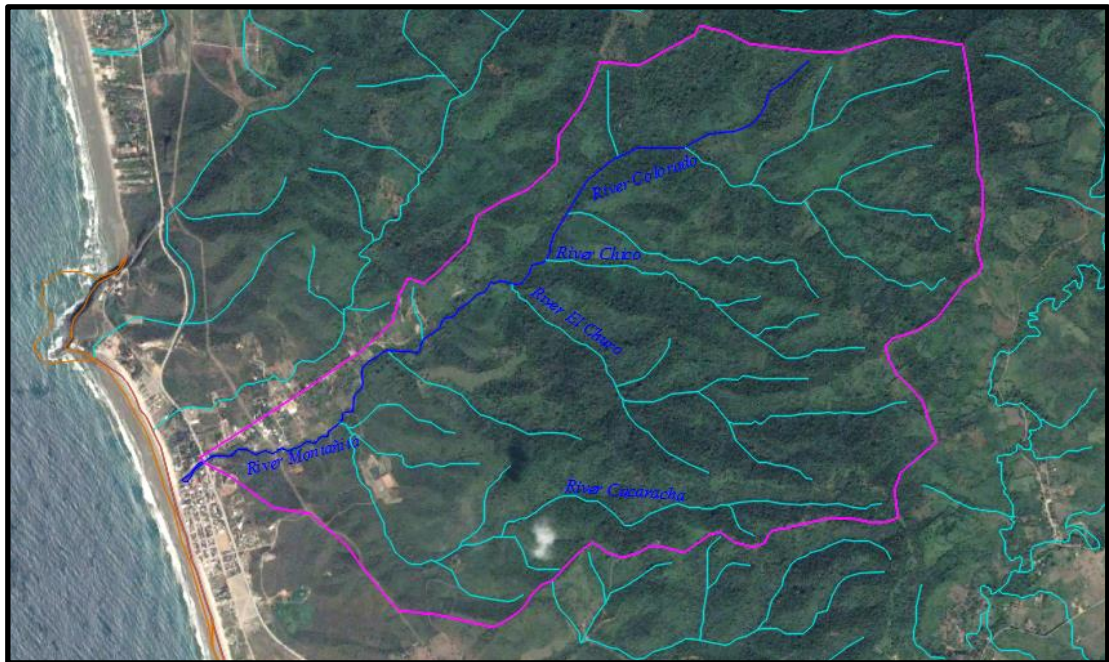


Figura 5.- Red hidrográfica del río Chicharrón.

Fuente: Modelling Of Pollutants Distribution At Chicharron Estuary, Jaén
2016.

2.6.1 Características físico-química del lecho del estuario

Los parámetros que fueron analizados del lecho del estuario son: pH, salinidad, alcalinidad y MO; en los estudios de Muñoz y Guillen en el 2015.

Tabla I.

Tabla I.- Característica físico-química del suelo del estero.

pH	Salinidad (%)	Alcalinidad (Ca/L)	MO (%)
8.32	3.10	125 mg CO ₃	1.46

Fuente: Sistema De Biorremediacion Para La Regeneración De Suelos Hidro,Órficos Del Estero Chicharron Y Rio Cucaracha De La Comuna De Montañita, Provincia De Santa Elena, Muñoz y Guillen. 2015.

2.7 Calidad del agua

La evapotranspiración es mayor que la precipitación, la cual generalmente ocurre en forma de lluvias intensas de corta duración. La escorrentía se concentra en angostas zonas de recarga. La salinización por la evaporación, es una consecuencia inmediata en el agua subterránea. Por esta razón el contenido salino es mayor hacia aguas abajo, que es reflejado en la vegetación que es más tolerante a la salinidad en la parte inferior de las cuencas hidrográficas. (GADPR Manglaralto, 2015).

2.8 Agua potable, alcantarillado sanitario y pluvial

2.8.1 Abastecimiento de agua potable

La comuna cuenta con abastecimiento de agua potable proveniente de pozos administrados por La Junta Administradora de Agua Potable Regional Manglaralto. Montañita capta agua de los pozos #11 (caudal 7 l/s) y #9 (caudal 5 l/s), con un caudal de 12 l/s a través de una línea de impulsión de 5640.0 m, con 160.00 mm de diámetro, que se dirigen hacia 10 reservorios de 20m³ cada uno, con un total de 200 m³; los reservorios se encuentran en la cota 47.0 m.s.n.m. Figura 6.



Figura 6.- Reservorios que abastecen la comuna de Montañaíta.

Fuente: Autor.

2.8.2 Alcantarillado pluvial y sanitario

El alcantarillado en la parroquia es uno solo, sirve para los fines sanitarios y pluviales, el cual alcanza una cobertura del 1.1%, el 98.9% de las aguas servidas se descargan de manera insalubre. Tabla II.

Tabla II.- Descarga de Aguas Servidas, Parroquia de Manglaralto.

Descarga de Aguas Servidas	%
Red Publica de Alcantarillado (Laguna Oxidacion)	1.1
Pozo septico	50.8
Pozo ciego	16.2
Descarga directa al mar, rio, lago o quebrada	0.1
Letrina	15.9
No tiene	15.9

Fuente: Ministerio del Ambiente, 2013.

2.8.3 Estación de bombeo y línea de impulsión

La estación de bombeo está ubicada en la parte sur oriental de Montañita, al pie de la carretera “Ruta del Spondylus”, a una elevación de 7.00 m.s.n.m., y es la que recibe las aguas residuales mediante un colector hormigón de Ø315mm que llega a la cota -0.43 m.s.n.m. A la entrada de la estación hay una rejilla (que debe limpiarse periódicamente), que evita la acumulación de basuras en el pozo. La estación consta de dos cámaras, la de bombas y la de válvulas, la primera tiene una profundidad de 8.57 metros, y la segunda de 1.50 metros; el espesor de las paredes es de 0.30 metros. Los accesorios dentro de la estación son de hierro dúctil. Existen dos

bombas, de las cuales sólo funciona una y la otra se utilizará para emergencias.

Junto a la estación de bombeo se encuentra una caseta que servirá para facilitar labores de guardianía y para dar cabida a las instalaciones eléctricas. También se ha proyectado un cerramiento perimetral. La línea de impulsión consiste en una tubería de PVC de Ø250 mm de aproximadamente 1300.0m, desde la estación de bombeo hasta su descarga en la laguna anaeróbica. La cota mínima de la línea de impulsión es aproximadamente la 6.0m.s.n.m. (en la estación de bombeo), la cota máxima es aproximadamente 65.0m.s.n.m. y la cota de descarga a las lagunas es aproximadamente la 15.0m.s.n.m. La tubería va en su mayor longitud, más o menos un metro de la superficie del terreno; sin embargo, debido a que la tubería cruza por un gasoducto y su área de servidumbre, en este tramo va ubicada a cuatro metros de la superficie del terreno. A lo largo de la línea de impulsión existen varios anclajes ubicados en los codos, para disipar los esfuerzos producidos; y en el punto más alto se ha ubicado una válvula de aire de doble acción, debido a que en el análisis del golpe de ariete, la presión negativa que se ejerce sobre la tubería es suficiente como para dañarla.

2.8.4 Sistema de tratamiento: Laguna anaeróbica

El sistema de tratamiento consiste en un sistema de tres lagunas en serie (dos módulos en paralelo): anaeróbica, facultativa y maduración. Las aguas residuales llegan a la laguna anaeróbica por medio de la línea de impulsión, y luego por gravedad van a la laguna facultativa y de la misma manera a la laguna de maduración, desde donde también por gravedad el efluente tratado descarga al lugar de disposición final del efluente.

Las lagunas ocupan un área de alrededor de 25 hectáreas. La cota de fondo de la laguna anaeróbica es de 11.5 msnm, la de la laguna facultativa es de 12 msnm y la de la de maduración es de 11.5 msnm. La profundidad total (incluyendo 0.5 m de bordo libre) es de 4.5 metros para la laguna anaeróbica, 2.5 metros para la laguna facultativa y 2.0 metros para la laguna de maduración.

2.9 Componente social

La comuna de Montañita pertenece a la parroquia de Manglaralto del cantón Santa Elena, de acuerdo al censo poblacional del año 2010, la comuna de Montañita posee una población aproximada de 3500.0 habitantes. Las principales actividades económicas son el turismo y el comercio. Es importante considerar que dentro de la parroquia Manglaralto

existe un flujo migratorio que es representativo, puntualmente en las temporadas de turismo hacia la comuna de Montañita. La tasa de crecimiento acumulada poblacional del cantón hasta el año 2010 era de 1.39 %, la tendencia es moderada.

CAPÍTULO 3

3. INFORMACION GENERADA

3.1 Topografía

Para el análisis de la topografía se utilizó la información proporcionada por las cartas topográficas de OLON, DEILICIAS y MANGLARALTO del IGM, donde abarcaríamos parte del área de estudio, que sería complementada con el levantamiento topográfico en los detalles de las márgenes de los cauces. Figura 7.

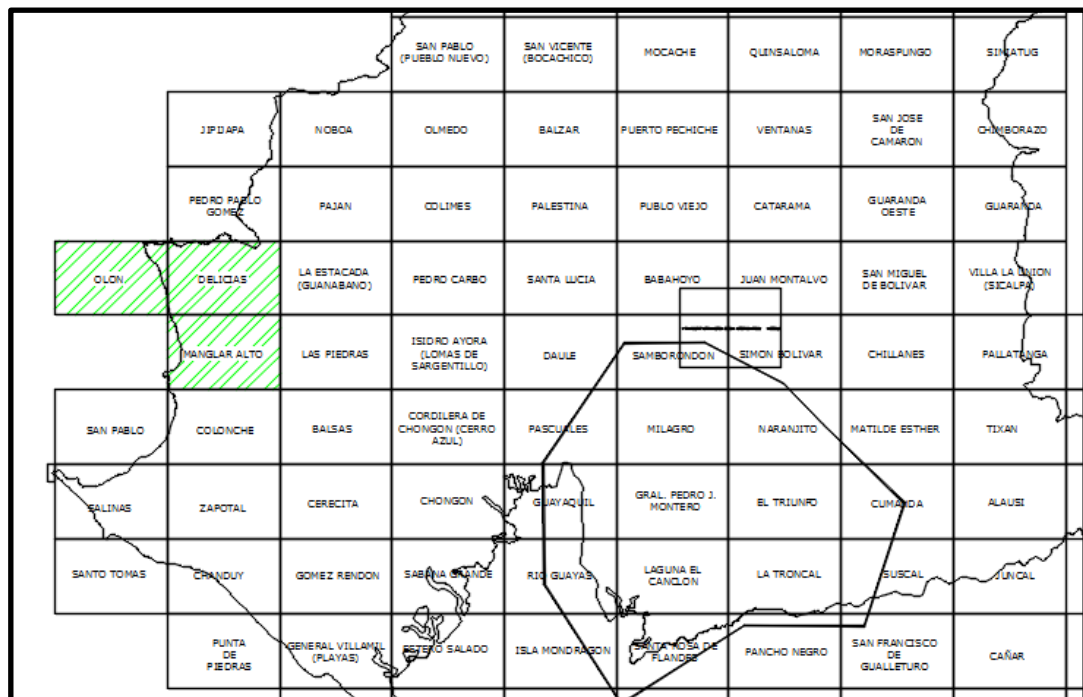


Figura 7.- Indice de cartas IGM 50000.

Fuente: Instituto Geografico Militar, 2006.

3.2 Batimetría

El levantamiento batimétrico se partió del arrastre de cota de un Hito del IGM. Ubicado en el estribo del puente principal de Manglaralto, con la siguiente información:

Coordenadas: 17 S 9796284 N 528515 E

Cota: 7.9378 m.s.n.m.

Se levantaron secciones transversales cada 20.00 m y en los tramos con más detalles, se levantó cada 10.00 m., para el estudio se utilizó una estación total, junto a una embarcación. Fotografía 8.



Figura 8.- Levantamiento topografico y batimetrico del estuario Chicharrón.

Fuente: Autor.

3.3 Hidrología

Para el cálculo hidrológico, primeramente se delimito la cuenca y subcuenca de drenaje del área de estudio; en la Tabla III se aprecian las áreas de cada una de ellas, y en la Figura 9, se puede visualizar la geometría que poseen.

Tabla III.- Areas de las cuencas del area de estudio.

Areas (Ha.)	
Chicharron	938.0
Cucaracha	208.0

Fuente: Autor.

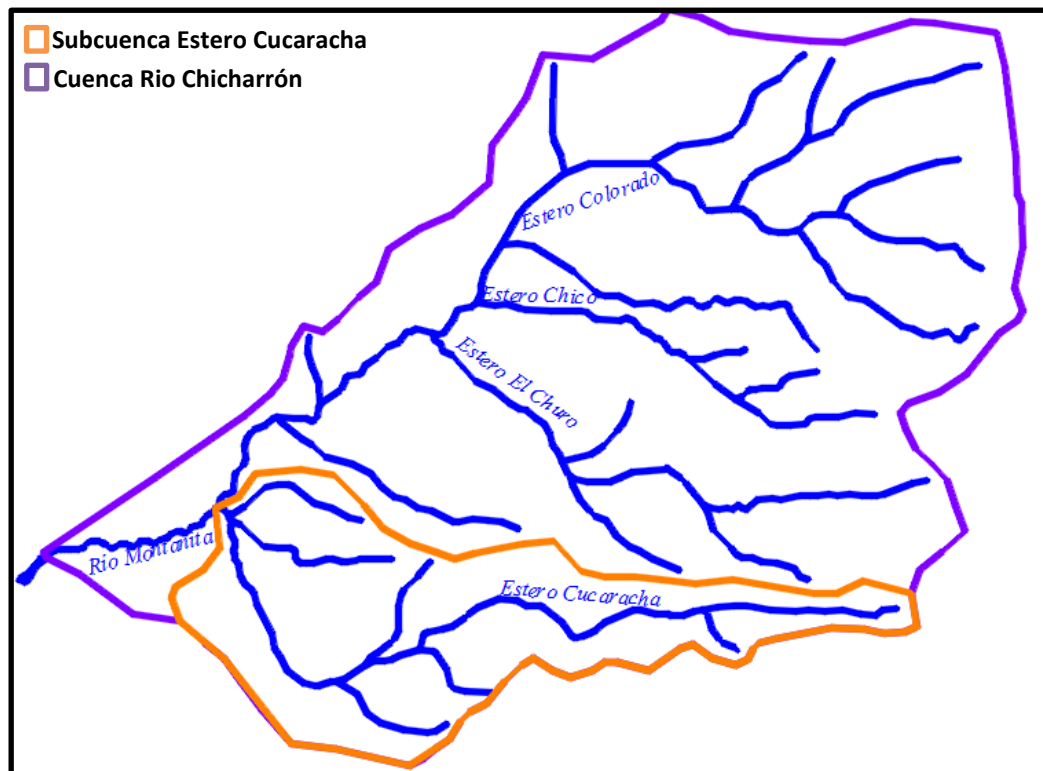


Figura 9.- Cuenca del río Chicharrón y subcuenca del estero Cucaracha.

Fuente: Autor.

3.3.1 Cuenca Chicharrón y subcuenca Cucaracha

La hidrología de esta cuenca se calculó mediante el Método Racional (Ecuación 3.1), ya que tiene como limitante las áreas mayores a 1000.0 Ha., y obtenemos la descarga máximo de diseño.

$$Q = \frac{C \times I \times A}{360} \quad \text{[Ecuación 3.1]}$$

Dónde:

Q = Caudal (m³/s)

C = Coeficiente de escorrentía

I = Intensidad (mm/Hr)

A = Área (Ha.)

Para el cálculo de la intensidad, se trabajó con el Estudio de Lluvias Intensas del INAMHI, (1999). El área de estudio se encuentra en la Zona 8. Y su tiempo de concentración es mayor a los 30.0 minutos, para la cual se utilizó la Ecuación 3.2, utilizando las isoclinas de intensidades de precipitación para los periodos de retorno de 25, 50 y 100 años.

$$I_{TR} = 351.73 \times Id_{TR} \times t^{-0.7977} \quad [\text{Ecuación 3.2}]$$

Dónde:

I_{TR} = Intensidad de precipitación para cualquier periodo de retorno (mm/Hr)

Id_{TR} = Intensidad diaria para un periodo de retorno dado en (mm/Hr)

TR = Tiempo de retorno

T = Tiempo de duración de la lluvia (min)

Para el cálculo del tiempo de concentración se trabajó con la Ecuación 3.3, que es la ecuación de Kirpich, en unidades del Sistema Internacional, elaborada por el (California Culverts Practice, 1942).

$$t_c = 0.0195 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385} \quad [\text{Ecuación 3.3}]$$

Dónde:

T_c = Tiempo de concentración (min)

L = Longitud del curso de agua más largo (m)

H = Diferencia de nivel entre la divisoria de aguas y la salida (m)

Los resultados de los tiempos de concentración para la cuenca del Chicharrón y la subcuenca del Cucaracha se visualizan en la Tabla IV.

Tabla IV.- Areas de las cuencas del area de estudio.

tc (min)	
Chicharrón	52.17
Cucaracha	55.21

Fuente: Autor.

Para el cálculo del área se utilizó un coeficiente de escurrimiento de 0.4; los resultados de las intensidades y los caudales para los periodos de retorno de 25, 50 y 100 años se visualizan en la Tabla V.

Tabla V.- Areas de las cuencas del area de estudio.

	25 Años		50 Años		100 Años	
	I (mm/Hr)	Q (m3/s)	I (mm/Hr)	Q (m3/s)	I (mm/Hr)	Q (m3/s)
Chicharrón	67.5	70.35	82.5	85.98	90.0	93.80
Cucaracha	64.53	14.91	78.87	18.22	86.4	19.88

Fuente: Autor.

3.3.2 Cuenca urbana Comuna de Montañita

Para el cálculo del caudal de aguas lluvias con el que descarga la comuna de Montañita hacia el estuario Chicharrón, se utilizó el Método Racional planteado por el U. S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. "Highway Hidrology". Primeramente se determinó un coeficiente de escurrimiento ponderado, debido a la condición artificial de la comuna. Donde los valores representativos de cada sector se los visualiza en la Tabla 3.4. La distribución de los coeficientes de escurrimiento en la comuna se puede visualizar en la Figura 10 y la ecuación del coeficiente de escorrentía ponderado se analizó en función de los diferentes coeficientes y sus áreas. Ecuación VI.

Tabla VI.- Areas de las cuencas del area de estudio.

Coeficiente de escorrentia C	
Areas verdes	0.25
Construccion gris	0.75
Asfalto	0.95

Fuente: U. S. Department Of Transportation, Federal Highway Administration. Hydraulic Design Series #2, Second Edition. Highway Hidrology. 2002.



Figura 10.- Distribucion de coeficientes de escorrentia.

Fuente: Google Earth PRO.

$$C_p = \frac{\sum C_i A_i}{A} \quad [\text{Ecuación 3.4}]$$

$$C_p = 0.77$$

Dónde:

C_p = Coeficiente de escorrentía ponderado

C = Coeficiente de escorrentía

A = área (Ha.)

Para el cálculo del tiempo de concentración, se utilizó el método de la sumatorio de los tiempos de viaje, detallados en la Ecuación 3.5, 3.6 y 3.7.

$$T_c = \sum_{i=1}^K \frac{L_i}{60 \times V} \quad [\text{Ecuación 3.5}]$$

Dónde:

T_c = Tiempo de concentración (min)

L = Longitud del flujo (m)

V = Velocidad (m/s)

$$T_t = \frac{L}{60 \times V} \quad [\text{Ecuación 3.6}]$$

Dónde:

T_t = Tiempo de viaje (min)

L = Longitud del flujo (m)

V = Velocidad (m/s)

$$V = \alpha K S^{0.5} \quad [\text{Ecuación 3.7}]$$

Dónde:

V = Velocidad (m/s)

α = Constante 10 S.I., 33 C.U.

K = Factor (Mc Cuen, 1989)

S = Pendiente longitudinal (m/m)

Para el cálculo de la intensidad, se trabajó con el Estudio de Lluvias Intensas del INAMHI, (1999). El área de estudio se encuentra en la Zona 8. Y su

tiempo de concentración es menor a los 30.0 minutos (15.5 min), para la cual se utilizó la Ecuación 3.8, utilizando las isoclinas de intensidades de precipitación para el periodo de retorno de 25 años.

$$I_{TR} = 80.068 \times I d_{TR} \times t^{-0.3683} \quad [\text{Ecuación 3.8}]$$

$$I_{TR} = 131.30 \text{ mm/Hr}$$

El caudal para el periodo de retorno de 25 años es de 3.73 m³/s.

3.4 Hidrosanitaria

3.4.1 Caudales AASS

El caudal de diseño fue elaborado por el método sugerido por la empresa de agua potable y alcantarillado, INTERAGUA. (Manual de Diseño de Redes de Alcantarillado, 2015). De las redes surgirá, de la población al fin del periodo de diseño y de la dotación unitaria de agua potable prevista para la zona correspondiente, teniendo en cuenta un coeficiente de retorno de 0.8 a 0.9 y los coeficientes de infiltración y de máximo horario en función del caudal medio diario. A este caudal se le adicionara eventualmente el caudal

proveniente de aportes industriales, conexiones ilícitas y de infiltración.

Ecuación 3.9

$$Q = Q_{mh} \times F + Q_i + Q_{ci} + Q_{in} \quad \text{[Ecuación 3.9]}$$

Dónde:

Q = Caudal de diseño (l/s)

Q_m = Caudal medio de aguas residuales domesticas (l/s)

F = Factor de máxima demanda

Q_i = Caudal industrial (l/s)

Q_{ci} = Caudal por conexiones ilícitas (l/s)

Q_{in} = Caudal por infiltración (l/s)

Caudal Medio (Q_m)

Es el caudal responsable de las actividades domésticas. Para su cálculo utilizamos la Ecuación 3.10., el coeficiente de retorno expresa el porcentaje de la dotación unitaria de agua potable que se vierte al sistema sanitario

conformando las aguas residuales domésticas, este valor se encuentra entre 0.8 y 0.9.

$$Q_m = \frac{C_r \times D \times P}{86400} \quad [\text{Ecuación 3.10}]$$

$$Q_m = 4.86 \text{ l/s}$$

Dónde:

Q_m = Caudal medio de aguas residuales (l/s)

C_r = Coeficiente de retorno

D = Dotación unitaria de agua potable (l/hab./día)

P = Población (hab.)

Caudal Máximo Horario (Q_{mh})

Refleja al caudal máximo del día máximo. Ecuación 3.11.

$$Q_{mh} = Q_{md} \times F \quad [\text{Ecuación 3.11}]$$

$$F = \frac{Q_{max}}{Q_{prom}} = \frac{(18 + \sqrt{p})}{(4 + \sqrt{p})}$$

$$Q_{mh} = 5.93 \text{ l/s}$$

Dónde:

Q_{md} = Caudal medio diario (l/s)

F = Factor para poblaciones entre 1000 y 1000000 de habitantes

P = Población en miles de habitantes

Caudal Industrial (Q_i)

Los caudales provenientes de las actividades industriales, comerciales y/o institucionales don incluidos solo en el caso de diseños específicos; para industrias pequeñas puede utilizarse un caudal industrial entre 1.0 y 1.5 l/s/Ha., del área bruta del lote.

Caudal por Conexiones Ilícitas (Q_{ci})

Se toma en cuenta el caudal adicional por conexiones ilícitas de aguas lluvias al alcantarillado sanitario. Estos valores a modo de referencia pueden considerarse entre 0.1 y 3.0 l/s/Ha.

Caudal por Infiltración (Q_i)

El caudal por infiltración, se considera el proveniente por el nivel freático, en caso de encontrarse está a las profundidades de instalación de la tubería, hacia la tubería. Este caudal se evalúa multiplicando el coeficiente de infiltración por el área tributaria. Tabla VII.

Tabla VII.- Caudales de infiltracion.

Tipo de Infiltracion	Coficiente de escorrentia C
Alta	0.15 – 0.40
Media	0.10 – 0.30
Baja	0.05 – 0.20

Fuente: Plan Maestro INTERAGUA, 2015.

El caudal total con el que estaría trabajando la comuna de Montañita es de 9,78 l/s, este caudal llega a una estación de bombeo (Figura 11), que descarga hacia una laguna anaeróbica que se encuentra junto al estero Cucaracha (Figura 12), el cual recibe las descargas de la laguna de oxidación.



Figura 11.- Estacion de bombeo, comuna de Montañita.

Fuente: Autor.



Figura 12.- Laguna anaerobica.

Fuente: Autor.

3.5 Hidráulica fluvial

Los ríos tienen un régimen hidrológico determinado por las características de la cuenca y las precipitaciones, en el área en el que se desarrolla. Los ríos efímeros o intermitentes son lo que poseen un caudal en episodios de fuertes precipitaciones, manteniéndose secos o con un caudal ecológico. (J. Martín, 1997). Es típico encontrar este tipo de ríos en climas áridos o semiáridos.

3.5.1 Características morfológicas de los cauces

La morfología de un cauce está determinada en forma directa por los procesos dinámicos asociados a las variables dependientes, esto es, Caudal Líquido (QW), Transporte de Sedimentos (Qs) y la Pendiente Longitudinal del Cauce (S). (H. Rodríguez).

Clasificación de ríos y cauces

Tomando como referencia los criterios de (Schumm, 1977), todos los ríos se pueden clasificar en dos grandes grupos, dependiendo de la libertad para ajustar su forma y su pendiente.

Cauces de lecho rocoso, están confinados entre afloramientos rocosos, de tal modo que el material que compone su lecho y sus márgenes determina su morfología. Cauces aluviales, el cauce fluye en un canal cuyo lecho y márgenes están constituidos por material transportado en las condiciones actuales de flujo.

Patrones de cauce

La mayoría de investigadores reconocen tres clases de cauces:

Rectos, poseen una sinuosidad muy baja en una distancia de varias veces el ancho de la sección transversal del cauce. Son pocos comunes y existen en distancias cortas, por lo general inferiores a diez veces el ancho medio del canal.

Trenzados, posee varios canales y brazos que se entrelazan y separan dentro del cauce principal debido a cambios de pendiente longitudinal y transversal. Se desarrollan en los tramos alto – medio de los ríos y en las corrientes donde se presentan los abanicos aluviales. Meandricos, poseen variaciones curvilíneas en la geometría del curso de los ríos. Se forman principalmente en la edad media y adulta del río donde la pendiente es

reducida. La característica principal de los meandros es el proceso de migración, para el cual comprende la acción de erosión en las márgenes externas y la sedimentación en las márgenes internas de la curva, debido al transporte del material erosionado de las márgenes externas, acompañado de un movimiento helicoidal que transporta los sedimentos en suspensión.

Sinuosidad de un río

La clasificación antes mencionada se basa en el grado de sinuosidad del río y es ilustrativa de las tres formas principales que suelen tener los ríos. Para describir y cuantificar la sinuosidad de un río; obteniendo el coeficiente de sinuosidad (Villota H., Igac, 2005). La configuración en planta de un río, considerando las curvas, meandros, cambios de dirección, se caracteriza por medio del Coeficiente de Sinuosidad. Ecuación 3.12.

$$k_s = \frac{L}{l} \quad \text{[Ecuación 3.12]}$$

Dónde:

K = Coeficiente de sinuosidad

L = Longitud real de un tramo de la corriente (m)

I = Longitud de una recta que une los dos extremos del tramo del cauce. (m)

El Coeficiente de Sinuosidad del río Chicharrón es de 1.10, el factor es menor de 1.50, por lo cual se lo considera un cauce sinuoso, que en términos de morfología corresponde a un cauce rectilíneo. Se consideró como punto de partida, la confluencia del estero cucaracha con el río Chicharrón, hasta la descarga, próxima a la barra costera. Figura 13.

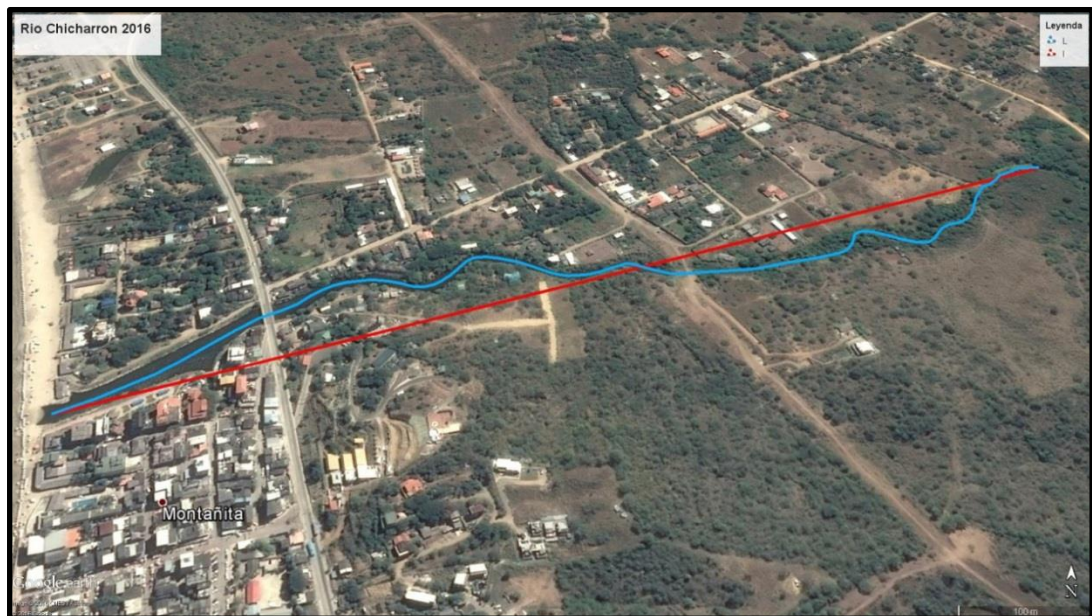


Figura 13.- Coeficiente de sinuosidad del río Chicharrón.

Fuente: Google Earth PRO.

3.5.2 Modelación hidráulica con flujo permanente (HEC-RAS)

El modelo numérico HEC-RAS es el nombre compuesto de las siglas en inglés, HEC (Hydrologic Engineering Center o Centro de Ingeniería Hidrológica) y RAS (River Analysis System o Sistema de análisis de Ríos), es una aplicación que permite la modelación hidráulica en régimen permanente y no permanente, transporte de sedimentos y análisis de calidad del agua en cauces abiertos, ríos y canales artificiales, el mismo que ha sido desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los EE.UU. (US Army Corps of Engineers).

En los cauces naturales por lo general encontramos que el flujo no es permanente; la justificación es que en HEC-RAS interesa trabajar con caudales máximo, para un determinado periodo de retorno, y simular si el cauce y el conjunto de obras, soportan o no este caudal máximo, considerado permanente.

A partir de la topografía y la batimetría en el área de estudio, se obtuvo un modelo digital del terreno, del cual se pudieron sacar secciones transversales para poder realizar la modelación hidráulica. Figura 14.

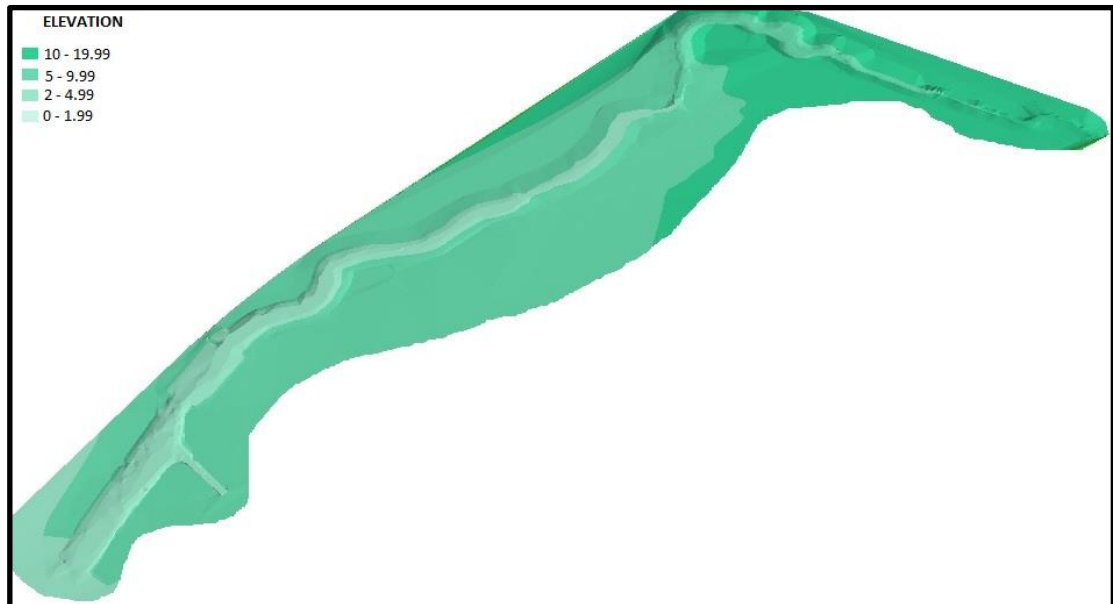


Figura 14.- Modelo digital del terreno.

Fuente: Modelling Of Pollutants Distribution At Chicharron Estuary, Jaén
2016.

Se levantaron 1240.00 m del río Chicharrón, y 517.43 m del estero cucaracha, ambos cauces fueron llevado a HEC-RAS, con secciones transversales cada 20.0 m, con el fin de evaluar las condiciones hidráulicas del cauce. El puente que se encuentra aguas abajo del río Chicharrón, fue omitido de la modelación, ya que su geometría no afecta las condiciones del cauce. Figura 15. El modelo se corrió para los periodos de retorno de 25, 50 y 100 años, tomando en cuenta lo caudales que se muestran en la Tabla VIII, donde se consideran los caudales provenientes del estero Cucaracha, el río

Chicharrón, aguas arriba antes de unirse al Cucaracha, y después de unirse a él, adicional a esto se sumaron los caudales aportantes del ducto cajón proveniente de la comuna de Montañita que descarga su caudal al estuario del rio Chicharrón.

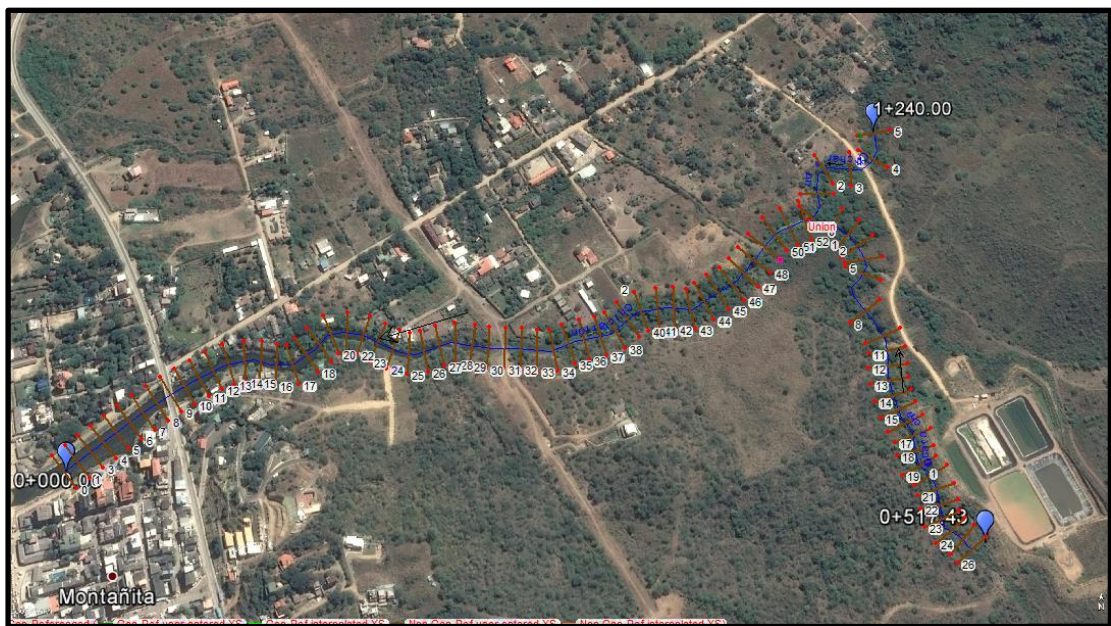


Figura 15.- Vista en planta de las secciones transversales del modelo.

Fuente: HEC-RAS 5.0.1.

Tabla VIII.- Caudales del estero Cucaracha y río Chicharrón para periodos de retorno de 25, 50 y 100 años.

	TR = 25 Años Q (m ³ /s)	TR = 50 Años Q (m ³ /s)	TR = 100 Años Q (m ³ /s)
Estero Cucaracha	14.91	18.22	19.88
Río Chicharrón (Aguas arriba)	55.44	67.76	73.92
Río Chicharrón (Aguas abajo)	70.35	85.98	93.80
Ducto Cajon	3.73	4.56	4.98
Estuario del Río Chicharron	74.08	90.54	98.78

Fuente: Autor.

Aguas arriba del cauce, el río Chicharrón soporta el caudal para el periodo de retorno de 100 años, pero manejando velocidades hasta de 3.0 m/s aproximadamente, provocando erosiones en sus márgenes, desestabilizándolas, producto de las pendientes con las que trabaja el río. El estero Cucaracha, se mantiene estable con la modelación para un caudal para el periodo de retorno de 100 años, la gran altura de sus márgenes, confina su flujo, pero maneja velocidades de hasta 2.0 m/s aproximadamente, pero descarga suavemente hacia el río Chicharrón. El río Chicharrón aguas abajo, de la unión con el estero Cucaracha, presenta

pequeños desbordamientos en ambas márgenes, y maneja velocidades de hasta 2.0 m/s aproximadamente. La modelación fue calibrada a partir de su rugosidad y velocidades tomadas en campo, para la zona de aguas arriba del río Chicharrón y el río Cucaracha se utilizó un coeficiente de Manning de 0.08, debido a su espesa vegetación tanto en las márgenes como en su lecho, para el resto de río se utilizó un coeficiente de 0.035 por el tipo de vegetación presente en sus márgenes. En épocas de estiaje este caudal se retiene debido a las barras paralelas a la costa, pero en eventos de fuertes precipitaciones, el cauce descarga violentamente presentando velocidades de hasta casi 4.0 m/s en su tramo final. Figura 16.

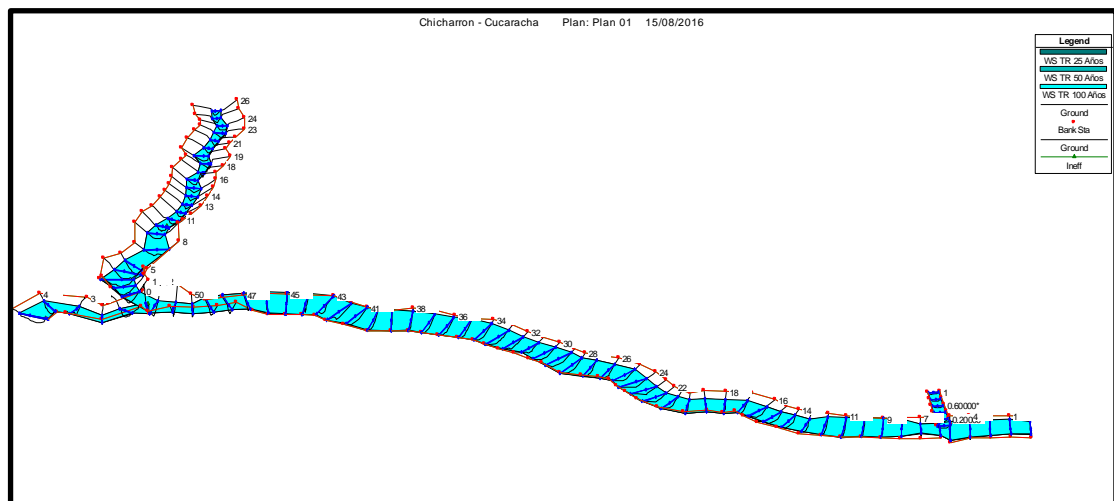


Figura 16.- Vista tridimensional del modelo.

Fuente: HEC-RAS 5.0.1.

El comportamiento los ríos intermitentes provocan, crecientes importantes, violentas y de corta duración, durante el periodo lluvioso. En la Figura 18, podemos visualizar lo que sucedió en el mes de Marzo del 2015, donde ocurrió una fuerte precipitación en horas de la noche y en la madrugada sucedió una fuerte descarga de la cuenca. En tempranas horas de la mañana, el cauce casi no poseía caudal, en ciertos tramos el agua tenía tirantes de 0.20 – 0.40 m, muchos peces quedaron atrapados en el lecho. Otra acción que tienen los ríos intermitentes es al momento de su descarga, si están obstruidos con una barra costera, este crea un efecto de Overtopping, al igual que en las presas, provocando su socavación, posteriormente su arrastre. Figura 17.



Figura 17.- Efecto de Overtopping sobre barra costera, Marzo 2015.

Fuente: Autor.



Figura 18.- Creciente violenta y de corta duracion en el rio Chicharron, Marzo 2015.

Fuente: Autor.

3.6 Comportamiento estuarino

Bastantes estuarios cambian su tipo de clasificación debido a la alta variabilidad de la precipitación sobre el área de drenaje su suministro fluvial. El caudal puede ser reducido, pero mientras algo de agua dulce ingrese al estuario, el carácter estuario se mantiene en la forma de estuario de cuña salina. El estuario en las épocas de estiaje, se mantiene con un caudal mínimo; el estuario pierde su identidad y se convierte en una bahía oceánica.

Podemos visualizar en la Figura 19, como es el comportamiento de la zona del estuario en época de estiaje, la cuenca se encuentra con características desérticas, evidenciando estos rasgos en el suelo desnudo y la vegetación con un color pálido. El agua que resta de la esorrentía de la cuenca, se encuentra en una especie de laguna limitada por la barrera costera y la pendiente longitudinal, propia del cauce.



Figura 19.- Imagen historica, septiembre 2011.

Fuente: Google Earth PRO.

3.7 Costas

3.7.1 Morfología

Los sedimentos en las playas pueden variar en composición dependiendo la fuente que alimenta la playa. Los mismos pueden ser litogénicos o terrígenos, biogénicos o mixtos. Los primeros provienen de la corteza terrestre, muchos de ellos son silicatos, micas, minerales oscuros sobre todo hierro y magnesio. Estos se transportan por los ríos desde tierra adentro hasta la costa, por lo cual se debería encontrar playas más terrígenas cerca de las desembocadura de los ríos, mientras que los segundos, los sedimentos biogénicos, provienen del océano o mar. Estos

proviene de los restos de las partes duras de carbonato de calcio de los organismos marinos. A diferencia de los terrígenos, los sedimentos biogénicos se producen in situ, lo que significa que no viajan grandes distancias, la gran mayoría se produce cerca de la playa a la cual alimentan. Las playas con sedimentos mixtos cuentan con dos fuentes alternas o simultáneas de sedimentos: sedimentos terrígenos que provienen del río y sedimentos que provienen de los organismos marinos (biogénicos) que habitan el área.

Un sistema playero se puede decir que está en equilibrio cuando su perfil transversal, incluida la zona subacuática adyacente, alterna cíclicamente en respuesta a los procesos cíclicamente generados por la acción del oleaje de las aguas en costeras, sin cambios de largo periodo (5 años). El perfil longitudinal de éste no cambia su forma en el tiempo, se puede entender como un balance entre el alzamiento tectónico y la tasa de erosión que actúa sobre el lecho del río. (Larson, 1991), describió el perfil de equilibrio como: Una playa con un tamaño de grano determinado, expuesta a unas condiciones constantes de oleaje, desarrollará una forma del perfil que no presentará ningún cambio neto con el tiempo. Por lo tanto, cuando un perfil alcanza el equilibrio, existirá un balance de fuerzas en cada perfil, tal que el transporte neto sea nulo.

3.7.2 Corrientes

Las corrientes oceánicas presentan una mezcla compleja de diferentes tipos de movimientos periódicos y no periódicos del agua, oscilando en velocidad y tiempo. La variabilidad de la velocidad y dirección de las corrientes oceánicas es una de las características más influyentes que poseen. (Neuman, 1968).

La mayor parte de la circulación superficial en la región ecuatorial de los océanos está dominada por el flujo hacia el Oeste producido por los vientos Alisios. A lo largo de las costas de América llegan al Ecuador, la corriente de California desde el Norte y el Sistema de Corrientes de Perú desde el Sur. En latitudes bajas, estas corrientes giran hacia el Oeste para formar parte de las corrientes ecuatoriales del Norte y Sur respectivamente. La Corriente Ecuatorial del Sur atraviesa todo el Pacífico en dirección Este-Oeste, llevando agua subtropical superficial (ASTS). Teniendo como rangos de temperatura de 17 a 25 grados centígrados y de salinidad mayor a 35UPS (Cucalón, 1983). En la Figura 20, se puede visualizar el esquema de la circulación oceánica del Pacífico Tropical Este, las líneas sólidas indican corrientes superficiales y las líneas punteadas muestran las corrientes subsuperficiales.

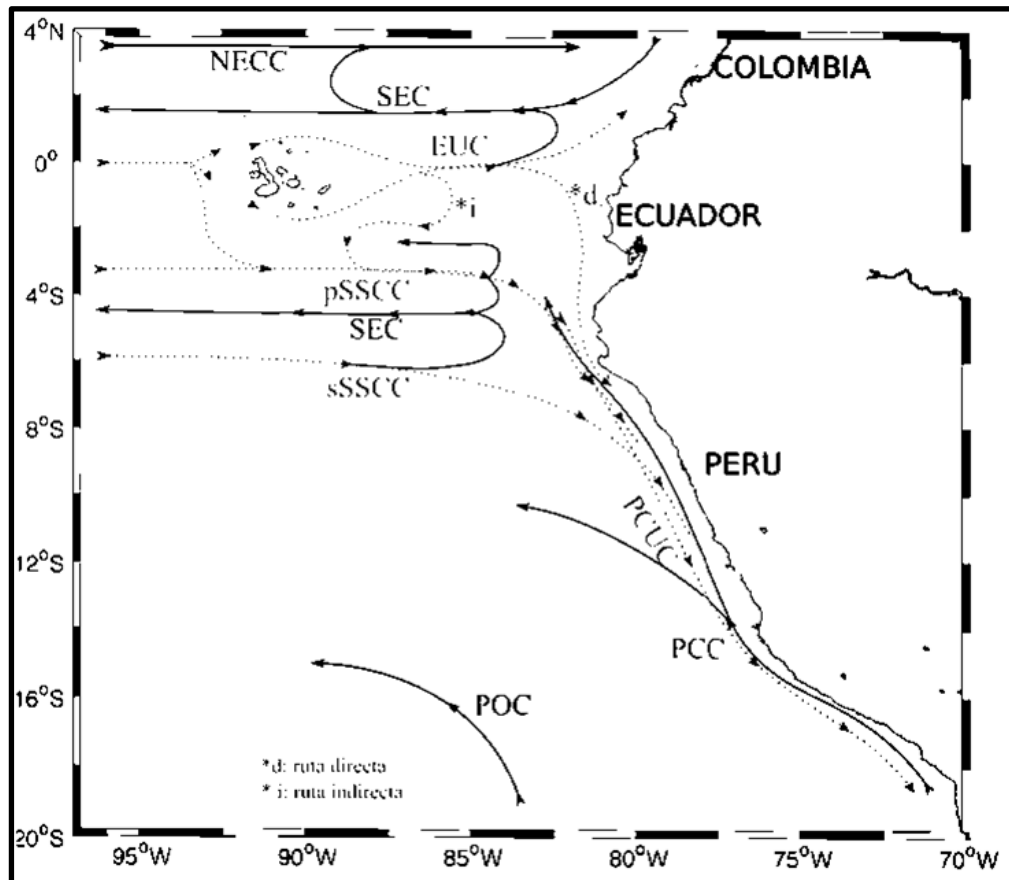


Figura 20.- Esquema de la circulación oceánica del Pacífico Tropical Este.

Fuente: Instituto Geofísico del Perú. Vol.1, Abril 2014.

Las corrientes pueden ser representadas muchas veces por vectores que representan la velocidad y la dirección del movimiento del agua en un lugar y tiempo específico. La clasificación de las corrientes del océano puede ser dividida en cuatro grupos, según (Sverdrup et al, 1942):

- Corrientes relacionadas con la distribución de la densidad del mar, llamada, circulación termohalina

- Corrientes originadas por acción de los vientos sobre la superficie del mar.
- Corrientes generadas por acción de la marea
- Corrientes inducidas por la presencia de oleaje.

El comportamiento del swell, periodo, vientos, presión y temperatura del mar para la región del Ecuador, se obtuvo de modelos de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), a lo largo del 2015; Podemos visualizar en los anexos. El comportamiento anual de las mareas, se lo obtuvo a partir del análisis de la estación MONTEVERDE, del INOCAR. Cuya estación se encuentra más próxima al área de estudio. Figura 21.

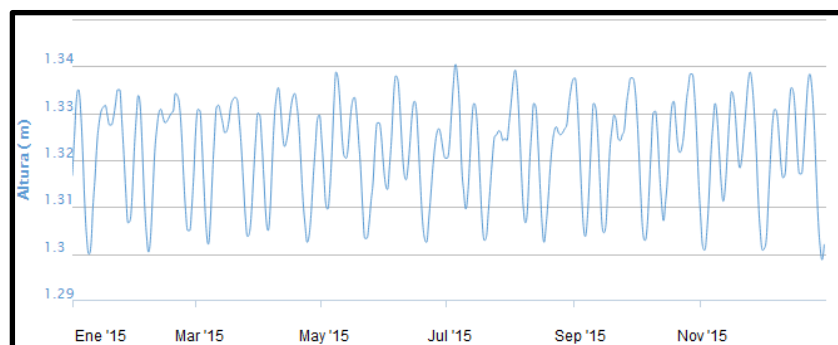


Figura 21.- Comportamiento anual de las mareas Enero – Diciembre 2015.

Fuente: INOCAR – Estacion MONTEVERDE.

3.8 Calidad del agua

Los seres humanos no solo hemos utilizado el agua para nuestro consumo sino también para nuestras actividades y confort, convirtiendo las aguas usadas en vehículo de desechos, de aquí proviene la denominación de aguas residuales. Pueden distinguirse en dos clases de aguas residuales:

Aguas grises, las cuales proceden de drenajes o de la escorrentía superficial, estando caracterizadas por grandes aportes intermitentes.

Aguas negras, proceden de los vertidos de la actividad humana doméstica, agrícola e industrial.

3.8.1 Parámetros físicos, químicos y microbiológicos

El contenido total de materia sólida contenida en el agua se define como sólidos totales (ST), comprendiendo tanto los orgánicos o volátiles (V) como los inorgánicos o fijos (F). Estos pueden encontrarse como:

Sólidos disueltos (SD), que no sedimentan, estando en estado iónico o molecular.

Sólidos en suspensión (SS), que pueden ser sedimentables (Ss), los que por su peso sedimentan fácilmente en un período de tiempo (2 horas en cono

Imhoff), y no sedimentables (Sc), que no sedimentan tan fácilmente porque su peso específico es próximo al del líquido o por encontrarse en estado coloidal.

La turbidez, se relaciona con la transmisión de la luz a través de un medio líquido. Existe una interrelación entre la turbidez y los sólidos en suspensión, pero sólo puede establecerse una relación empírica para cada sitio específico, que puede resultar de utilidad dado que la medición de turbidez es más rápida.

El pH y la temperatura determinan condiciones de base fundamentales para muchas reacciones químicas y procesos biológicos. El oxígeno disuelto (OD), es la cantidad de oxígeno en el agua puede ser incrementada por captación a través de la superficie de interface agua-aire o por acción fotosintética debida, principalmente, a las algas verdes. La cantidad de oxígeno puede disminuir por la respiración de los microorganismos, por la elevación de la temperatura, por reacciones químicas y por el metabolismo de microorganismos regidos por la acción enzimática.

La DBO es la cantidad de oxígeno (expresada en mg/l) consumida, en condiciones de ensayo (20°C, presión atmosférica y oscuridad) y en un tiempo dado, como consecuencia de la oxidación de las materias biodegradables presentes en el agua residual. Este índice depende fuertemente de la temperatura y débilmente de la presión. La DQO involucra la oxidación de toda la materia orgánica oxidable presente. En principio, no existe relación entre ambos parámetros. No obstante, es posible, en puntos específicos, obtener curvas de correlación válidas para control. En estos casos, el uso de la DQO tiene la ventaja relativa de su rapidez.

El contenido de nutrientes determina el estado trófico del sistema. Concentraciones excesivas de los principales nutrientes, a saber, el nitrógeno (N) y el fósforo (P), puede dar lugar a florecimientos algales descontrolados (eutrofización). El N inorgánico se presenta en las distintas especies que componen su ciclo: ion amonio NH_3 (primera etapa), nitritos NO_2 (segunda etapa) y nitratos NO_3 (tercera etapa). El N también se encuentra en estado orgánico. Análogamente, el fósforo aparece en sus formas inorgánicas (fosfatos) y orgánica.

La materia orgánica es un medio óptimo para el desarrollo de las bacterias. Como índices del contenido de bacterias se utilizan normalmente microorganismos de origen humano y fácil detección, mediante colimetría, estreptometría, colonias en agar y colonias de anaerobios. Estos índices representan un indicador indirecto, y a menudo impreciso, de la presencia de organismos patógenos y virus más potentes.

3.8.2 Aguas residuales urbanas de origen domestico

Las sustancias incorporadas en las aguas residuales domésticas proceden de alimentos, deyecciones, limpieza casera, limpieza vial, etc. Hay productos orgánicos, inorgánicos y microorganismos. Entre los productos orgánicos pueden señalarse residuos de origen vegetal, origen animal, deyecciones humanas, grasas, etc. Las deyecciones humanas tienen un contenido de 30% de N, 3% de ácido fosfórico (PO_4H_3) y 6% de K_2O . El vertido por habitante de orina puede estimarse de 1,2 a 2,4 litros/día, constituyendo la urea el 50% de dicha cantidad. Los productos inorgánicos consisten en elementos disueltos e inertes.

Los compuestos químicos que se hallan presentes son muy variados: urea, albúminas, proteínas, ácidos acético y láctico, bases jabonosas y almidones, aceites, hidrocarburos, gases, sales, bicarbonatos, sulfatos, fosfatos, nitritos, nitratos, etc. La incorporación de sales por el uso del agua en una ciudad puede estimarse en un incremento de 35-80 ppm.

Los sólidos orgánicos proceden de la actividad humana, siendo de origen animal o vegetal. Contienen principalmente C, H, O, así como N, S, P y K. Es el caso de las proteínas, los hidratos de carbono y las grasas. Su característica es la posibilidad de degradación y descomposición por reacciones químicas o acciones enzimáticas de los microorganismos. Los sólidos inorgánicos son sustancias inertes y no degradables, tales como minerales, arenas, tierras, etc.

Entre la materia viva incorporada a las aguas, contemplada bajo la denominación de microorganismos, pueden citarse: virus, algas, protozoos, bacterias, hongos, insectos, rotíferos. Los microorganismos pueden ser parásitos (benignos o patógenos) o saprofitos (consumen materia orgánica muerta, descomponiéndola). En relación a la captación de oxígeno, los microorganismos pueden clasificarse en:

Aerobios: Captan de forma directa el oxígeno disuelto en el agua. Constituyen el 60-66% de microorganismos existentes en el agua residual.

Anaerobios: Obtienen el oxígeno por descomposición de la materia orgánica constituida por tres o más elementos (C, H, O, N, S, P, K). Constituyen el 10-25% del total de microorganismos. Facultativos: Pueden adaptarse a las condiciones aerobias o anaerobias, dependiendo de la existencia o no de oxígeno disuelto en las aguas. Constituyen el 9-30%.

Conviene aclarar que, si bien existen microorganismos patógenos, que pueden originar serios problemas sanitarios al hombre, por otro lado existen inmensas legiones de microorganismos que colaboran con la naturaleza, ayudando a un continuo reciclado y reutilización de la materia, cerrando ciclos tan importantes como los del carbono, nitrógeno, fósforo y azufre.

También existen organismos macroscópicos, que son visibles, como gusanos, insectos y otras formas que ayudan a la descomposición biológica de la materia orgánica. La cantidad de microorganismos en los vertidos de una ciudad es elevada: pueden detectarse, por cada 100 ml, 300×10^6 aerobios, 25×10^6 coliformes y 5×10^6 estreptococos.

3.8.3 Autodepuración

Los cuerpos de agua atacan la contaminación por varias vías. En el caso de cuerpos superficiales actúan mecanismos físicos, particularmente eficientes en el caso de ríos, a saber:

- Los elementos flotantes o productos tensoactivos van quedando retenidos por las plantas y el propio terreno de las orillas. Los remansos colaboran en esta acción. Poco a poco la superficie del agua va quedando liberada de elementos extraños.
- Los elementos pesados, dependiendo de su densidad y de la corriente del agua, van quedando depositados en el fondo, más en las zonas remansadas y menos en la zona de corriente, por lo que las aguas van quedando libres de partículas sedimentables.

En todos los casos, también se activan mecanismos químicos biológicos:

- Los componentes ácidos y bases de los vertidos tienden a neutralizarse
- Los microorganismos existentes en el agua, o incorporados en los vertidos, (bacterias, algas, protozoos, hongos, rotíferos, insectos, etc.) utilizan la materia orgánica existente en las aguas metabolizándola y transformándola en materia viva, o coagulando las partículas más

gruesas por los exofermentos, pudiendo de esta forma sedimentarse parte de la materia en suspensión. En esta acción metabólica de los microorganismos son también utilizadas materias disueltas.

- Los principales elementos que forman parte de los microorganismos, y que están presentes en la materia orgánica de los vertidos, son el C, H, O, N, P, S, Na, K y otros. La acción de los microorganismos aerobios, anaerobios y facultativos sobre los compuestos orgánicos dan origen a fermentaciones que transforman la materia orgánica, tendiendo a su mineralización. Las principales transformaciones se sintetizan en los ciclos de los cuatro principales nutrientes, que se describen a continuación.

3.8.4 Fuentes de contaminación

Las fuentes de contaminación identificadas en la cuenca del río Chicharrón, son dos:

- Laguna de oxidación (Estero Cucaracha)
- Ducto cajón (Estuario Chicharrón)

La Comuna de Montañita dirige su descarga de aguas servidas de la mayoría de la población hacia una estación de bombeo, que se encuentra ubicada en el parqueo principal de la comuna, luego que las descargas arriban a la estación, el material es bombeado hacia la laguna anaeróbica que se encuentran en la cota 13.0 m.s.n.m., muchas veces el volumen de las lagunas no satisface el caudal que recibe y es descargado directamente sin un tratamiento previo. Esto se evidencia en las temporadas altas, cuando la afluencia de turistas es mayor. Figura 22.



Figura 22.- Descarga de la laguna de oxidacion en el estero Cucaracha.

Fuente: Autor.

El ducto cajón de aguas lluvias que descarga hacia un canal, y este descarga hacia el estuario del Chicharrón, tiene conexiones clandestinas de redes de

aguas servidas, teniendo como resultado, descargas directas hacia el cuerpo receptor. Figura 23.

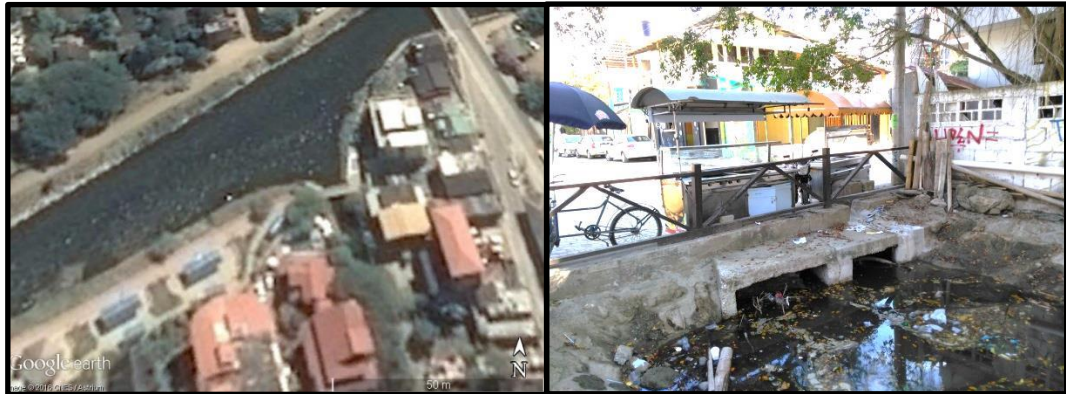


Figura 23.- Ducto cajon de aguas lluvias que descarga hacia el esturio del Chicharrón.

Fuente: Autor

3.8.5 Monitoreo de calidad del agua

Para el monitoreo y el análisis del calidad del agua se utilizaron equipos multiparametricos y de colorimetría; y se trabajaron con varios escenarios. Primeramente para el análisis del rio Chicharrón, se tomaron muestreos en los escenarios más críticos, que se presentan en la semana después de los feriados de Carnaval y Semana Santa en los meses de Febrero y Abril del 2015. La evaluación de esta manera es con la finalidad

de que las aguas servidas captadas por la comuna en esos días, se desplacen hacia la laguna de oxidación y estas sean descargadas hacia el río. El escenario más crítico presentado fue el del mes de Febrero, se realizaron 40 muestreos en el área de estudio y se tomaron los nueve valores más representativos y los podemos visualizar en la Tabla IX.

Tabla IX.- Muestreo en el río Chicharron, en el mes de Febrero del 2015.

	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9
Temperature (°C)	28.30	28.00	28.40	27.90	27.50	28.00	28.20	27.50	28.00
pH	8.40	8.40	8.50	8.60	8.50	8.40	8.30	8.10	7.60
Total Dissolved Solids TDS (ppt)	3.87	3.88	3.87	3.88	3.89	3.50	3.42	2.18	2.07
Electrical Conductivity EC (Ms)	7.74	7.76	7.74	7.76	7.76	7.50	6.50	4.38	4.15
Nitrogen - Nitrate (mg/L)	39.87	26.58	22.15	17.72	44.30	22.00	25.00	45.20	50.00
Carbon Dioxide CD (mg/L)	0.00	0.00	30.00	32.00	34.00	35.00	38.00	40.00	45.00
Phosphate (mg/L)	4.20	4.20	4.50	4.50	4.50	4.50	4.80	5.00	5.00
Nitrogen - Amonia (mg/L)	2.00	1.20	1.00	1.20	1.00	1.30	2.10	4.00	7.20
Dissolved Oxygen DO (mg/L)	13.00	13.00	11.00	17.00	10.00	13.00	11.00	7.00	4.00
Salinity g/Kg (ppt)	20.00	20.00	16.00	24.00	28.00	26.00	10.00	4.00	6.00

Fuente: Modelling Of Pollutants Distribution At Chicharron Estuary, Jaén
2016.

Los parámetros que tuvieron mayores variaciones dentro de este escenario son: Conductividad eléctrica, Oxígeno Disuelto, Nitrógeno – Nitrate y Nitrógeno – Amonia. Se puede visualizar en la Figura 24, 25, 26 y 27, donde se realizó un método de interpolación a partir de los 40 muestreos, para determinar un comportamiento estacional del parámetro analizado de forma

que pueda servir para calibrar algún modelo de dispersión de contaminantes y tener en cuenta cuales son las zonas donde se presentan las mayores y menores concentraciones.

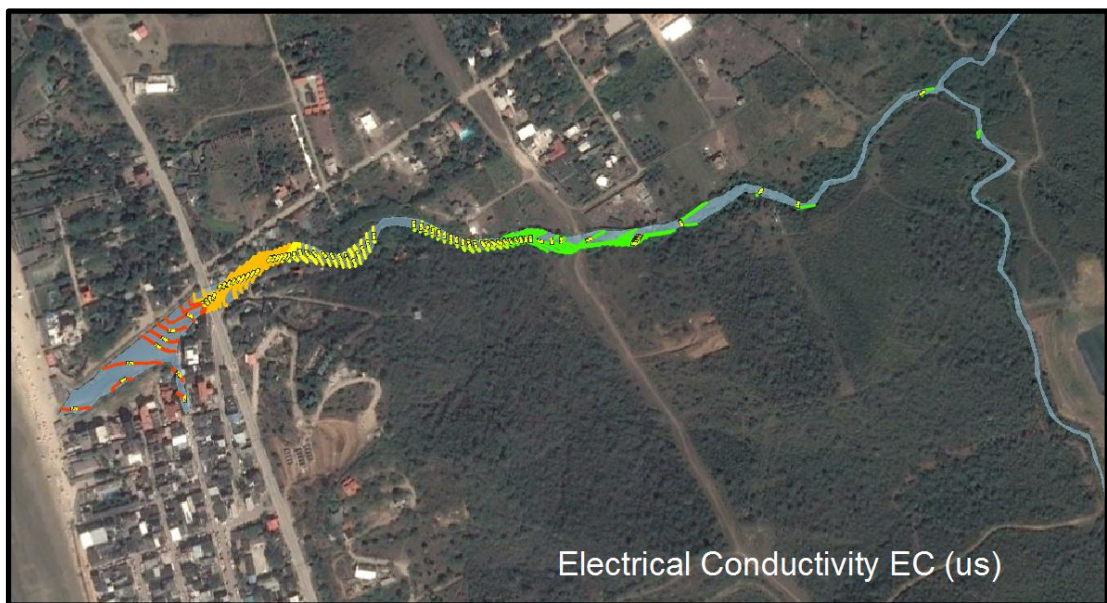


Figura 24.- Conductividad electrica, (Max. 7.76 – Min. 4.15).

Fuente: Modelling Of Pollutants Distribution At Chicharron Estuary, Jaén
2016.



Figura 25.- Oxigeno disuelto, (Max. 17.0 – Min. 4.0).

Fuente: Modelling Of Pollutants Distribution At Chicharron Estuary, Jaén

2016.



Figura 26.- Nitrogeno - Nitrato, (Max. 50.0 – Min. 17.72).

Fuente: Modelling Of Pollutants Distribution At Chicharron Estuary, Jaén
2016.

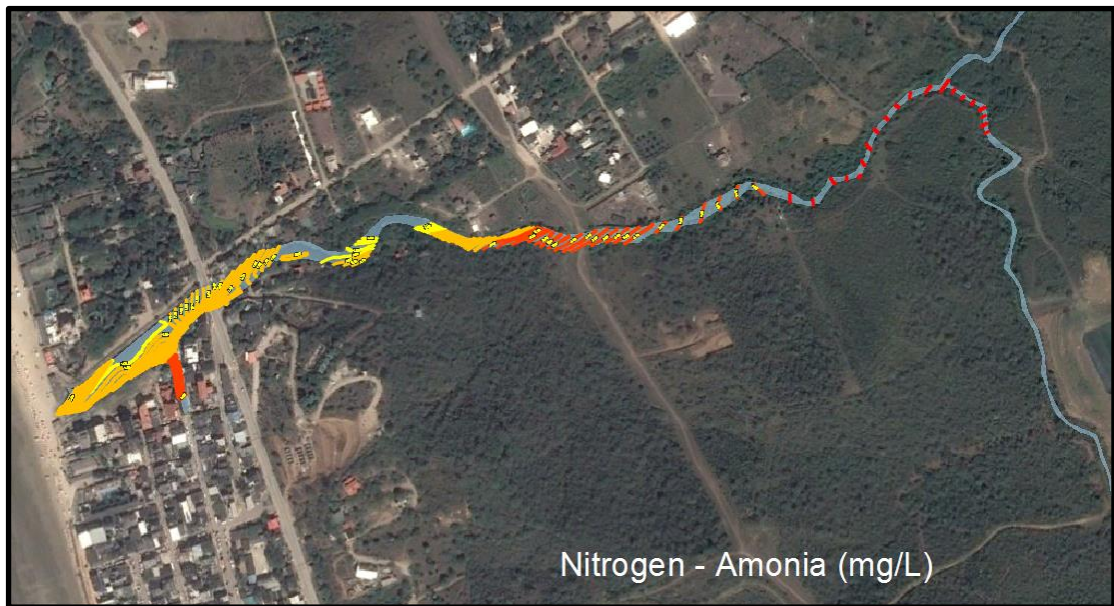


Figura 27.- Nitrogeno - Amonia, (Max. 7.20 – Min. 1.0).

Fuente: Modelling Of Pollutants Distribution At Chicharron Estuary, Jaén
2016.

Después de analizar las dos principales fuentes de contaminación de la red hídrica, se tomaron muestras de Escherichia Coli, Coliformes Fecales y Coliformes Totales, en los puntos A (laguna oxidación) y B (ducto cajón). Estos dos puntos de muestreo se encuentran en las descargas de la laguna anaeróbica, en el estero Cucaracha y en el ducto cajón que descarga en el canal que desemboca en el estuario del Chicharrón. De igual manera, se realizó un muestreo el mes de Marzo, luego que hubo un flujo de torrente, provocando que el caudal retenido en el estuario del Chicharrón, descargue

libremente al mar. Se tomaron 4 puntos de control frente a la costa, donde se levantaron las muestras (C, D, E, F y G). Los valores correspondientes a los parámetros antes mencionados los podemos visualizar en la Tabla X y la interpolación estacional de las concentraciones en las Figuras 28 y 29.

Tabla X.- Muestreo de Escherichia Coli y Coliformes Totales en los puntos A y B, y en el sector de descarga del estuario (Marzo, 2015)

	NMP/100ml							UFC/100ml	
	A	B	C	D	E	F	G	A	B
Escherichia Coli	4.0x10 ⁴	2.0x10 ¹	---	---	---	---	---	7.3x10 ⁴	4.5x10 ⁴
Fecal Coliforms	2.2x10 ⁵	1.1x10 ²	1.6x10 ⁴	4.1x10 ²	8.3x10 ³	1.3x10 ⁴	1.0x10 ²	8.0x10 ⁴	6.5x10 ⁴
Total Coliforms	2.4x10 ⁷	7.9x10 ⁴	2.4x10 ⁵	9.6x10 ²	9.9x10 ³	2.3x10 ⁴	2.0x10 ²	1.3x10 ⁵	1.1x10 ⁵

Fuente: Modelling Of Pollutants Distribution At Chicharron Estuary, Jaén
2016.

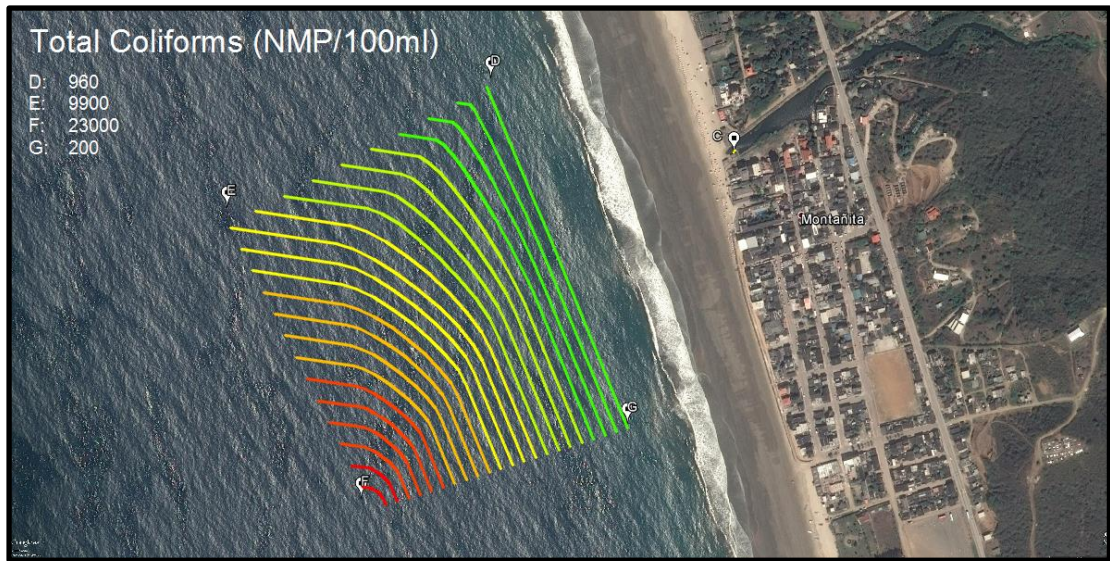


Figura 28.- Coliformes Totales.

Fuente: Modelling Of Pollutants Distribution At Chicharron Estuary, Jaén
2016.



Figura 29.- Coliformes Fecales.

Fuente: Modelling Of Pollutants Distribution At Chicharron Estuary, Jaén
2016.

A partir de los resultados obtenidos, se realizó un cuadro comparativo de las concentraciones de los parámetros levantados junto a las Normas Ecuatorianas para la preservación de la vida salvaje y propósitos recreacionales adicional a las recomendaciones de la EPA. Estos resultados los podemos visualizar en la Tabla XI.

Tabla XI.- Comparacion de resultados con el TULAS y recomendaciones de la EPA.

	National Recommended Water Quality Criteria EPA	Ecuador WQI					
		Wildlife preservation		Recreational purposes		A	B
		Fresh water	Salt water	Primary contact	Secondary contact		
pH	6.5 - 8.5	5 - 9	5 - 9	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5	7.6	8.5
Dissolved Oxygen DO (mg/L)	---	>6	>5	>6	>6	4	10
Nitrogen - Nitrate (mg/L)	10	---	---	---	---	50	44.3
Nitrogen - Amonia (mg/L)	---	0.02	0.4	---	---	5	3
Fecal Coliforms (nmp)	---	<200	<200	<200	<1000	220000	110
Total Coliforms (nmp)	---	---	---	<1000	<4000	24000000	79000
Escherichia Coli (cfu)	410	---	---	---	---	130000	110000

Fuente: Modelling Of Pollutants Distribution At Chicharron Estuary, Jaén 2016.

Se aprecia una diferencia muy grande entre los valores recomendables y los que se tomaron en los puntos A y B, dando como conclusión que el cuerpo hídrico no se encuentra en un estado aceptable para el contacto humano.

CAPÍTULO 4

4. PLANTEO DE ALTERNATIVAS PARA REHABILITACION Y SANEAMIENTO

Para el análisis de las alternativas de rehabilitación y saneamiento se va a zonificar el área de estudio con el fin de poder sectorizar las alternativas y poder tener un esquema más real del área en el cual se va a trabajar, las zonas identificadas se describen a continuación, y en la Figura 30:

- Zona A, comprende el área del cauce, desde la descarga hacia el mar, hasta el puente que atraviesa el estuario del río Chicharrón.

- Zona B, se encuentra entre el puente, y la línea de servidumbre del gasoducto.
- Zona C, esta entre el gasoducto y unión del tributario Cucaracha.
- Zona D1, corresponde desde la unión del estero Cucaracha hasta la vía de acceso a la laguna anaeróbica.
- Zona D2, es la zona que corresponde desde la descarga de la laguna anaeróbica hasta la unión con el río Chicharrón.

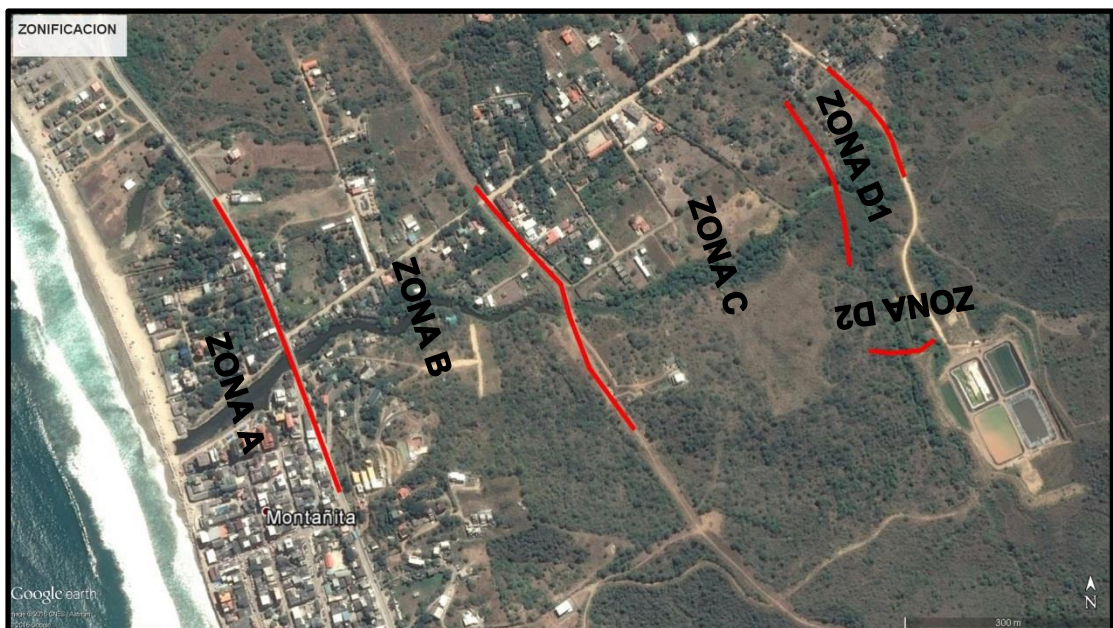


Figura 30.- Zonificación del área de estudio.

Fuente: Google Earth PRO.

4.1 REHABILITACION Alternativa #1: ELIMINACION DE OBSTRUCCIONES TRANSVERSALES

La eliminación de obstrucciones transversales, se concentra en las obras que atraviesan el cauce de forma transversal, dificultando el paso del flujo de manera natural, causando estrangulamientos y retención del flujo.

Las obstrucciones que tenemos son:

- Zona B, paso del gasoducto.
- Zona D1, vía de acceso a laguna anaeróbica.

4.1.1 Ventajas

Las ventajas de la alternativa 1, serian:

- Rehabilitación hidráulica, en el momento que son eliminadas estas obstrucciones laterales, el cauce ira retomando su morfología natural, la cual tenía en su condición inicial.
- No existirán problemas de retención de flujo aguas arriba.

4.1.2 Restricciones

Las restricciones de la alternativa 1, serian:

- Se niega el acceso a la laguna anaeróbica.
- Problemas con la directiva de la comuna, debido que no estaría de acuerdo por la anegación hacia la laguna anaeróbica.
- No hay proceso de protección de las márgenes.

4.2 REHABILITACION Alternativa #2: CONSTRUCCION DE ESCOLLERAS

Debido al estrangulamiento por las obras transversales, en la Zona C, se ha ganado una densificación de vegetación en el área del cauce, reduciéndole sección al mismo e interrumpiendo el paso del flujo naturalmente. Mientras que algunas márgenes se encuentran desprotegidas e inestables por el proceso de erosión en el momento que ocurren avenidas de fuertes precipitaciones. Figura 31, debido a este proceso de erosión de las márgenes se plantea la construcción de escolleras que protejan el lecho y las márgenes de la erosión y brinden estabilidad en el cauce. Para la cual se diseñaría una sección geométrica típica que soporte los caudales para periodos de retorno de 25, 50 y 100 años.



Figura 31.- Sección típica de la Zona C.

Fuente: Autor.

4.2.1 Ventajas

Las ventajas de la alternativa 2, serian:

- El cauce ira retomando su caudal originario, sin retenciones debido a la vegetación en el lecho.

- Las velocidades aumentarían, a la condición actual, y se trataría de recuperar la condición inicial de las velocidades y protegiendo sus márgenes.

4.2.2 Restricciones

Las restricciones de la alternativa 2, serian:

- El excesivo gasto de construcción por la construcción de las escolleras a lo largo del cauce.
- Se alterarían todos los ecosistemas que dependen de la vegetación de esta zona.

4.3 REHABILITACION Alternativa #3: CONSTRUCCION DE OBRAS DE DRENAJE Y RECUPERACION DEL CAUCE

La construcción de las obras de drenaje, trata de solucionar el problema de las vías de comunicación, sin dejar de lado la funcionalidad del cauce y para rehabilitar el cauce se da la opción de recuperar la condición inicial del lecho y las márgenes para evitar la densidad de vegetación dentro

del cauce, con el fin de que no existan retenciones del flujo y se siga sumando esta densificación.

4.3.1 Ventajas

Las ventajas de la alternativa 3, serian:

- No se eliminarían las vías de acceso
- Es un proceso más amigable con el entorno.
- Se rehabilitaría el cauce, para ganar la funcionalidad del mismo y tratar de obtener sus condiciones iniciales.

4.3.2 Restricciones

Para la alternativa 3, no se encontraron restricciones o características que pudieran ir en contra del proyecto.

4.4 SANEAMIENTO Alternativa #1: CONSTRUCCION DE PRESA E ISLAS ARTIFICIALES

La idea de la construcción de una presa, en la descarga del estuario del río Chicharrón, nace de la necesidad de evitar las descargas abruptas en épocas de fuertes precipitaciones, con el fin de ubicar islas artificiales que posiblemente sean arrastradas por el flujo superficial hacia el mar.

Las islas flotantes están construidas con una matriz de fibras de poliuretano que proporcionan adherencia y flotabilidad. Sobre ella se cultivan plantas cuyas raíces penetran en el agua absorbiendo nutrientes y fijando partículas en suspensión. Las ventajas del sistema radican en la movilidad de la isla a lo largo de la superficie de agua y en absorber los nitratos y metales pesados directamente del agua lo que mejora su eficacia. La reducción de DBO es muy alta. Figura 32.

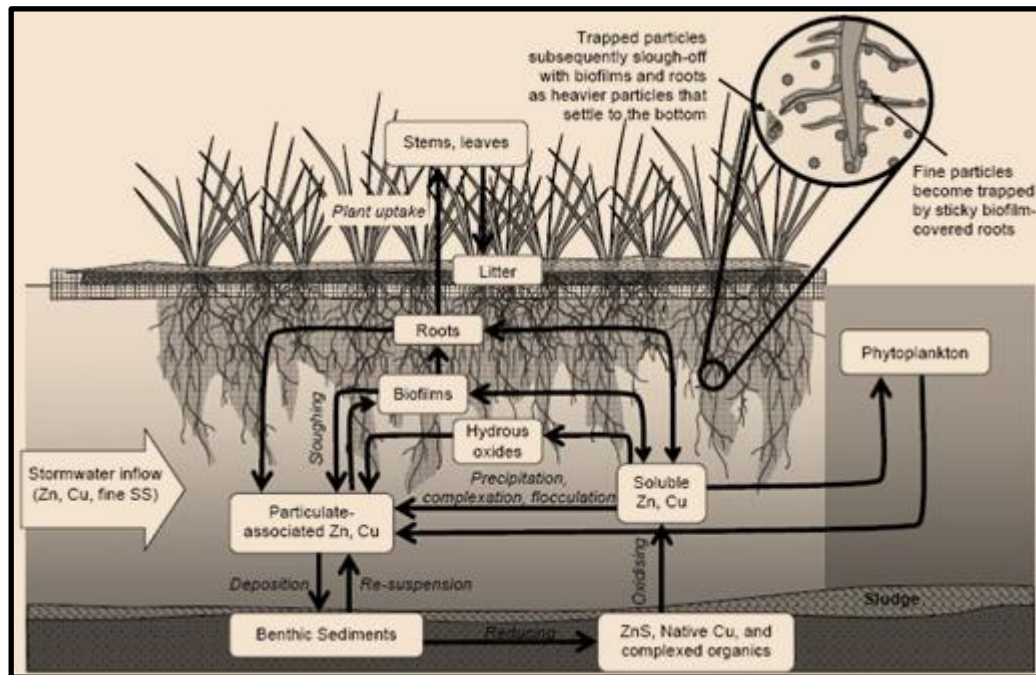


Figura 32.- Modelo conceptual de una isla artificial.

Fuente: Canadianpond.

Las plantas se pueden seleccionar para absorber metales específicos como el cobre o el zinc o para limpiar el agua de sólidos en suspensión. El sistema se utiliza para el tratamiento terciario de agua depurada, mejora de la calidad de humedales con una alta DBO, tratamiento de balsas de almacenamiento de agua de lluvia y embellecimiento de jardines. La isla constituye un refugio para la fauna y la flora microbiana además de ser un bonito recurso paisajístico.

4.4.1 Ventajas

Las ventajas de la alternativa 4, serian:

- Se recuperaría en mayoría la condición natural del cauce.
- La calidad del agua, tendría mejores resultados.
- Sería un punto a favor para el turismo, el manejo de la laguna creada por el represamiento.
- El factor costo, es muy bien retomados, debido a que es una solución económica.

4.4.2 Restricciones

Las restricciones de la alternativa 4, serian:

- El represamiento causaría un problema muy importante; debido a la baja cota de descarga del ducto cajón de aguas lluvias hacia el estuario del rio Chicharrón, el incremento del nivel del estuario provocaría por remanso, el colapso de los colectores de aguas lluvias, provocando problemas de inundaciones dentro de la comuna.

- Posible construcción de obra de encauzamiento del aliviadero hacia el mar, para evitar erosión en las barras costeras.

4.5 SANEAMIENTO Alternativa #2: HUMEDAL ARTIFICIAL

Identificando el problema y las fuentes de contaminación, se identifica que el estero Cucaracha aporta con una contaminación higiénica y cloacal debido a que la laguna anaeróbica descarga sus afluentes hacia el río y este desemboca en el Chicharrón.

La alternativa 2, se plantea en la construcción de un humedal artificial entre la laguna anaeróbica y el estero Cucaracha, evitando que la descarga directa sea arrastrada hacia aguas abajo y el caudal que obtengamos tenga mejores condiciones para su autodepuración al unirse al río Chicharrón.

4.5.1 Ventajas

Las ventajas de la alternativa 2, serian:

- Mejora de la transparencia del agua.
- El levantamiento y estabilización de los nutrientes.
- La filtración de los sólidos y las partículas en suspensión.
- Disminución de la demanda química y biológica de oxígeno.

4.5.2 Restricciones

Las restricciones de la alternativa 2, serian:

- El lugar, es la principal restricción del proyecto, debido a que todas las áreas dentro de la comuna, son propiedad de la misma comuna, y si tienen un propietario, son con fines residenciales o turísticos.
- Es una solución a corto plazo.

4.6 SANEAMIENTO Alternativa #3: EMISARIO SUBMARINO

Un emisario submarino es una conducción para realizar vertidos de origen urbano o industrial en el mar a cierta distancia de la costa. El principal objetivo de los emisarios submarinos es minimizar el impacto que puede tener el vertido de aguas residuales al mar o lo que es lo mismo, garantizar

una buena dilución de manera que la mezcla de aguas residuales y agua de mar no altere de forma alguna el aspecto natural y sea inocua para el ecosistema marino, para el litoral y para la salud de los seres humanos.

El principal problema en la cuenca del río Chicharrón es su comportamiento, la cuenca tiene precipitaciones cerca de cuatro meses, convirtiéndolo en un río intermitente o estacional. Al no tener un caudal proveniente de la cuenca, la única manera en la que el cauce se alimenta es del estero cucaracha, el cual posee las descargas de la laguna anaeróbica, provocando problemas higiénicos en la comuna.

La alternativa a mediano plazo de construir un emisario submarino, es con el fin de eliminar la laguna anaeróbica y dejar de aportar con la descarga que esta tiene sobre el estero Cucaracha, y rehabilitar el estuario para que tenga un comportamiento natural y se pueda recuperar el ecosistema propio del río. El emisario podría recibir las descargas de las comunas cercanas que no poseen un tratamiento de sus aguas residuales.

4.6.1 Ventajas

Las ventajas de la alternativa 3, serian:

- Se eliminara la laguna anaeróbica
- Se rehabilitaría ambiental e hidráulicamente el rio Chicharrón.
- La reducción de contaminación fecal presente en el estuario.
- Paisajísticamente el rio y el estuario recobraría su condición inicial.
- Socialmente el estuario podría generar ingresos extras generados por el turismo y la mejor interacción con los habitantes de la comuna.

4.6.2 Restricciones

Las restricciones de la alternativa 3, serian:

- Debido a que no existen construcciones de este tipo en el país, no hay una manera adecuada de elaborar un presupuesto para emitir un valor referencial.
- La posible no aceptación de la comuna hacia el proyecto, debido al no entendimiento de la funcionalidad de la estructura.

CAPÍTULO 5

5. ANALISIS Y DESARROLLO DE LAS ALTERNATIVAS PROPUESTAS

En este capítulo se desarrollaran las alternativas más viables para la rehabilitación y el saneamiento del rio Chicharrón.

- Rehabilitación, construcción de obras de drenaje y recuperación del cauce.
- Saneamiento, eliminación de la laguna anaeróbica y construcción de un emisario submarino.

La restauración fluvial, es el concepto más radical en la intervención de un río, significa realizar las acciones adecuadas para que el ecosistema regrese lo más posible a sus condiciones naturales, a la situación original del río antes que el hombre actuara sobre él y su entorno ambiental (Society for Ecological Restoration, 1994). Muchos especialistas consideran que la restauración es más bien un ideal, su aplicación en sistemas ambientales poco intervenidos lo convierten en un proyecto no solo posible sino también plausible.

La rehabilitación, denota la intención de recuperar ciertos elementos biofísicos de gran importancia para el ecosistema, tanto en el área urbana como en la natural, así como incorporar armónicamente el río al paisaje de la ciudad (Findlay y Taylor, 2006).

El saneamiento se apega mucho al sentido clásico de intervenir un río, ya que el saneamiento también puede conllevar su entubamiento o canalización en áreas para manejar su calidad, para aprovechar el agua de otra manera o para proteger a la población de posibles enfermedades por la contaminación. De alguna manera la visión de un saneamiento se reduce a lo que pasa en el cauce y a la calidad del agua.

5.1 Rehabilitación fluvial

5.1.1 Eliminación de vados

La eliminación de importantes obstáculos transversales, muy abundantes en cursos de agua de dimensiones pequeñas y medias. Con esta práctica de restauración el río recupera la continuidad longitudinal del sistema y naturalidad en los procesos hidrogeomorfológicos. La recuperación tras la eliminación del vado es igualmente muy rápida y efectiva. Es una buena práctica muy importante, porque en pequeñas ramblas y barrancos de zonas rurales, montañosas y despobladas puede ser el único impacto significativo.

Los vados son pasos más o menos precarios que atraviesan el cauce transversalmente o en diagonal, y en el caso de ramblas y lechos secos incluso pueden ir acompañados de tramos en los que el camino o pista circula longitudinalmente por el cauce. En general los vados se localizan en puntos estrechos y poco profundos con lecho aluvial. También los hay en lechos de gravas anchos, en los que muchas veces se acompaña el vado de un estrechamiento artificial con hormigón, obligando a la corriente a circular a través de unos pocos tubos en el centro del cauce.

Los vados generan cuatro problemas principales:

- Retención de sedimentos y detritos leñosos aguas arriba del obstáculo, con todas las consecuencias que ello supone en el flujo hídrico y en los procesos geomorfológicos y ecológicos.
- Incisión o excavación del fondo del cauce aguas abajo del vado, formándose una ruptura de pendiente que altera los procesos hidrogeomorfológicos y amenaza la estabilidad del propio vado.
- Alteraciones en las morfologías del cauce, tanto en las orillas como en las barras de sedimentos y la propia morfología del fondo del lecho.
- Compactación del lecho fluvial por el paso de vehículos.

Si el vado se acompaña de un estrechamiento artificial se generan procesos de incisión en la zona por la que se obliga a circular el agua, procesos que pueden descalzar o romper el propio vado.

Existen muchas tipologías de vados, pero en su eliminación es suficiente con el derribo con maquinaria. Generalmente no se encuentran cimentados. Tras la eliminación y retirada de escombros es necesario revisar la distribución de

sedimentos para permitir al río o barranco, cuando lleve caudal suficiente, hacer el trabajo de reclasificación y redistribución, naturalizándose así el cauce.

La eliminación debe ir acompañada del cierre definitivo de los caminos de acceso, restaurándose también los tramos de éstos que se encuentren dentro del cauce. Se trata de descompactar mecánicamente la capa superficial para que la corriente fluvial pueda movilizarla. No debe extraerse del cauce ningún sedimento natural.

Hay que manejar la maquinaria con cuidado para no alterar las morfologías de cauce y orillas. Tras los trabajos de derribo hay que renaturalizar también las zonas afectadas por el acceso de la maquinaria al cauce.

En los cursos de agua en los que se eliminen vados deberían realizarse, al menos durante un año, un seguimiento geomorfológico y biológico para comprobar la recuperación efectiva del ecosistema fluvial.

A escala de tramo, la eliminación de vados debe integrarse en propuestas de ordenación territorial, ya que pueden darse casos de corrientes fluviales en medios rurales que carezcan de puentes y en los que algunos vados sean necesarios. En estos casos la solución ideal es sustituir los vados necesarios por puentes, y si esto no es posible, eliminar el mayor número de vados posible y reservar un número mínimo de ellos para el paso, concienciando a los usuarios de que, aunque se vean obligados a realizar más kilómetros, la medida repercute en numerosos beneficios ambientales.

El cauce se naturaliza con rapidez en cuanto acontecen procesos hidrológicos de aguas altas o crecidas con capacidad para movilizar y reordenar los sedimentos que se hubieran acumulado en el vado. La corriente hídrica reconstruirá también las formas de relieve aluviales, tanto las orillas como las barras de sedimentos y los fondos. La vegetación se reestructura con facilidad y los peces encuentran de nuevo hábitats y libertad para sus migraciones y demás procesos vitales.

En el río Chicharrón, terminando la Zona B, se encuentra la servidumbre del gasoducto, que tiene en el cauce un vado acompañado de tres alcantarillas de PVC y hormigón, de diámetros variables de 250mm a 300mm. Figura 33.



Figura 33.- Tuberías presentes en el vado.

Fuente: Autor.

5.1.2 Eliminación de especies invasoras

Numerosos impactos en los ríos facilitan la entrada de especies exóticas e invasoras, que a su vez generan graves problemas de salud en el ecosistema, tanto en el medio acuático como en las riberas. La eliminación de especies invasoras es una buena práctica consolidada, para la que los organismos competentes cuentan con protocolos reconocidos. Sin, embargo, la mayoría de estas especies son muy difíciles de erradicar y es necesario trabajar de forma continuada en esta línea. El éxito en el control y lucha contra estas especies mejora el estado del río, pero no lo restaura. Y es importante que las medidas a aplicar no dañen otros elementos del río.

Existe una amplia y creciente variedad de especies alóctonas que han ido invadiendo nuestros ríos y riberas. Las más preocupantes en los últimos

años son la caña (*Arundo donax*), el jacinto de agua o camalote (*Eichhornia crasipes*), el helecho de agua (*Azolla filiculoides*), el eucalipto rojo (*Eucalyptus camaeldulensis*), el polígono japonés (*Reynoutria japonica*), el cangrejo rojo americano (*Procambarus clarkii*), el mejillón cebra (*Dreissena polymorpha*), el caracol manzana (*Pomacea canaliculata*), la almeja asiática (*Corbicula fluminea*), el galápago de Florida (*Trachemys scripta*), insectos como la mosca negra (*Simuliidae*) o el mosquito tigre (*Aedes albopictus*), peces como la perca sol (*Lepomis gibbosus*), el lucio (*Esox lucius*) o el siluro (*Silurus glanis*) y mamíferos como el visón americano (*Mustela vison*), entre otras muchas.

Es necesario el control y erradicación de estas especies porque causan el desplazamiento o la eliminación de especies nativas, producen hibridaciones y contaminación genética, alteraciones de las redes de interacción entre especies y, en suma, alteraciones en los ecosistemas. A estos problemas ambientales pueden añadirse en algunos casos los socioeconómicos, como por ejemplo el deterioro de infraestructuras que genera el mejillón cebra.

En el conjunto del sistema fluvial son especialmente graves las afecciones de las plantas acuáticas, macrófitos y algas cianofíceas que cubren amplias

extensiones de cauce (jacinto de agua o lechuguin) y reducen la entrada de luz al agua, consumen mucho oxígeno, generan malos olores, consumen agua por evapotranspiración, desplazan a la vegetación autóctona, son hábitats ideales para insectos invasores, reducen la pesca y pueden obstruir o averiar infraestructuras.

En las riberas el mayor problema lo origina la caña, que va ganando superficie en progresión constante, ya que a su facilidad de reproducción une su capacidad para ocupar zonas riparias alteradas más rápidamente que la vegetación autóctona. Así, la caña ocupa espacios degradados con mucha facilidad y con una elevada rapidez, impidiendo que las especies autóctonas puedan reaccionar y recolonizar los espacios después de una perturbación. La elevada densidad que tiene la planta dificulta cualquier tipo de coexistencia con otras especies, impide la penetración de la luz en el interior de los núcleos y por lo tanto imposibilita el crecimiento de cualquier otra especie a su alrededor. Las consecuencias en toda la cadena trófica son importantes. La situación es muy grave cuando toda la orilla es ocupada por la caña en vez de por vegetación de ribera. La caña no genera sombreado, lo cual sube la temperatura del agua y baja los niveles de oxígeno, reduciéndose las especies, entre otras los peces. Otro problema de la caña es que no es flexible y se fractura en crecidas, siendo arrastrada y formando

tapones en puentes u otros obstáculos. Además consume mucha agua y es inflamable, aunque si se quema los rizomas brotan sin problema.

Las medidas preventivas consisten en la inspección y detección temprana, así como la divulgación de información y educación ambiental para sensibilizar a los usuarios del río, que son potenciales distribuidores de estas especies. También pueden incluirse protocolos de lavado y desinfección de embarcaciones y equipos.

El mejor sistema de control son las crecidas, capaces de arrancar o al menos mantener a raya a muchos de estos organismos invasores. Sin embargo, un periodo largo sin crecidas por causas naturales o antrópicas puede ser suficiente para que las poblaciones se asienten definitivamente y sea imposible su erradicación por medios naturales. Es entonces cuando hay que recurrir a otros medios mecánicos, físicos, químicos o biológicos, desde la retirada manual hasta la repoblación con especies que puedan consumir a los invasores, pasando por la colocación de barreras flotantes para evitar la dispersión, entre otras muchas técnicas. Con los peces se pueden emplear métodos como la desecación temporal de tramos de cauce o el fomento de la pesca.

Los costes ambientales y económicos de la eliminación completa de la caña son muy elevados. El mantenimiento es costoso porque hay que eliminar la totalidad de la planta y su capacidad de rebrotar. Se medios naturales. Es entonces cuando hay que recurrir a otros medios mecánicos, físicos, químicos o biológicos, desde la retirada manual hasta la repoblación con especies que puedan consumir a los invasores, pasando por la colocación de barreras flotantes para evitar la dispersión, entre otras técnicas. Con los peces se pueden emplear métodos como la desecación temporal de tramos de cauce o el fomento de la pesca.

Los costes ambientales y económicos de la eliminación completa de la caña son muy elevados. El mantenimiento es costoso porque hay que eliminar la totalidad de la planta y su capacidad de rebrotar. Se emplean desbroces, herbicidas, cubrimiento de los núcleos con plástico biodegradable, arrancado del rizoma (lo más efectivo), etc. Todo ello debe ir integrado en una estrategia global. Construir motas puede favorecer la expansión de la caña, ya que la tierra puede estar contaminada por rizomas, de ahí que aparezcan rápidamente en zonas removidas y cunetas.

Además de las crecidas, la restauración de hábitats siempre es efectiva para reducir o controlar las especies invasoras, ya que beneficia a las especies autóctonas en su resiliencia, al aportar conectividad longitudinal, tramos refugio, conectividad transversal y calidad de las aguas.

En general, para actuar contra las especies invasoras hay que trabajar desde la cabecera hasta la desembocadura del río. También es importante atajar el problema cuanto antes y establecer todas las medidas posibles para que no se extienda de unas cuencas a otras.

La constancia en las prospecciones, la vigilancia y el seguimiento es fundamental para el éxito de esta buena práctica. Pueden definirse como inciertos y heterogéneos en la mayor parte de las especies. A ello hay que añadir que aparecen nuevas especies invasoras con demasiada frecuencia, que si los ríos estuvieran en buen estado hidrogeomorfológico y ecológico sería muy difícil que penetraran.

A partir de imágenes satelitales, podemos ver el proceso de alteración fluvial que ha sufrido el río Chicharrón. Figura 34.



Figura 34.- Analisis satelital multianual.

Fuente: Google Earth Pro.

En el 2006, tenía poco tiempo de haberse construido la servidumbre del gasoducto, obstáculo que fue provocando obstrucciones en el cauce, en el 2012, se observa cómo se construyó un camino para llegar al lugar donde se construiría la laguna anaeróbica, para construir el camino usaron el cauce del río Chicharrón y el estero Cucaracha, erosionando y alterando su geometría. En el 2014, se construyó una nueva vía de acceso hacia la laguna anaeróbica donde obstruye y en el 2016 vemos las consecuencias de estos procesos, donde las obstrucciones han causado el represamiento de los caudales, provocando el crecimiento de árboles sobre el lecho del cauce.

Figura 35.



Figura 35.- Tuberías presentes en el vado.

Fuente: Autor.

5.1.3 Revegetación

Es la buena práctica más discutible y al mismo tiempo la más frecuente. Discutible porque va asociada o acompañando a proyectos que generalmente no benefician al río, proyectos que conllevan estabilización de las márgenes del cauce, y la propia vegetación es instalada con tal fin. Frecuente por la misma razón, demostrando que la mayor parte de actuaciones fluviales de tipo “blando” no responden realmente a los principios de restauración del funcionamiento del sistema natural, sino a principios de estabilidad y estética. No obstante, se tiene en cuenta la revegetación en este catálogo de buenas prácticas porque en algunos casos concretos, menos frecuentes, sí se lleva a cabo con el objetivo de mejorar los hábitats y de iniciar o reforzar la formación de una masa vegetal de ribera.

Como se ha señalado, puede ser por estética, por estabilización o para la mejora de la ribera. En lo referente a los objetivos de estética y estabilización, esta práctica no soluciona ningún problema, ya que las orillas de los ríos no tienen por qué ser estables ni tienen por qué tener vegetación. De hecho, si se revegeta con esos fines se está actuando en contra del funcionamiento natural del río, ya que al estabilizar orillas se genera déficit de sedimentos y toda una cadena de repercusiones geomorfológicas que dañan al río especialmente aguas abajo. Se contribuye también a estrechar y simplificar el cauce, favoreciéndose la incisión. Los fines estéticos contribuyen a deformar la percepción social de los ríos de ámbitos mediterráneos, donde la visión de las gravas y el cauce seco es lo normal y debería ser valorada positivamente.

Los casos en los que sí es necesaria una actuación de revegetación son aquellos en los que la ribera se ha deteriorado como consecuencia de un impacto humano, independientemente de aspectos estéticos y sin preocupación de que la orilla se erosione o no. En muchas regiones y sistemas fluviales se ha asistido a un importante deterioro en la vegetación de ribera, en la estructura de los ecosistemas ribereños y en su diversidad biológica. Hay que buscar medidas para recuperar esas masas y para evitar que penetren especies alóctonas. Son situaciones muy abundantes,

derivadas bien de antiguos usos agrarios abandonados, generalmente choperas y usos ganaderos, bien de actuaciones urbanas o industriales fracasadas, bien de vertederos en la orilla del río, tan frecuentes antaño en la mayoría de los núcleos de población, bien de incendios o destrucción directa de bosques ribereños. Todas estas son problemáticas graves, que han destruido o alterado el corredor ribereño, y cuya solución no es fácil.

En cualquier caso, el mejor desarrollo potencial de una ribera en superficie y madurez es un parámetro difícil de estimar. Muchos de nuestros ríos carecían de vegetación de ribera cuando funcionaban de forma natural. El deterioro de la ribera por acciones humanas es negativo para el sistema, ya que es un impacto, pero esto no implica que haya que superarlo revegetando. Hay que buscar el equilibrio entre la mejora o renaturalización del cauce y de la ribera. Porque acciones de dinamización del primero pueden implicar el empobrecimiento de la segunda, por lo que habrá que tener muy clara cuál es la prioridad en cada tramo de río. En suma, la revegetación del corredor ribereño puede ser una técnica imprescindible en algunos casos para lograr mejorar la continuidad y conectividad de los ecosistemas. Así, en determinados ríos o sectores, y siempre de acuerdo con las características geomorfológicas que tengan, se podrá primar la consecución de un espacio

ribereño denso y maduro frente a un sistema más dinámico y geomorfológicamente activo.

Las revegetaciones con fines estéticos o de estabilización se asocian en muchos casos a la utilización de técnicas de bioingeniería o ingeniería natural. Son cada vez más frecuentes, especialmente en ámbitos urbanos. No pueden considerarse restauración fluvial a causa de sus objetivos, pero pueden llegar a conseguir una integración visual adecuada que da sensación de naturalidad a la orilla y, en algunos casos, se alcanza un funcionamiento bastante natural, aunque estable geomorfológicamente, de la misma. Básicamente la bioingeniería utiliza plantas vivas y restos vegetales junto a madera, rocas, mantas y redes orgánicas, metal, geotextiles, geomallas sintéticas, rollos vegetados, etc. Entre las técnicas pueden citarse los estaquillados, trasplantes de rizomas, trenzados, fajinas, ribaltas, enrejados, entramados, muros de troncos, deflectores con krainer, gaviones flexibles, etc. Algunos de estos elementos y técnicas se utilizaron en el pasado, abandonándose con la aparición del hormigón. Las plantas que se integran son tanto arbóreas como arbustivas y herbáceas, tratándose siempre con ellas de consolidar y cicatrizar el suelo y la propia actuación.

Por lo que respecta a las plantaciones que sellan impactos antrópicos en el corredor ribereño, requieren un proyecto detallado muy bien adecuado a las condiciones locales. Hay que elegir unas dimensiones para la actuación, para poder conseguir un pasillo ribereño continuo y suficientemente ancho para que funcione a modo de buffer y ecotono, para lo cual suele establecerse un sistema de tres zonas o franjas riparias. En primer lugar, antes de plantar habría que proceder a la naturalización de la morfología y topografía del corredor, eliminando obstáculos y en algunos casos aportando sedimentos. A continuación debe prepararse adecuadamente el suelo, que puede ser enriquecido con aportes de finos y materia orgánica procedentes de otras posibles actuaciones en el propio río o corredor. Por último, el proceso de plantación debe ser manual, irregularizando el terreno y, por supuesto, plantando también de forma irregular, sin seguir patrones, aplicando protectores y tutores. Hay que contar con que en las primeras fases puede haber abundantes marras y también es posible que haya que practicar riego, si es viable, si el freático no se encuentra suficientemente elevado.

En cuanto a las especies recomendables, son muy variadas en función del catálogo florístico de cada región. Por ejemplo, en el Pirineo se plantarían diversas especies de sauces, así como el abedul, fresnos, alisos y avellanos. En la depresión del Ebro se optaría por sauces, álamos, chopos, olmos y

tamarices. Y en la cordillera Ibérica se trabajaría con sauces, fresnos, chopos y álamos. En tierras de Andalucía se añadirían las adelfas.

Si se siguen los aspectos técnicos indicados, la planta es autóctona y el freático se encuentra a la altura adecuada, los resultados pueden ser positivos y la formación de masa vegetal es bastante rápida. Los resultados no serán adecuados hasta que no se asienten de forma espontánea nuevos individuos, densificando la población y aumentando la biodiversidad. Pero hay que practicar e intensificar vigilancia y seguimiento ante la posible entrada de especies invasoras.

El objetivo principal en el río Chicharrón es recuperar la continuidad del sistema fluvial, incrementar la conectividad lateral del cauce con sus riberas y llanura de inundación y mejorar la conectividad vertical con su medio hiporreico. Las técnicas más utilizadas para recuperación de márgenes y estabilización de taludes las podemos observar en la Figura 36 y 37.

Técnicas de bioingeniería	Coste	Viabilidad en relación con la pendiente	Relación a problemas de taludes	Ventajas/desventajas
Técnica 4. Cobertura de ramas	Asequible	Máximo 30-35°	Control erosión superficial	Técnica muy apropiada para aquellas zonas con elevado nivel de humedad donde queremos reproducir saucedas arbustivas. Puede complementarse con técnicas de tratamiento del margen. La clave de la técnica es la utilización de material vegetal de la zona
Técnica 6. Fajina de rama seca	Asequible	Se trata de una técnica complementaria usada hasta 60°	Control erosión superficial	En zonas donde no haya planta madre o con condiciones de baja humedad resulta una técnica sencilla para retener suelo. Mejora sensiblemente el rendimiento de las plantaciones
Técnica 7. Fajina viva o haces de ramas	Asequible	Hasta 60° si hay una humedad que haga viable el desarrollo de la planta	Control erosión superficial	Técnica apropiada para taludes fluviales pequeños en zonas con un buen nivel de humedad y presencia de plantas madre.
Técnica 8: Ribalta	Medio	Hasta 60° si hay una humedad que haga viable el desarrollo de la planta		Muy similar a las anteriores técnicas de bioingeniería con la incorporación de una estructura más sólida en la bases
Técnica 9: Enrejado vivo	Medio	Máximo 45-50°. Necesita humedad	Control erosión superficial. Capacidad de resistencia hidráulica	En zonas con humedad, plantas madre y con necesidad de mejorar la estructura del talud. Técnica naturalística con estructura para mejorar el rendimiento en caso de avenidas
Técnica 11. Krainer	Elevado	Todo tipo	Geotecnia	Se trata del sistema más fuerte dentro de la ing. naturalística. De gran capacidad pero de coste elevado, ideal para problemas importantes, pero muy localizados en zonas de climas húmedos.
Técnica 13. Manta orgánica	Barato	Según fibra y modelo hasta 50°	Control erosión superficial	Se trata de una protección temporal para proteger el suelo hasta el desarrollo de las plantas.
Técnica 14. Redes orgánicas	Barato	Máximo 60°	Control erosión superficial	Similar a las mantas, pero con más permanencia y resistencia por lo que puede soportar pequeñas escorrentías, pisoteos temporales. Buen papel en la estructura del perfil superficial.
Técnica 17: Geomallas	Asequible	Máximo 80°	Control erosión superficial. Capacidad de resistencia hidráulica	Evolución de las mantas gracias a una estructura de plástico de tipo permanente le dan un refuerzo a las herbáceas que permite una elevada resistencia a la tensión. Pueden sustituir escolleras a costes muy inferiores. Existe el peligro de utilizar geomallas que no cumplan condiciones técnicas: tensión, degradabilidad, etc., hay que asegurarse de la calidad del material. Muchos sucedáneos peligrosos
Técnica 18. Geocéldas	Medio		Control erosión superficial	Una técnica evolucionada de las mantas orgánicas, interesante, aunque la necesidad del relleno de tierras las hace costosas.
Técnica 19. Geomalla gunitada	Medio-alto		Capacidad de resistencia hidráulica	Un intento de relacionar la ingeniería tradicional aplicada a ríos: peso con las geomallas de nueva generación.
Técnica 22. Geomalla con Rock-Roll™ y Fiber Roll™	Medio	Máximo 80°	Control erosión superficial	Resulta un sistema muy completo para canalizar en verde con las máximas garantías hidráulicas y ambientales. Es un sustituto con un precio muy económico de escolleras y gaviones.

Figura 36.- Técnicas de estabilización de taludes.

Fuente: Magdaleno, 2009.

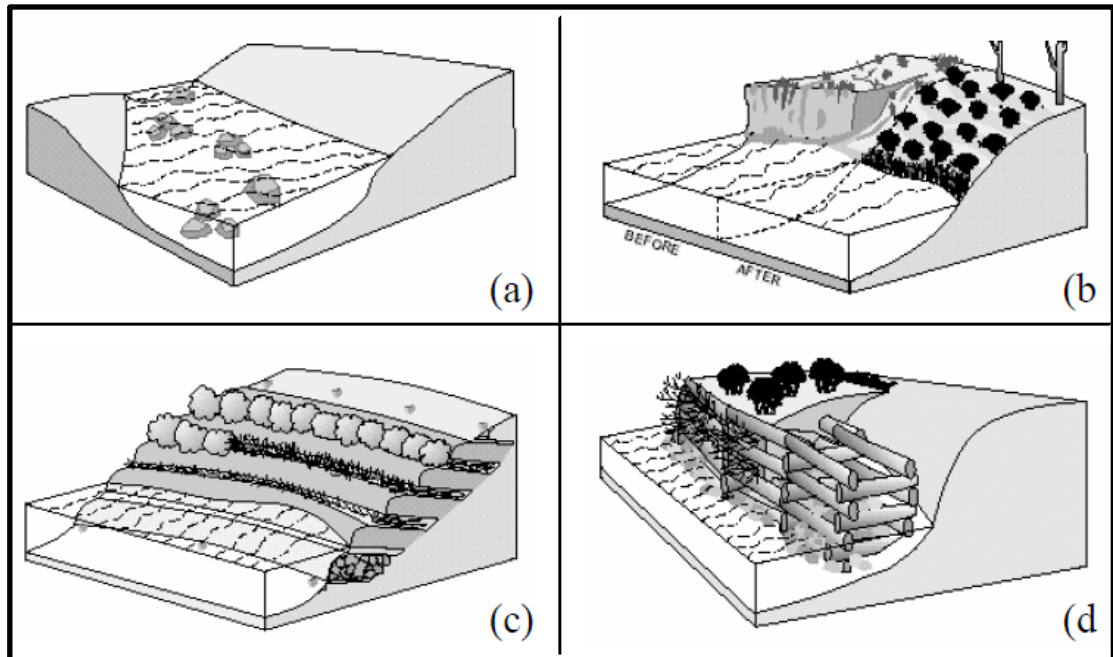


Figura 37.- Técnicas específicas de mayor utilización en la restauración de ríos y riberas. a) Introducción de bolos, b) reperfilado de taludes, c) y d) utilización de técnicas de bioingeniería.

Fuente: Federal Interagency Group, 1998

Para el río Cucaracha se plantea la revegetación de sus taludes (Figura 38), y en el río Chicharrón, en la Zona C, para las márgenes que no estén erosionadas e inestables. En la Zona C, perteneciente al río Chicharrón. Para los márgenes inestables (Figura 39), en la Zona C, se plantea utilizar métodos de bioingeniería para recuperar las márgenes y protegerlas de las erosiones, provocadas por las avenidas en época de fuertes precipitaciones.



Figura 38.- Estero Cucaracha.

Fuente: Autor.



Figura 39.- Rio Chicharron, Zona C. Margenes inestables.

Fuente: Autor.

5.1.4 Funcionalidad del rio Chicharrón

En los ríos intermitentes o efímeros, uno de los problemas importantes en la comprensión de los cambios a largo plazo son los mecanismos que gobiernan la producción y la transmisión de agua y sedimentos. En las zonas semiáridas, el área productora de escorrentía, presenta una gran variabilidad espaciotemporal. La localización y la trayectoria de la tormenta, la intensidad de la lluvia, las pérdidas de transmisión o las características físicas de la cuenca producen una

escorrentía muy variable que, además, cambia en cada episodio (Camarasa y Segura, 2001). La intermitencia del caudal dificulta el transporte de la carga de fondo, cuya movilidad depende de la superación de una potencia crítica determinada. Por este motivo, los ajustes del cauce se hacen de manera espasmódica y se limitan a los grandes episodios de avenida (Kondolf, 2007; Segura y Sanchis, 2013). También es importante la secuencia de avenidas que movilizan el sedimento del lecho: en la rambla de Cervera, la existencia de periodos sin crecidas de elevada magnitud (1946-56, 1977-91) ha favorecido el estrechamiento del cauce; por el contrario en periodos con crecidas de gran magnitud (1956-1978), la anchura se ha mantenido o incluso ha aumentado ligeramente (Sanchis y Segura, 2014).

Por tanto, en los ríos efímeros, la variabilidad temporal de la magnitud y frecuencia del caudal y de la conectividad hidrológica explica la dificultad para absorber los impactos. En estas circunstancias, los episodios de avenidas extraordinarias adquieren una gran importancia, dado que son las únicas ocasiones en que se genera una conexión hidro-sedimentaria máxima y se dan las condiciones adecuadas para el transporte de los sedimentos y los ajustes a las nuevas condiciones. La consecuencia de todo ello es una respuesta a las alteraciones diferida en el tiempo. Por ello, durante las crecidas de elevada magnitud se registra una fuerte incisión en el cauce,

consecuencia de las alteraciones acumuladas durante décadas, que pone en peligro los puentes u otras infraestructuras transversales, como azudes o caminos y carreteras.

Además de los factores que condicionan la conectividad hidrológica, la sedimentaria está afectada por la disponibilidad y el transporte de sedimentos. La cuenca efectiva sedimentaria presenta una gran variabilidad espacio-temporal, ya que depende de la conectividad (longitudinal, lateral y vertical) entre los diferentes elementos del sistema (Fryirs, 2013). Las fuentes de producción de sedimentos son variadas: erosión de los márgenes del cauce, áreas expuestas de las laderas, movimientos de masa o erosión remontante de los barrancos, abanicos aluviales, terrazas y acumulaciones al pie de los taludes (Hooke, 2003; Harvey, 2012).

Las fuentes de sedimentos pueden estar desconectadas de los cauces por tres tipos de bloqueos: tampones (buffers), barreras y mantos (blankets). Dependiendo de la posición de los bloqueos y del tiempo de residencia de los sedimentos, diferentes partes de la cuenca pueden ser activadas y contribuir

a la cascada sedimentaria (cuenca sedimentaria efectiva), o pueden permanecer inactivas mucho tiempo (Fryirs, 2013).

La conectividad sedimentaria presenta además una gran variabilidad temporal. Fryirs (2013) documenta los cambios de conectividad en función de las características de las tormentas: las de poca magnitud y elevada frecuencia ponen en marcha una conectividad baja, mientras que las de elevada magnitud y baja frecuencia pueden conectar toda la cuenca. Así el tiempo de residencia de los sedimentos en las áreas fuente oscila entre 1 y 102 años en el propio cauce, entre 102 y 103 años en las áreas coluviales y de 103 a 106 años en la llanura de inundación (Gregory y Downs, 2008).

Para recuperar la funcionalidad del río Chicharrón, en la Zona D1, se necesita construir una alcantarilla con el fin de no interrumpir el paso del flujo dentro del cauce y no incomunicar la única vía de acceso hacia la laguna anaeróbica.

Una alcantarilla es un conducto cerrado de una longitud relativamente corta, que conecta dos segmentos de canales abiertos o cuerpos de agua. Los

tipos de alcantarilla más comúnmente usados son: ductos cajón o alcantarillas circulares.

Las alcantarillas están compuestas de una entrada por donde el agua fluye dentro de la alcantarilla y un conducto, que es la porción cerrada de la alcantarilla. La capacidad total del flujo de una alcantarilla depende de las características de entrada como también del conducto de la alcantarilla y sus condiciones de descarga.

Para la modelación de alcantarillas se pueden utilizar los softwares HY-8 de la Federal Highway Administration, y el HEC-RAS, de la USACE. Se descartó el uso del HY-8, ya que se desempeña mejor en obras idealizadas, a que su modelo no considera secciones irregulares del terreno, tanto aguas abajo como aguas arriba. El modelo con el que se va a diseñar la alcantarilla es el HEC-RAS.

La ubicación de las secciones transversales, relativas a la ubicación de la alcantarilla, es de importancia para la predicción exacta de las pérdidas de expansión y contracción. La rutina de cálculo de la alcantarilla, utiliza cuatro

secciones transversales específicamente colocadas en ambos lados de la estructura, para determinar las pérdidas de energía a través de la alcantarilla.

Idealmente la sección transversal #1, debería ser colocada suficientemente aguas abajo del puente, para que el flujo no sea afectado por la estructura, es decir, donde el flujo está completamente expandido. La distancia entre el extremo de aguas debajo de la alcantarilla y la primera sección transversal, se denomina Longitud de Expansión (L_e), puede calcularse en forma práctica, como 3 o 4 veces la longitud de la obstrucción que provoca la estructura. Figura 40.

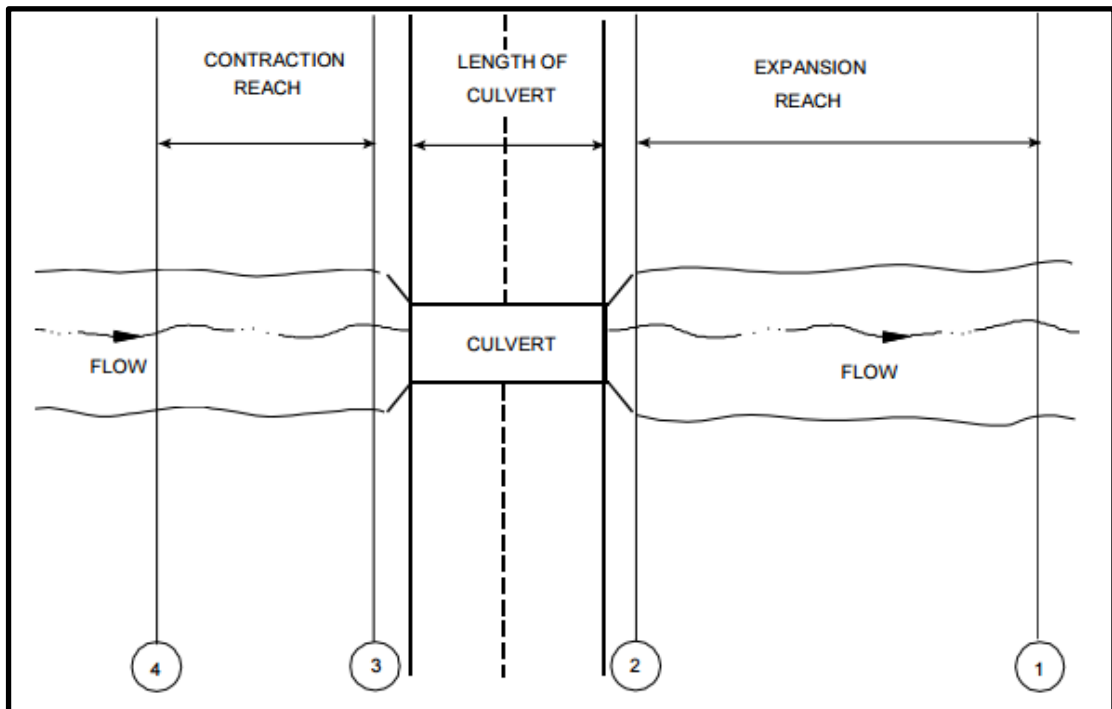


Figura 40.- Cross section layout for culvert method.

Fuente: HEC-RAS Hydraulic Reference Manual.

La sección transversal #2, usada por el programa para analizar las pérdidas de energía a través del puente, es localizada muy cerca al puente. La distancia debería de representar la corta distancia que se requiere para la transición brusca del flujo de la alcantarilla hacia el canal.

La sección transversal #3, está localizada a pocos metros aguas arriba del puente y debería reflejar la longitud requerida para la aceleración abrupta y contracción del flujo, que ocurre en el área inmediata a la abertura.

La sección transversal #4, está localizada aguas arriba de la alcantarilla donde las líneas de flujo son paralelas y la sección transversal exhibe completamente un flujo efectivo. La distancia entre el extremo de aguas arriba de la alcantarilla y la cuarta sección transversal, se denomina Longitud de Contracción (L_c).

El flujo inefectivo se usa para definir un área en la sección transversal en la que el agua se acumulara pero no está siendo efectivamente transportada. En las alcantarillas las áreas inefectivas normalmente ocurren justo aguas arriba y aguas abajo del dique de la vía, fuera de la apertura de la alcantarilla. Figura 41.

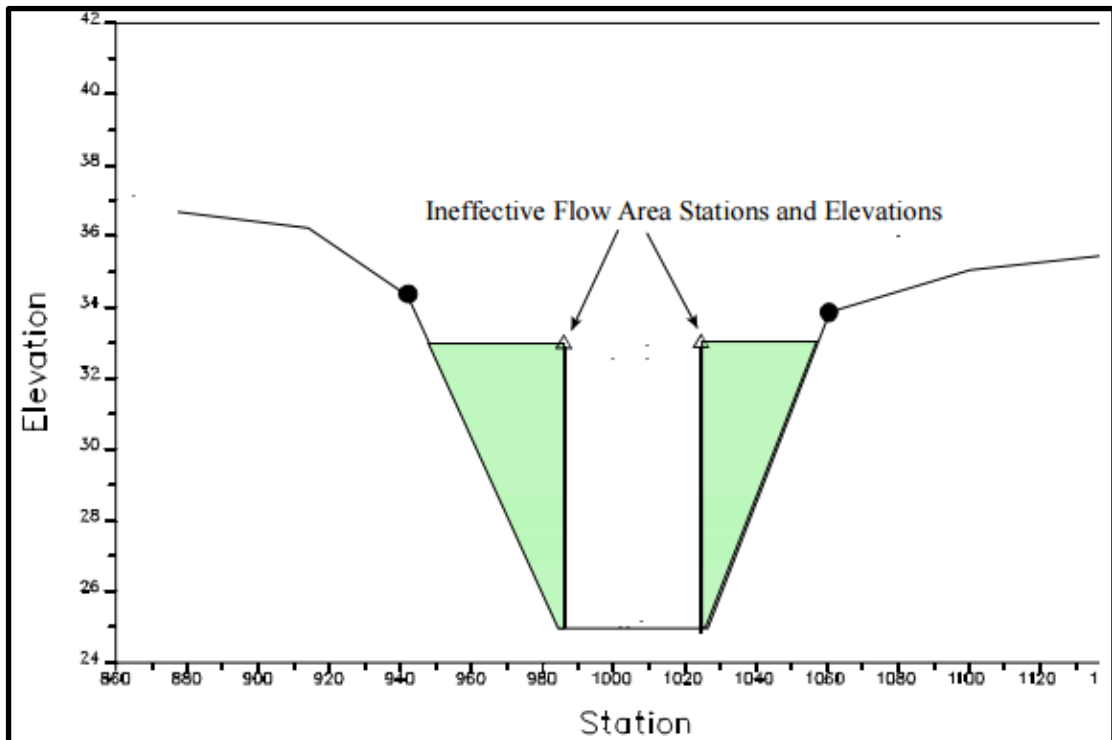


Figura 41.- Cross section #2 of culvert model.

Fuente: HEC-RAS Hydraulic Reference Manual.

Los coeficientes de contracción y de expansión son usados por el programa para determinar las pérdidas de energía de transición entre dos secciones adyacentes, se obtuvieron del Hydraulic Reference Manual. Tabla XII.

Tabla XII.- Coeficientes de contracción y expansión.

Descripción	Coeficiente de Contracción	Coeficiente de Expansión
Perdidas sin transición	0.0	0.0
Transición gradual	0.1	0.3
Expansión típica de puentes	0.3	0.5
Transiciones abruptas	0.6	0.8

Fuente: Autor.

Para la vía de comunicación de 6.0 m de ancho que conecta la comuna con la laguna anaeróbica, se diseñó una alcantarilla doble de 4.0 m de base por 3.50 m de alto, las cuales satisfacen los periodos de retorno para 25, 50 y 100 años. El objetivo de esta obra de drenaje es darle un flujo continuo al cauce. Las alcantarillas poseen muros de alas a 30 grados y una pendiente de 0.01m/m. Estas nuevas condiciones fueron calculadas a partir de los nuevos factores de Manning, debido a las zonas rehabilitadas.

Para facilitar el ingreso del flujo hacia la alcantarilla y la salida de la alcantarilla hacia el cauce se construye un enrocado con el fin de proteger la estructura contra la socavación de la cimentación.

El comportamiento del cauce con respecto a la estructura se ve mostrado en las Figuras 42 y 43., donde se visualiza el óptimo comportamiento de las estructuras con respecto al caudal de los diferentes periodos de retorno.

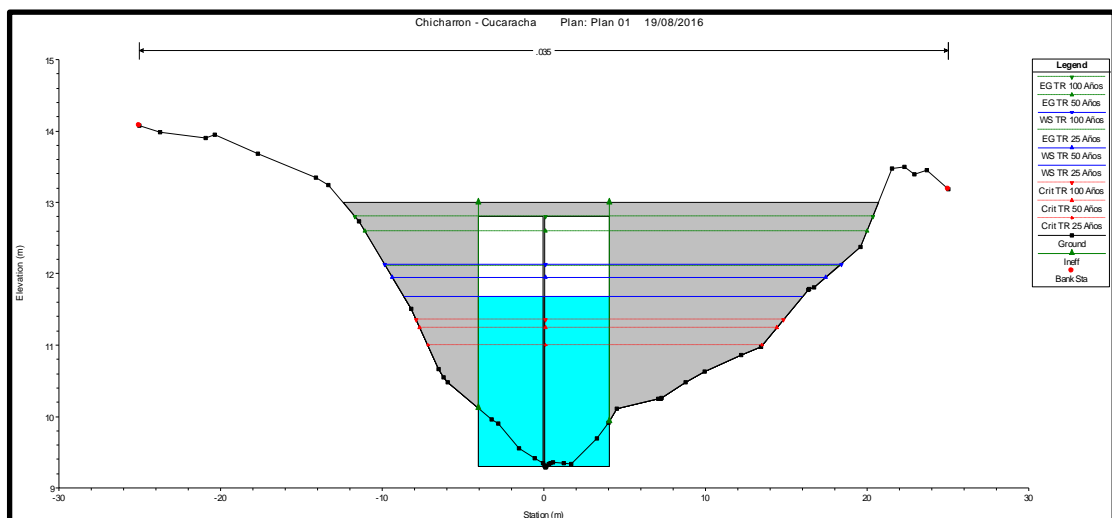


Figura 42.- Seccion aguas arriba de la estructura de drenaje.

Fuente: HEC-RAS 5.0.1.

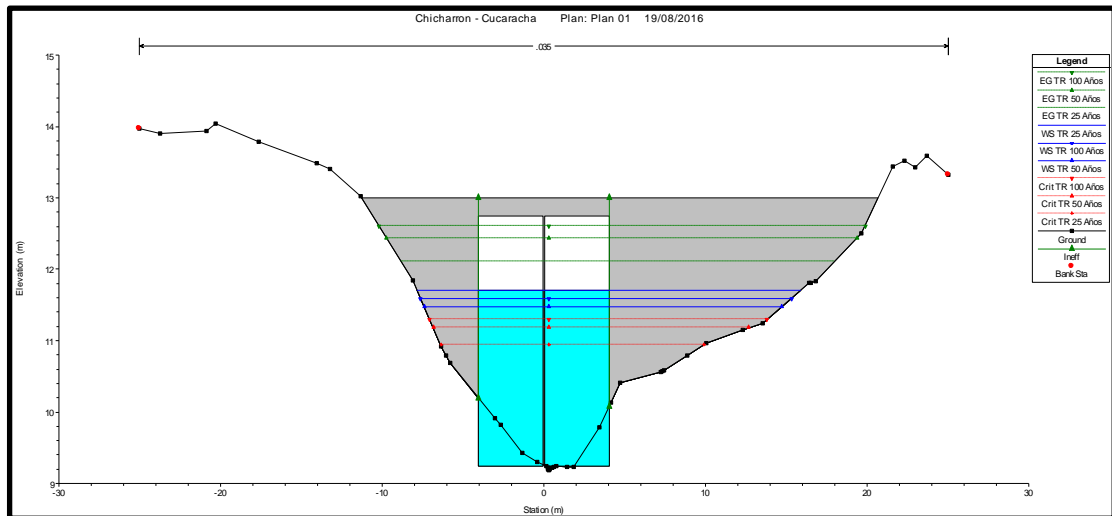


Figura 43.- Seccion aguas abajo de la estructura de drenaje.

Fuente: HEC-RAS 5.0.1.

5.2 Saneamiento

El rio Chicharrón y el estuario de su mismo nombre poseen una contaminación higiénica y cloacal, demostrado por el monitoreo que se realizó a lo largo del 2015 y el primer trimestre del 2016.

Cuando ocurren eventos de fuertes precipitaciones, el flujo descarga hacia el mar, contaminando también la zona costera, frente a la comuna. Para resolver este problema a mediano plazo, el primer paso es la rehabilitación del rio y el estero Cucaracha, para luego eliminar la laguna anaeróbica.

Después de este proceso, las descargas de las aguas servidas serán conducidas hacia un emisario submarino que descargara en la costa.

El control de la contaminación en zonas costeras incluye la reducción de contaminantes en las fuentes, la reutilización de las aguas residuales, su tratamiento y su deposición. Las técnicas más modernas incluyen los mecanismos de dilución en los medios receptores como parte del tratamiento, permitiendo así que las comunidades costeras reduzcan los costos en equipos de tratamiento, su mantenimiento y operación, así como también en el exceso de fangos resultantes.

El objetivo principal al momento de instalar un emisario submarino se encuentra en una adecuada dilución primaria y secundaria. La dilución primaria, es la obtenida cuando el flujo inyectado en la profundidad marina va ascendiendo hasta la superficie debido a las diferencias de densidad. Para lograr una buena dilución primaria hay que tener en cuenta los siguientes factores:

- La profundidad de la inyección: En general cuanto más profunda sea la inyección, mejor dilución obtendremos, ya que aumentará el tiempo de contacto entre el efluente y el agua de mar. Sin embargo, los costes económicos y las dificultades de construcción aumentan con la profundidad, por lo que se debe buscar la mejor relación profundidad-coste.
- La forma de la boca de salida del emisario: La morfología más recomendable es la circular, ya que tiene una buena difusión y minimiza la acumulación de sedimentos, lo que previene las obstrucciones.
- La orientación del chorro incidente: Con una orientación horizontal se consigue un mayor recorrido del efluente, por lo que es más recomendable que la orientación vertical, que lo dirige directo hacia la superficie.
- Las corrientes submarinas: La presencia en la zona de inyección de corrientes permanentes o semipermanentes, puede influir positivamente en la trayectoria del efluente, consiguiendo una mejor dilución. Es muy recomendable hacer un profundo estudio de las corrientes antes de comenzar la construcción de un emisario submarino.

La dilución secundaria, o dilución por arrastre es la creada por las corrientes que el viento genera en las capas superficiales del agua. Este tipo de dilución depende casi completamente de las propiedades de la corriente, por lo que los factores a considerar son:

- La dirección e intensidad del viento: Es importante estudiar los datos estadísticos sobre la intensidad y la dirección de los vientos que suele haber en la zona.
- La morfología de la costa y del fondo marino: Los accidentes topográficos, como acantilados, calas, influyen sobre los vientos y la presencia de una barra, una elevación del fondo marino paralela a la costa, puede convertirse en un obstáculo que impida la dispersión de la mancha.
- Las mareas y el oleaje: Igualmente importante es estudiar las mareas y la dinámica del oleaje, para conocer la manera en que pueden incidir sobre la zona en la que se realiza la dilución secundaria.

La calidad bacteriana del efluente cloacal y de la pluma constituida en el medio natural luego de la descarga a través de un emisario, queda en general definida en base a trazadores, los cuales en los últimos tiempos corresponden principalmente a Enterococos intestinales y Escherichia coli

(medidos ambos en UFC/100 ml). Las concentraciones de bacterias en un efluente cloacal dependerán del nivel de tratamiento depurador, pero siempre es conveniente analizar escenarios de emergencia con vertido de líquido crudo por falla de la planta depuradora. En cuanto a la magnitud del caudal, los efluentes cloacales pueden variar mucho dependiendo del número de habitantes servidos, pero en general su caudal más probable oscila entre 1 y 10m³/s.

Los emisarios cloacales son en general obras prioritarias de saneamiento en países en desarrollo, por ejemplo en América Latina, ya que la realización de un pretratamiento y un emisario adecuado constituyen un primer e importante paso que dará un beneficio clave en términos de saneamiento, frente a la situación actual que es común en muchos países en desarrollo de realizar vertidos directos de líquido crudo a nivel de la línea costera.

Los emisarios cloacales se caracterizan en general por ser de funcionamiento continuo, sin demasiada variación de caudal diaria y estacional, de gran longitud para alejarse suficientemente de la costa y alcanzar aguas relativamente profundas, y constar de zonas de difusión relativamente extendidas. Un tema crítico en los emisarios cloacales es evitar

la contaminación bacterial (coliformes) de las aguas costeras sujetas a diversos usos.

5.2.1 Etapas de diseño

El diseño ambiental de un emisario consiste fundamentalmente en determinar la localización de su área de descarga dentro del medio marino litoral, la longitud de la zona de difusión del emisario y diseñar en detalle el sistema difusor. Para ello se debe aplicar una metodología compleja que incluye aspectos oceanográficos, ambientales, de dispersión de contaminantes, e hidráulicos. Simplificativamente, las etapas para el diseño de un emisario ubicado en un ambiente marino o de estuario pueden resumirse en los pasos siguientes:

- Delimitación del área posible de descarga en el medio costero litoral en base a la ubicación de las instalaciones en tierra y a restricciones ambientales o de otro tipo.
- Construcción y calibración de un modelo hidrodinámico y de calidad de campo lejano del área en estudio, bidimensional o tridimensional.
- Aplicación de ese modelo para definir la ubicación de la descarga (longitud del emisario subacuático) y de la longitud aproximada de la zona

de difusión en base a la regulación vigente y a otras restricciones que debe cumplir el diseño (por ejemplo, evitar recirculación entre descarga y toma para emisarios de aguas salinas o térmicas, etc.). Esta tarea dependerá del tipo de efluente.

- Diseño a través de la aplicación de un modelo de campo cercano considerando el tipo de efluente del sistema difusor: número de risers, número de difusores, su tipo y orientación, diámetro de las boquillas, etc.
- Diseño hidráulico del sistema difusor: asegurar equirepartición entre difusores, definir diseño para evitar sedimentación e intrusión salina, determinar pérdidas de carga, etc.

5.2.2 Datos mínimos requeridos

Los datos que se requieren para poder diseñar un emisario son los siguientes:

- Batimetría y condiciones de fondo (Geotecnia).
- Corrientes, y meteorología.
- Determinar dilución inicial y decaimiento en función de la distancia
- Estructura de la densidad
- T90

- Calidad del agua.
- Estándares de calidad del agua (Entidades Públicas)
- Ubicación de las principales fuentes y caracterización.

5.2.3 Bases para la determinación de la localización del difusor y la longitud del emisario submarino

Las principales bases para la determinación de la localización del difusor y la longitud del emisario se mencionan a continuación:

- Protección salud pública,
- Cumplimiento con las ECAs en la orilla de la zona de mezcla
- Protección de áreas ambientales sensibles (arrecifes y cosecha de mariscos)
- Suficiente profundidad y corrientes para una dilución adecuada en mar abierto y evitar ensenadas,
- Minimizar la posibilidad de danos por las anclas y redes.
- Minimizar la posibilidad de danos por las anclas y redes.
- Evitar áreas de sedimentación o erosión en el fondo del mar.

5.2.4 Diseño del emisario

Para la ubicación del emisario, partimos de las estructuras ya construidas en la comuna; la estación de bombeo que recibe las descargas de la comuna, será punto de partida para el análisis de este proyecto (Figura 44). Cabe recalcar que el objetivo de este proyecto será recoger el caudal de las aguas servidas de las comunas de Olón, Montañita, Manglaralto, Rio Chico y Simón Bolívar. Para el cual se estimó un caudal de proyecto de 0.5 m³/s, del cual la comuna de Montañita aporta con un caudal de aproximadamente 0.01m³/s. Hasta seguir con las demás fases del proyecto futuro, se trabajara con un caudal mixto de aguas lluvias proveniente de los parqueaderos de la comuna. Para completar el caudal de diseño.



Figura 44.- Ubicación de arranque del emisario.

Fuente: Google Earth Pro.

Para el diseño del emisario se arrancó con una longitud estimada de 2500.0 m, y un caudal de diseño de 0.5 m³/s, tomando como velocidad mínima de 0.6 m/s dentro del emisario. Se calcula el área y diámetro del emisario. Ecuación 5.1 y 5.2

$$Area\ de\ emisario = \frac{Q}{V_{min} \times 86400} \quad [Ecuación\ 5.1]$$

$$Area\ de\ emisario = 0.83\ m^2$$

$$\emptyset\ Emisario = \sqrt{\frac{Area\ emisario \times 4}{\pi}} \quad [Ecuación\ 5.2]$$

$$\emptyset\ Emisario = 1.02 \approx 1.00\ m$$

Tomando el criterio de los emisores, que deben de tener como máximo un 60% del área total. Tenemos 0.498m², y 20 difusores, el área para cada uno de los difusores sería de 0.0249m² con un diámetro de 0.18m. Pero utilizamos el diámetro de 0.15m, que es el mínimo funcional.

Para el cálculo del caudal por cada uno de los difusores se toma en cuenta el caudal total y se lo divide para el número de difusores, que serían 20,

teniendo como resultado el caudal de 0.025m³/s en cada uno de los difusores.

Para el cálculo de la aceleración reducida se necesita la densidad del agua del mar y la del efluente, que puede considerarse como agua pura, 1000.00 kg/m³ (Ecuación 5.3).

$$g' = \frac{\rho_a - \rho_0}{\rho_0} g \quad \text{[Ecuación 5.3]}$$

$$g' = 0.235 \approx 0.24m/s$$

Para el cálculo de densidad según (Pedersen, 1981), utilizamos información de la salinidad tomada en campo, 34.4 PSU, que fue promediada con los análisis obtenidos de la NASA, en valores semanales, mensuales y estacionales. Figura 45.

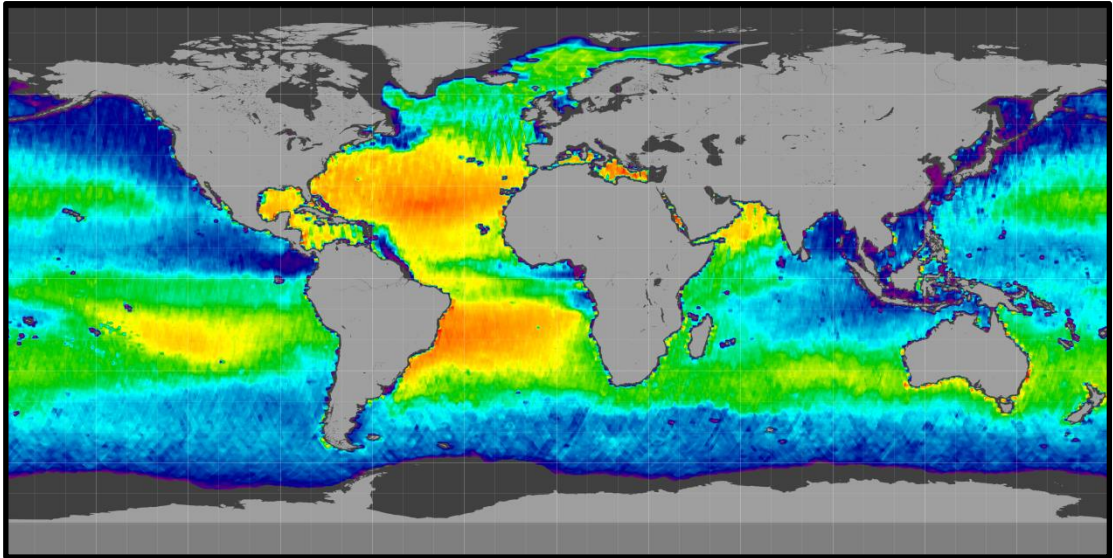


Figura 45.- Salinidad promedio del agua. Junio 2015.

Fuente: Aquarius. NASA.

Los valores de la temperatura del agua también se tomaron en campo y fueron promediados con los modelos proporcionados por Surfline. Figura 46.

Para el cálculo del caudal unitario en el difusor se utilizó el caudal del emisario y se lo dividió para la longitud del difusor, que corresponde a una longitud de 100.00 m, proporcionándonos un resultado de 0.005m²/s.

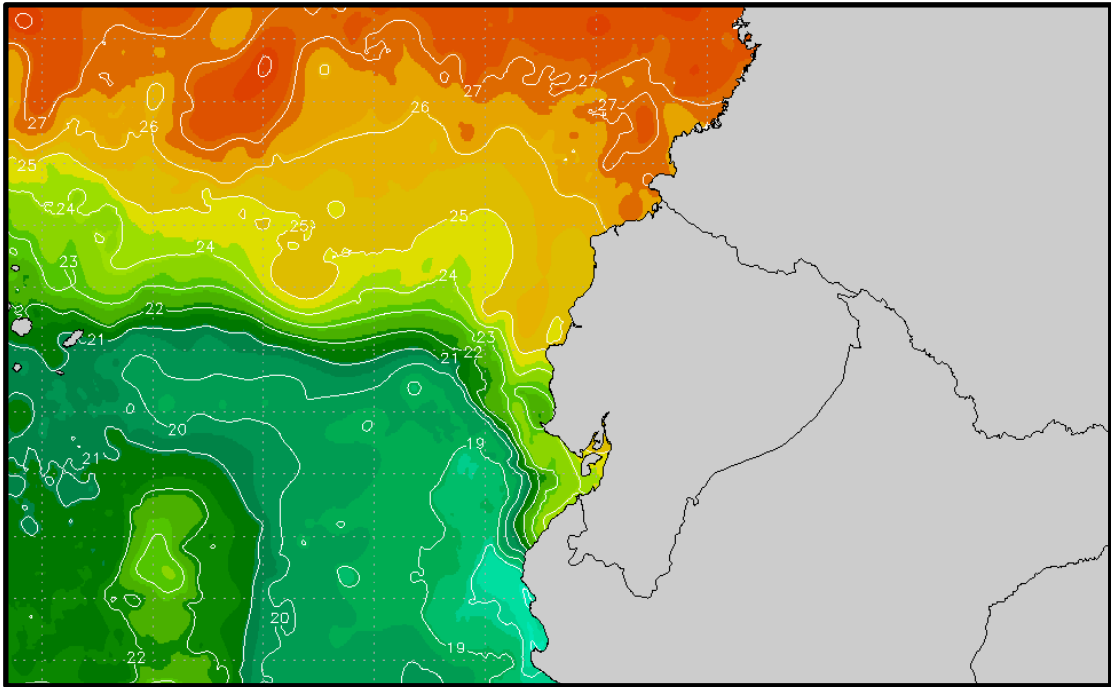


Figura 46.- Temperaturas promedio del agua.

Fuente: Surfline Pro.

Para considerar las velocidades influyentes en las corrientes, se realizaron promedios mensuales para las velocidades y direcciones predominantes del viento, manteniendo los 2 y 3 nudos, y la dirección predominante en el Este y el Sureste, pero para un promedio anual domino la dirección Este, como lo podemos visualizar en la Figura 47. Para tener datos más exactos se utilizaron datos promedios proporcionados por la aplicación Magicseaweed Pro (Figuras 48 y 49), donde tenemos la visualización regional del

comportamiento del viento, periodos de marea, y presiones. En los anexos, podemos visualizar un análisis mensual de estos parámetros obtenidos.

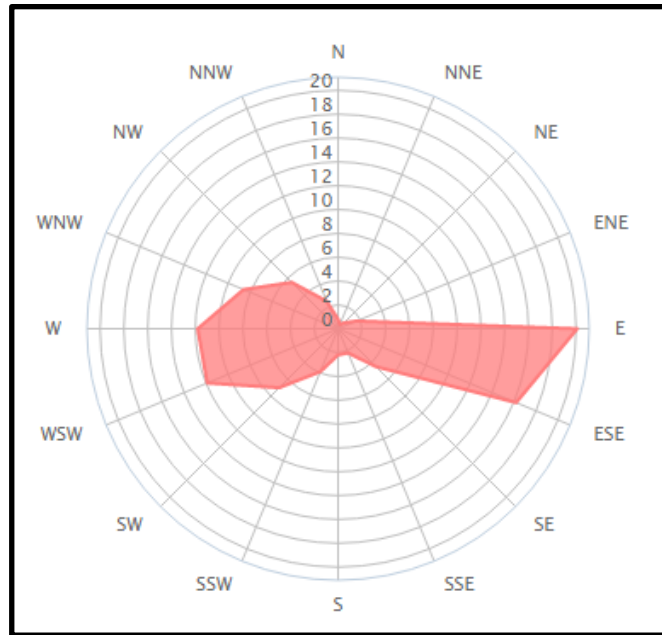


Figura 47.- Dirección predominante de la velocidad del viento.

Fuente: Surflin Pro.

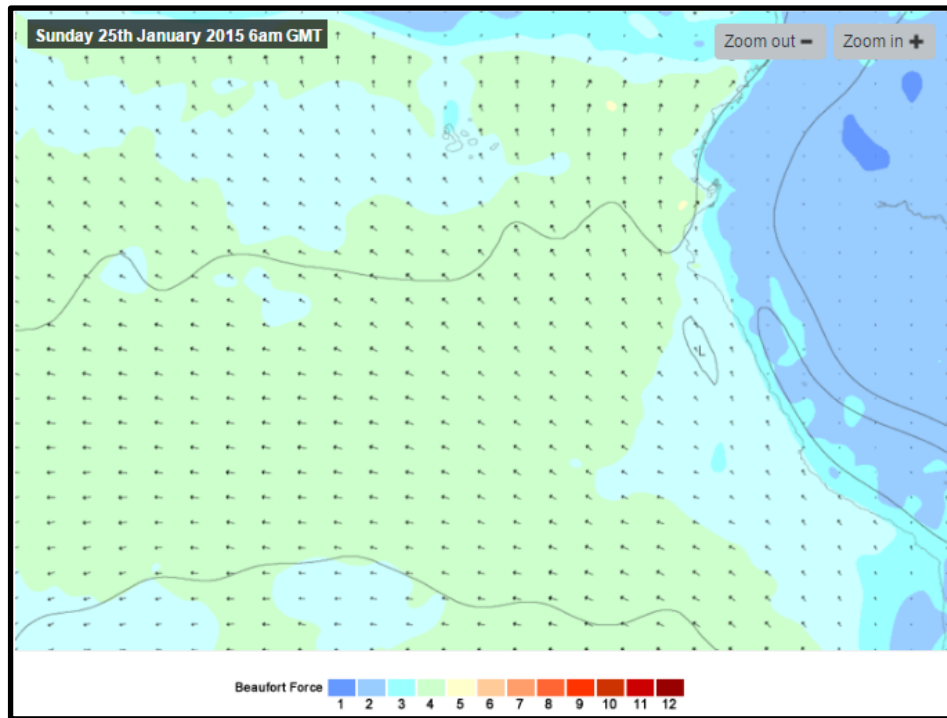


Figura 48.- Comportamiento del viento, en magnitud regional. 25 Enero 2015.

Fuente: Magicseaweed Pro.

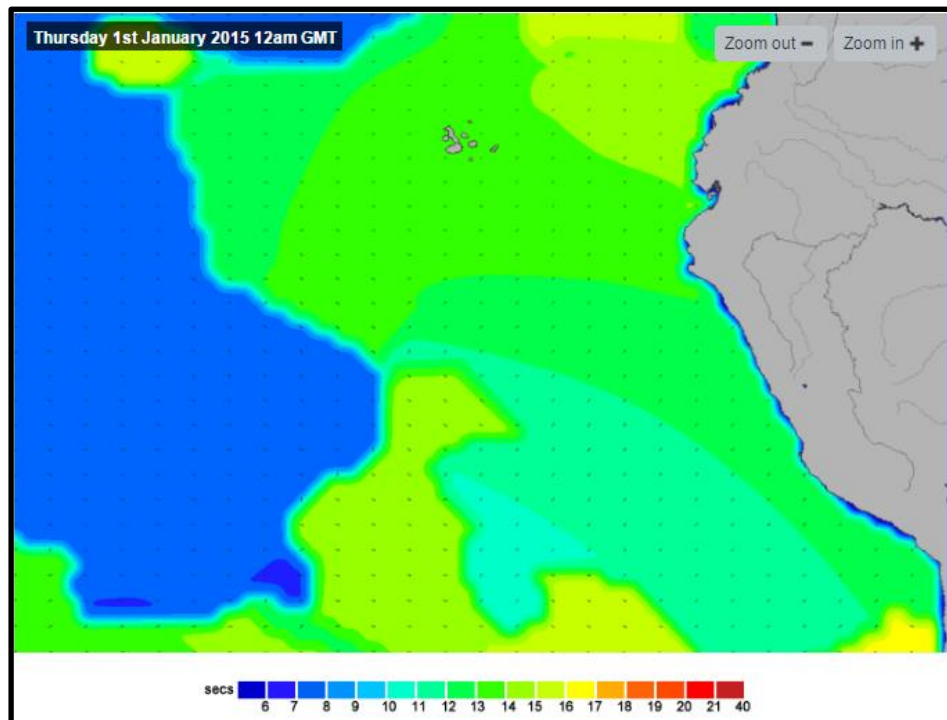


Figura 49.- Comportamiento del periodo de mareas, en magnitud regional. 1
Enero 2015.

Fuente: Magicseaweed Pro.

Para la medición de corrientes a diferentes profundidades se utilizó el Método Langragiano, tomando como herramientas veletas de plywood, una boya con un track, que nos proporcionaba velocidades y desplazamiento en tiempo real de la boya, como se muestra en la Figura 50. El análisis de las direcciones de las corrientes, igualmente se analizó para diferentes meses teniendo como direcciones predominantes Norte y Noreste, con velocidades promedio de 0.12 m/s. En la figura 51, podemos visualizar el grafico para el

mes de Julio del 2015, donde podemos ver las direcciones y magnitudes de las corrientes a 2.00 m de profundidad.



Figura 50.- Metodo Langrangiano.

Fuente: Autor.

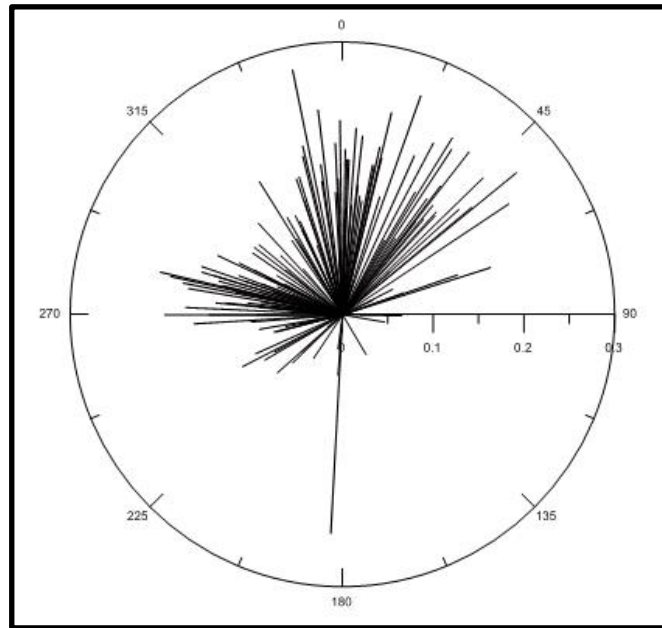


Figura 51.- Orientacion y velocidad de corrientes a 2.00 de profundidad.

Fuente: Autor.

Se consideró para la velocidad horizontal del agua $U_a=0.12$ m/s.

$$F = \frac{U_a^3}{g'xq} \quad \text{[Ecuación 5.4]}$$

$$F = 1.44$$

$$B = 0.93 \times L_T \times F^{-1/3} \quad \text{[Ecuación 5.5]}$$

$$B = 82.35$$

Para calcular el espesor, e , y la dilución inicial, S , de la capa de mezcla hay que iterar en base a la Ecuación 5.6 y 5.7:

$$e_1 = \frac{S_1 \times Q}{B \times U_a} \quad \text{[Ecuación 5.6]}$$

$$S_1 = 0.089 \times g'^{1/3} \times (H - e)^{5/3} \times Q_b^{-2/3} \quad \text{[Ecuación 5.7]}$$

Los valores obtenidos de S y e , son los respectivos, 443 y 4.53. Como se trata de un tramo difusor con bocas de descarga, se aplica la Ecuación 5.8, para calcular la velocidad ascensional del chorro W , donde se obtuvo el valor de 0.38 m/s.

$$W = 6.3 \times \left(\frac{g' \times Q_b}{H} \right)^{1/3} \quad \text{[Ecuación 5.8]}$$

Y con esto se obtiene la distancia horizontal entre la boca de descarga y el punto de surgencia, X_o (Ecuación 5.9), y distancia entre el punto de surgencia y el límite de la zona de baños, X_{zb} . Ecuación 5.10.

$$X_o = \frac{U_a}{W} \times H \quad \text{[Ecuación 5.9]}$$

$$X_{zb} = L + \frac{L_T}{2} x \cos\beta - 200 - X_o \quad [\text{Ecuación 5.10}]$$

Para dichas ecuaciones se obtuvieron los valores, $X_o=0.38$ m y $X_{zb}=2327.14$ m. Las máximas concentraciones se dan en el eje de la pluma, por lo que se debe calcular la concentración en el punto de coordenadas $X = X_{zb}$, $Y = 0$, $Z = 0$. Además como el límite de la zona de baños se encuentra muy alejado del punto de surgencia, se pueden aplicar las formulas simplificadas para calcular F_1 , F_2 y F_3 (funciones que tienen en cuenta la dispersión de la pluma).

Se toma el tiempo que tarda una partícula de agua en recorrer la distancia X_o a lo largo del eje de la pluma, t (Ecuación 5.11), donde se obtuvo el valor de 5.38 horas.

$$t = \frac{X_{ZB}}{U_a} \quad [\text{Ecuación 5.11}]$$

La función que tiene en cuenta la depuración de la pluma (Ecuación 5.12), donde se obtuvo el valor de, $4,16 \times 10^{-6}$:

$$F_o(t) = 10^{-\frac{t}{T_{90}}} \quad [\text{Ecuación 5.12}]$$

Para calcular F1 (Ecuación 5.14) y F2 (Ecuación 5.15) haya que conocer antes la desviación típica de la distribución horizontal de concentraciones en dirección transversal a la Pluma σ_y (Ecuación 5.13), y para ello se toma $K_y = 0.06 \text{ m}^2/\text{s}$.

$$\sigma_y = \left(\frac{B^2}{16} + 2 \times K_y \times t \right)^{1/2} \quad [\text{Ecuación 5.13}]$$

$$F_1(t) = \left(\frac{(2 \times \pi)^{-1/2} \times B}{\sigma_y} \right) \quad [\text{Ecuación 5.14}]$$

$$F_2(Y, t) = \exp\left(\frac{-Y^2}{2 \times \sigma_y^2}\right) \quad [\text{Ecuación 5.15}]$$

Para el cálculo de F3 (Ecuación 5.17), se necesita conocer la profundidad en el punto donde el espesor de la pluma comienza a ocupar toda la capa de agua, H_h (Ecuación 5.16) para lo que se toma la media entre profundidades en el punto de vertido, H_T , y en el límite de la zona de baños, H_{zb} .

$$H_h = \frac{H_T + H_{zb}}{2} \quad [\text{Ecuación 5.16}]$$

$$F_3(Z, t) = \frac{e}{H} \quad [\text{Ecuación 5.17}]$$

La concentración en el límite de la zona de baños es, por tanto (Ecuación 5.18):

$$C_{Zb} = C(X_{Zb}, 0, 0) = \left(\frac{C_0}{S}\right) \times F_0(t) \times F_1(t) \times F_2(Y, t) \times F_3(Z, t) \text{ [Ecuación 5.18]}$$

La concentración de Coliformes Totales llegó a 1.09×10^{-3} UFC/100 ml, cumpliendo con la normativa, se volvió a repetir el proceso para un emisario con la longitud de 1500.00 m, y la concentración llegó a 0.33 UFC/100 ml, a una profundidad de -20.50 m.s.n.m.

El esquema del emisario quedaría representado en la Figura 52, donde 330.00 m, pertenecen al área terrestre, 300.00 m al área de costa protegida, y los 870.00 m restantes, llegan hasta el difusor, que tiene una longitud de 100.00m.

El perfil longitudinal y la sección transversal típica del emisario y de los difusores la podemos observar en la Figuras 53 y 54, la longitud real de la tubería del emisario es 1533.00 m.

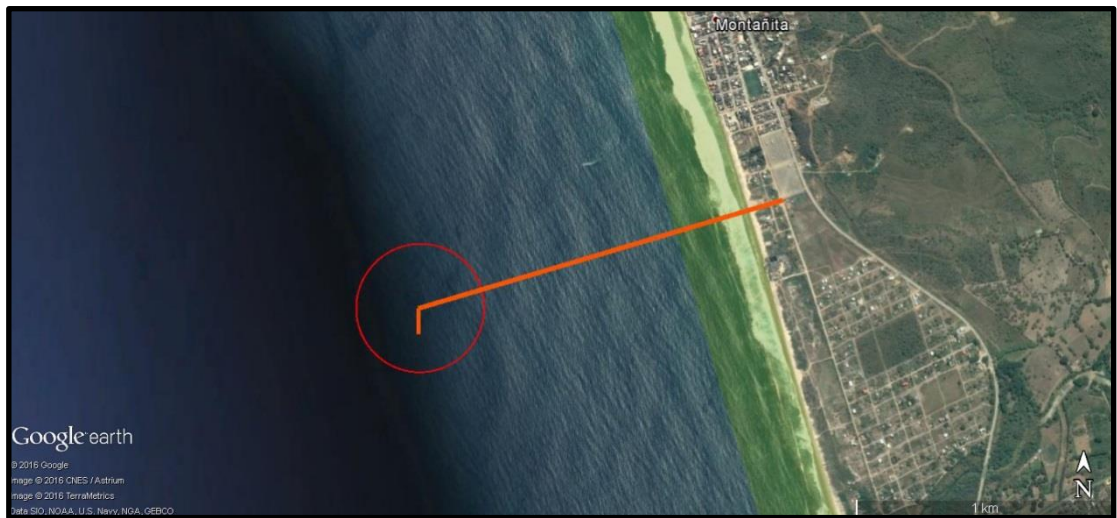


Figura 52.- Esquema general y ubicación del emisario.

Fuente: Autor.

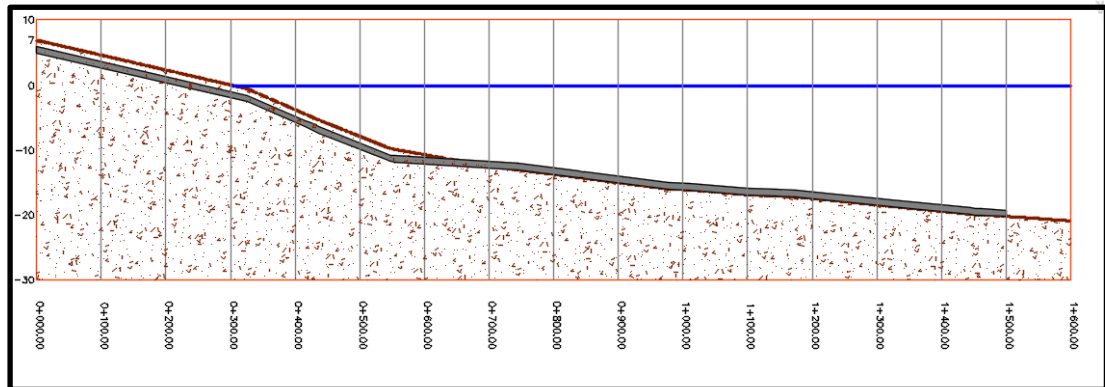


Figura 53.- Perfil longitudinal del emisario, sin el difusor.

Fuente: Autor.

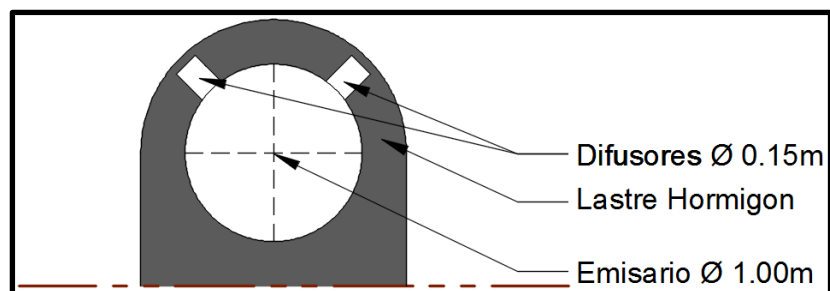


Figura 54.- Perfil Transversal del difusor.

Fuente: Autor.

Se destaca que un error muy común en el diseño de emisarios a instalar en ambientes marinos o de estuarios donde hay corrientes en ambos sentidos (flujo y reflujos), es aplicar únicamente modelos de campo cercano los cuales, si bien son muy útiles para el diseño de emisarios, deben ser aplicados

cuidadosamente en estos casos. En efecto, estos modelos son de tipo estático, no teniendo en cuenta la recirculación de la masa de agua marina por sobre el sistema difusor, que por efecto de las corrientes de flujo y refluo causadas por el régimen de mareas puede hacer que el mismo bloque de agua marina pueda pasar varias veces sobre el sistema difusor, recargándose. A causa de este error, es posible subestimar las concentraciones de contaminantes en la pluma en el medio marino hasta 5 veces menos que los valores reales, si se aplica un modelo estático en forma inadecuada. Para este tipo de problemas, se deben aplicar modelos hidrodinámicos que tengan en cuenta estos efectos dinámicos de inversión de flujo, permitiendo determinar mejor la localización de la descarga del emisario y la longitud aproximada de la zona de difusión. Los modelos de campo cercano serán en cambio muy útiles al momento de diseñar el sistema de difusión en detalle.

Actualmente se está tendiendo a acoplar los modelos de campo cercano con los de campo lejano, lo cual constituye la mejor opción para el diseño y estudio de sistemas de emisarios.

5.2.5 Sistema constructivo

PARTE MARITIMA (EMISARIO SUBMARINO)

Entre las diferentes alternativas para el tratamiento de las aguas negras o servidas, los emisarios submarinos, se presentan como una novedosa solución al problema de la disposición de las aguas residuales en Costa Rica y los países de América Latina y el Caribe.

La alternativa del emisario submarino con pretratamiento (militamices) o tratamiento primario, es un método de disposición más atractivo con relación al tratamiento secundario con disposición cercana a la costa, en términos de confiabilidad, eficiencia, costo y bajos requerimientos de operación y mantenimiento, tomando en cuenta, que se debe evitar las descargas de aguas residuales cerca a comunidades biológicamente sensibles tales como los arrecifes de coral.

Los océanos han sido utilizados indiscriminadamente como un receptáculo de desechos humanos, sin embargo, en términos generales no han sufrido mayores cambios, pues la composición química de las aguas de mar se ha mantenido esencialmente igual por más de un millón de años. Aún más,

cuando se compara la enorme cantidad de materia orgánica y sedimentos llevados al mar por los ríos del mundo como resultado de procesos naturales, la contribución de aguas cloacales producidas por el hombre es relativamente pequeña. Un ejemplo de esto se da al observar que la descarga fecal de las anchoas a las aguas costeras del sur de California es equivalente en contenido orgánico (demanda bioquímica de oxígeno y sólidos suspendidos) a las aguas cloacales de alrededor de 90 millones de personas, y siendo este grupo marino sólo uno de los cientos de especies de vida en los océanos.

El problema ocurre cuando se concentran los desechos en áreas pequeñas en vez de dispersarlos en áreas más amplias, en donde el proceso natural de purificación actúa más eficientemente. Normalmente, se desarrollan grandes centros poblados a lo largo de los litorales; en vista de la magnitud del océano, es lógico así como económico, que la descarga de las aguas residuales de las ciudades costeras se haga a las aguas marinas adyacentes.

Para un tratamiento de aguas negras mediante un emisario submarino es necesario alcanzar diluciones iniciales del orden de 100 a 1, en forma

consistente durante la descarga, lo que reduce la concentración de materias orgánicas y nutrientes, a niveles que evitan efectos ecológicos adversos.

Después de la descarga, la reducción de organismos patógenos para cumplir con criterios establecidos para playas de recreo se obtiene a través de dilución física y mortalidad en el medio marino hostil. Como ha sido demostrado por numerosos investigadores, los emisarios submarinos apropiadamente diseñados para la descarga de aguas negras típicas, no han producido impactos ecológicos significativamente adversos. Para la descarga de sustancias tóxicas tales como PCBs (bifenilos policlorados), pesticidas, mercurio y otros, se necesitan análisis más profundos con énfasis en el control de las fuentes de origen.

Surge el dilema sobre cuál es la manera más apropiada de disposición final: la adopción de tratamiento convencional de aguas servidas no se debe adoptar, a priori, prácticas de algunos países desarrollados que, obedeciendo a razones políticas en vez de técnicas, exigen el tratamiento secundario de aguas residuales. Más bien, en una situación de mar abierto, no compleja, los emisarios submarinos en combinación con tratamiento primario o el pretratamiento sólo para la remoción de material flotante, grasa y aceite posee muchas ventajas sobre las soluciones convencionales que utilizan tratamiento secundario de aguas residuales con descargas más cercanas al

litoral. Por ejemplo, una dilución inicial de 100 a 1 alcanzada por la aplicación de emisarios submarinos está muy lejos de lo que se puede lograr con tratamiento secundario convencional en lo que se refiere a remoción de materia orgánica y nutriente. Asimismo, la posterior mortalidad de bacterias puede reducir aún más los patógenos a niveles comparables, o menores, a aquellos alcanzados por cloración de los efluentes secundarios. Un argumento adicional que favorece a los emisarios es que los procesos de tratamiento biológico están sujetos frecuentemente a trastornos que podrían resultar en la descarga de aguas residuales crudas en o cerca del litoral. Descontando las fallas de carácter estructural, lo que raramente se produce en diseños modernos, tales descargas no pueden ocurrir con el uso de emisarios submarinos que descargan fuera del litoral. Además, los emisarios submarinos pueden ser diseñados para manejar adecuadamente variaciones estacionales significantes del flujo de las aguas negras, debido a la población transitoria típica de áreas turísticas. Esta flexibilidad no sería tan factible con sistemas biológicos de tratamiento secundario.

El tratamiento secundario convencional también separa el efluente, a un costo elevado, en dos corrientes de aguas servidas: efluente tratado y lodo, ambos usualmente encuentran su camino hacia el ambiente marino por emisarios separados, lo cual puede considerarse superfluo. Finalmente, en

plantas convencionales no hay reducción significativa de la mayoría de las sustancias tóxicas. Un análisis económico de Ludwig demuestra que para las aguas servidas urbanas típicas, la diferencia de costo de construcción, mantenimiento y operación entre el tratamiento secundario convencional, por una parte, y los emisarios submarinos largos con sólo tratamiento primario convencional, por la otra, claramente favorece a la última. Esta conclusión se basa en que emisarios submarinos largos (3.0 a 5.0 Km.) apropiadamente diseñados que descargan en aguas de profundidades mayores a 20 metros, casi siempre cumplen con estándares tanto de coliformes totales como fecales para playas de recreo. Limitando el tratamiento sólo para la remoción de flotantes, grasa y aceite, la comparación sería aún más favorable a los emisarios submarinos, aunque para tales descargas se debe evaluar la posible acumulación de sedimento en el fondo y su posterior movimiento hacia el litoral debido a corrientes marinas cerca del mismo. Asimismo, el uso reciente de plásticos más económicos en la construcción de emisarios aumenta la viabilidad de esta alternativa para disposición de aguas servidas, especialmente para comunidades pequeñas e intermedias.

Uno de los materiales más utilizados en este tipo de obra es el polietileno de alta densidad (HDPE) con peso molecular alto y el polietileno de alta densidad con peso molecular extra alto. Del peso molecular dependen las

características de dureza, durabilidad, resistencia al impacto, a la abrasión y al agrietamiento por esfuerzo ambiental. El peso molecular extra alto facilita el procedimiento de fusión de extremos de la tubería. La tubería de estos materiales tiene las siguientes ventajas:

- Es ligera y fácil de manejar.
- Puede ser ensamblada fácilmente en la playa por fusión de los extremos.
- Las juntas fusionadas correctamente son más fuertes que la tubería misma, lo que evita futuras fugas en la unión.
- Es suficientemente flexible como para ser colocada fácilmente en una ruta escabrosa, evitándose la remoción de rocas sumergidas, arrecifes, etc.
- El método de fusión de extremos es suficientemente rápido para permitir la instalación de un emisario submarino en pocos días.
- El polietileno es esencialmente inmune a los efectos corrosivos del agua marina y a los ataques de los organismos marinos.
- La tubería de HDPE es suficientemente ligera y fuerte como para ser remolcada y colocada en su sitio usando pequeños botes para remolque y alineación.
- Si es necesario, la tubería puede ser reflatada inyectándole aire comprimido.

La tubería de HDPE es apropiada para fondos de arena, lodo, grava y pequeñas rocas, pero requiere pesas externas (usualmente hormigón armado) para mantenerla en su lugar e impedir que flote o se mueva por las fuerzas hidrodinámicas. También puede colocarse sobre las rocas siempre que no existan una punta o escollo cortante.

Las principales desventajas de la tubería de polietileno son:

- El HDPE es un material relativamente suave que puede ser dañado por las anclas de los grandes barcos. Sin embargo, su alta resistencia al impacto protegerá la tubería de astillarse y romperse.
- En áreas sujetas a las fuerzas destructivas de tormentas en las zonas de oleaje y de mareas, se requiere protección adicional para enterrar o encasillar en concreto o piedras sueltas la tubería, como sucede con la mayoría de los materiales para tubería de emisarios submarinos.
- Si el emisario contiene trampas de aire, puede flotar si hay acumulación de gases.

La parte marítima del proyecto cuenta con las siguientes actividades:

- Excavación de zanjas, tanto en la porción marina como en la porción coralina.
- Fabricación de anclajes para la tubería.
- Armado de tubería en porción marina y en porción coralina (más anclajes).
- Colocación de tubería.
- Lanzamiento del emisario al mar.
- Demarcación, transporte y hundimiento de tubería.
- Concreto de zanjas porción marina y porción coralina.

Excavación de zanjas

Consta de una excavación de 630.0 metros longitud con una sección de trinchera de 2.00 metros de ancho por 1.80 metros de profundidad. El objetivo de esta excavación radica en efectuar una transición entre la parte terrestre y la marítima, pasando desde los 5.0 m.s.n.m. hasta los -10.0 m.s.n.m., con el fin de atravesar la zona de rompiente del oleaje, que podría causar daños a la tubería en caso de quedar expuesta.

Anclajes

Los anclajes cumplen la función de impedir el desplazamiento horizontal de la tubería por efecto de las corrientes. Se construirán con concreto reforzado de 350 kg/cm² de resistencia a los 28 días y llevará tres tipos de aditivos: uno para la protección contra el ataque químico, un superfluidificante y un densificador a base de microsílica.

El acero empleado en la fabricación de los anclajes será de grado 40 y llevará un recubrimiento epóxico para que lo proteja de la corrosión. En el proyecto se presentan dos tipos de anclajes, uno para colocar dentro de la trinchera (en la zona de rompiente) con forma rectangular, y otro con forma trapezoidal que se colocará en la parte del emisario que descansará en el fondo marino. En ambos casos, irán espaciados a cada 4m.

Los anclajes de concreto deberán ser almacenados cerca del lugar de trabajo. Pero aun así, es necesario contar con el equipo adecuado para trasladarlos desde el área de almacenamiento hasta el sitio de trabajo y para levantar la tubería de modo que se logren colocar los anclajes por debajo de ésta.

Armado y colocación de tubería

La selección del sitio para la unión de la tubería se realiza según las condiciones del terreno circundante. En lo que corresponde al sistema de tubería para la parte marina puede ser unida en un sitio que reúna las siguientes condiciones: cercano a un estero, accesible, con suficiente área y relativamente plano para realizar el proceso de alineado de la tubería y termofusión (de modo que exista al menos dos tubos de longitud entre la máquina de fusión y orilla del agua), de manera que luego pueda ser lanzada al agua y transportada hasta su sitio de instalación.

Lanzamiento del emisario

El lanzamiento del emisario al mar dependerá de ciertas condiciones ambientales, tales como: oleaje, corrientes y la batimetría del sitio. Con base en estas condiciones se decide entre utilizar una estructura de lanzamiento directa al mar o construir la misma estructura pero en un estero, donde las condiciones sean más favorables.

Demarcación, transporte y hundimiento de la tubería

Demarcación de la ruta para la selección de una ruta submarina, es necesario obtener la mayor cantidad de información posible. Dicha información puede ser obtenida de cartas náuticas, mapas oceanográficos,

cartas y sondeos de mar. La inspección visual del fondo marino debe realizarse debido a que pequeños elementos que no aparecen en los mapas pueden causar problemas a la tubería.

El tiempo y dinero empleado en determinar la mejor ruta representa una buena inversión que ahorrará gran cantidad de problemas durante la instalación del emisario. Es importante mantener un registro en donde se describan las áreas con más problemas y se anoten las condiciones del fondo marino, así como los materiales existentes. Deberán realizarse varias inmersiones para tratar de determinar la ruta más conveniente.

Los obstáculos así como la ruta deben ser señalados mediante el empleo de boyas de diferente color. Las boyas deberán ser lo suficientemente grandes y de colores brillantes para que puedan ser fácilmente visibles, que estén atadas con una cuerda adecuada a un anclaje seguro para prevenir que sean arrastradas por las corrientes, olas y viento.

Durante el proceso de construcción es necesario evitar la manipulación de las boyas marcadoras colocándoles la señalización apropiada de manera que

cumpla con lo recomendado por las autoridades locales. También se debe informar a los navegantes y pescadores para que eviten chocar contra las boyas y se mantengan alejados de la zona durante la construcción del emisario.

Hundimiento del emisario

Sin importar si la tubería estará enterrada en una trinchera o si se colocará en el fondo del mar, es importante que en la zona de transición, esto es, la zona en la que la tubería deja la costa e ingresa al mar, ésta sea atrincherada antes de iniciar el hundimiento de la misma.

El diseño del emisario submarino contempla la flotación del mismo con los lastres de concreto acoplados y la tubería llena de aire.

Para retener el aire en la tubería se utilizarán tapones de plato sellado en los extremos de ésta.

En el extremo cercano a la orilla se colocará una válvula para regular la entrada de agua en el momento de la inmersión y en el extremo opuesto se

colocará una válvula de escape de aire que regula la salida de éste cuando está en proceso el hundimiento del emisario.

El proceso de inmersión se realizará en forma gradual comenzando desde la orilla y en dirección hacia el terminal del emisario. Es preferible soltar el aire muy despacio y no rápidamente para evitar que la tubería se asiente en un sitio inadecuado. También hay que asegurarse que no queden bolsas de aire dentro del emisario. El control de la ubicación se realiza empleando botes que ayudan a mantener la dirección del emisario en su posición final. Una vez que el emisario submarino se encuentre en su posición final, deberán perforarse los difusores en la zona indicada en el diseño.

Concreto de zanjas

Una vez colocada la tubería de polietileno dentro de las trincheras deberá ser protegida con concreto.

Este concreto será de una resistencia de 145 kg/cm², además de incorporar a la mezcla los aditivos antes mencionados. Además deberá ser colocado empleando equipo especializado, cuya selección dependerá de las condiciones de la zona de trinchera.

PARTE TERRESTRE (PLANTA DE PREPROCESAMIENTO)

Separación de sólidos y control de flujos

Las tuberías, desde la cámara de derivación, ingresan a una cámara de entrada, que comunica con dos canales de conducción y permite la transición de flujos hacia ellos. El ingreso a la cámara de entrada se regula por medio de compuertas deslizantes, colocadas en los extremos de las tuberías de hierro dúctil, y que podrán ser operadas en forma manual o remota por medio del uso de dispositivos electromecánicos.

Los canales de conducción orientan el flujo de desechos a través de un sistema de rejillas que permitirán la separación de sólidos gruesos y otros materiales arrastrados por las corrientes en las alcantarillas y que ingresan indebidamente a los sistemas de tuberías.

Los materiales retenidos por el sistema de rejillas se depositan en un desnivel de fondo y se acumularán temporalmente hasta su remoción manual.

La remoción se realizará arrastrando los materiales sobre los barrotes hasta una canaleta de recolección, desde donde se deslizarán, para su acopio, hacia depósitos de acero inoxidable.

Realizada la separación de gruesos, los flujos serán aforados mediante medidores de caudal.

Desde la unidad de medición, se conducirá el caudal efluente hasta una batería de equipos para el tamizado de partículas finas. Se utilizará para esto tubería de hierro dúctil y tres cajas de registro. Sobre la caja de registro de salida, se colocará, para situaciones de emergencia, una compuerta deslizante adicional que será operada únicamente en forma manual.

Separación de partículas en suspensión

A la caja de salida del componente anterior, se interconectará un sistema de tuberías de distribución provisto con ocho terminales de salida, una por cada equipo de remoción requerido. En cada una de estas salidas será colocada una válvula de compuerta para interrumpir la descarga individual de líquidos.

Se propone la utilización de equipos mecánicos para el tamizado de los desechos líquidos. Estos equipos, conocidos como militamices, se han dispuesto en un nivel inferior al de la cachera de distribución, en función de las condiciones operativas de maniobra y las dimensiones de los mismos, calculados en función del tipo de remoción requerido, el volumen de flujos y las medidas típicas de estos dispositivos en el mercado local e internacional.

Las partículas y sólidos en suspensión que son tamizados, caen en unas cunetas ubicadas en el nivel inferior, bajo la base de los equipos. Los materiales son transportados a través de estas cunetas por medio de tornillos sin fin, de acción electromecánica, que los conducirán hasta las cestas de depósito, que forman parte del componente operativo siguiente.

Los líquidos drenados por los equipos caerán directamente en el tanque cisterna, que se ubicará bajo los dos niveles operativos que ocupará el proceso de separación de partículas.

La movilización de estos equipos y de los accesorios mecánicos de la cachera y el sistema de tornillos sin fin, obliga al uso de un sistema de grúas, con viga y carro viajero, que permitirá su transporte hasta las áreas de evacuación previstas.

Sistema de bombeo

Los flujos residuales del sistema de cloacas ingresan a la estación de preacondicionamiento, en la cual los procesos iniciales implican pérdidas de carga que aumentan en gran magnitud la profundidad a la que deberán llegar estos flujos con el fin de completar su tratamiento; esto por tratarse de un proceso mecánico.

En contraposición, el nivel de salida de los mismos debe ser lo suficientemente elevado para permitir su ingreso en el emisario submarino y su conducción por gravedad a través de éste, hasta el punto de descarga final en el fondo marino.

Por esta razón, se ha dispuesto de un sistema de bombeo que incluye tres conjuntos de equipo motor-bomba y el arreglo mecánico de accesorios que permitirá la interconexión de éstos con el conducto de salida.

Conexión a sistema sanitario

Una vez concluidas todas las actividades, tanto de la parte marítima como de la parte terrestre, se realiza la conexión al sistema sanitario, de manera que el emisario submarino entre en funcionamiento.

El sistema constructivo de un emisario, consta de las siguientes fases:

- Ubicación de la obra
- Colocación de lastres de hormigón
- Traslado del emisario por la superficie (flotación)
- Hundimiento en forma de S.

5.2.6 Costos

La desventaja para este proyecto, ha sido el análisis de costos debido a que en el país no se han construido emisarios submarinos, y no existe una base de datos, en cuanto al tipo de mano de obra, el tipo de navegación, materiales, etc, que son más factibles en nuestro país. Para la cual se utilizaron varios estudios de varios proyectos para dar un valor previo.

Todos los costos incluyen construcciones asociadas de operación, abastecimiento y equipo eléctrico, equipo mecánico, tubería, válvulas, pistas de acceso, cerco, preparación de terreno y otros elementos requeridos para una instalación completa.

Análisis #1 (Engineering News – Record 4200)

Las curvas se han graficado para usar el flujo promedio de diseño de aguas negras. Sin embargo, la alternativa de tamices incluye suficientes tamices, tanto para manejar flujo pico, como para tener unidades de reserva.

Si utilizamos el pretratamiento con militamices (Figura 55), tendríamos un valor de \$1'500000.00. Para el emisario tendríamos un costo de \$3000.00, por metro lineal (Figura 56), teniendo un total de \$4'599000.00.

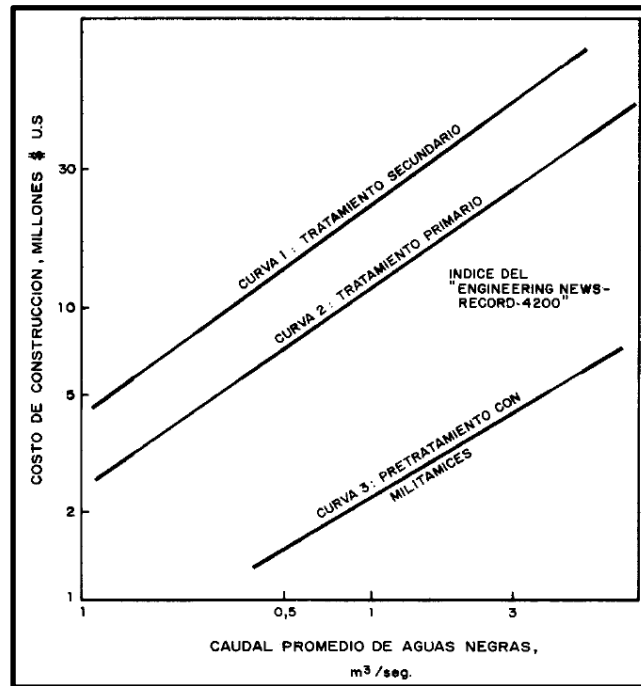


Figura 55.- Costo de construcción pretratamiento y tratamiento.

Fuente: Engineering News – Record 4200.

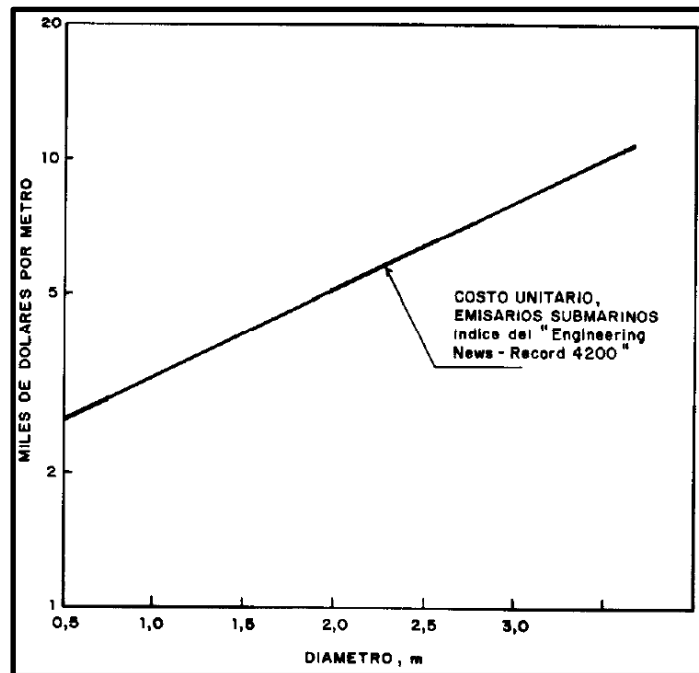


Figura 56.- Costo de construccion emisario.

Fuente: Engineering News – Record 4200.

Análisis #2 (Henry J. Salas, 1998)

Para la segunda alternativa, se toma en cuenta, el diámetro, el material y las condiciones económicas del medio, para obtener un costo por metro lineal. Obtenemos un valor de \$3100.00 (Figura 57), teniendo en total un costo de \$47523000.00, sin contar el tratamiento previo a la descarga.

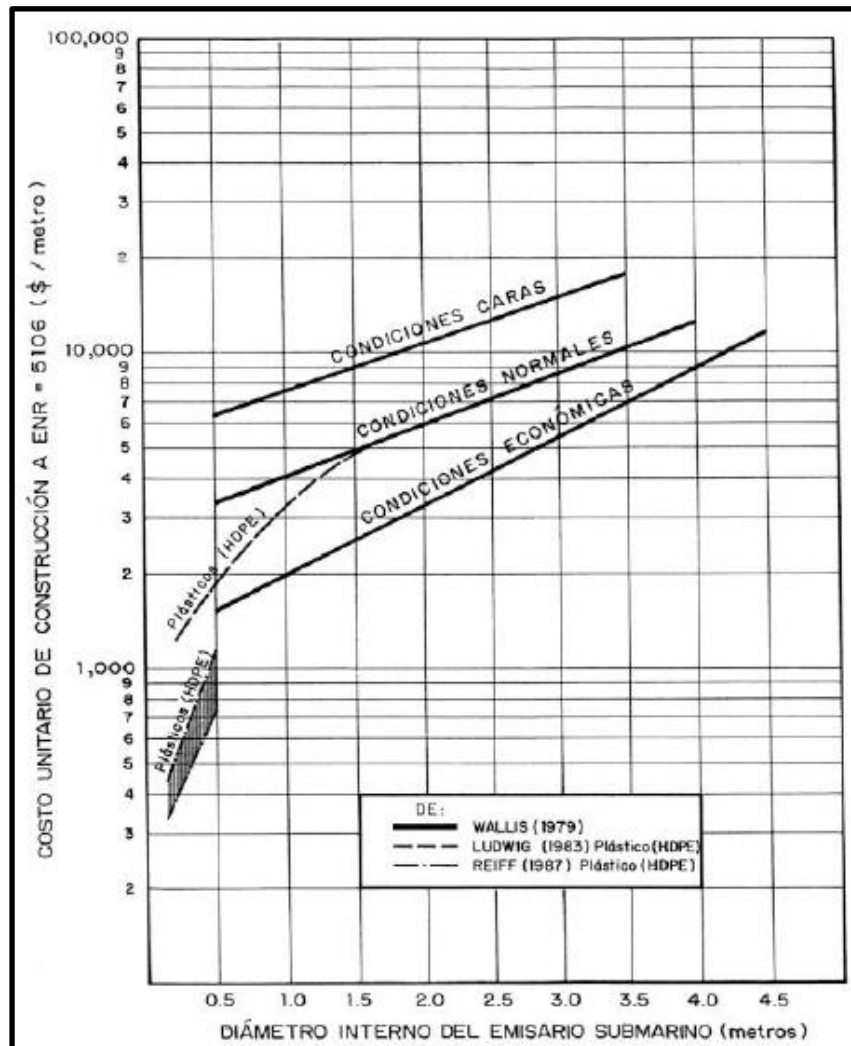


Figura 57.- Costo de construcción emisario.

Fuente: Henry J. Salas, 1998.

5.2.7 Matriz de impacto ambiental

La evaluación de los impactos identificados se realiza mediante un juego de matrices del tipo de Leopold, en los que se calcula el valor de la alteración

producida en el medio ambiente por cada aspecto analizado. Las matrices que se utilizan para la evaluación son:

Una vez que se han identificado los Impactos, se procede a ponderar la incidencia que tendrá cada uno de los mismos, según su intensidad, extensión o escala, momento, inmediatez, probabilidad de ocurrencia, reversibilidad y recuperabilidad del medio.

La MI, sirve como fuente de la “Matriz de Evaluación” (ME), en donde se pondera la Incidencia Total de los impactos (como la suma de todos los valores de incidencia) según su Magnitud, logrando el Valor o Significancia del Impacto en cada caso, que puede ser positivo o negativo. Se establece como criterio que el Valor o Significancia resultante (S) del impacto a evaluar es el producto entre la Incidencia Total y la Magnitud.

La última matriz es un resumen donde se muestran los valores resultantes de la matriz de evaluación de impactos. Figura 58.

CAPÍTULO 6

6. MODELACION NUMERICA

6.1 Modelos de dilución

Los modelos numéricos de dilución se clasifican en modelos teóricos y modelos empíricos, los cuales se manejan con varias opciones de trabajo.

Modelos teóricos:

- Visual Plumes (UM3, DKHW y PDS)
- UDKHDEN
- RIVPLUME
- Computational Fluid Dynamics

Modelo empírico:

- RSB
- CORMIX

6.1.1 Visual Plumes

El paquete VISUAL PLUMES es la versión en Windows del original programa de DOS, PLUMES, de la Agencia de Protección Ambiental Americana (United States Environmental Protection Agency, USEPA). El programa incluye distintos módulos para la simulación de vertidos mediante chorros sumergidos individuales o múltiples, considerando las condiciones ambientales del medio receptor. El programa simula fundamentalmente el comportamiento de campo cercano (modelo de mezcla inicial) si bien incluye alguna fórmula semiempírica para estimar el campo lejano.

El modelo está enfocado a la simulación de transporte de sustancias contaminantes, especialmente de contaminantes biológicos patógenos derivados del vertido de aguas residuales urbanas en zonas costeras. Sin embargo, algunos de sus módulos han extendido su ámbito de aplicación al vertido de efluentes de flotabilidad negativa, como la salmuera.

El programa incluye diferentes modelos para la simulación del comportamiento de vertidos, algunos de los cuales coinciden en su ámbito de aplicación y funciones, lo que permite al usuario comparar los resultados de los distintos modelos.

Las posibilidades del modelado y el manejo:

- Permite introducir como datos de entrada archivos de series temporales, para considerar distintos escenarios de vertido y de medio receptor.
- Posibilidad de modelar la acumulación de contaminación en canales unidimensionales sometidos a ciclos de marea.
- Considera la contaminación de fondo en el medio receptor, gracias a la incorporación del concepto de dilución efectiva, como la razón entre la concentración del contaminante en el efluente vertido y la concentración en el punto de interés.
- Posibilidad de considerar los efectos sinérgicos por vertidos simultáneos desde varias fuentes.
- Posibilidad de simular el denominado “efecto de nacimiento de densidad”, en el que un fluido inicialmente de flotabilidad positiva,

pasa a tener flotabilidad negativa respecto del medio receptor con estratificación de densidad en la columna de agua.. Visual Plumes incorpora la no linealidad en la ecuación de estado, lo que permite simular correctamente este fenómeno.

- Posibilidad de utilizar distintos modelos de Visual Plumes para la simulación de un mismo caso, y de comparar resultados.
- Chequeo de los datos de entrada, contrastando que se encuentran dentro del rango de valores válidos establecidos y comprueban que no existe inconsistencia en los datos de entrada.
- Los modelos de Visual Plumes pueden teóricamente considerar estratificación arbitraria en la columna de agua, así como variaciones, en intensidad o dirección de la corriente.
- Interfaz gráfica amigable e intuitiva.
- Posibilidad de ejecutar consecutivamente distintos escenarios, gracias a que admite series temporales de datos.
- Permite superponer resultados para comparación y optimización del diseño. Distintas opciones de unidades para definición de los datos de entrada.
- Posibilidad de extrapolar datos en profundidades intermedias de la columna de agua

- Posibilidad de guardar en ficheros independientes (con extensión *.dbb) de los datos de diseño de vertido y de condiciones en el medio receptor, para poder ser utilizados en otro caso.

Las limitaciones del modelado y el manejo:

- No simula fenómenos complejos de interacción del efluente con los contornos, efecto
- COANDA, reintrusiones, etc.
- Para vertidos de flotabilidad negativa, sólo es aplicable UM3 que restringe el modelado a campo cercano, previamente al impacto del chorro con el fondo.
- Al estar diseñados para vertidos de flotabilidad positiva, ninguno de los modelos de VISUAL PLUMES es capaz de detectar la presencia del fondo.
- No es posible realizar tratamiento estadístico de los datos.
- Para efluentes de flotabilidad negativa, sólo es posible simular ciertas configuraciones de vertido: chorro individual o chorro múltiples mediante tramo difusor lineal, unidireccional.
- No simulan el efecto del oleaje sobre el vertido.

- Visual Plumes asigna por defecto nombres a los proyectos que se crean (Ejemplo: plumes1.dbb), que no pueden modificarse por el usuario desde la interfaz, y los guarda en la carpeta C/Plumes. Para cambiar el nombre y ubicación del proyecto, el usuario debe ir a esta carpeta y modificarlo manualmente.

El modelo UM3 (“Updated Merge 3D”) es una herramienta de modelado incluidas en el programa Visual Plumes, y es la versión en Windows del anterior “UM”, de DOS-PLUMES. Es un modelo lagrangiano tridimensional que simula el comportamiento de un vertido mediante chorros individuales o chorros múltiples, de efluentes de flotabilidad positiva, negativa o neutra, considerando las condiciones en el medio receptor.

UM3 es un modelo lagrangiano tridimensional, que resuelven las ecuaciones de Navier Stokes y de transporte integradas en el tiempo, asumiendo un medio receptor ilimitado y autosemejanza entre secciones, se integran en el tiempo las ecuaciones diferenciales de Navier Stokes (RANS) y de transporte y se resuelven para cada paso de tiempo a lo largo de la trayectoria del chorro (en un sistema de coordenadas que se va desplazando con el flujo). En cada elemento (rebanada), que se desliza con el tiempo, se

asume una determinada distribución de las variables en la sección transversal.

El tamaño y forma de la rebanada varía como consecuencia del curvado del chorro, de la incorporación del agua ambiente y de fenómenos como la interacción entre chorros. El modelo calcula la evolución de las variables a lo largo de la trayectoria del chorro.

UM3 puede considerar un medio receptor dinámico e introducir series de datos de las variables de entrada, calculando la evolución de las variables de interés bajo distintos escenarios.

La Ficha incluye, enfocadas a efluentes de flotabilidad negativa: una descripción de la base teórica de CORMIX1, sus hipótesis simplificadoras, los componentes y opciones disponibles del modelo y posibilidades y limitaciones del modelo. Se realiza un análisis de sensibilidad a los datos de entrada, una revisión de los datos de calibración y validación presentados por los autores del modelo, así como una nueva validación con estudios experimentales recientes. Como conclusión a todo lo anterior, se

proponen una serie de recomendaciones a los usuarios, respecto al modelado y uso y manejo del programa. Entre los anexos, se incluye un ejemplo de aplicación real a un vertido de salmuera y una tabla de valores realistas y recomendados para los datos de entrada al programa.

UM3 no considera zona de desarrollo de los perfiles autosemejantes, de modo que integra las ecuaciones desde la boquilla. La integración transforma el sistema de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales en un sistema de ecuaciones diferenciales ordinario, que el código de UM3 resuelve mediante el método numérico de Runge-Kutta de 4^o orden.

El modelo asume el estado estacionario de la pluma, lo que en la formulación lagrangiana implica que los elementos sucesivos sigan la misma trayectoria, manteniendo siempre la misma envolvente a pesar de que las rebanadas en el interior de la envolvente evolucionen en el tiempo en su forma y posición. Permite variar las condiciones de descarga y del medio receptor a lo largo de la ejecución, siempre que la escala de tiempo de la variación sea comparable al tiempo que tarda el elemento descargado en alcanzar el final de la zona de dilución inicial.

Como modelo de cierre de los términos turbulentos, UM3 utiliza fórmulas semiempíricas para la difusión turbulenta y para el coeficiente de incorporación (“entrainment”) de fluido del medio receptor al chorro. En el caso de chorro individual, la sección se considera circular.

UM3 considera una distribución uniforme (“top hat”) de las variables en la sección transversal del chorro. Este perfil difiere del gaussiano del modelo CORJET y el potencial 3/2 de JetLag.

A continuación se describen las variables axiales, integrales (o flujos), las fuerzas actuantes, del modelo cierre de UM3 para un chorro individual.

Figura 59.

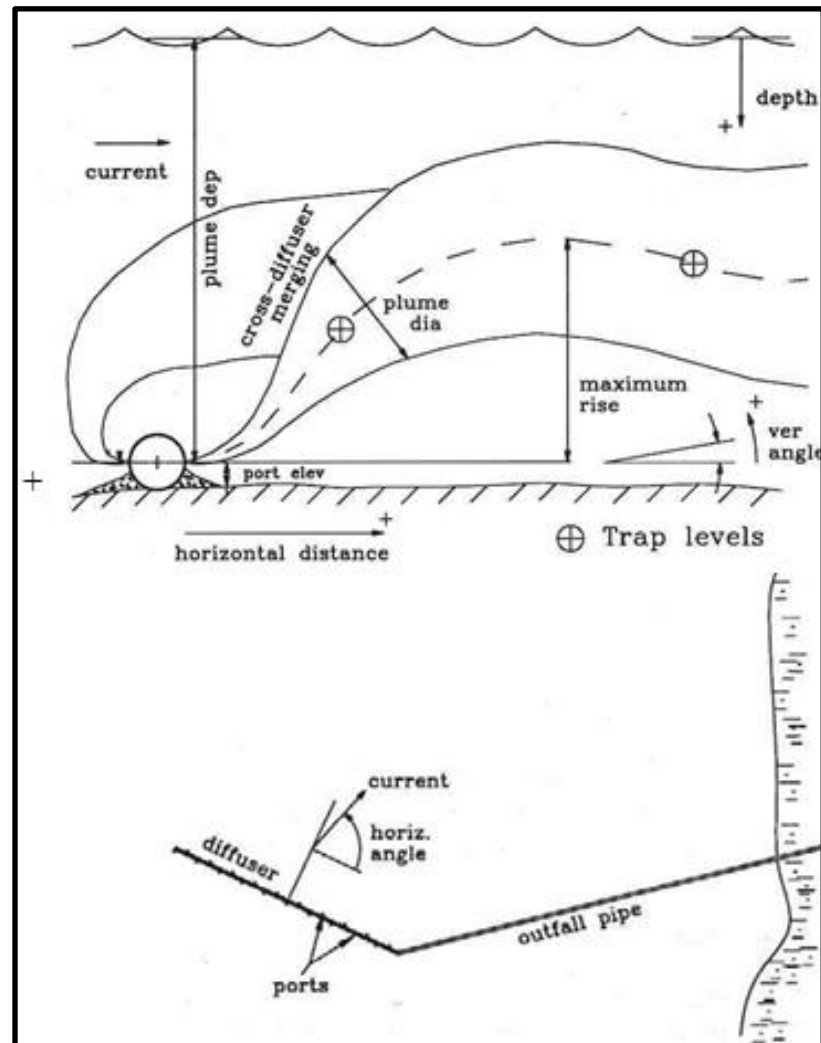


Figura 59.- Esquema del chorro individual UM3.

Fuente: MEDVSA.

UM3 asume las siguientes hipótesis al simular vertidos en chorro de efluentes hiperdensos:

- Medio receptor ilimitado, no simula interacción con los contornos. Esto implica, que el dominio se limita a la región de campo cercano previa al impacto del chorro con el fondo y siempre que antes no se produzca impacto con la superficie y los laterales. UM3, por tanto, no simula el comportamiento en la capa de esparcimiento lateral (“spreading layer”), ni la corriente de gravedad característica del campo lejano.
- El modelo sólo es aplicable a condiciones en que la presión alrededor del chorro sea la misma que en el medio receptor, por lo tanto no es fiable en zonas de fuerte curvatura o expansión del chorro.
- El modelo asume un perfil uniforme en la sección transversal, mientras que experimentalmente se ha observado un perfil de tipo Gauss.
- Al ser un modelo de ecuaciones integradas, la dilución efectiva se calcula a la profundidad a la que se encuentra el eje del chorro (eje) aunque realmente la incorporación de agua se produce en los contornos, a una profundidad diferente. En este sentido, a veces el modo de compensar este error y obtener rigurosamente la dilución efectiva es manipular la concentración de fondo.
- Los coeficientes experimentales utilizados en las ecuaciones de gobierno se han obtenido en base a ensayos con efluentes de flotabilidad positiva, de modo que su extrapolación a efluentes hiperdensos requeriría de un riguroso estudio de validación.

A continuación se describen los datos de entrada del modelo UM3 de Visual Plumes.

- Características de la boquilla:
- Diámetro (Port diameter)
- Altura de la boquilla con respecto al fondo (Port elevation)
- Ángulo de inclinación del chorro (Vertical angle)
- Número de boquillas (Num, of ports)
- Distancia entre boquillas (Port spacing)
- distancia de la boquilla a la superficie (Port depth)
- Caudal total del efluente (Effluent flow)
- Concentración salina del efluente (effluent salinity)
- Temperatura del efluente (effluent temperature)
- Concentración de contaminante (effluent concentration).
- Ángulo horizontal del chorro con respecto al eje "x" (Horizontal. Angle)
- Longitud de la zona de límites críticos por contaminación aguda (Acute mix zone)
- Longitud de la zona de límites críticos por contaminación crónica (Chronic mix zone)

Los parámetros del medio receptor se insertan por filas, correspondientes a su valor a distintas profundidades. Se discretiza, por tanto, la columna de agua en el medio receptor.

Posibilidad de introducir series temporales (Time series files)

Para el caso ejecutado (combinación de datos de datos parámetros de descarga: "DIFFUSER" con condiciones ambientales: "AMBIENT"):

- Valor y evolución de las variables seleccionadas en "selected variables" (Special settings) con respecto a la trayectoria del eje del chorro.
- En la hoja de resultados, en la columna de la derecha respecto a los valores numéricos, Indica el punto de máxima altura del chorro (local maximum rise or fall), la llegada al fondo (Bottom hit) y el punto de interacción entre chorros (Merging).

En el primer resultado observamos el comportamiento del contaminante en el campo cercano, donde se observa la curvatura de la dilución en función de la distancia, teniendo como resultado una mayor dilución inicial. Figura 60.

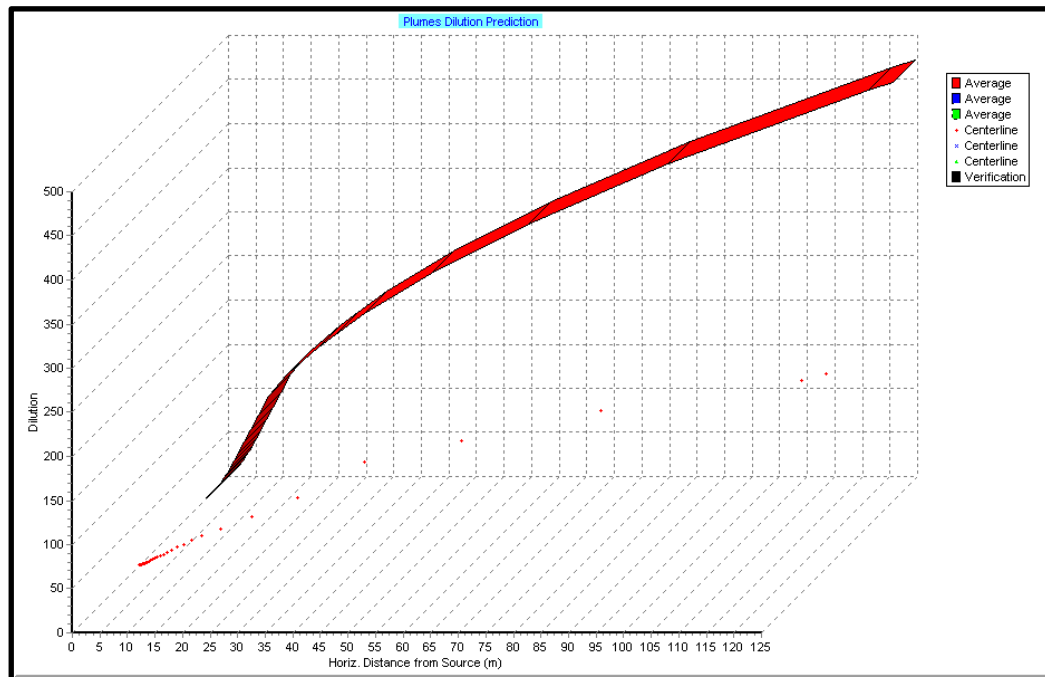


Figura 60.- Dilucion inicial en funcion de la distancia horizontal.

Fuente: Autor.

En la Figura 61, se visualiza el comportamiento de la pluma en planta con respecto a la dirección de las corrientes; y el comportamiento es similar al obtenido en las mediciones mediante el método Langrangiano, lo que nos acerca más a un comportamiento óptimo. En la Figura 62, se visualiza el comportamiento de la pluma del eje de la dispersión junto a su entorno, esquematizado por puntos de color rojo. Resultado que lo compararemos con el modelo CORMIX.

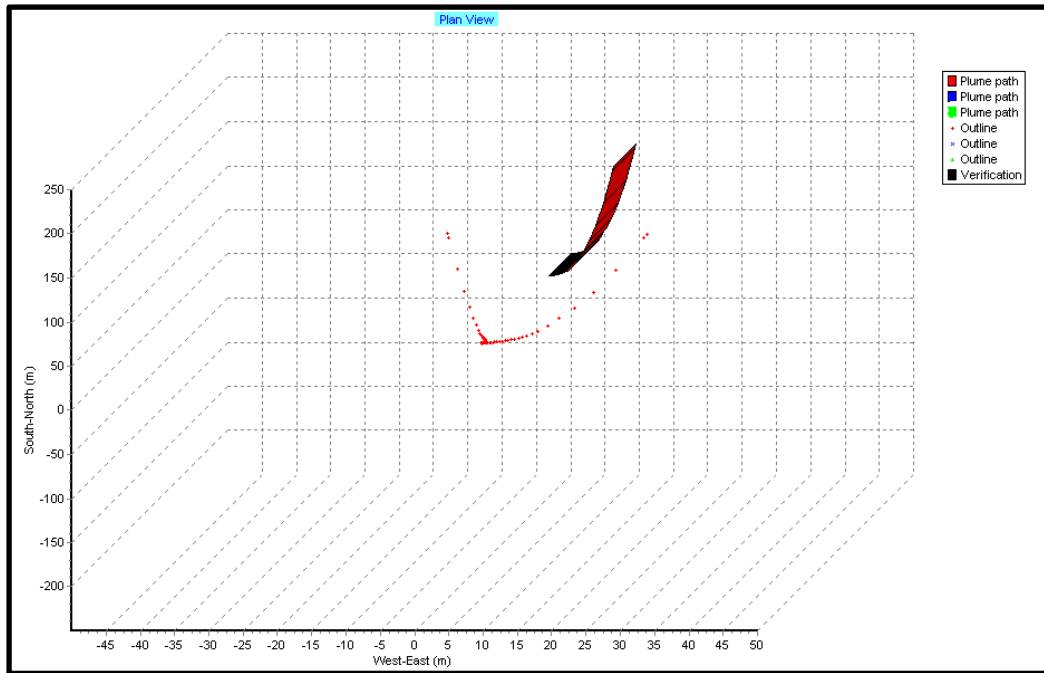


Figura 61.- Direccion del desplazamiento de la pluma.

Fuente: Autor.

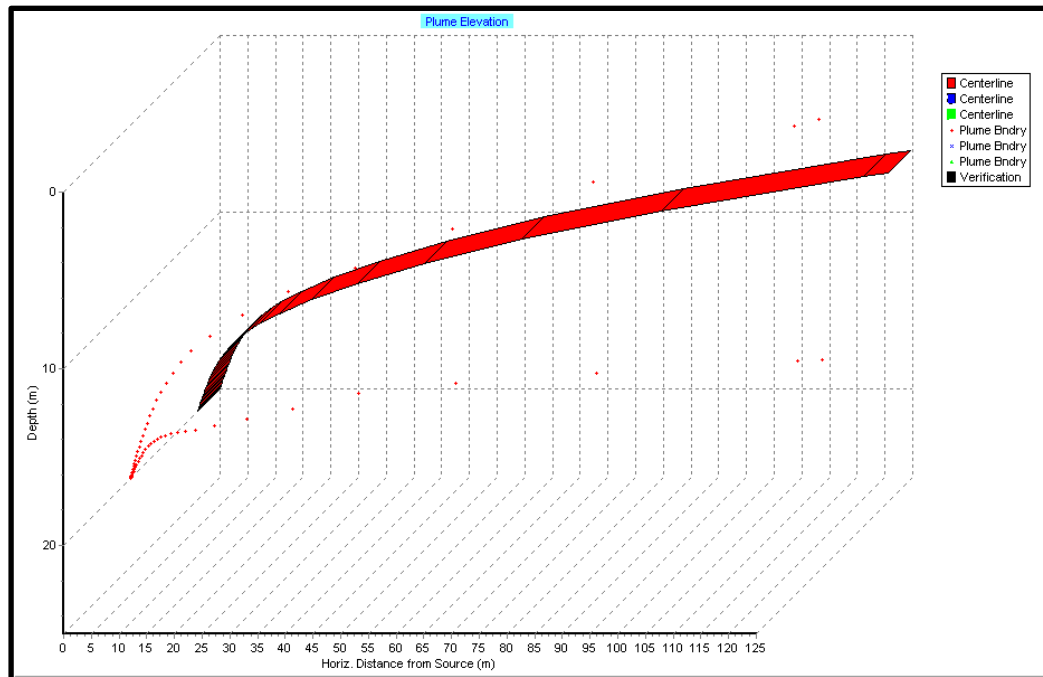


Figura 62.- Comportamiento de la pluma de dispersión.

Fuente: Autor.

6.1.2 CORMIX

CORMIX es uno de los modelos de zona de mezcla más utilizados en la actualidad, se caracteriza por su amplio rango de aplicación para distintos tipos de masas receptoras (ríos, lagos, estuarios, aguas costeras). Este programa se ha usado con éxito en la gestión de la calidad del agua bajo diversos marcos reguladores y destaca como una de las herramientas más adecuadas para la evaluación de las zonas de mezcla de acuerdo con el

documento de la Comisión Europea “Orientaciones técnicas para la identificación de las zonas de mezcla”

CORMIX incluye distintas herramientas para la simulación del comportamiento de un vertido en campo cercano y lejano y con todo tipo de flotabilidad del vertido (positiva, neutra y negativa). Contiene un conjunto de subsistemas para la simulación de diferentes configuraciones de descarga: CORMIX 1 (chorro individual), CORMIX 2 (chorros múltiples), CORMIX 3 (vertidos directos superficiales) y D-CORMIX (vertidos hiperdensos/sedimentos). También incluye varias opciones de pre y post-procesamiento del ensamblaje y comprobación de los datos de entrada, para la evaluación rápida de una gama de condiciones ambientales.

Como ya se ha indicado, CORMIX dispone de diferentes modelos de simulación hidrodinámica atendiendo a las características del vertido, con respecto a estos modelos de simulación, se tienen en cuenta una serie de consideraciones:

- CORMIX 1, 2 y 3 requieren que se defina la sección transversal del agua receptora como un canal rectangular uniforme que puede estar limitado por los laterales o ser ilimitado, es lo que en CORMIX recibe el nombre de esquematización. Asimismo, la velocidad del medio receptor se supone uniforme dentro de esta sección transversal esquematizada.
- CORMIX 1 y 2 incluyen tres tipos genéricos de perfiles de estratificación²⁴ del agua ambiente, que se emplearán para aproximar la distribución vertical de la densidad.
- Todos los subsistemas asumen, en principio, estado estacionario (las características del medio no varían con el tiempo), aunque también se permite el análisis de mezclas inestables, es decir, aquellas en las que se alteran algunas de sus características.
- Todos los subsistemas permiten simular la transferencia de calor de los penachos térmicos.
- En vertidos con flotabilidad fuertemente negativa, tales como salmuera y sedimentos, DHYDRO permite usar, en los ambientes costeros, fondos inclinados lateralmente y sin límites.

Entre las herramientas de pre-procesamiento disponibles en CORMIX la más utilizada es CorSpy, mientras que entre las de post-procesamiento se pueden destacar: CorJet, CorVue, CorSens, Corval y FFL.

La herramienta CorSpy proporciona, a partir de los datos de entrada del emisario submarino, una imagen tridimensional del mismo, CorSpy puede cargar los datos de entrada del emisario directamente desde la interfaz gráfica del usuario, aunque también tiene su propia interfaz para una descripción más detallada de los datos.

La herramienta de post-procesamiento CorJet permite predecir las características de la trayectoria del chorro, así como la dilución de éste, para un solo difusor sumergido o para difusores múltiples en ambientes no limitados. La principal limitación de esta herramienta está en que considera al medio receptor como infinito, con lo cual sólo deberá usarse una vez que se haya demostrado que la descarga se realiza realmente en aguas profundas, es decir, hidrodinámicamente estable y sin interacciones con los límites.

Para uso dentro de CORMIX: el archivo de salida se almacena por defecto con el nombre filename.out, empleando el nombre especificado en la entrada de datos. El archivo se puede ver en pantalla, imprimir o guardar y se distingue por el encabezado „JJJ“. Este archivo incluye todos los datos que se hayan introducido en CORMIX y los que se hayan usado para la simulación en CorJet.

Para uso fuera de CORMIX: el archivo de salida se almacena como filename.out en el mismo directorio en que el usuario ha especificado el archivo de entrada. Este archivo se puede ver en pantalla o imprimir y muestra los datos de entrada y las listas de las escalas de longitud calculadas y los números adimensionales que controlan el proceso de mezcla.

Como ya se ha indicado, la herramienta CorVue permite visualizar en 3-D y 2-D los procesos de zona de mezcla y el comportamiento de la pluma. Estas visualizaciones son compatibles con todos los modelos de simulación y clasificaciones del flujo.

La herramienta del CorSens, permite realizar análisis de sensibilidad en la zona de mezcla y ofrece recomendaciones en el diseño de los emisarios. A través de la interfaz gráfica del usuario se puede acceder a una guía con instrucciones para la entrada de datos y su posterior interpretación.

La herramienta CorVal es un sistema interactivo, disponible sólo por suscripción. En ella, se puede validar la predicción de un modelo con los datos de estudio disponibles, que figuran en la base de datos de experimentos de CORMIX.

Otra de las herramientas que proporciona CORMIX es FFL, que permite hacer predicciones para el campo lejano²⁹, siempre que el flujo no sea muy irregular. Esto se aplica siempre a una sección rectangular esquematizada. Se puede acceder a esta herramienta desde el menú desplegable así como desde la barra de herramientas principal.

La introducción de los datos de entrada se realiza a través de las siete pestañas siguientes:

- Project (Descripción del proyecto).
- Effluent (Características del efluente).
- Ambient (Condiciones del medio receptor)
- Discharge (Características del dispositivo de vertido)
- Mixing Zone (Zona de mezcla)
- Output (Resultados)
- Processing (Opciones de tratamiento de la información)

Para el emisario analizado con el CORMIX, se utilizó la versión de prueba, que tiene algunas limitantes con respecto a las corridas del programa. se obtuvieron los siguientes resultados, que poseen características similares al modelo Visual Plumes, de dilución cercana, adicionándole el comportamiento hasta la costa. En la Figura 63 se visualiza el comportamiento de la concentración con respecto a la distancia horizontal y las isoclinas, viéndolo en planta.

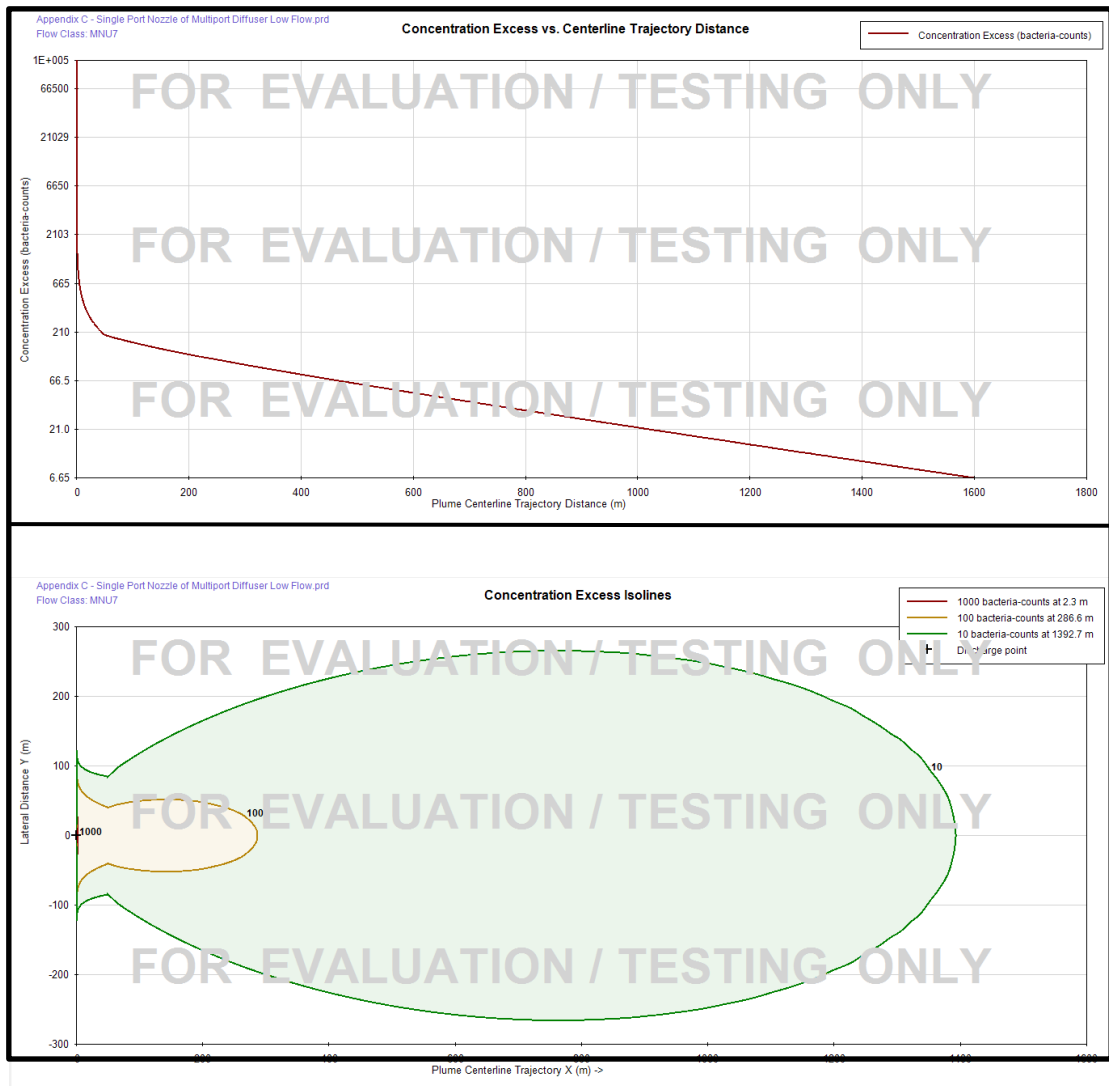


Figura 63.- Concentración en función de la trayectoria del contaminante.

Fuente: Autor.

En la Figura 64, se visualizan las gráficas de la dilución en función de la distancia de la trayectoria. Apreciamos el alto valor de dilución inicial, y su

comportamiento a lo largo de su trayectoria hasta la costa. Llegando a un valor de 1000 a 1, a una distancia de 100.00 m.

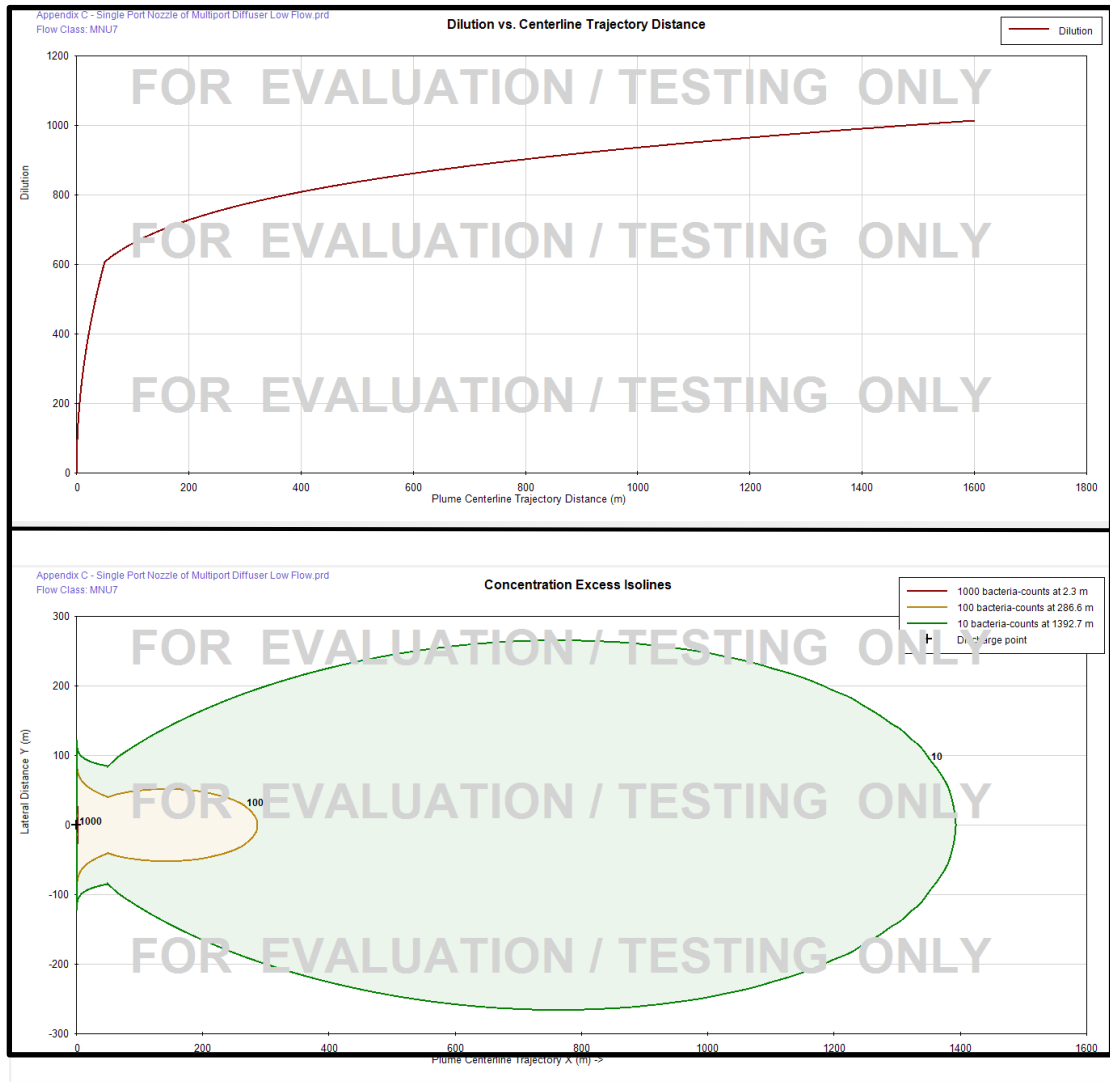


Figura 64.- Isolneas de la dilucion en funcion de la distacia de la trayectoria.

Fuente: Autor.

En la Figura 65, se visualizan las gráficas en varias vistas del comportamiento de la concentración del E. Coli, a lo largo de su comportamiento, hasta llegar a la costa, teniendo concentraciones de 1 en la zona de bañistas, que comprende los 300.0 m, desde la costa hacia mar adentro.

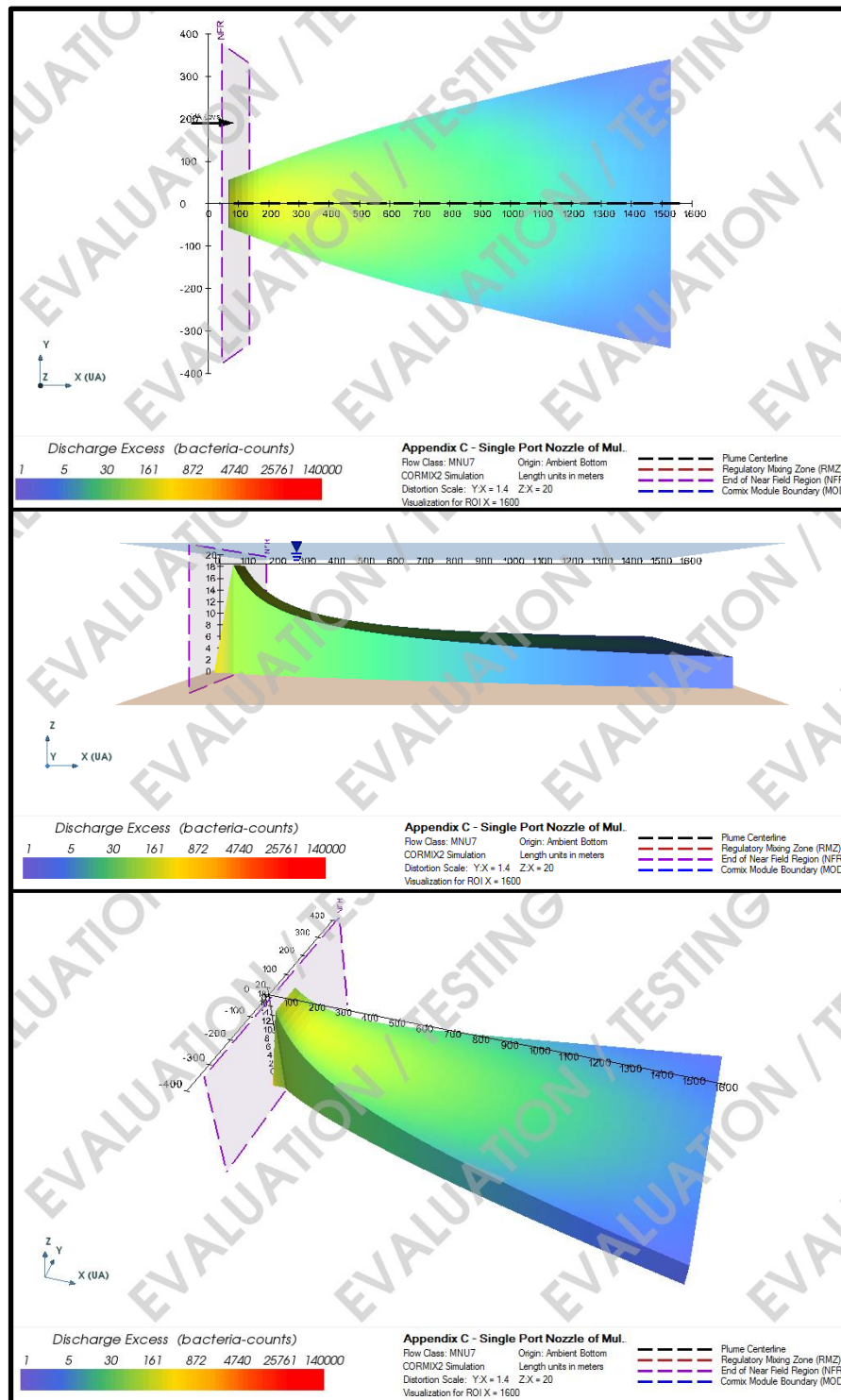


Figura 65.- Comportamiento del E. Coli, a la salida del emisario.

Fuente: Autor.

CAPÍTULO 7

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

1. El proceso de rehabilitación de un cauce es un método a mediano y largo plazo, ya que los resultados no podremos verlos inmediatamente, hasta que el río vaya recuperando sus propiedades junto al ecosistema que lo rodea; lamentablemente el río ha sido intervenido y con esto ha causado una influencia negativa en el desarrollo de la cuenca y la dinámica del cauce, provocando consecuencias aguas abajo.

2. El diseño y construcción de emisarios, es algo nuevo en el país, ya que solo poseemos un solo emisario subfluvial en la ciudad de Guayaquil, y en Manta solo están los diseños de uno submarino. La socialización de esta estructura juega un gran papel con la población donde se desarrollara el proyecto, ya que bastantes personas desconocen el funcionamiento y los fines de estas estructuras de descarga.

3. El reducido plazo de ejecución de las obras y los métodos no invasivos, como la hinca en el tramo costero y el transporte por mar de tuberías, minimizan la afección a las actividades económicas y sociales del entorno, como el turismo de playa y rural.

4. Antes de que decidamos construir la más mínima obra sobre un cauce, debemos de entender el comportamiento del mismo, en cuanto al desarrollo de su cuenca, la dinámica del río, y las poblaciones que se desarrollan junto a él; porque si afectamos de alguna forma una de estas características se genera un cambio que muy probablemente no podamos volver a recuperar.

5. La modelación numérica, con los softwares Visual Plumes y CORMIX, nos sirve de bastante en el momento que deseamos analizar el comportamiento de la dispersión de los emisarios, y complementa el análisis teórico, con el fin de poder proponer un diseño, con óptimos resultados.

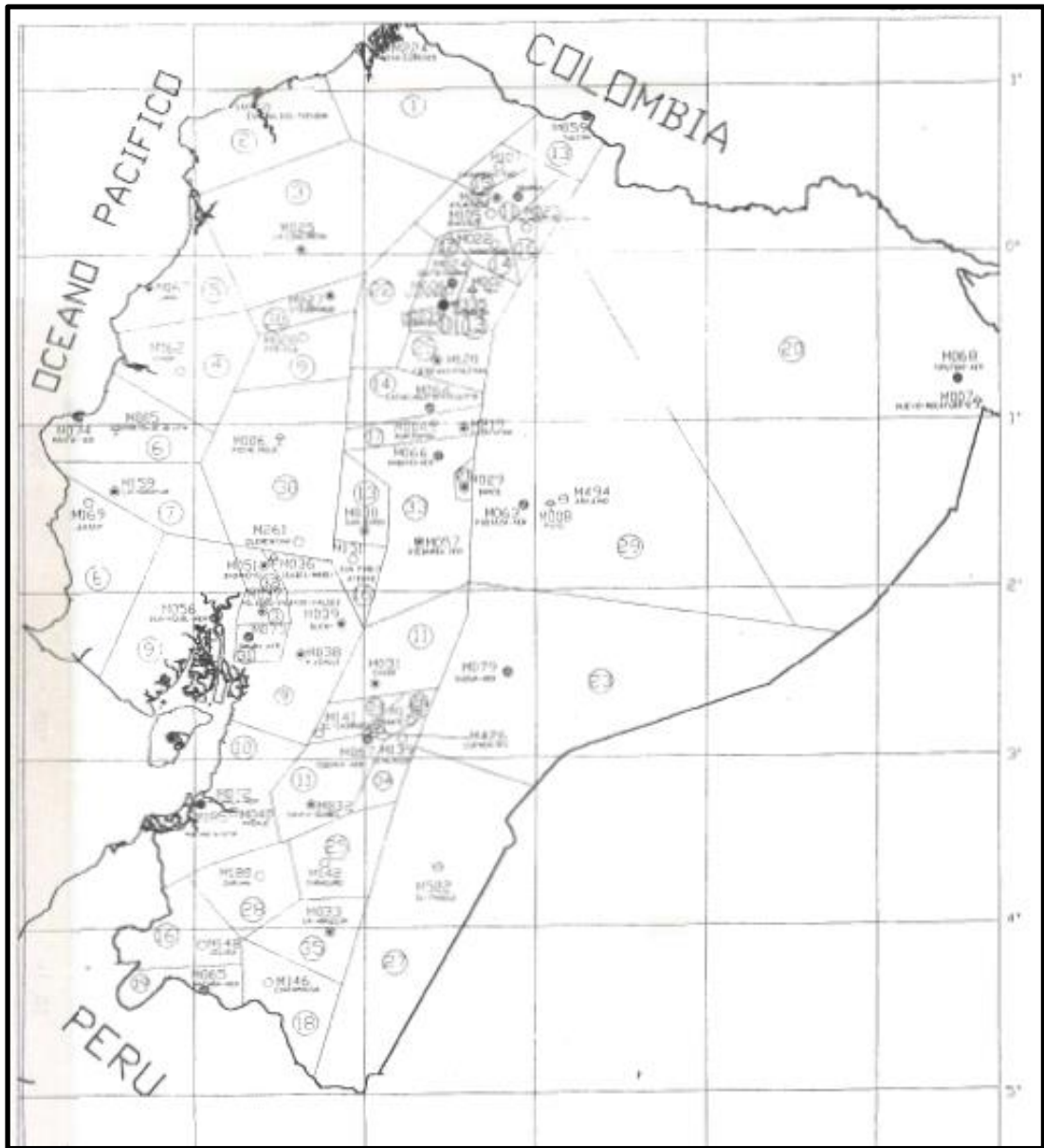
7.2 Recomendaciones

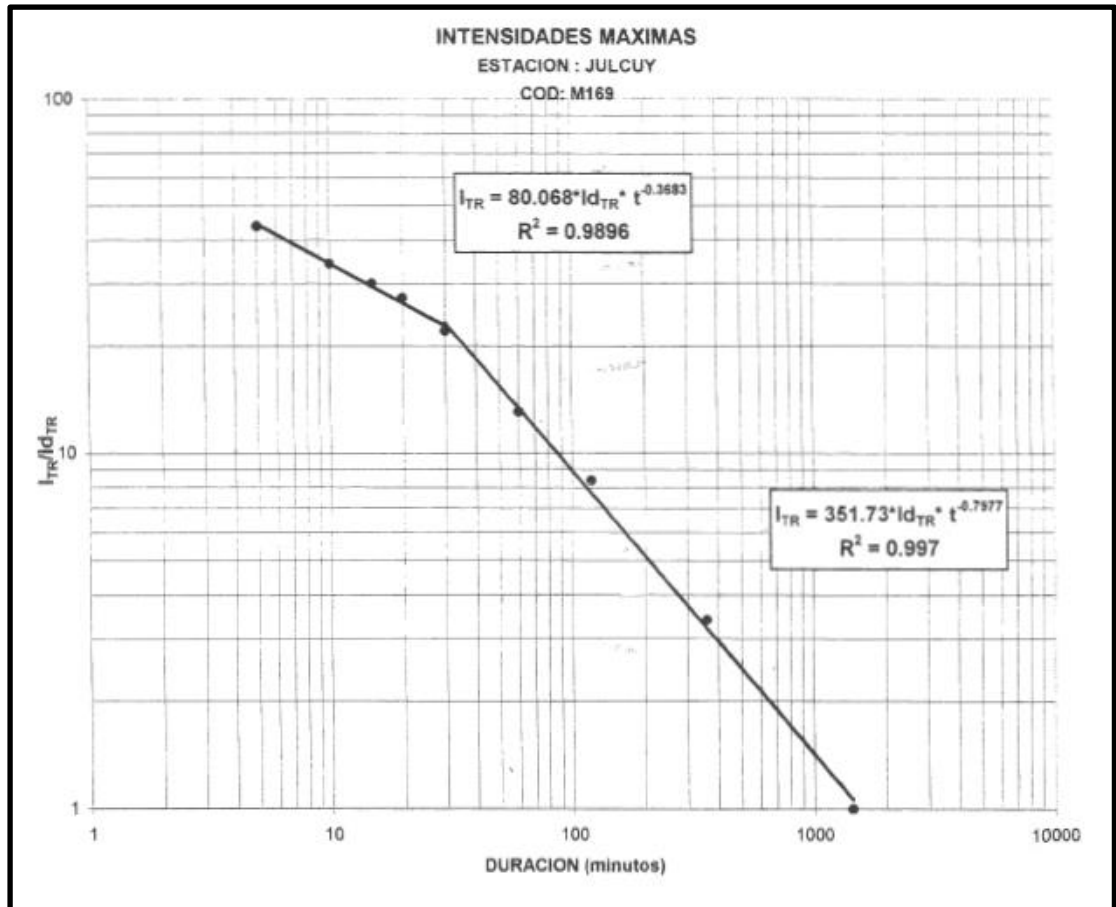
1. Para la rehabilitación y el saneamiento de un cauce, debemos tener una coordinación junto a la directiva de la comuna y el MTOP, con el fin de poder coordinar las actividades a elaborar, para el proceso de rehabilitación y saneamiento del cauce.

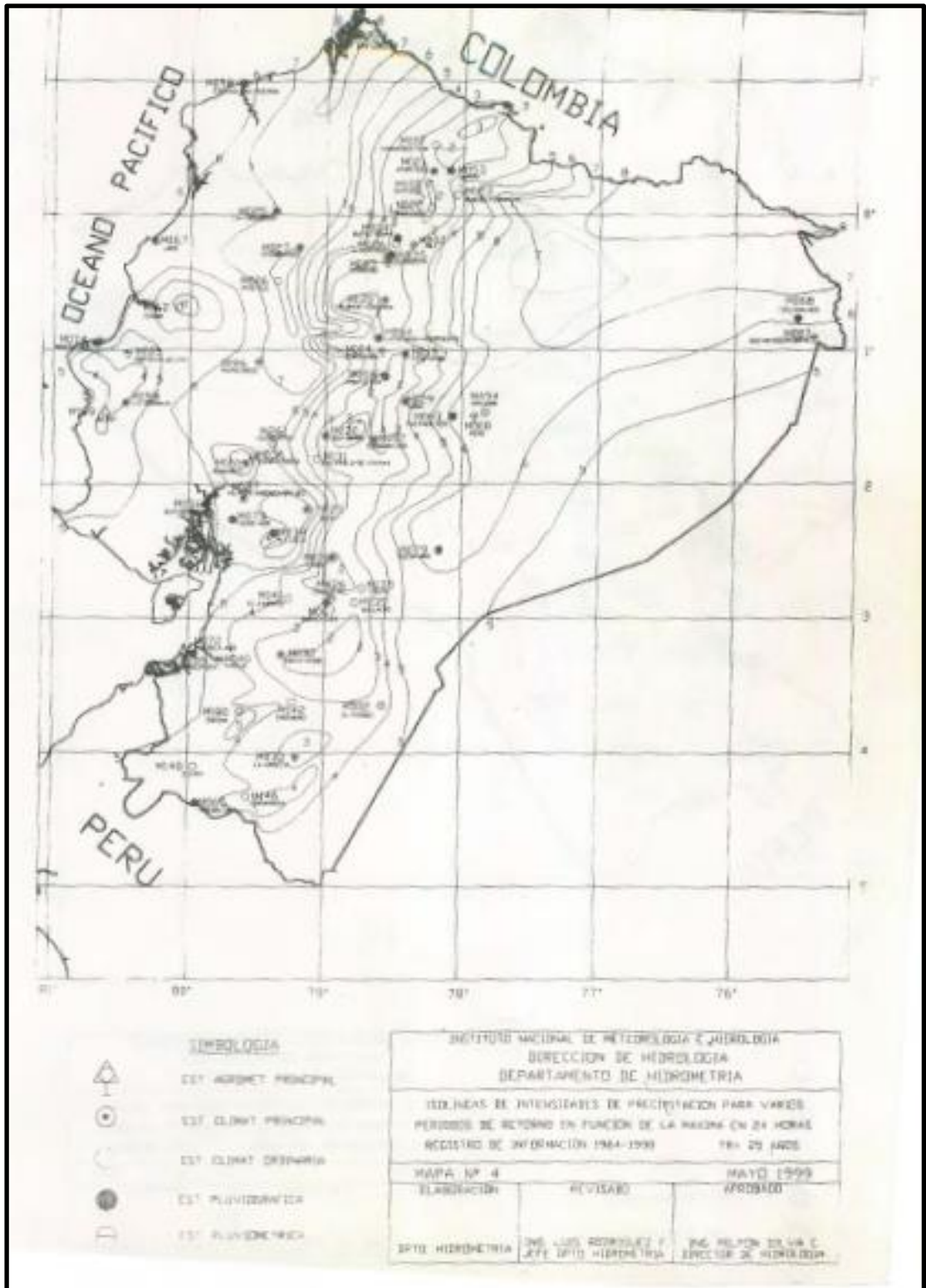
2. Fomentar el estudio, análisis y construcción de emisarios submarinos y subfluviales. Nuestro país posee una gran franja costera y poblaciones que se desarrollan junto a esta, vale la pena poder utilizar este recurso de manera eficiente y evitar afectar las cuencas con malas prácticas o diseños.

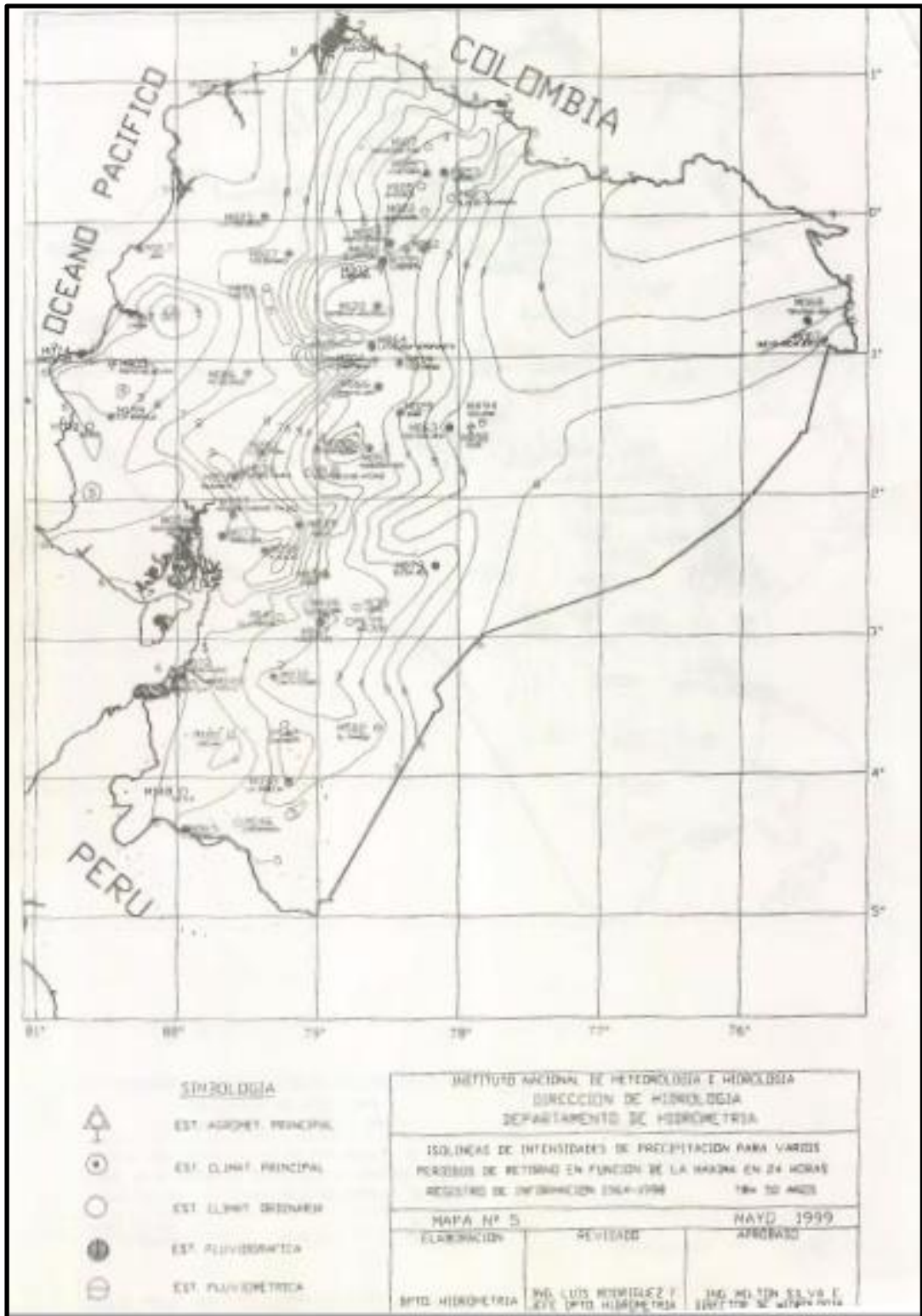
3. Lamentablemente no hay normativas para los diseños de emisarios en el país, no hay forma en la que se pueda controlar este tipo de estructuras. Es fundamental que el organismo estatal que esté a cargo de los cuerpos de agua, analice más este campo y proponga normas de regulación junto a modelos numéricos, que nos brindan un resultado un poco más acertado junto al teórico.

ANEXO 1. HIDROLOGIA









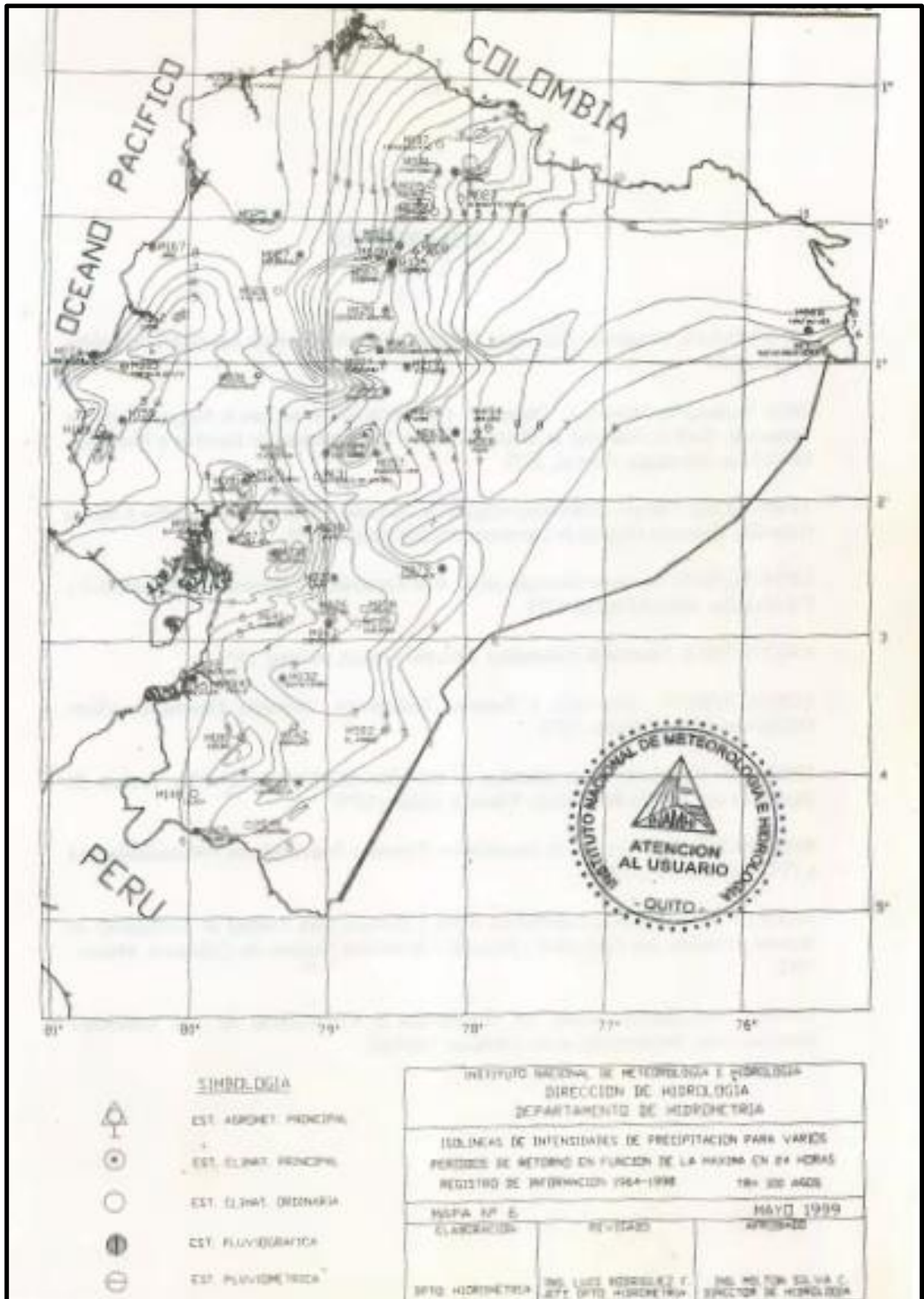


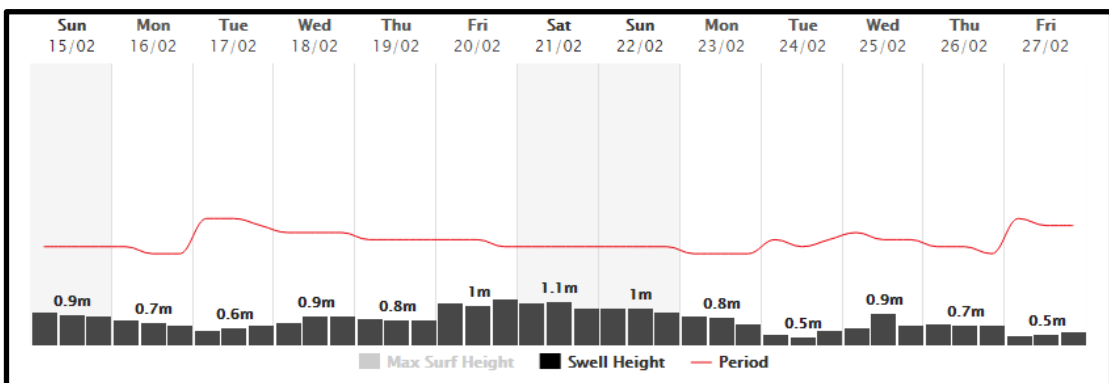
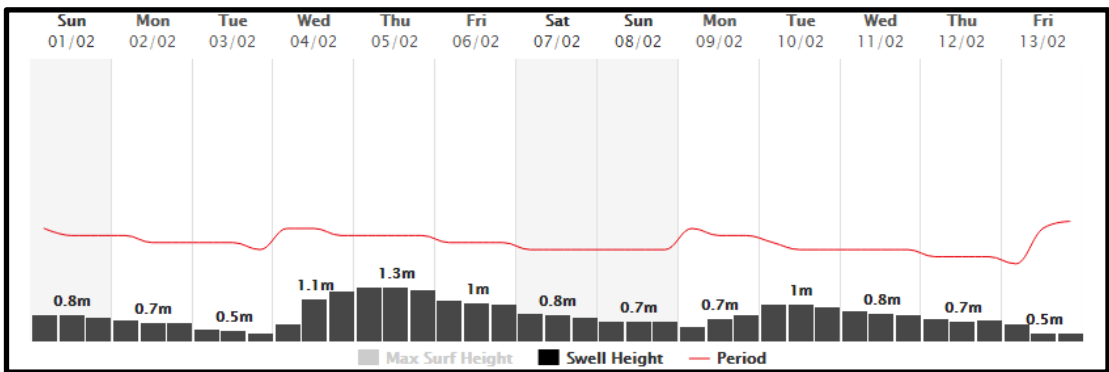
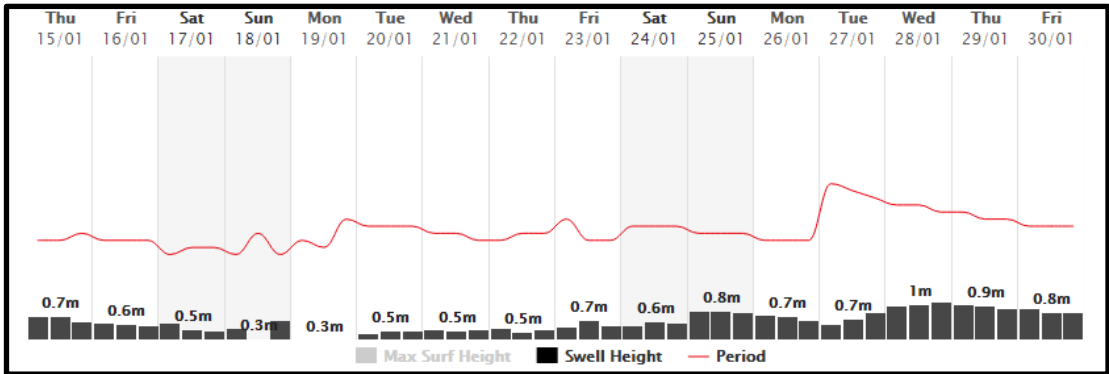
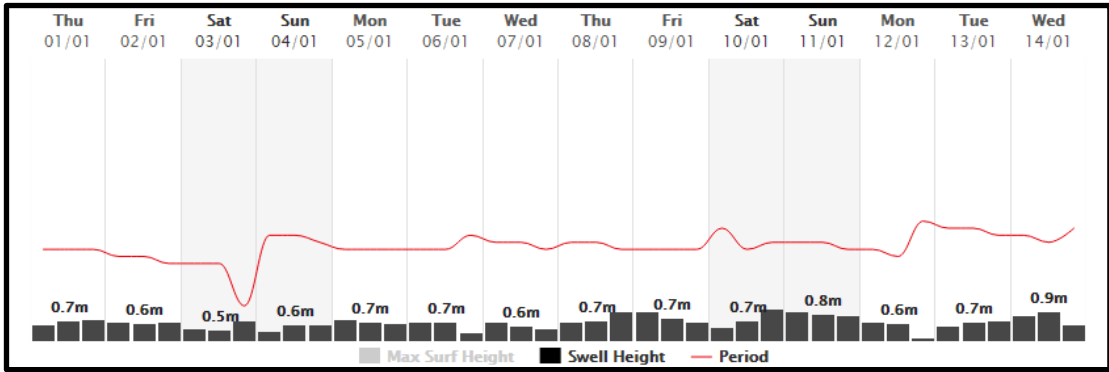
Table 2.2. Intercept Coefficients for Velocity vs. Slope Relationship (McCuen, 1989)

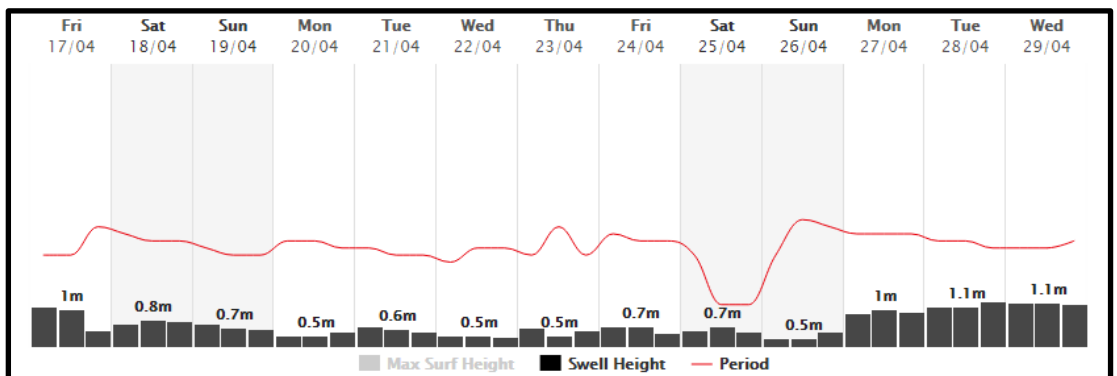
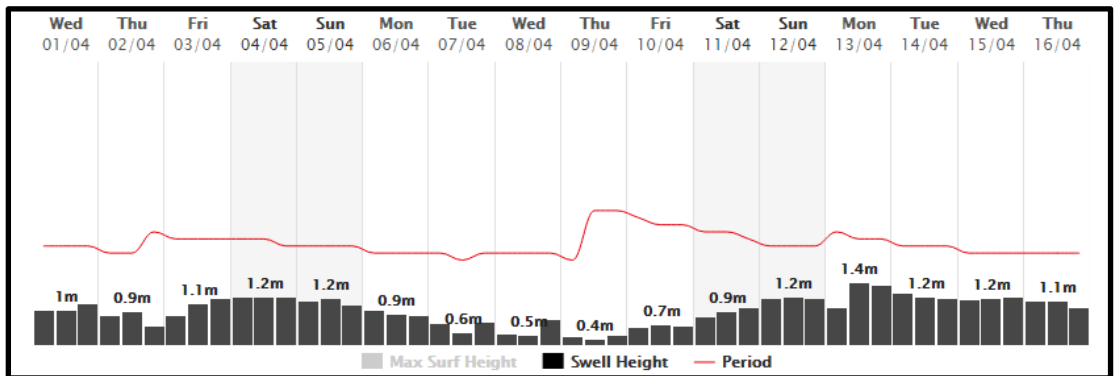
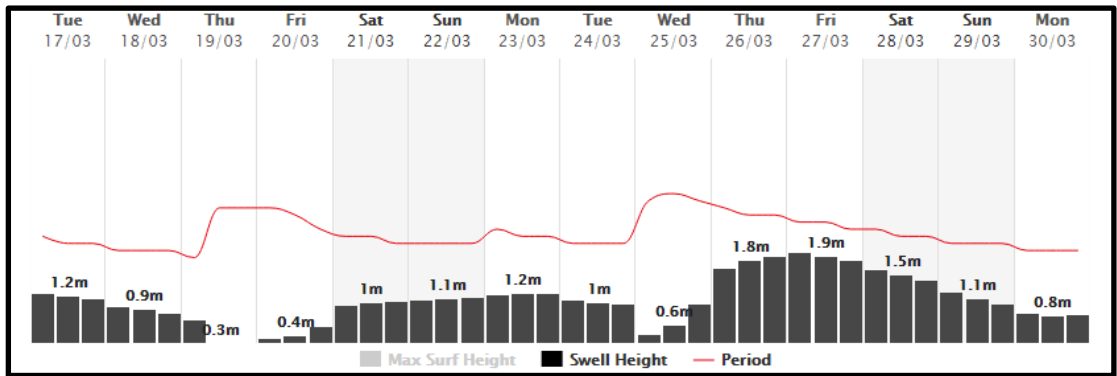
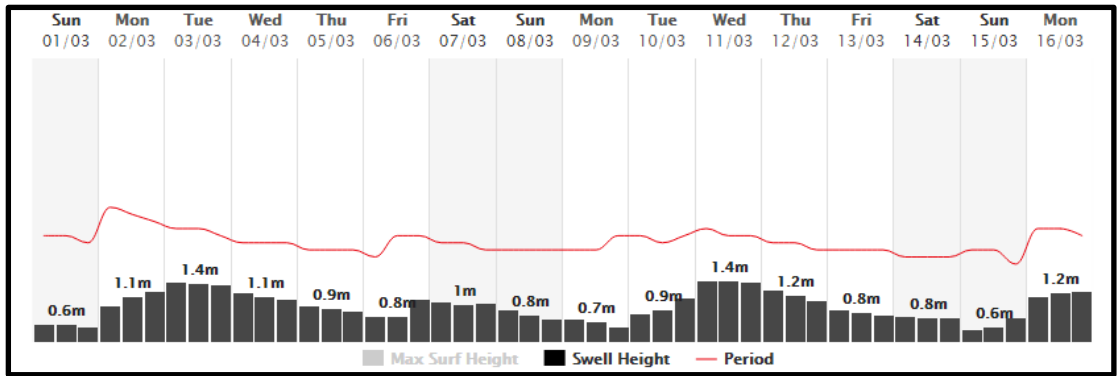
k	Land Cover/Flow Regime
0.076	Forest with heavy ground litter; hay meadow (overland flow)
0.152	Trash fallow or minimum tillage cultivation; contour or strip cropped; woodland (overland flow)
0.213	Short grass pasture (overland flow)
0.274	Cultivated straight row (overland flow)
0.305	Nearly bare and untilled (overland flow); alluvial fans in western mountain regions
0.457	Grassed waterway (shallow concentrated flow)
0.491	Unpaved (shallow concentrated flow)
0.619	Paved area (shallow concentrated flow); small upland gullies

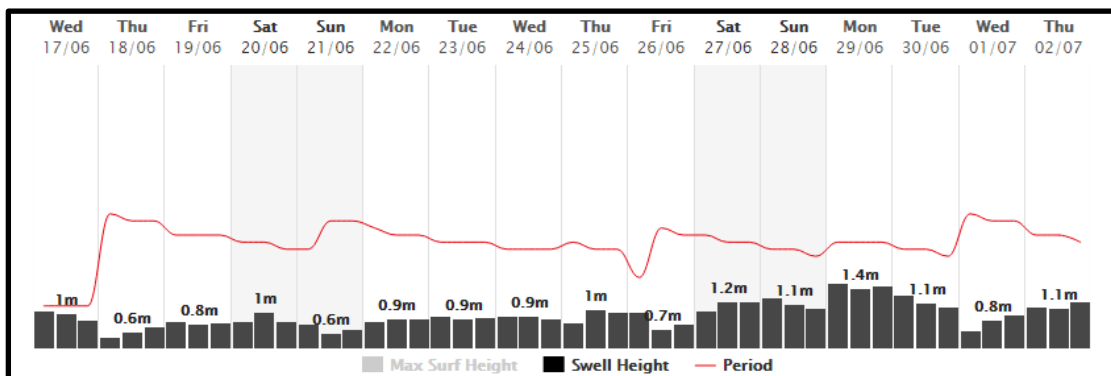
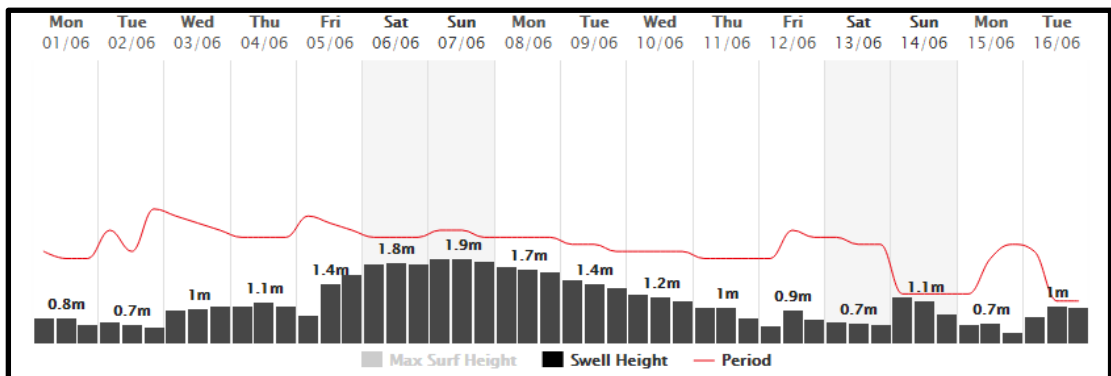
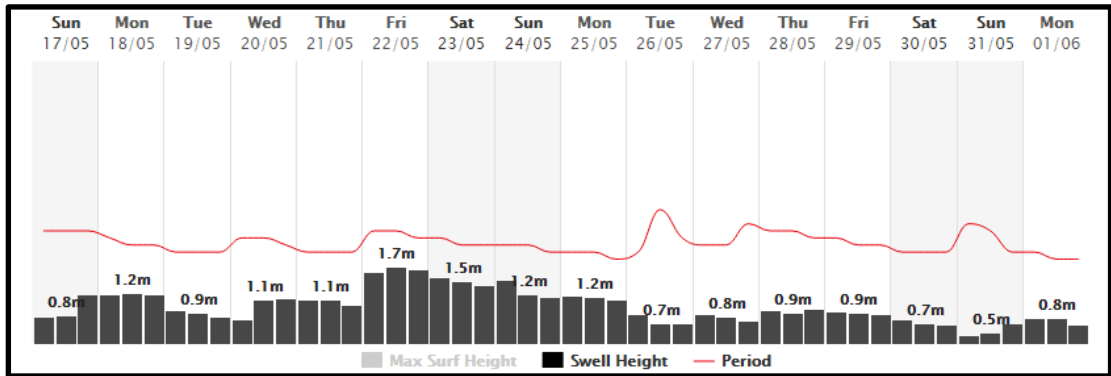
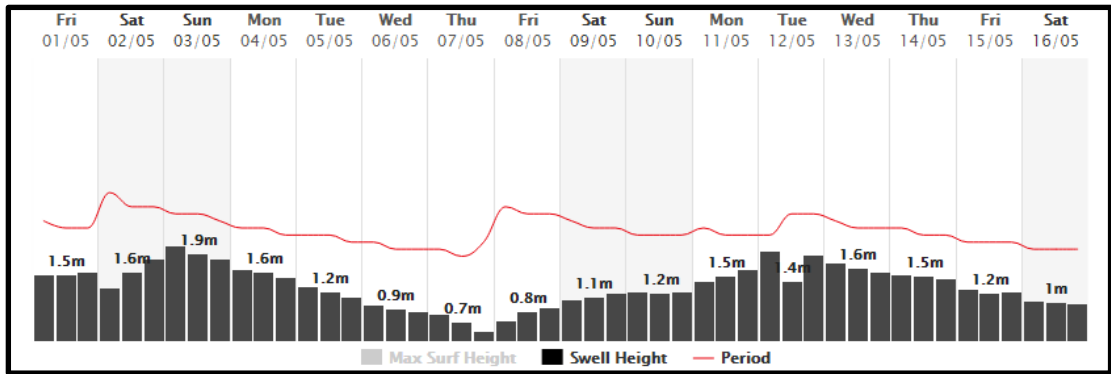
ANEXO 2. HIDRAULICA

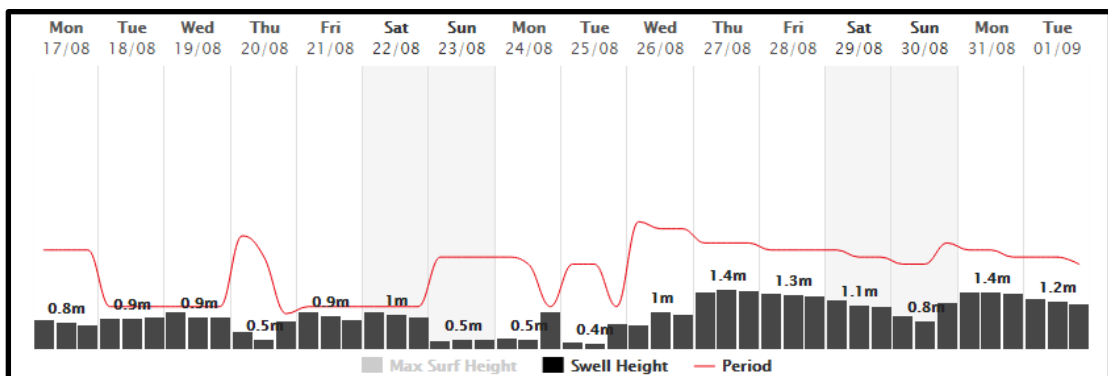
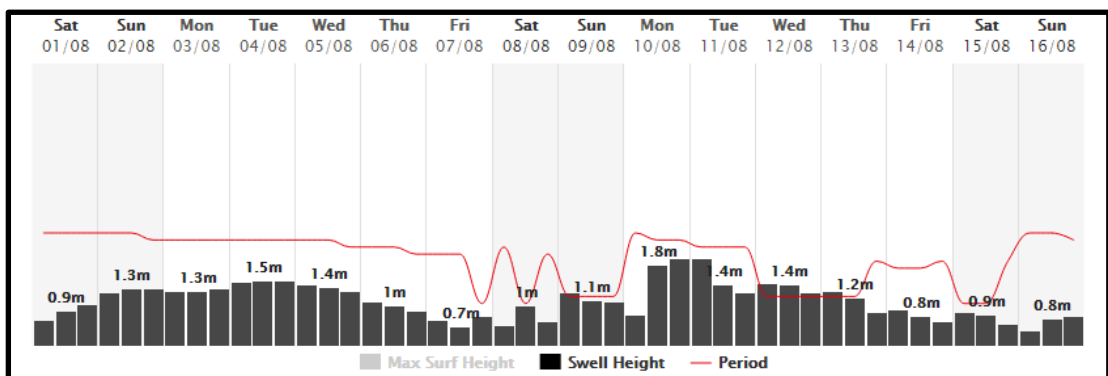
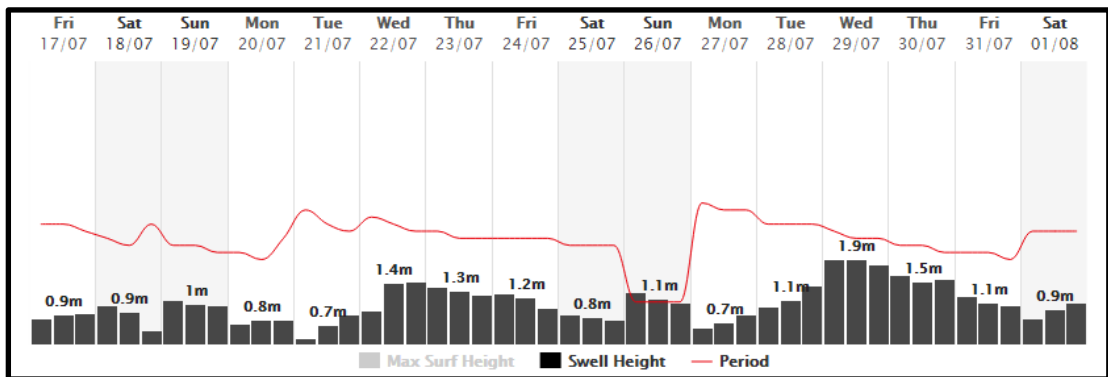
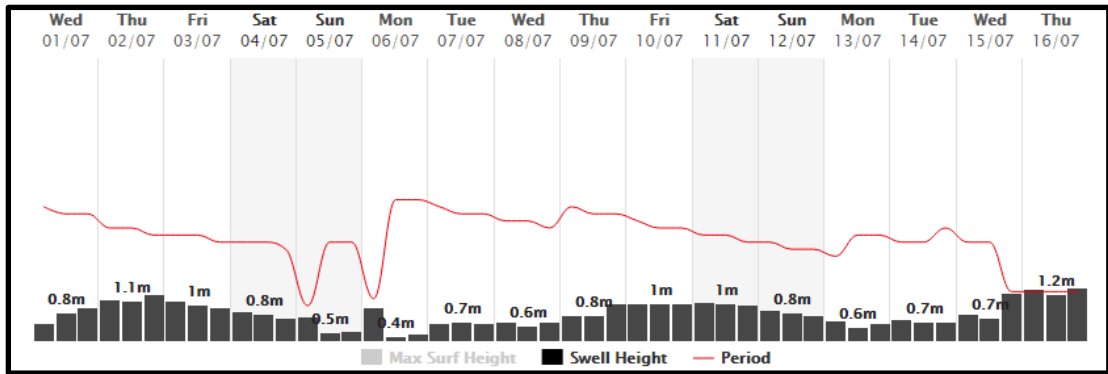
MODELO HEC-RAS

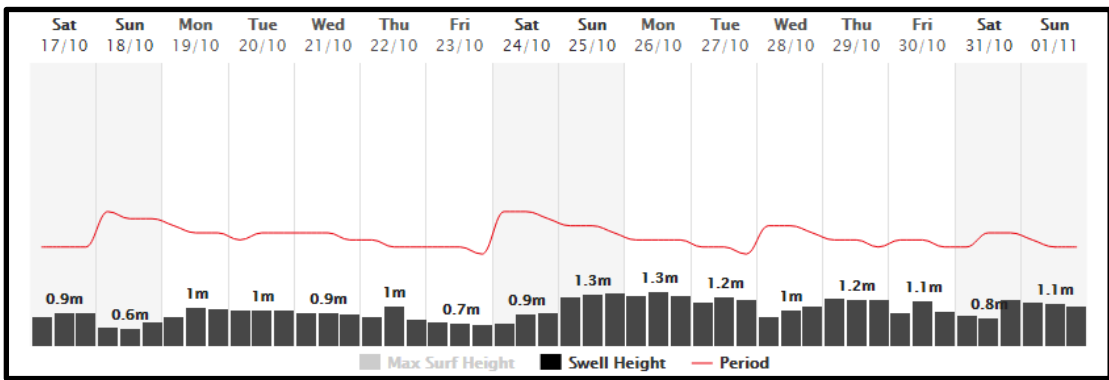
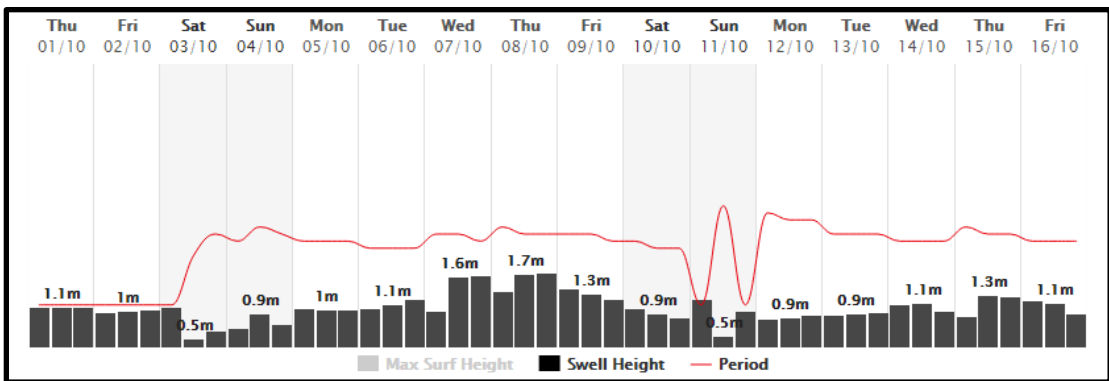
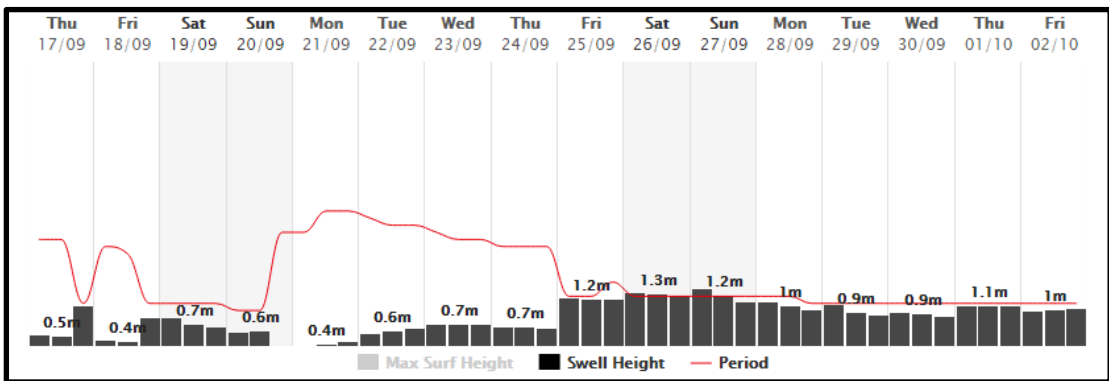
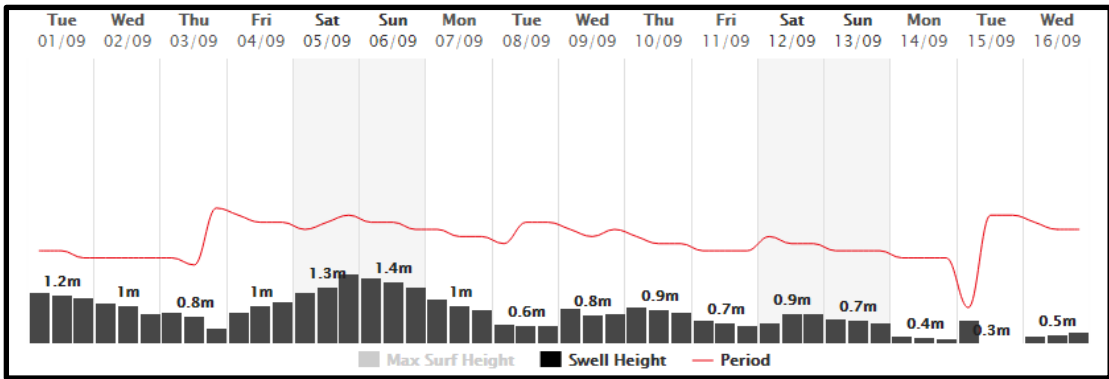
ANEXO 3. OLEAJE MONTAÑITA
(ENERO - DICIEMBRE 2015)

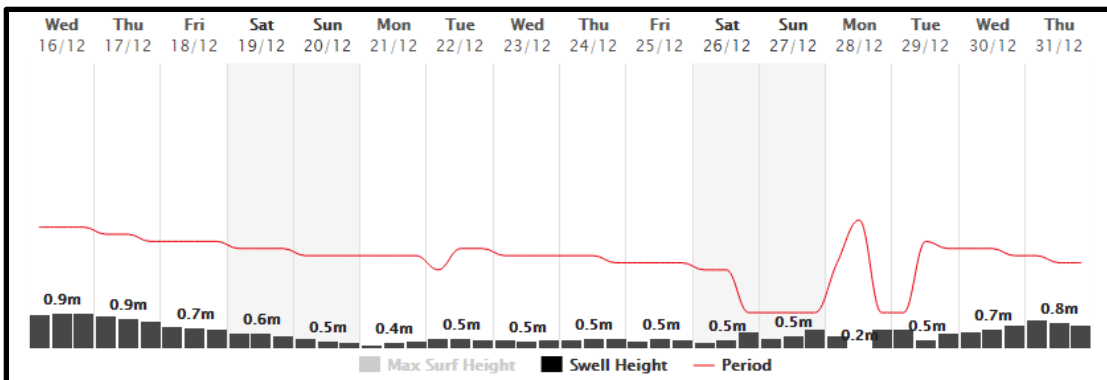
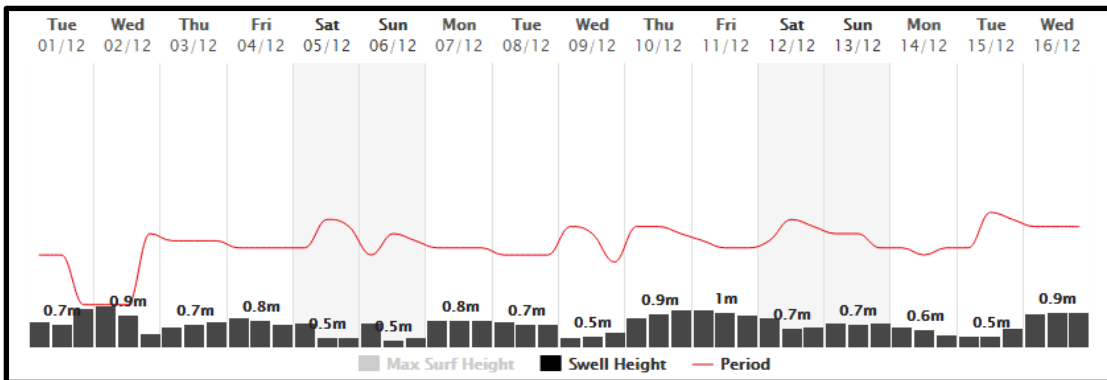
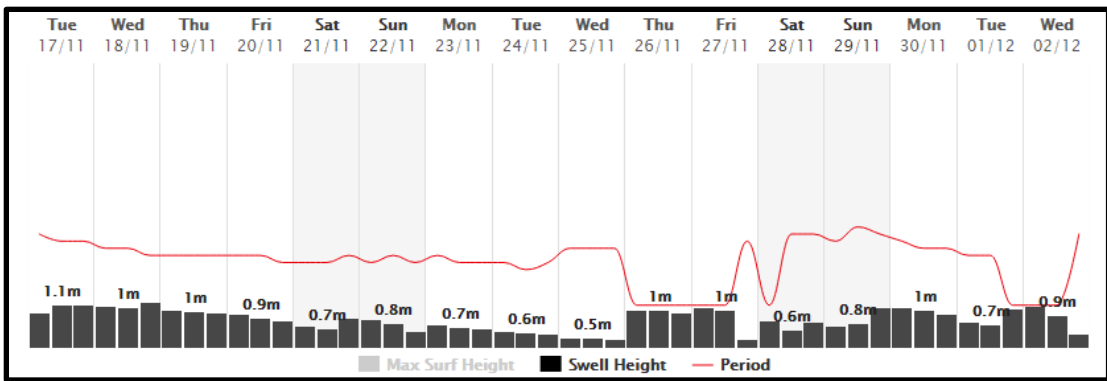
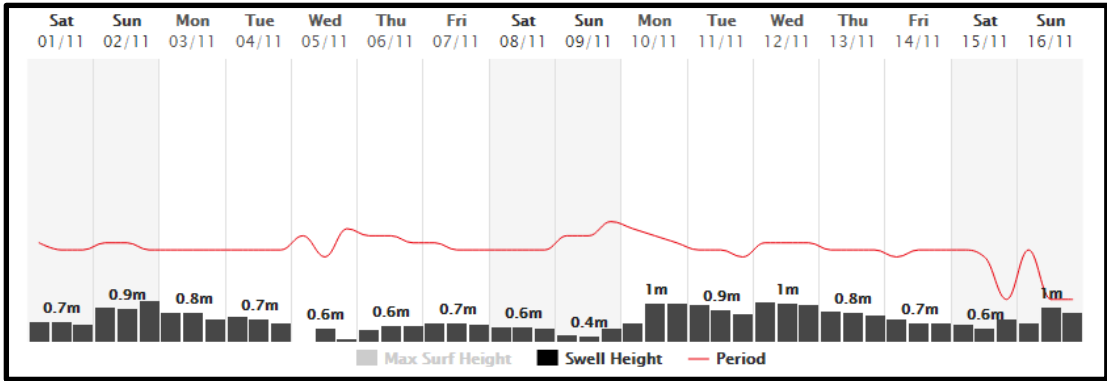












ANEXO 4. MAREAS - MONTEVERDE
(ENERO - DICIEMBRE 2015)

ENERO						FEBRERO						MARZO						
DIA	HORA	ALT.	DIA	HORA	ALT.	DIA	HORA	ALT.	DIA	HORA	ALT.	DIA	HORA	ALT.	DIA	HORA	ALT.	
	H.M.	MTS.		H.M.	MTS.		H.M.	MTS.		H.M.	MTS.		H.M.	MTS.		H.M.	MTS.	
1	0241	0.7	16	0214	0.4	1	0339	0.8	16	0354	0.5	1	0244	0.7	16	0329	0.4	
VI	0847	1.8	SA	0827	2.1	LU	1010	1.7	MA	1025	2.1	MA	0919	1.8	MI	1002	2.1	
	1448	0.8		1432	0.6		1557	1.1		1629	0.8	●	1508	1.0		1611	0.8	
	2109	1.9	☾	2048	2.2		2202	1.8		2230	2.1		●	2111	1.8		2207	2.0
2	0338	0.8	17	0313	0.5	2	0439	0.8	17	0504	0.5	2	0336	0.8	17	0439	0.5	
SA	0949	1.7	DO	0933	2.0	MA	1113	1.8	MI	1137	2.1	MI	1016	1.8	JU	1113	2.1	
●	1546	0.9		1536	0.7		1704	1.1		1744	0.8		1607	1.0		1727	0.8	
	2202	1.9		2149	2.2		2300	1.8		2343	2.1		2207	1.8		2322	2.0	
3	0443	0.9	18	0420	0.5	3	0537	0.8	18	0611	0.4	3	0435	0.8	18	0547	0.5	
DO	1100	1.7	LU	1046	2.1	MI	1208	1.8	JU	1242	2.2	JU	1114	1.9	VI	1218	2.2	
	1653	1.0		1647	0.7		1806	1.0		1853	0.7		1714	1.0		1836	0.7	
	2300	1.8		2255	2.1		2358	1.8					2310	1.8				
4	0546	0.8	19	0529	0.5	4	0628	0.7	19	0051	2.1	4	0536	0.7	19	0033	2.0	
LU	1205	1.8	MA	1158	2.1	JU	1254	1.9	VI	0710	0.4	VI	1210	2.0	SA	0648	0.5	
	1759	1.0		1801	0.7		1859	0.9		1337	2.3		1817	0.9		1314	2.3	
	2356	1.8								1951	0.6					1933	0.6	
5	0635	0.8	20	0604	2.2	5	0051	1.9	20	0150	2.2	5	0013	1.9	20	0133	2.1	
MA	1255	1.8	MI	0633	0.4	VI	0713	0.6	SA	0803	0.3	SA	0634	0.6	DO	0741	0.4	
	1853	0.9		1301	2.3		1336	2.1		1427	2.4		1300	2.1		1404	2.3	
				1907	0.6		1944	0.7		2041	0.4		1913	0.7		2022	0.5	
6	0046	1.9	21	0108	2.2	6	0140	2.0	21	0241	2.2	6	0111	2.0	21	0223	2.1	
MI	0716	0.6	JU	0731	0.3	SA	0757	0.4	DO	0851	0.2	DO	0726	0.5	LU	0829	0.4	
	1335	1.9		1356	2.4		1417	2.2		1512	2.5		1348	2.2		1448	2.4	
	1937	0.8		2005	0.5		2028	0.6		2126	0.4		2002	0.5		2106	0.4	
7	0130	2.0	22	0205	2.3	7	0226	2.1	22	0327	2.3	7	0204	2.1	22	0309	2.2	
JU	0753	0.5	VI	0823	0.2	DO	0841	0.3	LU	0935	0.2	LU	0815	0.3	MA	0913	0.4	
	1412	2.1		1446	2.5		1459	2.3		1555	2.5		1434	2.4		1529	2.4	
	2017	0.7		2057	0.4		2111	0.4	☉	2209	0.3		2049	0.4		2147	0.3	
8	0212	2.1	23	0257	2.3	8	0311	2.3	23	0411	2.2	8	0252	2.3	23	0351	2.2	
VI	0830	0.4	SA	0911	0.1	LU	0924	0.2	MA	1017	0.2	MA	0903	0.2	MI	0954	0.4	
	1449	2.2		1533	2.5		1542	2.4		1635	2.4		1519	2.5		1608	2.4	
	2055	0.6	☉	2144	0.3	●	2154	0.3		2250	0.3	●	2135	0.2	☉	2225	0.3	
9	0252	2.2	24	0344	2.3	9	0356	2.3	24	0453	2.2	9	0340	2.3	24	0432	2.1	
SA	0909	0.3	DO	0956	0.1	MA	1008	0.1	MI	1057	0.3	MI	0949	0.1	JU	1032	0.4	
●	1527	2.3		1618	2.5		1626	2.5		1714	2.4		1604	2.6		1644	2.3	
	2134	0.4		2230	0.3		2299	0.2		2329	0.3		2221	0.1		2302	0.3	
10	0333	2.2	25	0429	2.3	10	0442	2.3	25	0535	2.1	10	0428	2.4	25	0512	2.1	
DO	0948	0.2	LU	1040	0.1	MI	1053	0.1	JU	1135	0.4	JU	1035	0.1	VI	1110	0.5	
	1606	2.4		1701	2.5		1710	2.5		1751	2.3		1648	2.6		1719	2.2	
	2215	0.3		2313	0.3		2325	0.1					2307	0.0		2337	0.3	
11	0415	2.3	26	0513	2.2	11	0530	2.3	26	0007	0.4	11	0516	2.4	26	0552	2.1	
LU	1029	0.1	MA	1121	0.2	JU	1139	0.2	VI	0617	2.0	VI	1122	0.2	SA	1146	0.6	
	1648	2.4		1742	2.4		1755	2.5		1213	0.5		1733	2.6		1753	2.1	
	2258	0.3		2355	0.4					1827	2.2		2353	0.0				
12	0458	2.3	27	0557	2.1	12	0012	0.2	27	0044	0.5	12	0607	2.4	27	0010	0.4	
MA	1111	0.1	MI	1202	0.3	VI	0621	2.3	SA	0700	1.9	SA	1210	0.3	DO	0630	2.0	
	1731	2.4		1822	2.3		1227	0.3		1252	0.7		1819	2.5		1223	0.6	
	2343	0.3					1841	2.4		1903	2.0					1827	2.1	
13	0544	2.3	28	0637	0.4	13	0101	0.2	28	0121	0.6	13	0041	0.1	28	0044	0.5	
MI	1156	0.2	JU	0641	2.0	SA	0714	2.2	DO	0743	1.9	DO	0659	2.3	LU	0709	2.0	
	1816	2.4		1242	0.5		1318	0.4		1352	0.8		1302	0.4		1301	0.8	
				1901	2.2		1929	2.4		1940	1.9		1907	2.4		1903	2.0	
14	0030	0.3	29	0118	0.6	14	0152	0.3	29	0200	0.6	14	0131	0.2	29	0120	0.5	
JU	0634	2.2	VI	0727	1.9	DO	0811	2.1	LU	0829	1.8	LU	0755	2.2	MA	0750	1.9	
	1243	0.3		1323	0.7		1414	0.6		1417	0.9		1358	0.6		1342	0.8	
	1903	2.4		1941	2.0		2022	2.3		2022	1.9		2000	2.2		1943	1.9	
15	0120	0.4	30	0200	0.7	15	0249	0.4				15	0226	0.3	30	0201	0.6	
VI	0728	2.1	SA	0816	1.8	LU	0915	2.1				MA	0855	2.2	MI	0834	1.9	
	1335	0.4		1408	0.8	●	1517	0.7					1500	0.7		1428	0.9	
	1953	2.3		2023	1.9		2122	2.1				●	2059	2.1		2029	1.9	
			31	0246	0.8										31	0249	0.7	
			DO	0909	1.7										JU	0926	1.9	
			●	1458	1.0											1523	0.9	
				2109	1.8										●	2124	1.8	

HUSO HORARIO + 5

JULIO						AGOSTO						SEPTIEMBRE					
DIA	HORA	ALT.	DIA	HORA	ALT.	DIA	HORA	ALT.	DIA	HORA	ALT.	DIA	HORA	ALT.	DIA	HORA	ALT.
	H.M.	MFS.		H.M.	MFS.		H.M.	MFS.		H.M.	MFS.		H.M.	MFS.		H.M.	MFS.
1	0048	2.2	16	0127	1.9	1	0220	2.4	16	0203	2.1	1	0334	2.5	16	0257	2.4
VI	0650	0.6	SA	0730	0.9	LU	0831	0.4	MA	0814	0.6	JU	0949	0.3	VI	0914	0.3
	1255	2.3		1320	1.9		1431	2.3		1410	2.1	●	1552	2.3	○	1519	2.3
	1921	0.3		1944	0.6		2046	0.1		2024	0.4		2158	0.2		2127	0.2
2	0145	2.3	17	0204	2.0	2	0309	2.5	17	0242	2.3	2	0416	2.5	17	0341	2.5
SA	0750	0.5	DO	0808	0.8	MA	0921	0.3	MI	0854	0.5	VI	1032	0.2	SA	0958	0.1
	1352	2.4		1401	2.0	●	1521	2.4		1453	2.2		1636	2.3		1605	2.4
	2014	0.1		2020	0.4		2134	0.1		2106	0.3		2240	0.2		2212	0.2
3	0237	2.4	18	0238	2.1	3	0355	2.6	18	0323	2.4	3	0457	2.4	18	0425	2.6
DO	0844	0.4	LU	0845	0.6	MI	1008	0.3	JU	0936	0.3	SA	1134	0.3	DO	1043	0.1
	1445	2.4		1440	2.1		1608	2.4		1537	2.3		1720	2.2		1653	2.4
	2104	0.0		2055	0.3		2219	0.1	○	2148	0.2		2322	0.3		2258	0.2
4	0326	2.5	19	0314	2.2	4	0440	2.6	19	0405	2.4	4	0536	2.4	19	0509	2.6
LU	0935	0.3	MA	0921	0.5	JU	1053	0.2	VI	1018	0.2	DO	1154	0.3	LU	1128	0.0
●	1536	2.4	○	1518	2.2		1654	2.3		1621	2.3		1804	2.1		1741	2.4
	2152	0.0		2132	0.2		2303	0.1		2231	0.1					2345	0.2
5	0414	2.6	20	0351	2.3	5	0523	2.5	20	0447	2.5	5	0602	0.5	20	0554	2.5
MA	1024	0.2	MI	0959	0.4	VI	1137	0.3	SA	1103	0.2	LU	0614	2.2	MA	1215	0.1
	1624	2.4		1558	2.2		1740	2.2		1707	2.3		1233	0.4		1832	2.3
	2238	0.0		2211	0.2		2345	0.5		2315	0.2		1846	2.0			
6	0501	2.6	21	0430	2.4	6	0605	2.4	21	0531	2.5	6	0643	0.6	21	0635	0.4
MI	1112	0.3	JU	1059	0.3	SA	1221	0.4	DO	1148	0.1	MA	0652	2.1	MI	0640	2.4
	1711	2.4		1639	2.3		1825	2.1		1756	2.3		1311	0.5		1303	0.1
	2324	0.1		2251	0.2								1935	1.9		1925	2.3
7	0547	2.5	22	0510	2.4	7	0628	0.4	22	0602	0.3	7	0724	0.8	22	0728	0.5
JU	1159	0.3	VI	1122	0.3	DO	0646	2.3	LU	0615	2.5	MI	0730	2.0	JU	0730	2.3
	1758	2.3		1723	2.2		1303	0.5		1235	0.2		1350	0.6		1355	0.3
				2334	0.2		1913	2.0		1847	2.2		2019	1.9		2022	2.2
8	0609	0.2	23	0553	2.4	8	0727	2.1	23	0651	0.4	8	0808	0.9	23	0827	0.6
VI	0632	2.4	SA	1207	0.3	LU	0727	2.1	MA	0702	2.4	JU	0811	1.9	VI	0827	2.1
	1245	0.4		1810	2.2		1347	0.6		1324	0.3		1433	0.7		1453	0.4
	1846	2.1					2002	1.9		1941	2.2		2108	1.8	●	2126	2.1
9	0654	0.4	24	0619	0.3	9	0757	0.8	24	0744	0.5	9	0857	1.0	24	0833	0.7
SA	0716	2.3	DO	0638	2.4	MA	0809	2.0	MI	0752	2.3	VI	0857	1.8	SA	0951	2.0
	1333	0.5		1254	0.3		1434	0.7		1417	0.3		1521	0.8		1600	0.5
	1936	2.0		1901	2.1		2056	1.8	●	2041	2.1	●	2202	1.8		2235	2.1
10	0741	0.6	25	0708	0.4	10	0848	0.9	25	0843	0.6	10	0953	1.1	25	0947	0.8
DO	0802	2.1	LU	0725	2.3	MI	0856	1.9	JU	0848	2.2	SA	0950	1.8	DO	1044	2.0
	1422	0.6		1345	0.4		1526	0.8		1517	0.4		1617	0.8		1711	0.5
	2030	1.9		1957	2.1	●	2156	1.7		2147	2.1		2258	1.8		2344	2.2
11	0821	0.7	26	0802	0.5	11	0946	1.0	26	0930	0.8	11	1057	1.0	26	1052	0.7
LU	0850	2.0	MA	0817	2.3	JU	0948	1.8	VI	0952	2.1	DO	1050	1.8	LU	1159	2.0
●	1518	0.8		1440	0.4		1626	0.8		1624	0.5		1717	0.8		1817	0.5
	2130	1.8	●	2059	2.1		2300	1.8		2259	2.1		2352	1.9			
12	0929	0.9	27	0902	0.7	12	1045	1.1	27	1045	0.8	12	1155	1.8	27	1155	1.8
MA	0943	1.9	MI	0914	2.2	VI	1045	1.8	SA	1104	2.1	LU	1155	1.8	MA	0705	0.6
	1623	0.8		1542	0.5		1725	0.8		1735	0.5		1814	0.7		1305	2.1
	2241	1.7		2208	2.0		2357	1.8								1915	0.4
13	0436	1.0	28	0409	0.7	13	0557	1.0	28	0508	2.2	13	0642	2.0	28	0639	2.3
MI	1042	1.8	JU	1018	2.1	SA	1143	1.8	DO	0619	0.7	MA	0655	0.8	MI	0758	0.5
	1729	0.8		1650	0.5		1816	0.7		1217	2.1		1251	1.9		1401	2.1
	2350	1.8		2321	2.1					1839	0.4		1906	0.6		2006	0.4
14	0546	1.0	29	0523	0.8	14	0643	1.9	29	0608	2.3	14	0728	2.1	29	0726	2.4
JU	1142	1.8	VI	1127	2.1	DO	0649	0.9	LU	0722	0.6	MI	0744	0.6	JU	0845	0.4
	1823	0.8		1758	0.4		1237	1.9		1321	2.1		1344	2.0		1449	2.2
							1901	0.6		1936	0.3		1955	0.4		2053	0.3
15	0645	1.8	30	0629	2.2	15	0724	2.0	30	0701	2.4	15	0823	2.3	30	0810	2.4
VI	0644	1.0	SA	0634	0.7	LU	0733	0.8	MA	0816	0.5	JU	0829	0.5	VI	0929	0.3
	1235	1.9		1234	2.2		1325	1.9		1417	2.2		1432	2.2		1534	2.2
	1906	0.7		1900	0.3		1943	0.5		2027	0.2		2042	0.3	●	2137	0.3
			31	0127	2.3				31	0249	2.5						
			DO	0736	0.6				MI	0904	0.4						
				1356	2.2					1506	2.3						
				1955	0.2					2114	0.2						

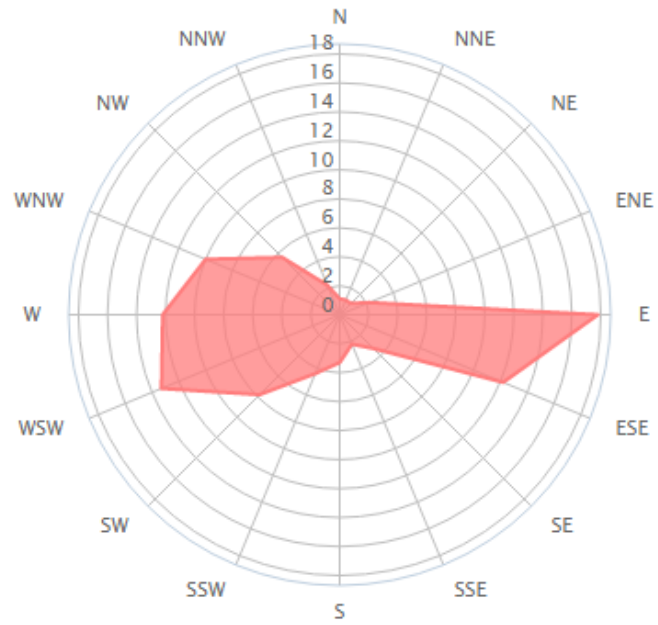
HUSO HORARIO + 5

OCTUBRE						NOVIEMBRE						DICIEMBRE					
DIA	HORA	ALT.	DIA	HORA	ALT.	DIA	HORA	ALT.	DIA	HORA	ALT.	DIA	HORA	ALT.	DIA	HORA	ALT.
	H.M.	MTS.		H.M.	MTS.		H.M.	MTS.		H.M.	MTS.		H.M.	MTS.		H.M.	MTS.
1	0351	2.4	16	0318	2.5	1	0438	2.2	16	0429	2.5	1	0441	2.1	16	0502	2.4
SA	1010	0.3	DO	0958	0.1	MA	1056	0.3	MI	1049	-0.1	JU	1056	0.3	VI	1119	0.0
	1618	2.2		1549	2.4		1714	2.2		1710	2.5		1718	2.2		1742	2.6
	2219	0.4		2154	0.2		2311	0.5		2316	0.2		2318	0.5		2352	0.3
2	0430	2.4	17	0403	2.6	2	0512	2.2	17	0517	2.5	2	0515	2.1	17	0551	2.3
DO	1049	0.3	LU	1023	0.0	MI	1129	0.3	JU	1136	0.0	VI	1129	0.3	SA	1206	0.1
	1700	2.2		1637	2.5		1751	2.1		1800	2.5		1752	2.2		1831	2.5
	2258	0.4		2242	0.2		2347	0.6					2353	0.5			
3	0507	2.3	18	0448	2.6	3	0545	2.1	18	0007	0.3	3	0550	2.1	18	0043	0.4
LU	1126	0.5	MA	1108	-0.1	JU	1201	0.3	VI	0605	2.4	SA	1203	0.3	DO	0641	2.2
	1741	2.1		1726	2.5		1826	2.1		1225	0.1		1828	2.1		1355	0.2
	2337	0.5		2330	0.2					1851	2.4					1920	2.4
4	0543	2.2	19	0534	2.5	4	0022	0.6	19	0059	0.4	4	0031	0.6	19	0135	0.5
MA	1201	0.3	MI	1155	0.0	VI	0620	2.0	SA	0657	2.2	DO	0628	2.0	LU	0734	2.1
	1821	2.1		1816	2.4		1234	0.4		1315	0.2		1241	0.4		1346	0.4
							1903	2.0		1943	2.3		1908	2.1		2010	2.3
5	0015	0.6	20	0020	0.3	5	0100	0.7	20	0155	0.5	5	0113	0.6	20	0229	0.6
MI	0618	2.1	JU	0621	2.4	SA	0657	2.0	DO	0752	2.1	LU	0712	2.0	MA	0831	2.0
	1235	0.4		1243	0.1		1311	0.5		1410	0.4		1324	0.5		1441	0.6
	1901	2.0		1908	2.4		1942	2.0		2038	2.2		1952	2.1	☉	2104	2.1
6	0053	0.7	21	0114	0.5	6	0141	0.8	21	0254	0.7	6	0201	0.7	21	0330	0.7
JU	0653	2.0	VI	0712	2.3	DO	0739	1.9	LU	0852	2.0	MA	0803	1.9	MI	0935	1.9
	1310	0.5		1334	0.2		1353	0.6	☉	1510	0.5		1415	0.6		1542	0.8
	1940	1.9		2003	2.3		2026	2.0	☾	2138	2.2		2044	2.1		2203	2.0
7	0132	0.8	22	0212	0.6	7	0228	0.8	22	0401	0.7	7	0257	0.7	22	0439	0.8
VI	0731	1.9	SA	0809	2.1	LU	0829	1.9	MA	1000	1.9	MI	0904	1.9	JU	1048	1.8
	1348	0.6	☉	1452	0.4		1445	0.7		1615	0.7		1514	0.7		1651	0.9
	2022	1.9		2103	2.2	☉	2118	2.0		2241	2.1	☉	2143	2.1		2306	2.0
8	0215	0.9	23	0315	0.7	8	0325	0.9	23	0513	0.8	8	0402	0.7	23	0548	0.7
SA	0813	1.8	DO	0912	2.0	MA	0929	1.8	MI	1115	1.9	JU	1015	1.9	VI	1202	1.8
☉	1431	0.7		1536	0.5		1544	0.7		1723	0.7		1621	0.7		1800	0.9
	2109	1.9		2208	2.2		2219	2.0		2345	2.1		2246	2.1			
9	0304	1.0	24	0427	0.8	9	0433	0.8	24	0619	0.7	9	0513	0.6	24	0008	2.0
DO	0903	1.8	LU	1023	1.9	MI	1040	1.8	JU	1226	1.9	VI	1131	2.0	SA	0645	0.7
	1523	0.7		1645	0.6		1652	0.7		1827	0.8		1732	0.7		1302	1.9
	2203	1.9		2315	2.2		2323	2.1					2349	2.2		1901	0.9
10	0404	1.0	25	0540	0.7	10	0545	0.7	25	0043	2.1	10	0618	0.5	25	0102	2.0
LU	1004	1.8	MA	1139	1.9	JU	1155	1.9	VI	0714	0.6	SA	1238	2.1	DO	0731	0.6
	1624	0.8		1752	0.6		1801	0.7		1325	2.0		1838	0.6		1350	2.0
	2302	1.9								1924	0.7					1951	0.8
11	0512	0.9	26	0018	2.2	11	0022	2.2	26	0134	2.1	11	0048	2.3	26	0148	2.0
MA	1112	1.8	MI	0644	0.7	VI	0647	0.6	SA	0800	0.5	DO	0715	0.3	LU	0811	0.5
	1730	0.7		1247	2.0		1259	2.1		1413	2.0		1336	2.2		1429	2.1
				1852	0.6		1902	0.6		2013	0.7		1938	0.5		2031	0.7
12	0001	2.0	27	0113	2.2	12	0117	2.3	27	0218	2.1	12	0143	2.4	27	0227	2.1
MI	0619	0.8	JU	0738	0.6	SA	0741	0.4	DO	0841	0.4	LU	0807	0.2	MA	0846	0.4
	1221	1.9		1343	2.0		1354	2.2		1456	2.1		1427	2.4		1504	2.1
	1832	0.6		1945	0.6		1958	0.4		2056	0.6		2032	0.4		2107	0.6
13	0055	2.1	28	0201	2.3	13	0207	2.4	28	0258	2.2	13	0235	2.4	28	0302	2.1
JU	0715	0.6	VI	0824	0.4	DO	0830	0.2	LU	0918	0.4	MA	0856	0.0	MI	0919	0.3
	1321	2.0		1432	2.1		1445	2.4		1534	2.1		1517	2.5		1537	2.2
	1928	0.5		2053	0.5		2049	0.3		2134	0.6	☉	2123	0.3		2141	0.6
14	0145	2.3	29	0245	2.3	14	0255	2.5	29	0333	2.2	14	0325	2.5	29	0337	2.1
VI	0805	0.4	SA	0906	0.4	LU	0917	0.0	MA	0952	0.3	MI	0944	-0.1	JU	0952	0.3
	1413	2.2		1516	2.1	☉	1533	2.5	☉	1609	2.2		1605	2.6		1611	2.2
	2019	0.4		2117	0.5		2138	0.2		2209	0.5		2213	0.2	☉	2215	0.5
15	0232	2.4	30	0325	2.3	15	0342	2.6	30	0407	2.2	15	0413	2.5	30	0411	2.1
SA	0852	0.2	DO	0945	0.3	MA	1003	-0.1	MI	1024	0.3	JU	1031	-0.1	VI	1025	0.2
☉	1502	2.3	☉	1558	2.2		1621	2.5		1644	2.2		1654	2.6		1645	2.3
	2107	0.5		2157	0.5		2226	0.2		2243	0.5		2302	0.2		2249	0.4
			31	0403	2.3										31	0447	2.2
			LU	1021	0.3										SA	1100	0.2
				1637	2.2											1720	2.3
				2235	0.5											2327	0.4

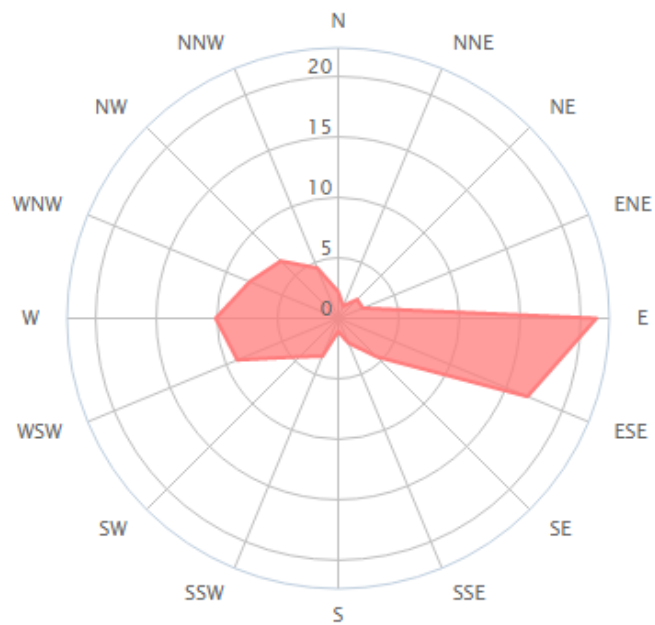
HUSO HORARIO + 5

ANEXO 5. VIENTO
(ENERO - DICIEMBRE 2015)

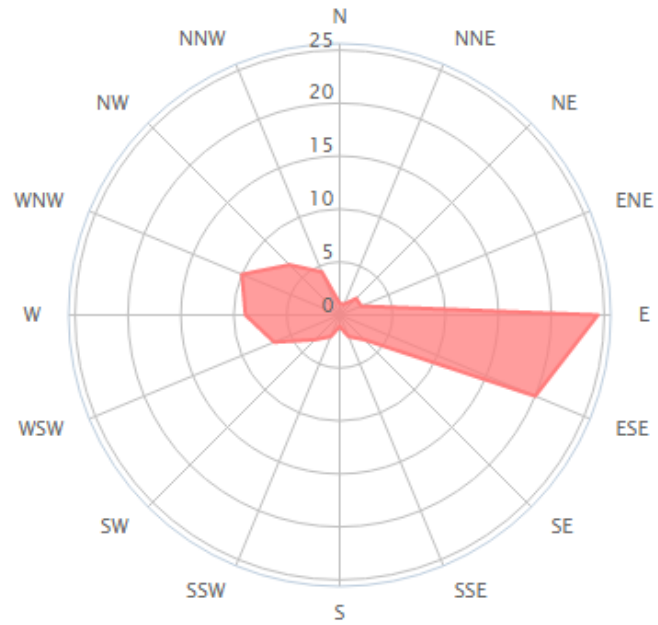
ENERO



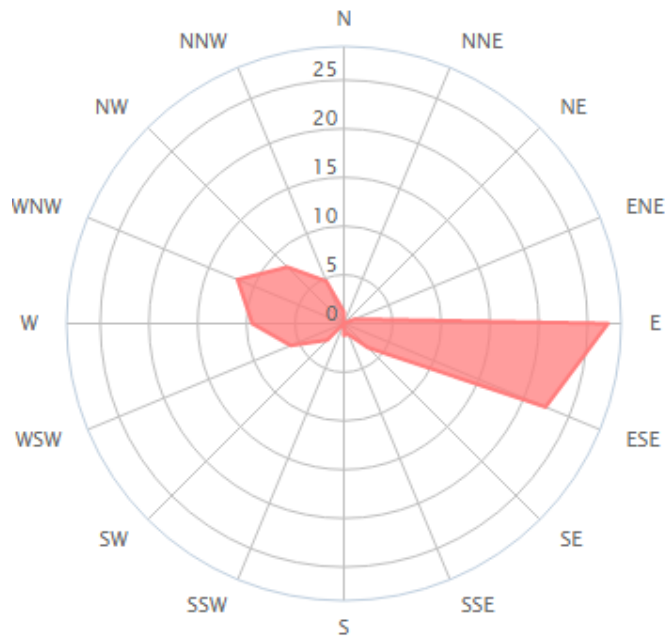
FEBRERO



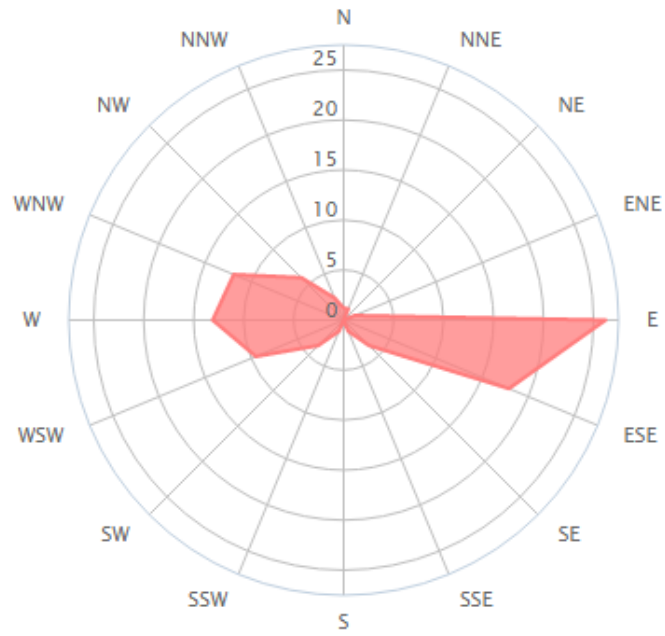
MARZO



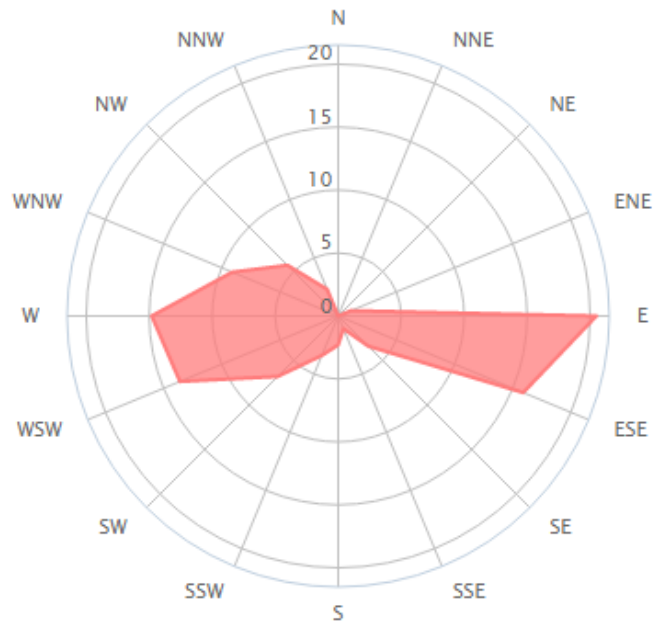
ABRIL



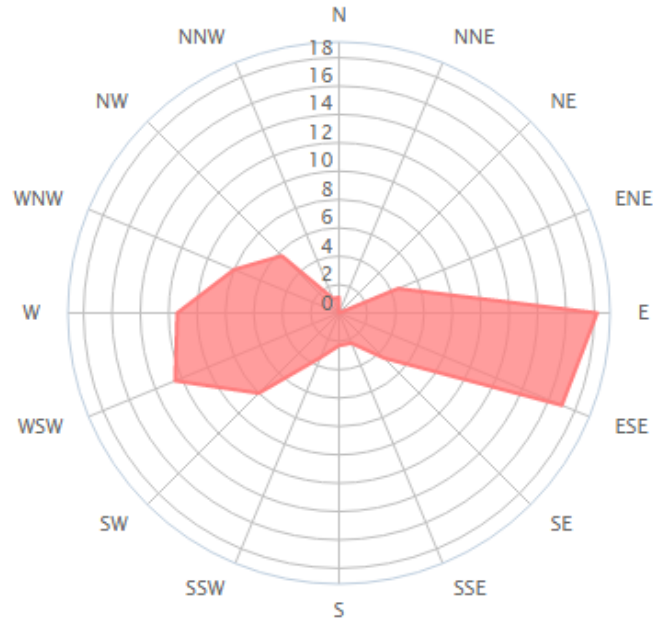
MAYO



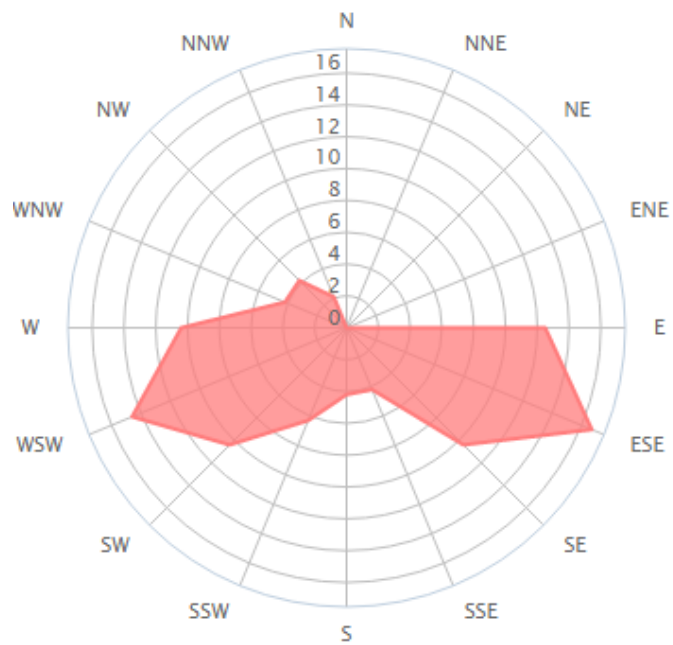
JUNIO



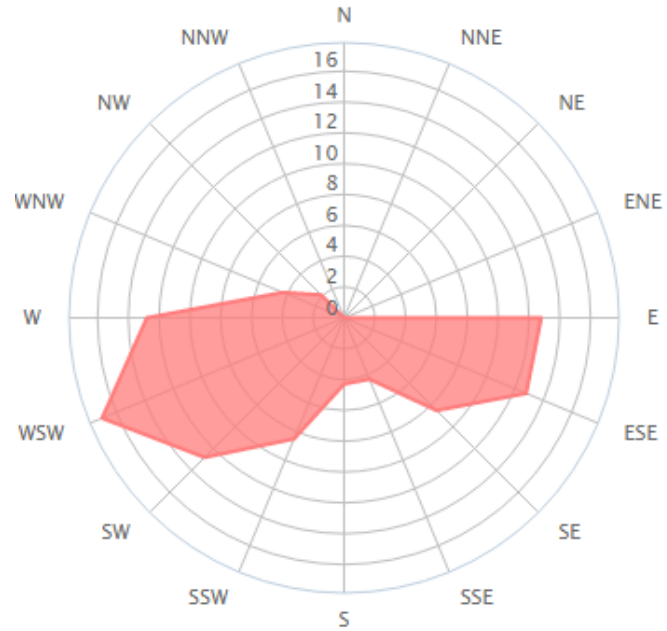
JULIO



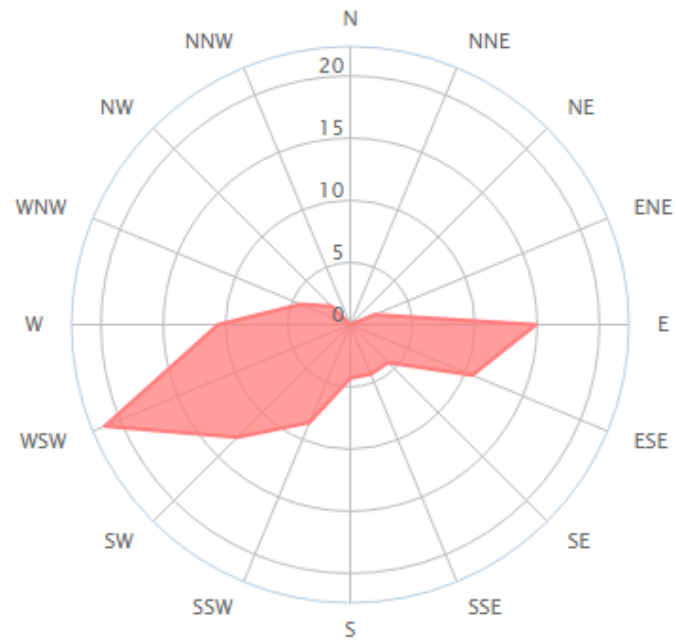
AGOSTO



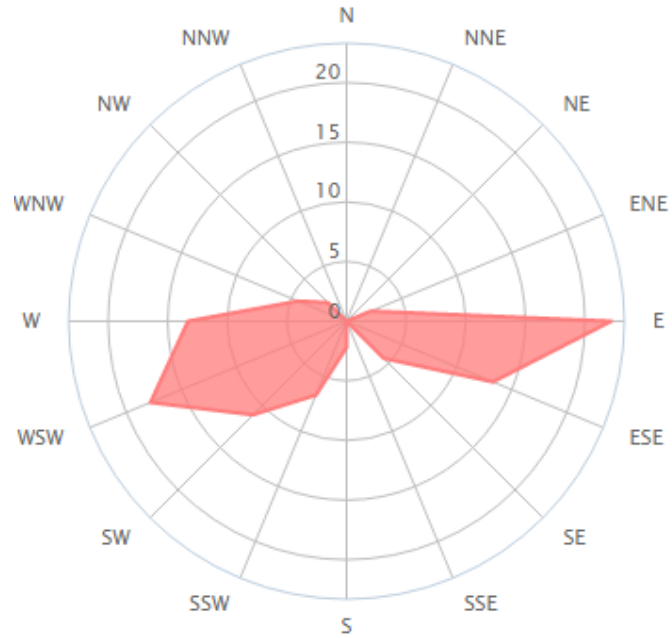
SEPTIEMBRE



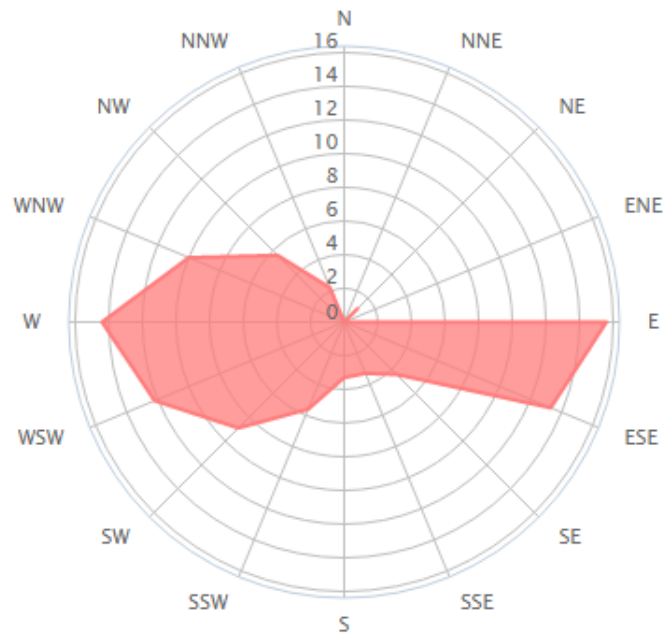
OCTUBRE



NOVIEMBRE



DICIEMBRE



BIBLIOGRAFIA

1. **Baumgartner, D.J; Frick, W.E.; Roberts, P.J.W. (1994).** “Dilution Models for Effluent Discharges”. Third Edition (Manual PLUMES). United States Environmental Protection Agency (EPA).
2. **Baumgartner, D.J; Frick, W.E.; Roberts, P.J.W. (1994).** “Dilution Models for Effluent Discharges.Third Edition (Manual PLUMES)”. United States Environmental Protection Agency (EPA).
3. **Bleninger, T. (2006).** Coupled 3D hydrodynamic models for submarine outfalls: Environmental hydraulic design and control of multiport diffusers. Doctoral thesis. Karlsruhe, 219 pp.
4. **Bleninger, T., Jirka, G.H. (2004).** Near- and far-field model coupling methodology for wastewater discharges. Proc., 4th Intl. Symp. on Environmental Hydraulics and 14th Congress of Asia and Pacific Division, International Association of Hydraulic Engineering and Research, Eds. Lee J.H.W., Lam K.L., Hong Kong, China.
5. **Cameron, W. M. and D. W. Pritchard, (1963).** “Estuaries, in The Sea: Ideas and Observations on Progress in the Study of the Seas”, edited by M. N. Hill, volume 2: The Composition of Sea-Water, Comparative and Descriptive Oceanography, pp. 306–324, New York, Wiley-Interscience
6. **CETESB. (2007).** Submarine outfall: project, environmental impact evaluation and monitoring. São Paulo.

7. **Chang José, (2009).** “Definiciones”. Procesos Estuarinos. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Facultad de Ingeniería Marítima, Ciencias Biológicas, Oceánicas y Recursos Naturales
8. **CONAMA. (2005). Environmental National Council. Resolution nº357. Available in:**
<<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>.
Accessed on july/2016.
9. **CONAMA. (2011). Environmental National Council. Resolution nº430. Available in:**
<<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>.
Accessed on july/2016.
10. **Doneker, R.L., Jirka, G.H. (2007).** A hydrodynamic mixing zone model and decision support system for pollutant discharges into surface Waters. CORMIX User Manual. EPA-823-K-07-001.
11. **Frick, W.E; Roberts, P.J.W; Davis, L.R; Keyes, J; Baumgartners, D.J; George, G.P. (2001).** “VISUAL PLUMES MANUAL: “Dilution Models for Effluent Discharges, 4th Edition (Visual Plumes)”.Environmental Research Division, NERL, ORD. U.S. Environmental Protection Agency.
12. **Frick, W.E. (2004).** “Visual Plumes mixing zone modelling software”. Environmental & Modelling Software, volume 19, pp 645-654. ELSEVIER.

13. **GADPR Manglaralto, (2015).** Plan De Desarrollo Y Ordenamiento Territorial 2014 – 2019. Gobierno Autónomo Y Descentralizado Parroquial Rural de Manglaralto.
14. **Gonçalves, F.B., Souza, A.P. (1997).** Ocean disposal of sewage. History, Theory and Practice, 87-223 pp.
15. **Hazen and Sawyer. (1998).** “Mediciones oceanograficas y hidrodinamicas disenado detallado”. Memorando técnico, report for the World Bank.
16. **IBGE. Geographic atlas of the coastal and oceanic zones. Available in:** <<http://saladeimprensa.ibge.gov.br/>
17. **Kottek, M., J. Grieser, C. Beck, B. Rudolf and F. Rubel, (2006).** World Map of Köppen y Geiger Climate Classification. Meteorol. Z., 15, 259 – 263.
18. **Lorin R.Davis (1999).** “Fundamentals of Environmental Discharge Modeling”, CRC Mechanical Engineering Series, Series Editor, University of Colorado.
19. **Muellenhoff, W.P; Soldate, A.M; Baumgartner,D.J; Schuldt, M.D; David, L.R. y Frick, W.E. (1985).** “Initial Mixing Characteristics of Municipal Discharges”. vol. I, EPA-60/3-85-073a, U. S. Environmental Protection Agency, Newport, Oregon, 1–42.
20. **Muellenhoff, W.P., A.M. Soldate, Jr., D.J. Baumgartner, M.D. Schuldt, L.R. Davis, and W.E. Frick. (1985).** “Initial mixing

characteristics of municipal ocean outfall discharges: Volume 1.

Procedures". Oregon and Applications. EPA/600/3-85/073a.

21. **Roberts, P.J.W; Snyder, W.H; Baumgartner, D.J. (1989).** "Ocean outfalls II: Spatial Evolution of Submerged Wastefield". Journal of Hydraulic Engineering, volume 115, No 1.
22. **Roberts, P.J.W; Snyder, W.H; Baumgartner, D.J. "Ocean outfalls III: Effect of diffuser design on submerged wastefield" (1989).** Journal of Hydraulic Engineering, volume 115, No 1.
23. **Roberts, P.J.W; Tian, X. (2004).** "New experimental techniques for validation of marine discharges models". Environmental Modelling & Software, volume 19.
24. **Roberts, P.J.W. (2005).** Modeling of wind effects on bacterial transport for the Cartagena ocean outfall. Report for the World Bank, Atlanta.
25. **Roberts, P.J.W., Carvalho, J.L. (2000).** Modeling of ocean outfall for Cartagena, Colombia. Report for the World Bank. Roberts, P.J.W., Villegas. (2006). Three-Dimensional modeling of bacterial transport for the Cartagena ocean outfall.
26. **Roberts, P.J.W, Salas, J.H., Reiff, F.M., Libhaber, M., Labbe, A., Thomson, J.C. (2010).** Marine wastewater outfalls and treatment systems. IWA Publishing, 1.ed., London.