

Proyecto Fin de Máster

Máster de Ingeniería Ambiental



Renaturalización del río Choluteca a su paso por Tegucigalpa

Autor: Daniel Flores Hinojosa
Tutor: Julián Lebrato Martínez

Dep. Ingeniería Química y Ambiental
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2017



Proyecto Fin de Máster
Máster Ing. Ambiental

Renaturalización del río Choluteca a su paso por Tegucigalpa

Autor:

Daniel Flores Hinojosa

Tutor:

Julián Lebrato Martínez

Profesor titular

Dep. Ingeniería Química y Ambiental
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2017

Proyecto Fin de Carrera: Renaturalización del río Choluteca a su paso por Tegucigalpa

Autor: Daniel Flores Hinojosa

Tutor: Julián Lebrato Martínez

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2017

El Secretario del Tribunal

Dedicado:

A mi familia

A mi pareja

A mis amigos

Agradecimientos

Quiero dar mi agradecimiento, a todas aquellas personas que me han ayudado en el camino de la elaboración de este proyecto. En particular a mi familia, por su apoyo en los duros momentos y a mi pareja por su inestimable cariño, ayuda y comprensión. Sin olvidar a mi tutor Julian Lebrato y a los compañeros del “Plan Maestro del Casco Historico de Tegucigalpa” por brindarme una magnifica experiencia formativa, profesional y personal.

Muchas gracias.

Daniel Flores Hinojosa

Sevilla, 2017

Resumen

El río Choluteca a la altura de Tegucigalpa se encuentra en una situación de deterioro ambiental, con una ribera deforestada y una elevada contaminación de sus aguas.

En este proyecto, se presenta el diseño de una serie de actuaciones encaminadas a la recuperación ambiental de un tramo piloto del río. Para que posteriormente, puedan ser extensibles al resto del río para su restauración.

Esto se realizará mediante la renaturalización de su ribera y la mejora de la autodepuración del río. De modo, que se pueda mejorar la calidad del agua del río, y se recupere la ribera del río, creando un entorno urbano de mayor valor ambiental y paisajístico.

Abstract

The Choluteca river on Tegucigalpa is in a situation of environmental deterioration, with a deforested riverbank and a high contamination of its waters.

In this project, the design of a series of actions aimed at the environmental recovery of a pilot section of the river is presented. That later they can be extended to the rest of the river for its restoration.

This will be done by renaturalizing its banks and improving the river's self-purification. So that the water quality of the river can be improved, and the banks of the river can be recovered, creating an urban environment of greater environmental and landscape value.

Agradecimientos	i
Resumen	iii
Abstract	v
Índice	vii
Índice de Tablas	ix
Índice de Figuras	xi
Notación	xiii
Glosario	xiv
1 Introducción	1
<i>Objetivos</i>	3
2 Antecedentes	5
<i>Medio Abiótico</i>	5
<i>Medio Biótico</i>	7
<i>Medio Antrópico</i>	8
3 Diagnostico Ambiental del río Choluteca	9
<i>Calidad de las aguas</i>	9
<i>Degradación de la ribera</i>	10
<i>Calidad hidromorfológica del río Choluteca</i>	11
4 Propuesta de Solución	13
5 Memoria Descriptiva	15
5.1. <i>Delimitación de la zona de actuación</i>	15
5.2. <i>Mejora de la autodepuración</i>	19
Sistemas de Aireación pasiva	19
5.3. <i>Revegetación de la ribera</i>	25
Caracterización del bosque de galería	25
Delimitación de la franja riparia	26
Selección de especies	26
Obtención de los juveniles	27
Programa de revegetación	27
Programa de reintroducción de fauna	34
Usos de la ribera	34
5.4. <i>Mejora de la morfología hídrica</i>	35
Estabilización de Taludes	35
Dragados	37
6 Impacto Ambiental	39
7 Programa de Control y Seguimiento Ambiental	41

8 Memoria de Calculo	43
<i>Delimitación de la franja riparia</i>	43
<i>Calculo enmienda orgánica</i>	45
<i>Calculo número ejemplares para la revegetación</i>	47
<i>Calculo de plantas por especie</i>	50
<i>Calculo humedales flotantes y número de plantas flotantes</i>	52
<i>Estimación de la capacidad autodepuradora del río Choluteca</i>	53
<i>Estabilización de taludes: extensión geomalla y coberturas vegetales</i>	54
9 Mediciones y Presupuestos	55
10 Conclusiones	59
11 Referencias	61
Anexos	63
<i>Anexo A: Planos</i>	65
<i>Anexo B: Análisis de la calidad de las aguas del río Choluteca (2005/06)</i>	69
<i>Anexo C: Norma de calidad para descarga de aguas residuales en cuerpos receptores (Honduras)</i>	73
<i>Anexo D: Métodos analíticos de referencia en análisis de aguas (Honduras)</i>	75
<i>Anexo E: Selección plantas revegetación</i>	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clima de Tegucigalpa	5
Tabla 2. Contaminantes medidos en puntos de vertido	9
Tabla 3. Dimensiones de los tramos propuestos del río Choluteca	18
Tabla 4. Distribución especies del estrato acuático	29
Tabla 5. Distribución especies del estrato herbáceo	30
Tabla 6. Distribución herbáceas del estrato mixto	31
Tabla 7. Distribución arbustos del estrato mixto	31
Tabla 8. Distribución arboles del estrato arbóreo	32
Tabla 9. Distribución herbácea del estrato arbóreo	33
Tabla 10. Distribución arbustos del estrato arbóreo	33
Tabla 11. Líneas de ruptura del cauce intervenido	44
Tabla 12. Delimitación ancho franja riparia	44
Tabla 13. Calculo de compost	45
Tabla 14. Calculo de plantas por tramo del río	47
Tabla 15. Calculo de plantas por estrato florístico	49
Tabla 16. Calculo de plantas por especie	50
Tabla 17. Presupuestos de las actuaciones	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Climograma Tegucigalpa	6
Figura 2. Mapa Multiamenaza del Distrito Central	6
Figura 3. Zopilotes negros en las riberas del río Choluteca (Año 2017)	7
Figura 4. Orillas del río Choluteca deforestadas a la altura de Tegucigalpa (Año 2017)	7
Figura 5. Vertido de aguas negras en los mercados de la 1ª Avenida de Comayagüela (Año 2017)	10
Figura 6. Terrenos de la ribera aledañas al río Choluteca	10
Figura 7. Esquema evolución del cauce del río Choluteca	11
Figura 8. Río Choluteca, tramo no deforestado (Tegucigalpa)	13
Figura 9. Extensión del río Choluteca a su paso por Tegucigalpa MDC	15
Figura 10. Delimitación del área de actuación	15
Figura 11. Mapa Curvas de Nivel del tramo de actuación	16
Figura 12. Malla 3D del contorno del área de actuación	17
Figura 13. Perfil de pendiente del cauce del tramo de actuación	17
Figura 14. Tramos actuación río Choluteca	18
Figura 15. Plantas acuáticas de ribera (Enea) y Humedales Flotantes	20
Figura 16. Dimensionado de un humedal flotante	20
Figura 17. Área Humedales flotantes en el tramo actuación	21
Figura 18. Perfil pendiente de los Humedales Flotantes en la zona de actuación	21
Figura 19. Matriz humedales flotantes, vista de planta.	22
Figura 20. Rápido	23
Figura 21. Zona de rápidos en el tramo de intervención	23
Figura 22. Perfil de pendiente de los rápidos en la zona de intervención	23
Figura 23. Estructura esquemática del bosque de galería seco propuesto	25
Figura 24. Esquema de compostaje por aireación pasiva forzada	28
Figura 25. Matriz reforestado del estrato acuático	29
Figura 26. Matriz reforestado del estrato herbáceo	30
Figura 27. Matriz reforestado del estrato mixto	31
Figura 28. Matriz reforestado del estrato arbóreo	32
Figura 29. Cobertura de taludes con herbáceas	35
Figura 30. Zonas intervención refuerzo de taludes. Talud 1 en rojo y Talud 2 en azul	36
Figura 31. Pendiente talud 1.	36
Figura 32. Pendiente talud 2.	36
Figura 33. Tareas de dragado en el río Choluteca	37
Figura 34. Puntos de análisis propuestos	42

Notación

AMDC	Ayuntamiento del Municipio del Distrito Central
DBO	Demanda biológica de oxígeno
FTW	Humedales de tratamiento flotante con macrófitas emergentes
FR	Franja riparia
H-e.	Habitante equivalente
ICF	Instituto de Conservación Forestal de Honduras
OD	Oxígeno disuelto
PTAR	Planta tratamiento aguas residuales
SANAA	Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados, empresa pública de gestión integral del agua
ρ	Simbolo densidad

Glosario

Aguas Residuales Urbanas (ARU): Las aguas residuales domésticas o la mezcla de éstas con aguas residuales industriales o con aguas de escorrentía pluvial.

Alóctono (especie): especie introducida no originaria de la región.

Autóctono (especie): especie que pertenece a la región.

Autodepuración (fluvial): es la capacidad natural de resiliencia de un curso de agua, frente a un proceso de contaminación, de recuperación de las condiciones fisicoquímicas y biológicas previas al vertido. Los contaminantes son diluidos en la masa de agua y transformados progresivamente mediante descomposiciones bioquímicas a otras formas más estables, generalmente menos contaminante.

Bosque de ribera: son aquellas formaciones vegetales arbóreas situadas entorno a los márgenes del curso de un río.

Compostaje por aireación pasiva forzada: técnica que consiste en el compostaje en una pila estática, mediante la entrada de aire por succión, debido a la convención generada dentro de la pila.

Dominio Público Hidráulico (Honduras): El curso natural de una corriente se extiende hasta la línea de ribera que corresponde al lecho o punto más alto que alcanzan las aguas en sus máximas crecidas ordinarias y señala el fin del dominio público.

Enmienda orgánica: sustancias añadidas al suelo para mejorar la calidad. En términos de estructura y composición, ajustando sus nutrientes, su pH ya sea para su acidez o basicidad.

Franja riparia: es la interfase desarrollada entre el río y la vegetación de ribera.

Geomalla: es una estructura plana en forma de red, fabricadas por el entrelazamiento de fibras sintéticas con un elevado módulo elástico, generalmente recubiertas por una capa protectora, también de material sintético (generalmente PVC o polietileno).

Habitante equivalente: La carga orgánica biodegradable con una demanda bioquímica de oxígeno de cinco días (DBO 5), de 60 gramos de oxígeno por día.

Lodos de depuradora: son residuos orgánicos producidos en la depuración de aguas en las estaciones depuradoras de aguas residuales, provenientes de la línea de fangos.

Naturalizada (especie): especie alóctona adaptada a la región, sin efectos invasivos.

Quebrada: termino con el que se define en Latinoamérica, a un arroyo o río de pequeño caudal.

Recalificación (ecología): consiste en la recuperación dentro de lo posible de un estado de degradación de un ecosistema.

Renaturalización: Proceso que busca restablecer el equilibrio roto por la acción antrópica en el entorno natural y hacerlo compatible con el desarrollo urbano.

Resiliencia (ecología): es la capacidad de los sistemas naturales de absorber perturbaciones, sin que estas alteren significativamente sus características de estructura y funcionalidad; pudiendo regresar a su estado original una vez que la perturbación ha terminado.

Restauración (ecosistemas): consiste en la recuperación de los ecosistemas de un estado de degradación a su estado original.

Restauración convencional (Revegetación): consiste en la revegetación sobre la que se actúa sobre la totalidad de un río o tramo fluvial.

Revegetación: consiste en la restauración de la cubierta vegetal de una zona donde sus formaciones vegetales originales están degradadas o alteradas.

Rizoma: tipo de tallo que crece de forma subterránea en de ciertas plantas, generalmente horizontalmente, que, por un lado, echa ramas aéreas verticales y por el otro raíces.

1 INTRODUCCIÓN

El activista no es quien dice que el río esta sucio.

El activista es quien limpia el río.

Ross Perot

El río Choluteca, también conocido como río Grande, se sitúa en la república centroamericana de Honduras. El río se extiende con una longitud de 250 km a través del país, atravesando los departamentos hondureños de Francisco Morazán, El Paraíso y Choluteca. Teniendo su cuenca hidrográfica un área de 7580 Km², desembocando en el golfo de Fonseca, en la vertiente pacífica hondureña.

La cuenca del río Choluteca, es de notoria importancia, ya que aproximadamente el 20% de la población de Honduras se encuentran situada entorno a la misma [1]. Suponiendo aproximadamente una población efectiva de 1,5 millones de habitantes, evidenciando la enorme importancia que este río supone para el abastecimiento de agua y la economía de Honduras.

Actualmente, la cuenca alta del río Choluteca y más concreto a su paso por la ciudad de Tegucigalpa, se encuentra en una grave situación de degradación ambiental. Debido, a la existencia de una ribera desnaturalizada que ha perdido sus funciones ecológicas e hidráulicas, y la elevada carga de contaminantes presente en sus aguas.

Para hacer frente a esta situación, a nivel local en la ciudad de Tegucigalpa se han desarrollado propuestas mediante proyectos, programas y planes estratégicos encaminados a revertir la degradación existente.

Como son programas de reforestación realizados en la ciudad y en el río, los dragados y obras de canalización en las quebradas de la ciudad y del cauce del río Choluteca, encaminados a dar más cabida al cauce y evitar inundaciones cuando se producen crecidas debido a las lluvias. Y las obras de construcción de canalizaciones de aguas residuales y las plantas depuradoras de aguas residuales (PTARs) desarrollados por el SANAA, encaminadas a reducir el impacto producido por las aguas residuales en el río.

Hay que recalcar también la existencia de propuestas de planes estratégicos desarrollados por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) en su Iniciativa de Ciudades Emergentes y Sostenibles como son el “Eje Urbano Ambiental Choluteca (2014)”, el Proyecto Centro Histórico Abierto 2015 (CHA) y Plan Urbano Ambiental Río Choluteca 2016 [3, 4]. Los cuales, buscan realizar la recuperación urbanística y ambiental del río, además, de adaptar la ciudad de Tegucigalpa a los posibles cambios en la dinámica pluvial provocados por el cambio climático. Todos estas propuestas y proyectos no han sido fructíferos, no habiéndose producido ninguna mejora palpable en el río.

Ante esta situación, propongo en el presente proyecto, la renaturalización del cauce del río Choluteca a su paso por Tegucigalpa. Un proyecto, que permita mejorar la situación actual; mediante la realización de actuaciones de bajo impacto ambiental, elevada eficiencia energética y baja intensidad en carbono, encaminadas a la mejora de la autodepuración del río y la regeneración de la ribera.

El alcance del proyecto se circunscribirá al cauce principal del río Choluteca, a través de las poblaciones de Tegucigalpa y Comayagüela, ambas ciudades situadas a ambos márgenes de la ribera del río, conformando el municipio del distrito central de Honduras, la capital del país.

La metodología, consistirá en la elaboración de una propuesta piloto de actuación, que se detallaran y desarrollara en el proyecto. Para que, posteriormente puedan ser implementada y desarrolladas a nivel local. Además, de ser extensibles a otras áreas afectadas del río Choluteca.

Este proyecto está enmarcado en el Plan Maestro del Centro Histórico de Tegucigalpa, dirigido por el investigador Angel Gonzalez de la Universidad de Sevilla, encargado por el AMDC de Tegucigalpa, y financiado por la Agencia de Cooperación internacional para el Desarrollo, AECID, del Ministerio de Asuntos Exteriores de España.

En el que, el grupo TAR ha elaborado propuestas técnicas para la mejora ambiental de la ciudad y la recuperación del río Choluteca. En el cual, he participado en el proyecto como becario del FIUS, durante un periodo de 3 meses. Habiendo realizado una estancia de 15 días en la ciudad de Tegucigalpa, donde se desarrolló el trabajo de campo sobre el propio río Choluteca.

Objetivos

- Mejorar la capacidad natural de eliminación de contaminantes del río, mediante el incremento de la autodepuración del río
- Recuperar la fauna y flora del río Choluteca, para recuperar las funciones naturales del río
- Reducir la erosión hídrica fluvial y disminuir la necesidad de dragados
- Reducir la magnitud de las crecidas e inundaciones del río
- Estabilización de los taludes del río, mediante coberturas vegetales
- Mejora del paisaje del río y eliminación los malos olores producidos por la contaminación hídrica
- Permitir la creación y el desarrollo de un tejido económico entorno al río Choluteca

2 ANTECEDENTES

Medio Abiótico

La ciudad de Tegucigalpa, está formada por los municipios de Tegucigalpa y Comayagüela. Los cuales, conforman la capital de la República de Honduras, denominada legalmente como Tegucigalpa Municipio del Distrito Central o Tegucigalpa M.D.C.

La ciudad se encuentra situada en el valle de una cadena montañosa, su altitud oscila entre los 935 m en su zona más baja y los 1463 m en las zonas más altas, en las áreas suburbanas. La orografía de la ciudad se caracteriza por la existencia de suaves colinas, y un anillo de montañas que rodean la ciudad. El río Choluteca, cruza la ciudad de sur a norte, separando los términos municipales de Tegucigalpa en el margen oriental, y en el margen occidental a Comayagüela.

Tegucigalpa presenta una extensa red hidrológica, formadas por numerosas quebradas y ríos, que confluyen en el río Grande para formar el río Choluteca. Los afluentes principales del río Choluteca en Tegucigalpa son: por el margen izquierdo el río Guacerique, y por el margen derecho son los ríos Chiquito, Jacaleapa y San José.

El clima de Tegucigalpa, se clasifica como de sabana tropical (Aw). El cual, se caracteriza por la existencia de dos estaciones: una estación húmeda que comienza en mayo y finaliza en octubre con septiembre como el mes más lluvioso, y una estación seca que empieza en noviembre y termina en abril con febrero como el mes más seco. Teniendo unas precipitaciones que oscilan entre 900 a 1200 mm, con una precipitación media de 1002 mm. Las temperaturas son templadas con escasas variaciones térmicas, teniendo unas medias de temperatura de 22,3 °C, y con unas mínimas medias de 19,0 °C y máximas medias de 24,2 °C.

Tabla 1. Clima de Tegucigalpa. Fuente: Climate-data.org

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	20	21	22.5	23.8	24.2	23.1	22.8	23.1	23.1	22.4	20.9	20.2
Temperatura min. (°C)	14.1	14.4	15.4	17	18.3	18.1	17.9	17.9	18	17.6	16	15
Temperatura máx. (°C)	26	27.6	29.7	30.7	30.1	28.2	27.8	28.4	28.3	27.2	25.8	25.5
Temperatura media (°F)	68.0	69.8	72.5	74.8	75.6	73.6	73.0	73.6	73.6	72.3	69.6	68.4
Temperatura min. (°F)	57.4	57.9	59.7	62.6	64.9	64.6	64.2	64.2	64.4	63.7	60.8	59.0
Temperatura máx. (°F)	78.8	81.7	85.5	87.3	86.2	82.8	82.0	83.1	82.9	81.0	78.4	77.9
Precipitación (mm)	10	7	8	32	149	154	107	119	203	154	42	17

La marcada existencia de una época seca y una de lluvias, con una pluviometría muy dispar hace que el caudal del río suba bruscamente con las lluvias o baje hasta quedarse prácticamente seco en la época seca. Situación que se pronostica sea agravada con el cambio climático, y que condiciona en gran medida la concentración de contaminantes en el río Choluteca, al producirse una alta variabilidad del caudal.

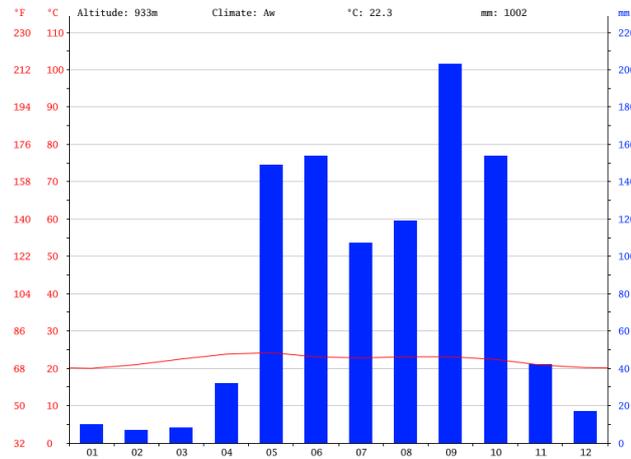


Figura 1. Climograma Tegucigalpa. Fuente:Climate-data.org

En cuanto a los riesgos naturales [2], Tegucigalpa se caracteriza por tener un gran elevado riesgo de inundaciones, habiéndose producido en el pasado siglo graves eventos de inundaciones (1907, 1936, 1954 y 1974) y numerosos incidentes menores. Sucediendo también frecuentemente numerosos incidentes por deslizamientos de tierra en la época lluviosa. Esta situación es debida a la orografía en algunas zonas de la ciudad, con acusadas pendientes, acompañado por la morfología de los suelos, los cuales son poco estables, situación agravada por la deforestación de muchas de las laderas de la ciudad y la construcción urbana incontrolada que invade las laderas de las colinas.

También, es problemática la incidencia de las tormentas tropicales y los huracanes en la región, con el recuerdo del devastador huracán Mitch que en 1998 desoló la ciudad.

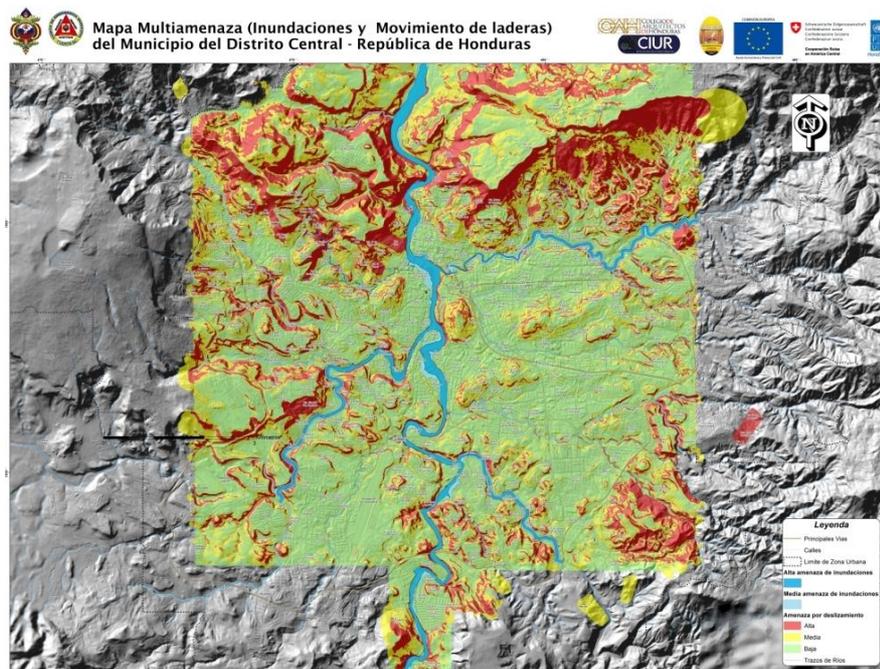


Figura 2. Mapa Multiamenaza del Distrito Central. Fuente: AMDC

A estos riesgos naturales, hay que sumarle los numerosos incendios forestales que se producen entorno al municipio de Tegucigalpa, afectando a los núcleos forestales del distrito central.

Medio Biótico

La fauna original ligada al río, es visualmente inexistente, debido a la elevada carga de contaminantes de las aguas y al gran impacto humano que sufre el río. Existiendo únicamente bandadas de zopilotes negros (*Coragyps atratus*) que carroñan las basuras vertidas en el río.



Figura 3. Zopilotes negros en las riberas del río Choluteca (Año 2017). Elaboración propia

En cuanto a la flora, se ha destruido el bosque de ribera original, la configuración de la masa vegetal se compone mayoritariamente de herbáceas y matorrales dispersos, siendo, la existencia de árboles escasa y aislada, coexistiendo con una gran superficie de los márgenes del río desnudos de vegetación.



Figura 4. Orillas del río Choluteca deforestadas a la altura de Tegucigalpa (Año 2017). Elaboración propia

Medio Antrópico

La ciudad de Tegucigalpa tiene una población de 1.190.230 habitantes (2015), con una elevada densidad de más de 600 habitantes/km². Tegucigalpa, junto con Honduras, se encuentra con un bajo desarrollo económico y de pobreza, teniendo un Índice de desarrollo humano de 0.859, siendo la ciudad con el IDH más alto del país.

El distrito central que engloba a Tegucigalpa, se ha caracterizado por un elevado crecimiento demográfico en el último siglo. Debido, a las altas tasas de natalidad, inmigración recibida por el éxodo rural y la reducción de las tasas de mortalidad. Pasando de una población de 302.483 habitantes en 1974 a más de 1.200.000 de habitantes en la actualidad.

El rápido crecimiento demográfico que ha caracterizado a la capital en las últimas décadas, ha conllevado la existencia de una mala ordenación del territorio, trayendo consigo una mala planificación urbanística de la ciudad [11]. Existiendo, en muchas zonas del distrito central una carístia de servicios básicos como el alcantarillado y la recogida de residuos sólidos. Como en la zona de los mercados de Comayagüela donde se acumulan en las orillas del río residuos orgánicos e inertes, que finalmente acaban por escorrentía en el río.

El distrito central ocupa en la actualidad un área metropolitana de 1.395,5 Km², el cual se divide en un área urbana que se extiende por 201,5 km² y el resto forma un área rural que engloba a 41 aldeas y 293 caseríos.

La industria local es escasa y se caracteriza por una producción industrial que incluye textiles, prendas de vestir, azúcar, tabaco, madera, madera contrachapada, papel, cerámica, cemento, vidrio, metal, plásticos, productos químicos, neumáticos, aparatos eléctricos y maquinaria agrícola. Además, de industrias exportadoras de productos mineros como plata, plomo y zinc situadas a las afueras de la ciudad. En toda la cuenca de río Choluteca se contabilizan unas 500 instalaciones industriales.

La ciudad sufre un grave problema de contaminación atmosférica debido a su localización, situada en un valle rodeada de montañas, sufriendo la acumulación de Smog que perdura en la época seca hasta la llegada de las lluvias. Además, el río Choluteca sufre también de una elevada contaminación debido a la descarga de aguas residuales urbanas, depurándose únicamente en las PTARs de San Juan de la Vega, el 17% de las ARU producidas en la capital (Dato: SANAA).

3 DIAGNOSTICO AMBIENTAL DEL RÍO CHOLUTECA

Calidad de las aguas

Debido, a la imposibilidad de realizar un análisis in situ de la calidad del agua del río u obtener datos actualizados de los mismos. En este proyecto, se considerará la calidad de las aguas a través una hipótesis de partida. La cual, se elaborará siguiendo como base los datos bibliográficos de análisis y estudios realizados anteriormente sobre el río [1, 9, 14, 16], la naturaleza de las aguas residuales que alcanzan el cauce y análisis en puntos de vertido, como se observa en la siguiente tabla:

Tabla 2. Contaminantes medidos en puntos de vertido. Fuente: Estudio de prefactibilidad de saneamiento y drenaje de la ciudad de Tegucigalpa, Honduras, 2016.

Punto vertido a considerar	Punto de monitoreo asociado	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	SS (mg/l)
Grande del sur	STIBYS	540	900	360
Guacerique	El Country y Juan Ramón Molina	480	800	320
Sapo	El Sapo	480	1000	360
Cerro grande	-	330	550	220
Chiquito	Chiquito/La Pagoda	360	600	240

Hipótesis de Partida

El río Choluteca, actualmente se encuentra fuertemente contaminado debido a la descarga de aguas residuales, mayoritariamente urbanas, y el vertido de residuos sólidos urbanos directamente al mismo. Problema que se agrava en la época seca, donde las precipitaciones son escasas, la contaminación se concentra en un río con escaso caudal.

Analizando la naturaleza del origen de los vertidos, podemos determinar, que las aguas están principalmente contaminadas por:

- Materia orgánica en suspensión
- Nutrientes: Nitrógeno y Fosforo
- Aceites y grasas
- Sólidos y residuos urbanos en suspensión
- Coliformes

Este grado de contaminación es causado en parte, por la grave situación de deterioro en los que todavía se encuentran los colectores de la ciudad. Los cuales, fueron gravemente dañados en 1998 por el huracán Mitch, destruyendo gravemente la infraestructura del sistema de saneamiento de la ciudad. Obligando a que la mayoría de las aguas residuales no sean recogidas y canalizadas, siendo directamente vertidas al cauce del río sin tratar.



Figura 5. Vertido de aguas negras en los mercados de la 1ª Avenida de Comayagüela (Año 2017). Elaboración Propia

Adicionalmente, las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTARs) de la ciudad no se encuentran totalmente operativas.

Otra fuente de contaminación del río, son los vertidos de residuos urbanos al cauce y que posteriormente son arrastrados por las lluvias al cauce. Estos residuos aumentan la carga orgánica del agua, generando malos olores en el río y causan un grave impacto visual sobre el paisaje urbano.

Degradación de la ribera

La ribera del río Choluteca se encuentra ampliamente degradada, persistiendo apenas algunas zonas con vegetación, perdiéndose la estructura riparia original, y los márgenes del río han sido invadidos por construcciones.



Figura 6. Terrenos de la ribera aledañas al río Choluteca.
Fuente: Antonio Gonzalez.

Debido a esto, se ha perdido los ecosistemas fluviales y se han producido un deterioro del paisaje urbano y de los suelos, perjudicando la dinámica del río.

Calidad hidromorfológica del río Choluteca

Al encontrarse las orillas, mayoritariamente sin coberturas vegetales en Tegucigalpa. Estas se han ido erosionando con las crecidas del río, y, por consiguiente se ha disminuido la sección del río al colmarse con los sedimentos transportados.

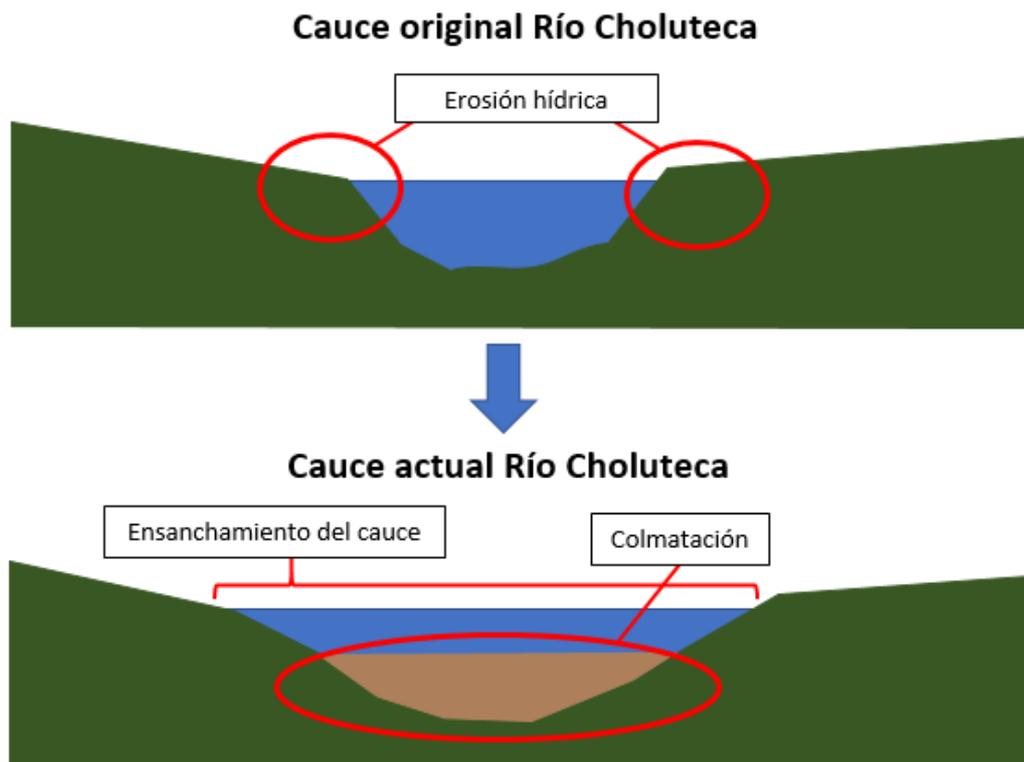


Figura 7. Esquema evolución del cauce del río Choluteca. Elaboración propia

Esta situación, sumado a la existencia de un clima tropical, hace que la ciudad de Tegucigalpa sea muy vulnerable a las crecidas, como se puede ver en el [Anexo A. Mapa de inundación T100 del casco histórico de Tegucigalpa M.D.C.](#)

Además, al estar los márgenes del río desnudos el riesgo de deslizamientos de tierra se incrementa al no tener el soporte de la vegetación.

4 PROPUESTA DE SOLUCIÓN

Entender las leyes de la naturaleza no significa que seamos inmunes a sus *operaciones*.

David Gerrold

La propuesta que planteo en el proyecto, es la renaturalización del río Choluteca a su paso por Tegucigalpa. Consiste en la mejora y recuperación ambiental del río de su estado actual de deterioro, a uno cercano a su situación original mediante la recalificación y restauración del sistema fluvial. De modo, que se restaure el equilibrio roto por la acción antrópica en el entorno natural, y este sea compatible con el desarrollo urbano.

Esta restauración se realizará mediante una propuesta piloto de renaturalización de un tramo de 1.000 m de ribera, que constara de los siguientes apartados: 1) actuaciones de mejora de la capacidad natural de autodepuración del río frente a los contaminantes; 2) recuperación de la ribera mediante la revegetación de los márgenes del cauce y la restauración de sus ecosistemas; 3) mejora de la morfología hídrica del río mediante la estabilización de taludes y dragado del río.



Figura 8. Río Choluteca, tramo no deforestado (Tegucigalpa). Fuente: Antonio González

De forma, que después que esta propuesta se realice, esta pueda ser extensible al resto del cauce urbano del río Choluteca y de esta forma conseguir aumentar la resiliencia del río frente a las agresiones externas, consiguiendo reducir la contaminación de forma pasiva.

5 MEMORIA DESCRIPTIVA

5.1. Delimitación de la zona de actuación

El río Choluteca posee 20 Km de cauce lineal en la ciudad de Tegucigalpa, muchos de los cuales se encuentran degradados ambientalmente. La ciudad posee una extensa red hidrica compuesta por quebradas y rios que recorren la ciudad confluyendo en el río Choluteca.

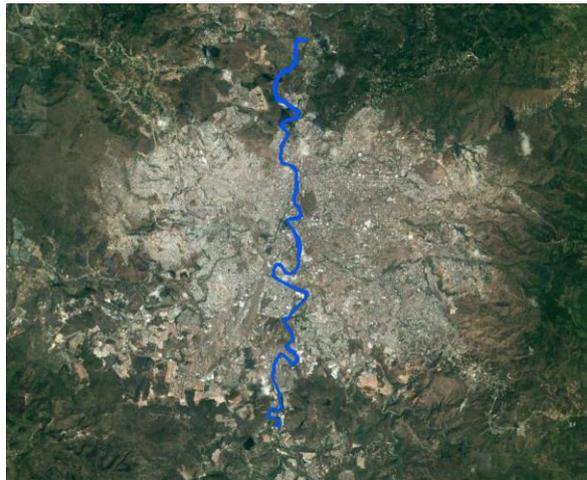


Figura 9. Extensión del río Choluteca a su paso por Tegucigalpa MDC. Elaboración propia

Para la realización del proyecto, seleccionaremos un área piloto de ribera. Por lo cual, solo tendremos en consideración un tramo de 1000 m, quedando esta área delimitada por el puente de Estocolmo y el área tras el puente Carias, teniendo en total un área susceptible de 70.000 m², como se muestra a continuación en la imagen:



Figura 10. Delimitación del área de actuación. Elaboración propia

La zona de actuación escogida se encuentra en el entorno de los centros históricos de las ciudades de Tegucigalpa y Comayagüela, en la confluencia de los ríos Chiquito y Choluteca. Esta área se encuentra deforestada con un paisaje urbano degradado, estando el agua del río contaminada por los vertidos de residuos sólidos urbanos procedentes de los mercados y las aguas residuales agua arriba.

Además, de encontrarse en una zona de alta susceptibilidad a las inundaciones como se aprecia en el [Anexo I. Mapa de inundación T100 del casco histórico de Tegucigalpa M.D.C.](#)

En las siguientes imágenes, se puede apreciar las curvas de nivel y el perfil del cauce fluvial del tramo del río Choluteca del área de actuación seleccionada.

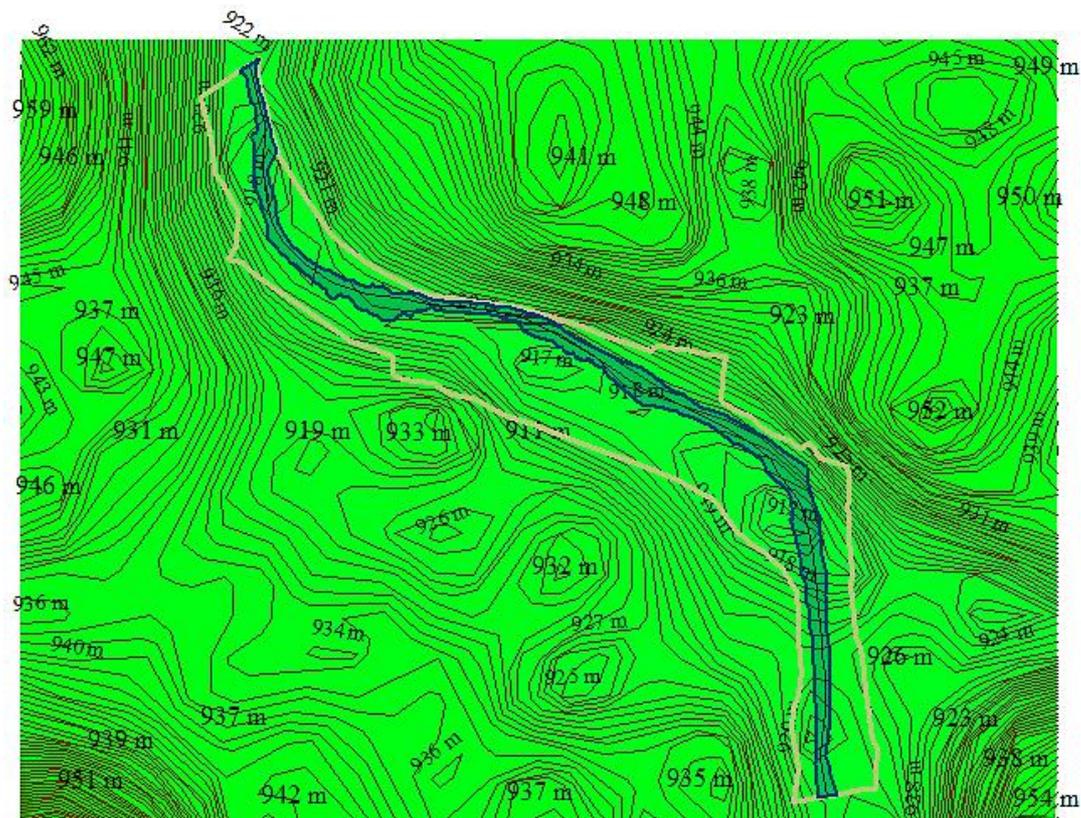




Figura 12. Malla 3D del contorno del área de actuación. Elaboración propia

El cauce consta de un tramo inicial con una ligera pendiente, mientras que el resto del tramo posee escasa variación de la pendiente, con pequeñas subidas y bajada de cota.

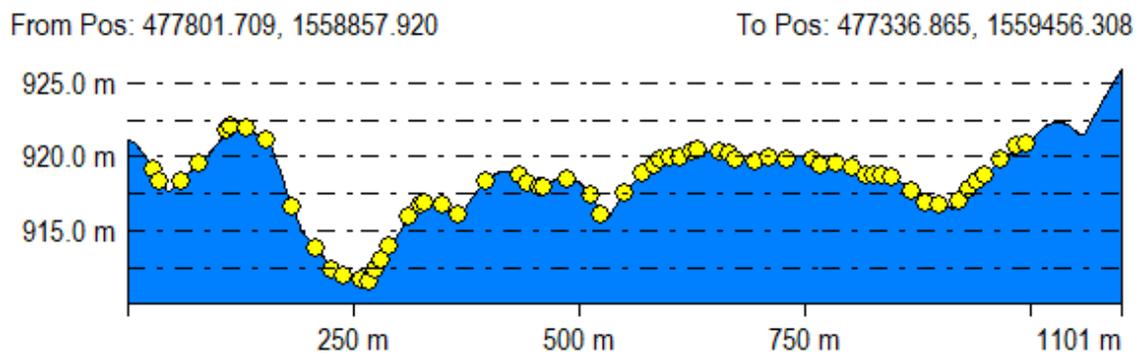


Figura 13. Perfil de pendiente del cauce del tramo de actuación. Producción propia

Se dividirá la zona de actuación en los siguientes tramos:



Figura 14. Tramos actuación río Choluteca. Elaboración propia

Dimensiones de los tramos:

Tabla 3. Dimensiones de los tramos propuestos del río Choluteca

Tramos	Área Río (m ²)	Margen izquierdo (m ²)	Margen derecho (m ²)	Área total (m ²)
Tramo 1	1.691	2.398	4.633	8.728
Tramo 2	2.724	2.265	4.213	9.202
Tramo 3	3.793	10.282	4.697	18.772
Tramo 4	3.441	15.792	1.129	20.362
Tramo 5	2.663	5.332	3.619	11.614
Tramo 6	1.902	4.772	714	5505.9
Total	14.523	40.841	19.005	68.678

5.2. Mejora de la autodepuración

El río Choluteca tiene una elevada capacidad de mitigación de la contaminación, de la carga contaminante que percibe se estima que el 90% es eliminada al llegar a su desembocadura en el golfo de Fonseca, la cual, ha sido eliminada mediante la autodepuración del río.

Aunque, actualmente el río Choluteca en su tramo de Tegucigalpa, tiene mermada la capacidad de autodepuración de los contaminantes, a causa de la situación de degradación que se encuentra el río. Además, los vertidos de contaminantes, superan con creces la capacidad natural de autodepuración del río. Por lo que, estos no son degradados y tienen afección aguas abajo, produciendo malos olores entre otros problemas en la ciudad.

Para suplir esta problemática, podemos fomentar la autodepuración y así incrementar la capacidad resiliencia del río frente a los impactos antrópicos. De modo, que se diseñaran propuestas que busquen el aumento del oxígeno disuelto en el agua y el incremento de la dilución de los contaminantes mediante la homogeneización por el aumento de la turbulencia del agua.

De este modo, podremos utilizar el cauce y las riberas del río Choluteca como una PTAR más de la ciudad de Tegucigalpa, a un nulo coste energético.

Sistemas de Aireación pasiva

La alta concentración de materia orgánica (DBO) existente en el cauce, provoca una escasa concentración de oxígeno disuelto (OD) causando que la materia orgánica no se degrade de forma aerobia. Y tienda a producirse una situación de anaerobiosis, con la consiguiente liberación de gases malolientes.

Esta situación se puede revertir mediante la implementación de mecanismos de aireación pasiva que permitan la aireación del agua, sin ningún gasto eléctrico. Consiguiendo el aumento de la concentración de oxígeno disuelto del agua y una disminución de la DBO, gracias a la acción biológica microbiana del agua.

Humedales flotantes y plantas acuáticas de ribera

Las plantas flotantes y acuáticas de ribera, tienen la capacidad de aumentar la concentración de oxígeno disuelto del agua [18], ya que estas plantas liberan de forma natural oxígeno a través de los rizomas de las raíces, aumentando la concentración de oxígeno disuelto en el agua. Además, de otras funciones biológicas como son la absorción de nutrientes (nitrógeno y fósforo) o como hábitats de animales en el río.

La disposición de las plantas en el cauce será la siguiente: en los márgenes del río se colocarán grupos de plantas acuáticas de ribera y flotando en el cauce, humedales flotantes o FTW, que son estructuras flotantes fijas al fondo del cauce a modo de islas, que permiten que crezcan aguas en estas plantas en medio acuático.

Se deberán utilizar preferentemente plantas autóctonas siempre que se pueda, para minimizar la introducción de especies, propondremos como ejemplo, plantas alóctonas como las enneas (*Typha spp.*) o la menta acuática (*Mentha aquatica*), por su función biológica dentro del sistema.



Figura 15. Plantas acuáticas de ribera (Enea) y Humedales Flotantes. Fuente: Google imágenes

Humedales flotantes

Con los humedales flotantes conseguimos, aumentar el área útil para el crecimiento de plantas de ribera, de este método aumentamos la capacidad de inclusión de oxígeno disuelto al agua.

Los humedales flotantes consisten en una estructura flotante [5], compuesta de materiales poco densos como son los polímeros plásticos o maderas ligeras que actúan como material flotante, a modo de balsa, ayudando a la flotabilidad de los rizomas de las plantas acuáticas. Sobre esta estructura se añade un sustrato de turba, que permiten el almacenamiento de agua y el desarrollo de las raíces.

Las plantas acuáticas al tener contacto directo sobre la lámina de agua, pueden ayudar a la descontaminación del agua mediante la absorción de nutrientes que son incorporados a su biomasa. Además, de producir la emisión de oxígeno en el agua.

Los humedales flotantes son diseñados de forma que sean modulares. De modo, que estos puedan ser retirados ante una eventual, gran crecida y ser fácilmente recolocados posteriormente. Además, de ser fácilmente reponibles, dado su coste, frente a episodios inesperados de fuertes crecidas de las aguas que destruyan los humedales flotantes.

Dimensionado de los humedales flotantes

Los humedales flotantes constarán de una estructura flotante hueca de PVC de 1 x 0,5 x 1 m, con la base perforada y 4 flotadores de PVC. La base se cubrirá con una malla de PVC, sobre la que irán 0,5 m³ de sustrato de turba, en el que se plantarán: 2 ejemplares de *Typha latifolia* y 2 ejemplares de *Mentha aquatica*.

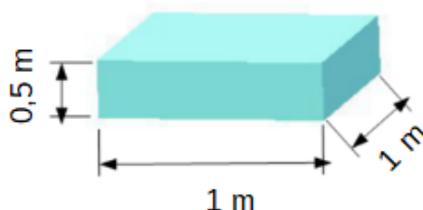


Figura 16. Dimensionado de un humedal flotante. Elaboración propia

Localización de los humedales flotantes

Los humedales flotantes deberán colocarse en zonas donde la velocidad de la corriente del río no sea elevada, ya que si no podrían ser arrastrados aguas abajo en las crecidas. De modo, que se ha seleccionado una zona con escasa pendiente:



Figura 17. Área Humedales flotantes en el tramo actuación. Elaboración propia

Se trata de un tramo de 240 m, donde cómo se puede apreciar en la siguiente figura, la pendiente es escasa.

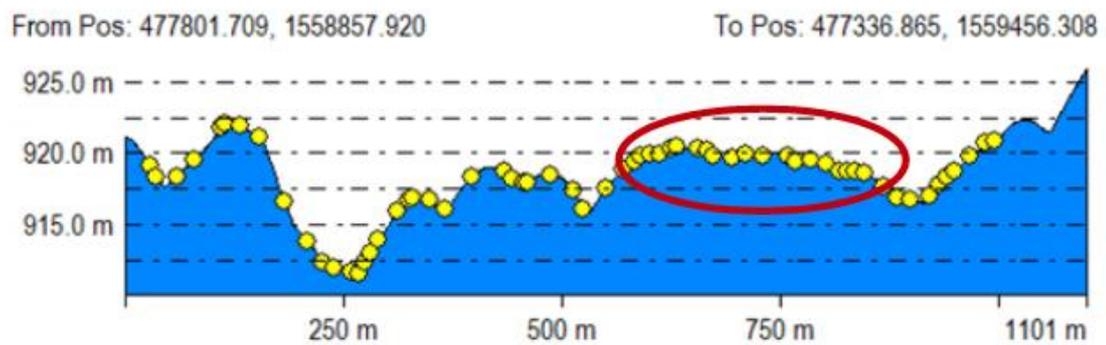


Figura 18. Perfil pendiente de los Humedales Flotantes en la zona de actuación. Elaboración Propia

Distribución de humedales flotantes

La distribución de los humedales seguirá una matriz de 5 columnas por 7 filas, con un espaciado de 0,5 m entre cada humedal, conectados entre sí por cuerdas y fijados al lecho con una cuerda de 4 m de forma alterna, para evitar su movimiento horizontal. Con un espaciado de 20 m entre humedal y humedal.

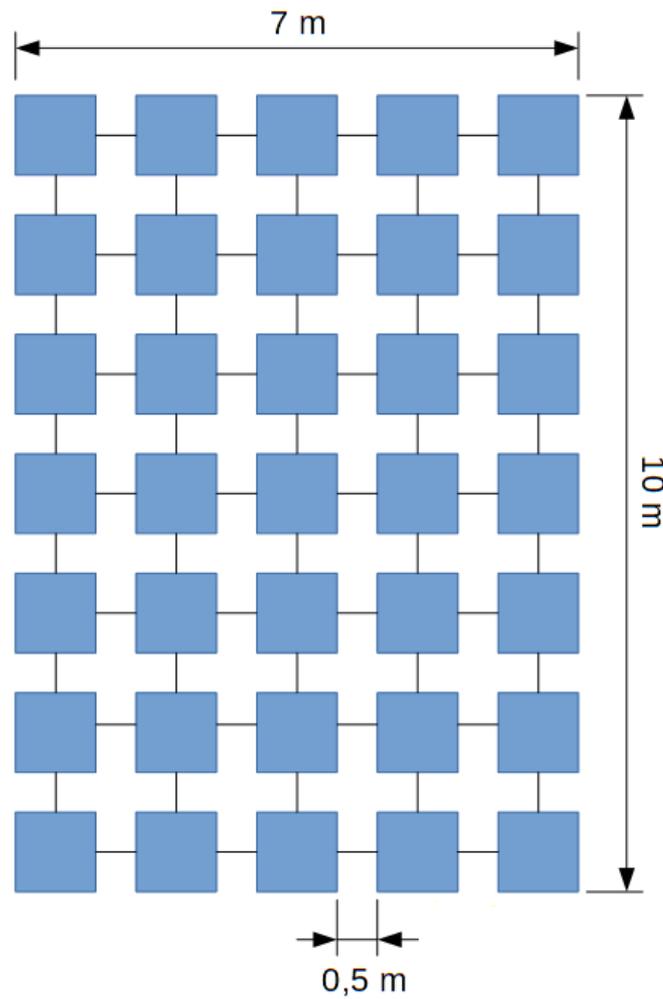


Figura 19. Matriz humedales flotantes, vista de planta.
Elaboración propia

Rápidos

La pendiente del río Choluteca no es aprovechable para la inclusión de cascadas artificiales, debido a su escasa pendiente. Pero podemos aprovechar la existencia una pequeña pendiente, en algunas zonas del tramo del río, creando una zona de rápidos artificiales.

En esta zona se colocarán rocas de modo que el agua al descender el cauce choque con las piedras produciéndose turbulencia, se mezcle el agua y se fuerce la entrada de aire al agua. Consiguiendo la máxima eficiencia en época de lluvias cuando el río tiene mayor caudal.



Figura 20. Rápido. Fuente: Google imagenes

Zona de rápidos

Área: 2666 m²; Área Rápidos: 1752 m²



Figura 21. Zona de rápidos en el tramo de intervención. Elaboración propia

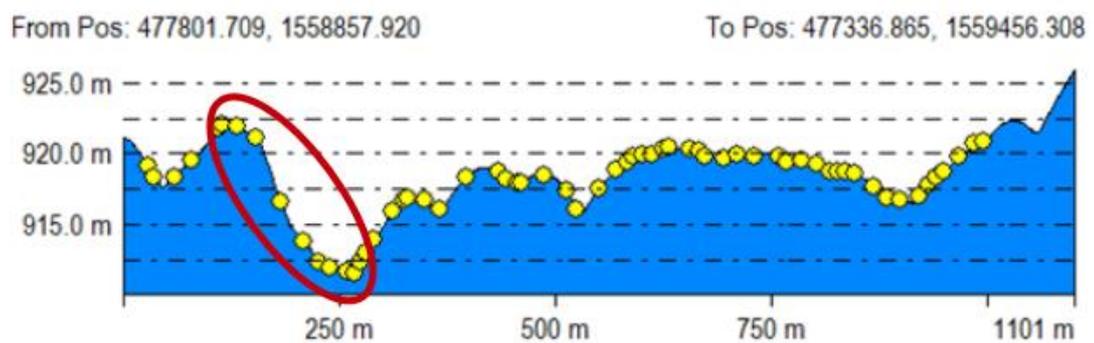


Figura 22. Perfil de pendiente de los rápidos en la zona de intervención. Elaboración propia

Diseño del rápido

Para crear turbulencia en el agua, incluiremos obstáculos formados por piedras de grandes dimensiones, de modo que estas se sitúen de forma aleatoria con una densidad de 10 m²/piedra

Por lo que, se necesitaran 175 piedras, para cubrir la totalidad del área del tramo.

5.3. Revegetación de la ribera

Actualmente, la ribera se caracteriza por la existencia de islas de vegetación, con zonas deforestadas entre las mismas. La revegetación, podría aumentar la densidad de la vegetación y formar un corredor verde entorno a los márgenes del río.

La revegetación de la ribera del río es de suma importancia, ya que la recuperación de la misma permitirá recuperar sus funciones naturales: estabilización de los suelos y el cauce, control de la erosión hídrica y las crecidas, creación de hábitats para la flora y fauna, recuperación del paisaje fluvial, recarga de acuíferos...

Lo que posibilitara, además, una mejora del paisaje actual del río Choluteca y disminuir la necesidad de realización de dragados periódicos del cauce del río.

Además de todo lo anterior, la vegetación tiene la capacidad de absorber, acumular y retener el exceso de nutrientes (nitrógeno y fósforo) y los metales pesados presentes tanto en el suelo como en el agua en su biomasa orgánica. Siendo esta capacidad la que utilizaremos para la descontaminación de las aguas y suelos, mediante la eliminación periódica de la biomasa vegetal a través de desbroces.

Caracterización del bosque de galería

La ribera original del río Choluteca, se caracteriza por ser un mixto entre bosque subtropical de coníferas y bosque tropical seco. El cual, se ha ido degradando bajo la acción humana mediante talas madereras e incendios hasta su situación actual.

Tomando como base los estudios previos realizados sobre otros bosques de ribera hondureños y la ciudad de Tegucigalpa [8, 10, 13, 17], definimos la siguiente estructura de la ribera fluvial urbana:

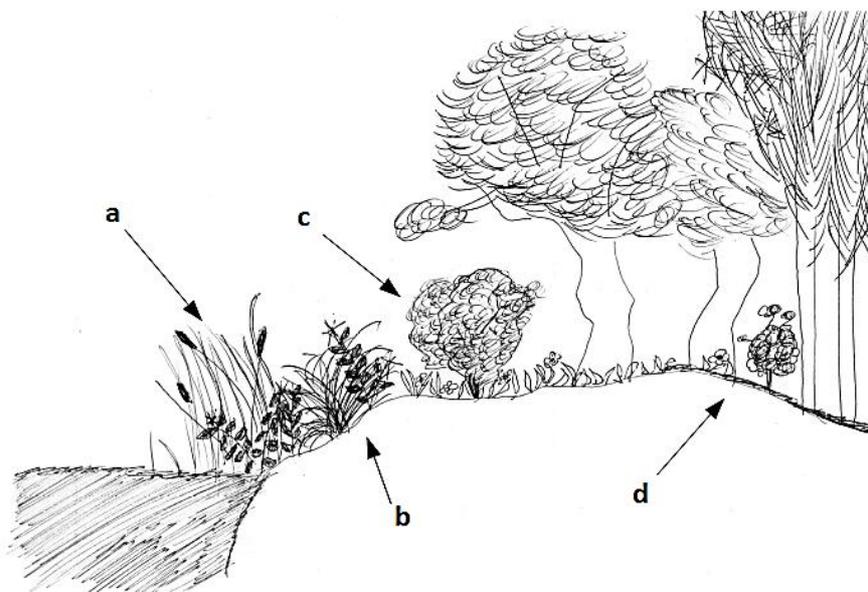


Figura 23. Estructura esquemática del bosque de galería seco propuesto.
Elaboración propia

Siendo:

Estrato acuático: compuesto por plantas acuáticas y plantas de adyacentes al cauce del río. Como son las eneas (*Typha latifolia*), las cuales, gracias a la aireación reticular incorporan oxígeno al agua. Y plantas herbáceas aromáticas situadas en las cercanías a la masa de agua como la menta acuática (*Mentha aquatica*) o el zacate de limón (*Cymbopogon citratus*), que actúan de repelentes frente a los mosquitos.

Estrato herbáceo: compuesto por plantas herbáceas que actuarían como maleza como son *Borreria densiflora* y *Digitaria setigera*

Estrato mixto: estrato intermedio compuesto arbustos como *Senna fruticosa* y *Mimosa albida* y herbáceas como son *Dorstenia drakena* y *Urochloa fasciculata* que se extienden dispersamente entre los arbustos.

Estrato arbóreo: compuesto mayoritariamente por un dosel arbóreo como *Pinus oocarpa*, y entre los arboles se distribuyen dispersamente arbustos como *Calliandra calothyrsus* y herbáceas como *Lasiacis ruscifolia* y *Mitracarpus hirtus*

Delimitación de la franja riparia

Es importante delimitar la extensión del cauce de río, para poder posteriormente calcular la zona comprendida por la ribera y poder diseñar la extensión de la franja riparia del río [7].

Esto se hará para conocer la extensión natural óptima del bosque de galería y minimizar el impacto negativo de las crecidas, para lo cual se determinará la extensión del cauce máximo, usando el histórico de inundaciones T100 y posteriormente se determinará la extensión riparia.

De esta forma, podremos garantizar el equilibrio ambiental y el correcto funcionamiento hidráulico, biológico y ecológico del río. Esto es de suma importancia, ya que el río Choluteca presenta un régimen hídrico irregular caracterizado por la presencia periódica de inundaciones y épocas de sequía donde el caudal del río prácticamente desaparece, variando la extensión del cauce.

Pero, debido a que nos encontramos en un ambiente urbano, gran parte de la llanura inundable del río podrá estar ocupada. Por lo que, se extenderá la ribera lo máximo posible hasta alcanzar la franja riparia.

Selección de especies

La variedad de las especies vegetales que componen los bosques de galería hondureños, es amplia y diversa, variando ampliamente las especies entre diferentes localizaciones cercanas.

Para la selección de las especies, se tuvieron en cuenta la frecuencia, el valor ecológico de las especies y su función ecológica dentro del sistema. Por lo que se escogieron mayoritariamente especies autóctonas hondureñas, y en menor medida especies no autóctonas que serán introducidas por su función descontaminante en el sistema propuesto, siendo preferible su sustitución por equivalentes nativos.

Las especies que utilizaremos serán:

- Estrato acuático:

Se escogerán preferentemente especies autóctonas hondureñas acuáticas. Pero, en su defecto proponemos por su función biológica a: Enea (*Typha latifolia*), Menta acuática (*Mentha aquatica*), Zacate de limón (*Cymbopogon citratus*).

- Estrato Herbáceo:

Aristida tenipes, Borreria densiflora, Commelina diffusa, Digitaria setigera, Euphorbia gramínea, Florestina latifoliam, Melanthera aspera, Mitracarpus hirtus, Paspalum corcovadensis y Setaria Longipila.

- Estrato mixto:

Arbustos

Senna fruticosa, Solanum nudum, Ayenia micrantha y Mimosa albida.

Herbáceas

Dorstenia drakena, Lasiacis ruscifolia y Urochloa fasciculata.

- Estrato Arbóreo:

Arboles

Ardisia revoluta Kunth, Astronium graveolens jacq., Guazuna ulmifolia, Bursera simaruba, Acacia pennatula, Rondelatia hondurensis, Pinus oocarpa y Simarouba glauca.

Arbustos

Calliandra calothyrsus.

Herbáceas

Lasiacis ruscifolia y Mitracarpus hirtus.

Obtención de los juveniles

En Honduras, a nivel local existen actualmente dos bancos de semillas forestales; los cuales, se encargan de la compra, recolección, procesamiento y comercialización de semillas. Ambos bancos se encuentran ubicados en el municipio de Siguatepeque, en el departamento de Comayagua, los cuales son:

- El banco de semillas Forestales de ESNACIFOR, de dependencia estatal.
- El banco de semillas SETRO S. de R.L. de gestión ambos ubicados en la ciudad de Siguatepeque.

De estos bancos de semillas, obtendremos las semillas de las especies necesarias, y serán cultivadas en viveros a nivel local, para poder obtener los juveniles necesarios para su plantación posterior en la ribera del río.

En particular, utilizaremos el vivero forestal del ICF en Tegucigalpa M.D.C., situado en la ciudad de Comayagüela, propiedad del gobierno estatal y con capacidad de producción de 200.000 ejemplares/año. Al cual, le compraremos los ejemplares ya desarrollados, para su plantación posterior en la ribera.

Programa de revegetación

La revegetación se realizará mediante el modelo de reforestación por restauración convencional. Se diseñará la distribución de la vegetación, mediante una matriz de revegetación siguiendo el método de restauración convencional. Pero, se crearán amplios espacios entre planta y planta, para favorezcan el crecimiento y

diseminado natural de las plantas, fomentando la evolución natural del ecosistema hasta alcanzar su estructura natural.

Los trabajos de revegetación y preparación del suelo, se realizarán con la coordinación del ayuntamiento del municipio del distrito central (AMDC) y ONGs locales como “Tegus verde”. Los cuales, aportaran la mano de obra necesaria durante la revegetación.

1) Preparación del suelo

Antes de realizar cualquier trabajo, se ha de realizar la eliminación de posibles especies invasivas que haya en la zona de trabajo, y la realización de una limpieza superficial de residuos urbanos inertes.

Los suelos de la ribera se encuentran en una situación de deterioro, debido a la fuerte erosión fluvial. A causa de esto, es necesario la inclusión de enmiendas orgánicas para mejorar la idoneidad del suelo.

Por lo que antes de realizar la revegetación, se efectuara la adición de compost proveniente del compostaje por aireación pasiva forzada de los lodos de los digestores anaerobios de las depuradoras de la ciudad. Así gestionamos estos residuos valorizándolos y obteniendo el compost necesario para la enmienda, evitando que acaben en vertedero.

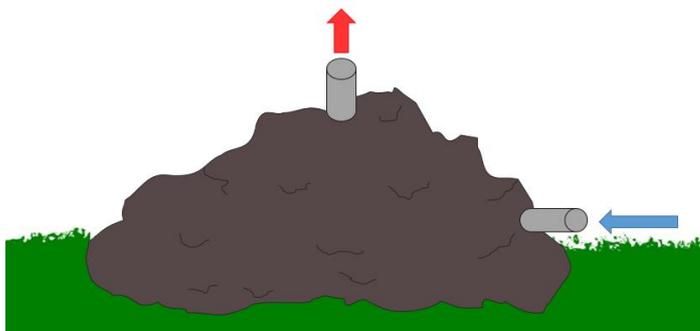


Figura 24. Esquema de compostaje por aireación pasiva forzada. Elaboración propia

Estas pilas de aireación pasiva forzada, permiten la entrada pasiva del aire necesario en el compostaje gracias a los flujos de aire que se generan por convección del aire. El aire caliente que se produce escapa por la chimenea creando una depresión, forzando la entrada de aire fresco que ocupa el espacio liberado por el aire de salida.

La adición de la enmienda, se realizará concediendo con la época seca en febrero, para evitar que se produzca el lavado de la enmienda con las lluvias y se retrasen los trabajos de revegetación. Por lo cual, se ejecutará la enmienda agregando 30 cm de compost al suelo y mezclando con los primeros centímetros del suelo, y posteriormente se añadirá 5 cm de hojarasca procedente de los jardines de la ciudad, como mulching o protección del suelo.

De este modo, garantizamos el aporte de materia orgánica y nutrientes necesaria al suelo y propiciamos la fabricación de suelo artificial apto para la revegetación.

2) Revegetación

La revegetación se desarrollará en los primeros meses de la época lluviosa, preferentemente de mayo a junio, antes de que se produzcan las grandes lluvias. Debido, a que los arboles necesitan un tiempo de adaptación al entorno y las lluvias de la época lluviosa favorecen el crecimiento de las plantas, que se estanca en la época seca.

La distribución de las plantas será la siguiente:

- Estrato acuático

Las plantas acuáticas se distribuirán siguiendo una matriz de plantación en tresbolillo 2:1:2, con 1 m de distancia entre filas y con 1 m de distancia de espaciado entre ejemplar. De modo que la densidad que se alcanza será de 0,98 ejemplares/m². Y se permita la reproducción y distribución natural de las plantas.

La primera fila estará ocupada por plantas de *Typha latifolia*, se distribuirán ocupando el 1 m dentro del cauce del río, en contacto directo con el agua y a 1 m de la ribera. Posteriormente se desarrollará una fila de *Typha latifolia* y *Mentha aquatica*, y la última fila será ocupada únicamente por *Cymbopogon citratus*.

Como se comentó anteriormente, las plantas acuáticas, podrán ser sustituidas por su equivalente autóctono, siempre que sea posible.

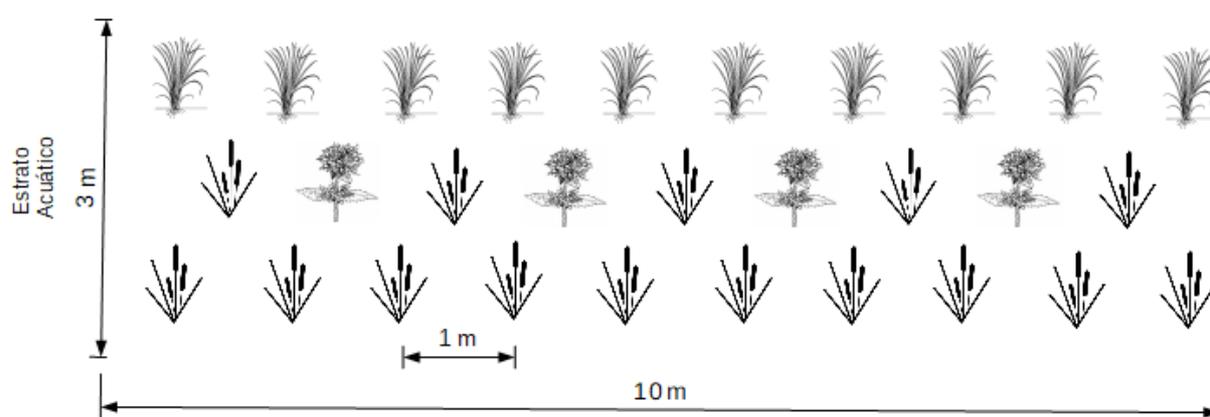


Figura 25. Matriz reforestado del estrato acuático. Elaboración propia

La proporción obtenida siguiendo esta matriz será de:

Tabla 4. Distribución especies del estrato acuático. Elaboración propia

Especie	%
<i>Typha latifolia</i>	50
<i>Mentha aquatica</i>	16
<i>Cymbopogon citratus</i>	34

- Estrato Herbáceo

Las plantas herbáceas se distribuirán una matriz de plantación en tresbolillo 1:2:1, con filas espaciadas en 1 m y con una distancia de espaciado de 1 m entre ejemplar. De este modo, se alcanzará una densidad de 0,96 ejemplares/m².

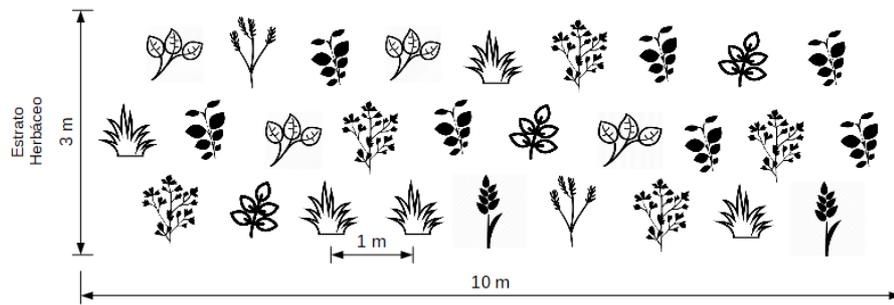


Figura 26. Matriz reforestado del estrato herbáceo. Elaboración propia

Las plantas herbáceas se distribuirán de forma uniforme:

Tabla 5. Distribución especies del estrato herbáceo. Elaboración propia

Espece	%
<i>Aristida tenipes</i>	10
<i>Borreria densiflora</i>	10
<i>Commelina diffusa</i>	10
<i>Digitaria setigera</i>	10
<i>Euphorbia gramínea</i>	10
<i>Florestina latifoliam</i>	10
<i>Melanthera aspera</i>	10
<i>Mitracarpus hirtus</i>	10
<i>Paspalum corcovadensis</i>	10
<i>Setaria Longipila</i>	10

- Estrato Mixto

Las plantas herbáceas y arbustivas se distribuirán siguiendo una matriz de plantación en tresbolillo 2:1, con una distancia entre filas de 1 m y una distancia de espaciado de 2 m entre plantas. De este modo, se alcanzará una densidad de 0,5 ejemplares/m².

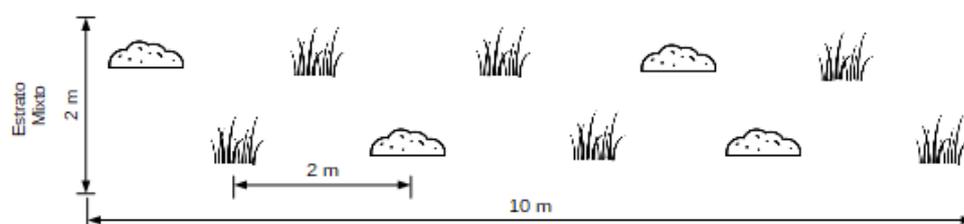


Figura 27. Matriz reforestado del estrato mixto. Elaboración propia

La proporción obtenida siguiendo esta matriz será de:

- Herbáceas 45,5%:

Tabla 6. Distribución herbáceas del estrato mixto.
Elaboración propia

Especie	%
Senna fruticosa	11,125
Solanum nudum	16,68
Ayenia micrantha	5,57
Mimosa albida	11,125

- Arbustos 55,5%:

Tabla 7. Distribución arbustos del estrato mixto.
Elaboración propia

Especie	%
<i>Dorstenia drakena</i>	18,5
<i>Lasiacis ruscifolia</i>	18,5
<i>Urochloa fasciculata</i>	18,5

- Estrato arbóreo

El estrato arbóreo ocupara, desde el final del estrato mixto hasta la máxima extensión determinada por la franja riparia de cada tramo. Los arboles se distribuirán siguiendo una matriz de plantación cuadrada, con un espaciado de 4 m entre si y con herbáceas y arbustos cada 2 m, de este modo alcanzamos una densidad de 0,5 ejemplares/m².

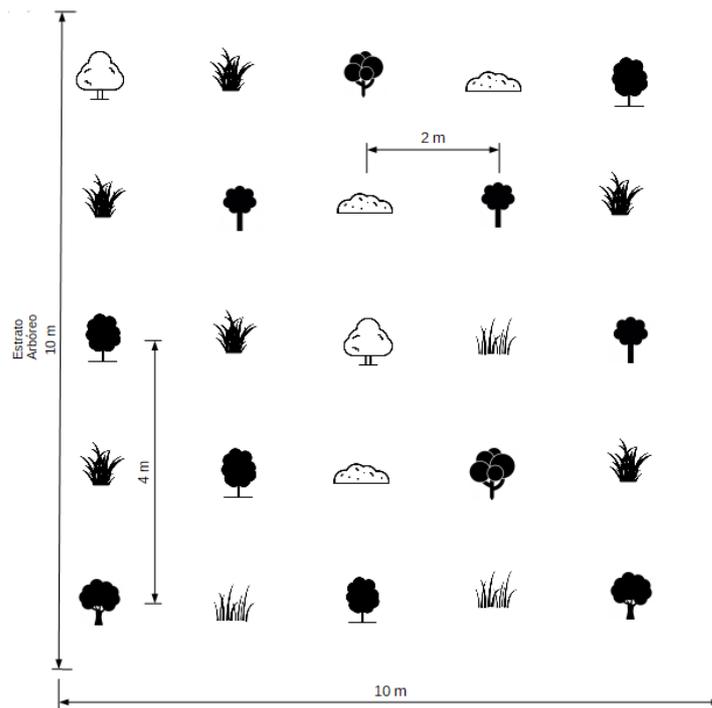


Figura 28. Matriz reforestado del estrato arbóreo. Elaboración propia

La proporción obtenida siguiendo esta matriz será de:

- Árboles:

Tabla 8. Distribución arboles del estrato arbóreo.
Elaboración propia

Especie	%
<i>Ardisia revoluta</i> Kunth	3,2
<i>Astronium graveolens</i> jacq.	6,4
<i>Guazuma ulmifolia</i>	6,4
<i>Bursera simaruba</i>	16
<i>Acacia pennatula</i>	6,4
<i>Rondelatia hondurensis</i>	3,1
<i>Pinus oocarpa</i>	3,1
<i>Simarouba glauca</i>	6,4

- Herbáceas:

Tabla 9. Distribución herbácea del estrato arbóreo.
Elaboración propia

Especie	%
<i>Lasiacis ruscifolia</i>	17,25
<i>Mitracarpus hirtus</i>	17,25

- Arbustos:

Tabla 10. Distribución arbustos del estrato arbóreo. Elaboración propia

Especie	%
<i>Calliandra calothyrsus</i>	14,5

La matriz de revegetación, queda recogida en el anexo I de Planos.

3) Mantenimiento de la ribera

En los primeros 5 años, se realizará una dosificación anual de una capa de compost de 10 cm como enmienda orgánica, para garantizar la calidad del suelo y fomentar el crecimiento de las plantas. También, se añadirán 5 cm de hojarasca a finales de la época seca, como protección del suelo o mulching, y abonado.

Una vez se realice la revegetación de la ribera será necesario realizar el desbroce y extracción periódico de la vegetación de la misma, en particular la compuesta por las plantas acuáticas de rápido crecimiento. Para así poder gestionar la ribera, controlar el crecimiento del bosque de ribera y así poder extraer del sistema el exceso de nutrientes y las trazas de metales pesados que puedan contener en su biomasa.

Hay que contemplar también, la reposición de ejemplares en la ribera, ante la pérdida posible pérdida de ejemplares, por plagas o por riadas, por lo que es conveniente la implantación de un convenio con los viveros locales, para que se pueda garantizar el suministro de ejemplares.

Por último, se deberá controlar las especies no autóctonas introducidas en el cauce, de modo que podamos prevenir una expansión descontrolada de las mismas, y en caso de expansión incontrolada, promover su erradicación.

Programa de reintroducción de fauna

Una vez mejoren las condiciones ambientales del río, gracias a recuperación de los ecosistemas de la ribera y la disminución de la contaminación hídrica, el río podrá volver a acoger vida animal.

Al recuperarse el ecosistema fluvial, de forma natural parte de la fauna podrá retornar esporádicamente, sin intervención humana, como son las aves, invertebrados y pequeños mamíferos. Pero, a largo plazo, es necesario un establecer un plan de reintroducción de fauna, que reintroduzca la fauna de peces y pequeños mamíferos.

Usos de la ribera

Ante la precaria situación económica hondureña, la recuperación de la ribera, supone una oportunidad de creación de nichos de empleo. La vegetación de ribera, además de poseer un valor ambiental y estético, está podrá tener un valor económico mediante su gestión.

Las plantas seleccionadas tienen los siguientes usos industriales:

- *Typha latifolia* tras su desbroce son utilizables para la fabricación de tejidos vegetales, utilizados desde hace siglos en artesanía, como es la fabricación de los cestos tradicionales.
- *Mentha aquatica* y *Cymbopogon citratus* son plantas aromáticas pudiéndose utilizar en alimentación o en la fabricación de esencias.
- Las especies herbáceas poseen en su mayoría la capacidad de floración, siendo estas útiles en el uso decorativo. Además, como posible forraje ganadero.
- Las especies arbóreas pueden ser utilizadas para usos maderero o de generación de biomasa.

La fauna reintroducida, podrá ser utilizada posteriormente en actividades de pesca deportiva o turismo ornitológico. Además, el mantenimiento de la ribera, requerirá mano de obra que realice las labores de desbroce de la vegetación, fabricación del compost requerido... Sin olvidar, la creación de un nuevo espacio urbano anteriormente infrutilizado.

5.4. Mejora de la morfología hídrica

La ribera del río Choluteca en Tegucigalpa, tiene graves problemas con su morfología hídrica, teniendo problemas de erosión y colmatación del cauce. Es necesario atajar este problema para minimizar los impactos negativos que supone el río Choluteca sobre la ciudad de Tegucigalpa, reduciendo el riesgo de inundaciones.

Estabilización de Taludes

En el río Choluteca actualmente hay numerosas zonas cercanas al río con alto riesgo de sufrir deslizamientos, como podemos ver en la [Ilustración 2. Del mapa multiamenza de la ciudad de Tegucigalpa.](#)

Esta situación es debida a la naturaleza de los suelos de la capital proclives a los deslizamientos, la presencia de una época de lluvias con fuertes lluvias y la existencia de una ribera desnuda de vegetación.

Para paliar esta situación, la revegetación de la ribera conseguirá una estabilización pasiva de las taludes, gracias a la creación de un bosque de ribera entorno al río. También cabe la posibilidad de implementar cubiertas vegetales selectivas en los taludes del río que lo precisen, creando un soporte protector del suelo y dificultando el deslizamiento de tierra.

El tramo de actuación se caracteriza por poseer zonas con taludes prolongadas. Estos taludes pueden ser reforzadas mediante la utilización de un mulching de hojarasca de 0,5 cm de espesor y usando geomalla de polietileno como fijación del suelo, posteriormente se plantarán coberturas de herbáceas de *Conyza confusa*, para ayudar a retener el suelo, las herbáceas serán las seleccionadas con una densidad de 4 plantas/m².

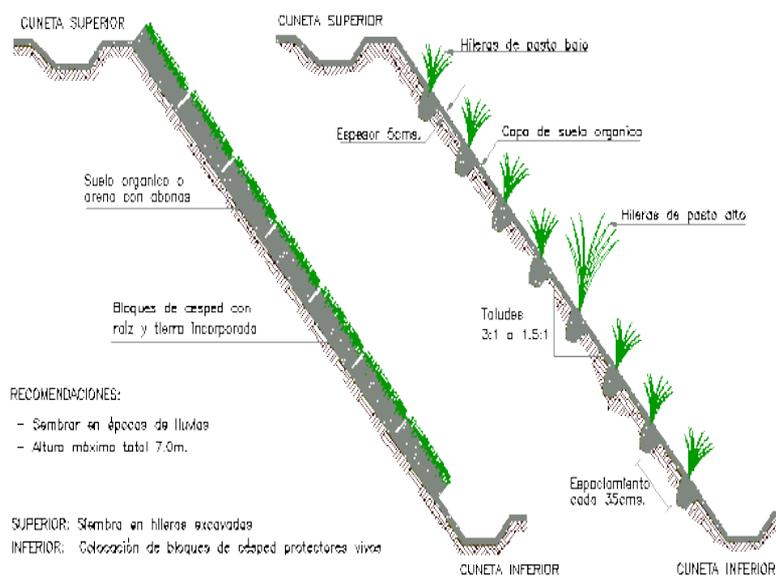


Figura 29. Cobertura de taludes con herbáceas. Fuente: Google Imágenes

Zonas propuestas con necesidad de refuerzo de taludes:



Figura 30. Zonas intervención refuerzo de taludes. Talud 1 en rojo y Talud 2 en azul. Elaboración propia

Talud 1 (en Rojo), cuenta con una extensión de 814 m² y un pendiente promedio superior al 15%:

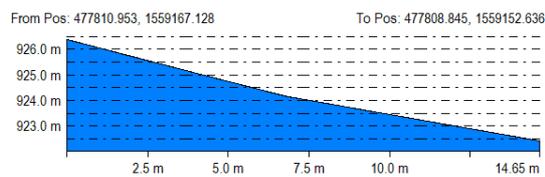


Figura 31. Pendiente talud 1. Elaboración propia

Talud 2 (en Azul), cuenta con una extensión de 2114 m² y una pendiente promedio del 10%:

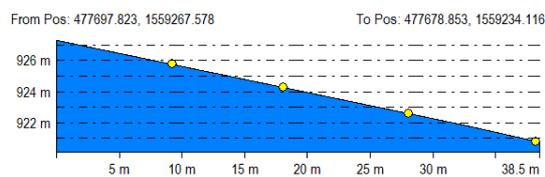


Figura 32. Pendiente talud 2. Elaboración propia

Dragados

Actualmente, la sección de paso del río es pequeña, debido a la acumulación progresiva de sedimentos provocados por la erosión fluvial, aumentando la susceptibilidad de Tegucigalpa de sufrir inundaciones.

La implementación de una cubierta vegetal en el cauce, disminuirá la necesidad de realizar dragados en el río, gracias a la disminución de la erosión fluvial y a la estabilización de las laderas. Las crecidas serán encauzadas, y estas podrán ir dragando de forma natural los sedimentos no consolidados del río.

Pero, aun así, persisten zonas que puedan requerir de trabajos de dragado para mejorar la sección del río y aumentar la capacidad máxima, evitando que se desborde con las crecidas.

Los dragados se deberán de realizar, posteriormente a la implementación de este proyecto. Siendo, aconsejable únicamente su utilización en las zonas que realmente lo necesiten.

Estos trabajos de dragados se deberán realizar en la época seca, cuando el caudal de agua del río Choluteca baja drásticamente hasta ir prácticamente seco. Se realizará utilizando una retroexcavadora que pueda ir retirando los sedimentos de las zonas colmatadas.



Figura 33. Tareas de dragado en el río Choluteca. Fuente: ww.elheraldo.hn

6 IMPACTO AMBIENTAL

La zona de actuación se encuentra, como se ha comentado ampliamente durante el documento, degradada ambientalmente. Por lo cual, prácticamente cualquier actuación detallada en el proyecto para la mejora de las condiciones del río, supondrá un impacto ambiental positivo.

Aquellos impactos ambientales positivos son: la mejora de la autodepuración disminuirá la contaminación del río y mejorará la resiliencia del mismo frente a los vertidos; la regeneración de la ribera recuperará los ecosistemas fluviales y mejorará el paisaje urbano fluvial o las mejoras de las condiciones hidromorfológica del río que eviten el empeoramiento de la erosión y la colmatación del cauce, a la vez, que se reducen el riesgo de inundaciones en las zonas aledañas a la ribera.

Aunque, también puede haber impactos ambientales negativos como: la construcción del tramo de rápidos que pueden alterar la morfología del río, o el dragado del río que realice el movimiento de los sedimentos del fondo del cauce, reincorporándose sedimentos y contaminantes al agua que aumentarán la turbidez de la misma de forma temporal. Además, de posibles impactos negativos derivados de la introducción de especies vegetales no nativas, que puedan convertirse en potenciales especies invasoras.

Por todo esto, será necesaria la inclusión de medidas de seguimiento y control ambiental, para poder monitorizar el estado del río y mitigar las posibles afecciones que pueda tener las intervenciones propuestas sobre el cauce del río.

7 PROGRAMA DE CONTROL Y SEGUIMIENTO AMBIENTAL

Control de la calidad de las aguas

Es fundamental controlar la calidad de las aguas del río Choluteca, para poder evaluar e identificar las posibles perturbaciones y hacerles frente con una respuesta temprana.

Para poder tener un marco de referencia, será necesario realizar unos análisis de la calidad de las aguas, antes de la realización de las actuaciones. Para poder comparar la evolución en calidad de las aguas con la situación de partida y poder cuantificar los resultados obtenidos.

Los parámetros, fisicoquímicos y biológicos, propuestos a medir serán:

- Temperatura
- pH
- Conductividad
- Sólidos suspendidos
- Turbidez
- Oxígeno disuelto
- DBO
- DQO
- Nitrógeno amoniacal
- Fósforo total
- Aceites y grasas
- Coliformes totales

Posteriormente, se realizará un análisis semestral de la calidad de las aguas. De modo, que se cubra la temporada seca y la temporada de lluvias. Pudiendo cuantificar la evolución de los parámetros propuestos en el cauce el río.

Los análisis de la calidad de las aguas se realizarán en el comienzo del tramo, la confluencia del río Chiquito con el río Choluteca y el final del tramo.

Debido, a la carista de recursos de la economía hondureña, es fundamental implementar un protocolo de análisis de alerta temprana en la que se analizaran las propiedades organolépticas del agua como método de detección visual de posibles alteraciones en la calidad de las aguas, como son los episodios puntuales de vertidos de aguas residuales.

Para lo cual, se deberán educar a los responsables técnicos del SANAA y a los ciudadanos cualificados, para la identificación de las alteraciones de las propiedades del río como son: el color, el olor, la aparición de espumas, proliferación algal anormal... etc.



Figura 34. Puntos de análisis propuestos. Elaboración propia

Más a largo plazo, se podrá medir la calidad de las aguas utilizando bioindicadores, como son los los macroinvertebrados.

Control de las especies vegetales

Es de vital importancia monitorizar las poblaciones vegetales, para ver la adaptación de las mismas al entorno del río. Y, sobre todo, controlar la propagación de las especies no autóctonas, para evitar su expansión incontrolada aguas abajo.

En caso, de expansión descontrolada, se realizará las tareas de eliminación de las especies invasoras.

8 MEMORIA DE CALCULO

Delimitación de la franja riparia

Formula:

$$FR = A + 15 m$$

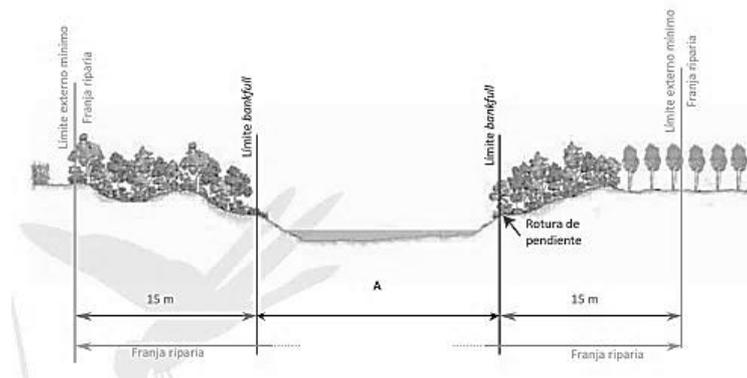


Ilustración 1. Delimitación de la franja riparia en un río de anchura de canal lleno mayor a 10 m. Fuente: Libro “Restauración y gestión ecológica fluvial”

Donde:

FR = limite exterior mínimo de la franja riparia a partir del límite del canal lleno (m)

A = Limite del canal lleno = limite exterior

Se delimitaron y midieron las zonas de ruptura de las laderas en los tramos propuestos, usando Google Earth:



Ilustración 2. Franja de ruptura de los tramos propuestos.

Tabla 11. Líneas de ruptura del cauce intervenido

Líneas de Ruptura (m)	
Líneas Ruptura 1	25,7
líneas Ruptura 2	24
líneas Ruptura 3	47
líneas Ruptura 4	42,6
líneas Ruptura 5	43
líneas Ruptura 6	47
líneas Ruptura 7	26

Se calculó la franja riparia:

Tabla 12. Delimitación ancho franja riparia

Delimitación de la Franja Riparia (FR = A + 15 m)		
Tramo	A (Limite del canal lleno)	Franja Riparia (m)
Tramo 1	24,85	39,85
Tramo 2	35,5	50,5
Tramo 3	44,8	59,8
Tramo 4	42,8	57,8
Tramo 5	45	60
Tramo 6	36,5	51,5

Calculo enmienda orgánica

Calculo de enmiendas orgánicas para la preparación del suelo

Base de cálculo

H Compost = 0,3 m; Densidad de compost de lodos de depuradora = 550 Kg/m³

H Hojarasca = 0,05 m; Densidad de la hojarasca = 50 Kg/m³

Tabla 13. Calculo de compost

Calculo de Compost de Lodos de Depuradora					
Tramo 1	Área (m ²)	H Capa (m)	V. Compost (m ³)	Densidad Compost (kg/m ³)	Tn Compost
Margen Izquierdo	2398	0,3	719,4	550	395,67
Margen Derecho	4633	0,3	1389,9	550	764,45
Tramo 2	Área (m ²)	H Capa (m)	V. Compost (m ³)	Densidad Compost (kg/m ³)	Tn Compost
Margen Izquierdo	2265	0,3	679,5	550	373,73
Margen Derecho	4213	0,3	1263,9	550	695,15
Tramo 3	Área (m ²)	H Capa (m)	V. Compost (m ³)	Densidad Compost (kg/m ³)	Tn Compost
Margen Izquierdo	10282	0,3	3084,6	550	1696,53
Margen Derecho	4697	0,3	1409,1	550	775,01
Tramo 4	Área (m ²)	H Capa (m)	V. Compost (m ³)	Densidad Compost (kg/m ³)	Tn Compost
Margen Izquierdo	15792	0,3	4737,6	550	2605,68
Margen Derecho	1129	0,3	338,7	550	186,29
Tramo 5	Área (m ²)	H Capa (m)	V. Compost (m ³)	Densidad Compost (kg/m ³)	Tn Compost
Margen Izquierdo	5332	0,3	1599,6	550	879,78
Margen Derecho	3619	0,3	1085,7	550	597,14
Tramo 6	Área (m ²)	H Capa (m)	V. Compost (m ³)	Densidad Compost (kg/m ³)	Tn Compost
Margen Izquierdo	4772	0,3	1431,6	550	787,38
Margen Derecho	714	0,3	214,2	550	117,81
Total					9874,59

Tn Compost = 9874,59 Tn compost de depuradora

Tn Hojarasca = (0,1 m capa hojarasca * 59846 m²) * 50 kg/m³ = 299.230 kg hojarasca = 299,23 Tn de hojarasca

Calculo del compost de la dosificación de mantenimientoBase de cálculo

H compost = 0,1 m; Densidad de compost de lodos de depuradora: 550 kg/m³;

H Hojarasca = 0,05 m; Densidad de la hojarasca = 50 kg/m³

T = 5 años

Calculo dosificación

Tn Compost anual = (0,1 m capa hojarasca * 59846 m²) * 550 kg/m³ = 3.291.530 kg = 3.291,530 Tn compost depuradora/año

Tn Compost en 5 años = 3,29 Tn compost depuradora/año * 5 año = 16,45 Tn compost depuradora

Tn hojarasca anual = (0,05 m capa hojarasca * 59846 m²) * 50 kg/m³ = 146.615 kg hojarasca = 146,615 Tn hojarasca

Tn hojarasca en 5 años = 146,615 Tn hojarasca/año * 5 año = 733,075 Tn hojarasca

Calculo número ejemplares para la revegetación

Tabla 14. Calculo de plantas por tramo del río

Calculo Plantas por tramo del río			
Tramo 1	Superficie Ribera (m²)	Densidad Planta/m²	N.º Plantas
Margen Izquierdo			
Estrato Acuático	393	0,98	385
Estrato Herbáceo	393	0,96	377
Estrato Mixto	262	0,5	131
Estrato Arbóreo	1480,3	0,5	740
Margen Derecho			
Estrato Acuático	384	0,98	376
Estrato Herbáceo	384	0,96	369
Estrato Mixto	256	0,5	128
Estrato Arbóreo	4871,89	0,5	2436
Tramo 2	Superficie Ribera (m²)	Densidad Planta/m³	N.º Plantas
Margen Izquierdo			
Estrato Acuático	417	0,98	409
Estrato Herbáceo	417	0,96	400
Estrato Mixto	278	0,5	139
Estrato Arbóreo	1291,31	0,5	646
Margen Derecho			
Estrato Acuático	450	0,98	441
Estrato Herbáceo	450	0,96	432
Estrato Mixto	300	0,5	150

Estrato Arbóreo	3165	0,5	1583
Tramo 3	Superficie Ribera (m²)	Densidad Planta/m³	N.º Plantas
Margen Izquierdo			
Estrato Acuático	594	0,98	582
Estrato Herbáceo	594	0,96	570
Estrato Mixto	396	0,5	198
Estrato Arbóreo	8712	0,5	4356
Margen Derecho			
Estrato Acuático	615,66	0,98	603
Estrato Herbáceo	615,66	0,96	591
Estrato Mixto	410,44	0,5	205
Estrato Arbóreo	3053,6736	0,5	1527
Tramo 4	Superficie Ribera (m²)	Densidad Planta/m³	N.º Plantas
Margen Izquierdo			
Estrato Acuático	750	0,98	735
Estrato Herbáceo	750	0,96	720
Estrato Mixto	500	0,5	250
Estrato Arbóreo	15790	0,5	7895
Margen Derecho			
Estrato Acuático	315	0,98	309
Estrato Herbáceo	315	0,96	302
Estrato Mixto	210	0,5	105
Estrato Arbóreo	288,75	0,5	144
Tramo 5	Superficie Ribera (m²)	Densidad Planta/m³	N.º Plantas
Margen Izquierdo			
Estrato Acuático	534	0,98	523

Estrato Herbáceo	534	0,96	513
Estrato Mixto	356	0,5	178
Estrato Arbóreo	3916	0,5	1958
Margen Derecho			
Estrato Acuático	474	0,98	465
Estrato Herbáceo	474	0,96	455
Estrato Mixto	316	0,5	158
Estrato Arbóreo	2370	0,5	1185
Tramo 6	Superficie Ribera (m²)	Densidad Planta/m³	N.º Plantas
Margen Izquierdo			
Estrato Acuático	432	0,98	423
Estrato Herbáceo	432	0,96	415
Estrato Mixto	288	0,5	144
Estrato Arbóreo	3569,76	0,5	1785
Margen Derecho			
Estrato Acuático	155,7	0,98	153
Estrato Herbáceo	155,7	0,96	149
Estrato Mixto	103,8	0,5	52
Estrato Arbóreo	298,425	0,5	149

Plantas totales por estrato florístico

Tabla 15. Calculo de plantas por estrato florístico

Plantas Totales por Estrato	
Estrato Acuático	4801
Estrato Herbáceo	4703
Estrato Mixto	1633
Estrato Arbóreo	22877

Calculo de plantas por especie

Tabla 16. Calculo de plantas por especie

Plantas por especie				
Estrato	N.º Plantas por Estrato	Especies	Proporción	Número de Plantas
Estrato Acuático	4801	<i>Typha latifolia</i>	0,50	2401
		<i>Mentha aquatica</i>	0,16	768
		<i>Cymbopogon citratus</i>	0,34	1632
Estrato Herbáceo	4703	<i>Aristida tenipes</i>	0,10	470
		<i>Borreria densiflora</i>	0,10	470
		<i>Commelina diffusa</i>	0,10	470
		<i>Digitaria setigera</i>	0,10	470
		<i>Euphorbia graminea</i>	0,10	470
		<i>Florestina latifoliam</i>	0,10	470
		<i>Melanthera aspera</i>	0,10	470
		<i>Mitracarpus hirtus</i>	0,10	470
		<i>Paspalum corcovadensis</i>	0,10	470
Estrato Arbustivo	1633	<i>Senna fruticosa</i>	0,11	182
		<i>Solanum nudum</i>	0,17	272
		<i>Ayenia micrantha</i>	0,06	91
		<i>Mimosa albida</i>	0,11	182
		<i>Dorstenia drakena</i>	0,19	302
		<i>Lasiacis ruscifolia</i>	0,19	302
		<i>Urochloa fasciculata</i>	0,19	302
Estrato Arbóreo	22877	<i>Ardisia revoluta Kunth</i>	0,03	732
		<i>Astronium graveolens jacq.</i>	0,06	1464

		<i>Guazuna ulmifolia</i>	0,06	1464
		<i>Bursera simaruba</i>	0,16	3660
		<i>Acacia pennatula</i>	0,06	1464
		<i>Rondelatia hondurensis</i>	0,03	709
		<i>Pinus oocarpa</i>	0,03	709
		<i>Simarouba glauca</i>	0,06	1464
		<i>Calliandra calothyrsus</i>	0,15	3317
		<i>Lasiacis ruscifolia</i>	0,17	3946
		<i>Mitracarpus hirtus</i>	0,17	3946

Calculo humedales flotantes y número de plantas flotantes

Base de cálculo

Matriz 7x10 m = 35 humedales por matriz

Espaciado entre matriz = 20 m

Longitud del tramo de actuación= 240 m

Plantas humedal = 2 *Typha latifolia* y 2 *Mentha aquatica*.

Densidad Sustrato turba= 200 Kg/m³

Calculo Humedales flotantes

N.º matrices = 240 m / (10m + 20 m) = 8 matriz

N.º humedales = 35 humedales/matriz * 8 matriz = 280 humedales.

Calculo N.º Plantas y sustrato

Typha latifolia = 280 * 2 *Typha latifolia* = 560 *Typha latifolia*

Mentha aquatica = 280* 2 *Mentha aquatica* = 560 *Mentha aquatica*

M³ Sustrato turba = 0,5 m³ * 280 = 140 m³ = 140 m³ * 200 Kg/m³ = 28.000 Kg sustrato turba = 28 Tn sustrato turba.

Estimación de la capacidad autodepuradora del río Choluteca

Conociendo que el río Choluteca es capaz de eliminar de forma natural aproximadamente el 90% de contaminación hídrica mediante autodepuración. Podemos estimar la capacidad de eliminación de la carga contaminante producida en Tegucigalpa, y extrapolarla a la extensión recuperable del río en Tegucigalpa.

Base de cálculo

Rendimiento Eliminación DBO (η) = 90%

Población del Distrito Central: 1.300.000 habitantes

Habitante equivalente (H-e) = 200 L; DBO/L = 300 mg / L

DBO _{Habitante Equivalente} = 60g DBO/ H-e *día = 0,06 kg DBO/ H-e *día

Relación C/N/P = 100C/10N/1P

Extensión río Choluteca hasta desembocadura = 327 Km

Tramo río Choluteca en Tegucigalpa = 20 km

Carga contaminante producida en el distrito central

DBO Producida = (0,06 Kg DBO/ H-e *día) * 1.300.000 H-e = 78000 Kg DBO/día

DBO Eliminada = 78000 Kg DBO/día * 0,9 = 70200 Kg DBO/día → DBO Eliminado/Km río = (70200 Kg DBO/día) / 327 km = 214,7 Kg DBO/km*día

DBO Vertida = 7800 Kg DBO/día

Si 100C/10N/1P:

N Producido = 7800 Kg N/día; N Eliminado = 7020 Kg N/día; N Vertido = 780 Kg N/día

P Producido = 780 Kg P/día; P Eliminado = 702 Kg P/día; P Vertido = 78 Kg P/día

Equivalencia Depuradora en Habitantes equivalentes

Habitantes Equivalentes (H-e) = (214,7 Kg DBO/km*día * 20 km) / 0,06 Kg DBO/ H-e = 71.566 H-e.

Estabilización de taludes: extensión geomalla y coberturas vegetales

Base de cálculo

Área taludes: Talud 1 = 814 m²; Talud 2 = 2114 m²

Densidad coberturas vegetales (*Conyza confusa*) = 4 plantas/m²

H_{Mulching} = 0,05 m; ρ_{Mulching} = 50 Kg/m³

Talud 1

Área de la geomalla = 814 m² → Cobertura vegetal = 814 m² x 4 plantas/m² = 3256 plantas

Mulching de hojarasca = 814 m² * 0,05 m = 40,7 m³ * 50 Kg/m³ = 2.035 Kg = 2,035 Tn Hojarasca

Talud 2

Área de la geomalla = 2114 m² → Cobertura vegetal = 2114 m² x 4 plantas/m² = 8456 plantas

Mulching de hojarasca = 2114 m² * 0,05 m = 105,7 m³ * 50 Kg/m³ = 5.285 Kg = 5,285 Tn Hojarasca

9 MEDICIONES Y PRESUPUESTOS

Capítulo 1. Humedales Flotantes				
Componente		Mediciones	Coste Unitario (€)	Total (€)
Soporte Humedal	Estructura Flotante PVC	280	8	2.240,00
	Flotador PVC	1120	1	1.120,00
Malla PVC (m ²)		280	2	560,00
Sustrato Turba (m ³)		140	60	8.400,00
Cuerda fijación humedales(m)		232	2	464,00
Cuerda fijación lecho (m)		384	3,6	1.382,40
Plantas	Typha latifolia	560	0,25	140,00
	Mentha aquatica	560	0,15	84,00
Coste laboral	Horas trabajo	320	9,5	3.040,00
Subtotal				17.430,40

Capítulo 2. Rápidos				
Componente		Mediciones	Coste Unitario (€)	Total (€)
Rocas		175	200	35.000
Maquinaria	Retroexcavadora Liebherr 912 (h)	35	54	1.890
Coste laboral	Horas trabajo (h)	35	11,5	402,5
Subtotal				35.000,00

Capítulo 3. Enmiendas Orgánicas				
Componente		Mediciones	Coste Unitario (€)	Total (€)
Preparación suelo	Compost depuradora (Tn)	9,87	34	335,58
	Hojarasca (Tn)	299,23	0	0
Dosificación anual (5 años)	Compost depuradora (Tn)	16,45	34	559,30
	Hojarasca (Tn)	733,08	0	0
Subtotal				894,88

Capítulo 4. Estabilización taludes				
Componente		Mediciones	Coste Unitario (€)	Total (€)
Geomalla polietileno(m ²)		2928	6	17.568
Cobertura vegetal (<i>Conyza confusa</i>)		11712	0,25	2.928
Hojarasca (Tn)		7,32	0	0
Coste laboral	Horas trabajo	16	9,5	152
Subtotal				20.496

Capítulo 5. Control y seguimiento ambiental				
Componente		Mediciones	Coste Unitario (€)	Total (€)
Análisis calidad de las aguas		3	1.000	3.000
Subtotal				3.000

Capítulo 6. Revegetación				
Componente		Mediciones	Coste Unitario (€)	Total (€)
Estrato Acuático	<i>Cymbopogon citratus</i>	1632	0,3	489,60
	<i>Mentha aquatica</i>	768	0,15	115,20
	<i>Typha latifolia</i>	2401	0,25	600,25
Estrato Herbáceo	<i>Aristida tenipes</i>	470	0,5	235,00
	<i>Borreria densiflora</i>	470	0,4	188,00
	<i>Commelina diffusa</i>	470	0,6	282,00
	<i>Digitaria setigera</i>	470	0,45	211,50
	<i>Euphorbia graminea</i>	470	0,4	188,00
	<i>Florestina latifoliam</i>	470	0,35	164,50
	<i>Melanthera aspera</i>	470	0,65	305,50
	<i>Mitracarpus hirtus</i>	470	0,5	235,00
	<i>Paspalum corcovadensis</i>	470	0,7	329,00
	<i>Setaria Longipila</i>	470	0,35	164,50
Estrato Arbustivo	<i>Ayenia micrantha</i>	91	1,75	159,25
	<i>Dorstenia drakena</i>	302	0,55	166,10
	<i>Lasiacis ruscifolia</i>	302	0,65	196,30
	<i>Mimosa albida</i>	182	2,25	409,50
	<i>Senna fruticosa</i>	182	2,75	499,60

	<i>Solanum nudum</i>	272	2,8	762,68
	<i>Urochloa fasciculata</i>	302	0,3	90,60
<i>Estrato Arbóreo</i>	<i>Ardisia revoluta Kunth</i>	732	4	2.928,00
	<i>Rondeletia hondurensis</i>	709	4,35	3.084,15
	<i>Acacia pennatula</i>	1464	4	5.856,00
	<i>Astronium graveolens jacq.</i>	1464	5,75	8.418,00
	<i>Bursera simaruba</i>	3660	8	29.280,00
	<i>Calliandra calothyrsus</i>	3317	4,75	15.755,75
	<i>Pinus oocarpa</i>	709	3,5	2.481,50
	<i>Guazuna ulmifolia</i>	1464	7,5	10.980,00
	<i>Lasiacis ruscifolia</i>	3946	0,65	2.564,90
	<i>Mitracarpus hirtus</i>	3946	0,5	1.973,00
	<i>Simarouba glauca</i>	1464	6,5	9.516,00
<i>Herramientas</i>	Azada	20	13	260,00
	Rastrillo	20	12	240,00
Subtotal				99.129,37

Tabla 17. Presupuestos de las actuaciones

Presupuesto	
Capítulo 1: Humedales Flotantes	17.430,4
Capítulo 2. Rapados	35.000
Capítulo 3. Enmiendas Orgánicas	894,88
Capítulo 4. Estabilización Taludes	20.496
Capítulo 5. Control y Seguimiento ambiental	3.000
Capítulo 6. Revegetación	99.129
Total** (€)	175.950,65

*La hojarasca utilizada será cedida por el AMDC. Por lo que, el coste considerado será de 0€. La mano de obra utilizada en la preparación del suelo y la revegetación provendrá de voluntarios de ONGs locales y de centros educativos, considerándose la mano de obra a coste 0.

**Presupuesto base calculado de acuerdo a precios españoles.

Sobre el presupuesto final, hay que añadir un beneficio industrial del 23% y el coste correspondiente del visado del proyecto en la republica de Honduras.

10 CONCLUSIONES

Las actuaciones propuestas suponen un método recuperación ambiental integral de un tramo de un río urbano con un elevado nivel de degradación. Se estima que al mejorar la autodepuración del río y la recuperación de la ribera, se den las condiciones idóneas en las que se permita la mejora de las condiciones ambientales, recuperándose los ecosistemas ribereños y mejorando el paisaje urbano de Tegucigalpa.

Además de, mejorar los parámetros de la calidad de agua del río, estabilizándose las taludes del río por las coberturas vegetales. Y de forma indirecta, reducir el riesgo de inundación del río en la ciudad, gracias al encauzamiento de las crecidas del río por la vegetación de ribera y el dragado natural de los sedimentos no consolidados por las crecidas del río.

Una vez implantado el proyecto piloto, si se consiguen los resultados experimentales previstos, la metodología de actuación descrita, permite la implantación y extensión de la renaturalización a otras zonas del río de la ciudad. Ayudando a la restauración ambiental de la ciudad, mientras se desarrollan los sistemas saneamiento y drenaje de la ciudad, que permitan una depuración más exhaustiva de las aguas residuales.

Todo esto, permitirá poner en valor entorno urbano del río Choluteca, y la promover futuros planes de desarrollo económico en el mismo.

En la actualidad, en el marco del proyecto del “Plan Maestro del Casco Histórico de Tegucigalpa”, a finales de octubre del año 2017, tendrán lugar las primeras experiencias piloto de recuperación de la ribera del río Choluteca en Tegucigalpa, siguiendo la metodología propuesta en este proyecto.

Que permitirá la futura creación, de un parque urbano fluvial en el entorno del río Choluteca. Permitiendo, reactivar la economía de la ciudad y mejorando el entorno ambiental urbano.

11 REFERENCIAS

- 1 Aguilera, E. G.; 2009. *Contaminación del río Choluteca, Honduras. En Línea: <https://es.scribd.com/doc/30474951/Contaminacion-Del-Rio-Choluteca>*
- 2 AMDC; *Portal de Mapas del AMDC. En Línea: <https://amdc.giscloud.com/>*
- 3 BID; 2016. *Diagnóstico contrastado del Plan Urbano Ambiental del Río Choluteca*, Banco Interamericano de Desarrollo.
- 4 BID; NDF, 2014. *Tegucigalpa y Comayagüela "Capital sostenible, segura y abierta al público"*, Banco Interamericano de Desarrollo.
- 5 Bloomberg, *Bloomberg "Islas Flotantes". En Línea: <http://blumberg-engineers.com/es/74/-islas-flotantes>*
- 6 Brea, J. D. & Balocchi, F., 2010. *Procesos de erosión - sedimentación en cauces y cuencas*. UNESCO.
- 7 Camprodom, J., Ferreira, M. T. & Ordeix, M., 2012. *Restauración y Gestión Ecológica Fluvial*. RICOVER.
- 8 Gutierrez J. F., L. G. M., 2002. Composición florística de la vegetación riparia de "Quebrada Grande". Moracelí, El Paraiso, Honduras, C.A..
- 9 IDOM, IH Cantabria., 2016. *Estudio de Prefactibilidad de Saneamiento y Drenaje de la Ciudad de Tegucigalpa, Honduras*, Banco Interamericano de Desarrollo.
- 10 Lesko, C., 2005. *Composición Florística Estructural del Bosque de Galería de la Quebrada Grande, Moracelí, El Paraiso, Honduras, C.A.*
- 11 Martin, M., *La Complejidad Urbana y Ambiental de la Ciudad de Tegucigalpa*, Comité de desarrollo sostenible de la Capital-CCIT.
- 12 Meli, P.; Carrasco-Carballido, V., 2011. *Restauración ecológica de riberas: Manual para la recuperación de la vegetación ribereña en arroyos de la Selva Lacandona*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- 13 Menéndez, R. N.; Melara, N. W., 2002. Composición Florística del Bosque de Galería de la Quebrada Güisire, Moraceli, El Paraiso, Honduras. C.A..
- 14 Ortiz, P. E., *Plantas depuradoras para el saneamiento del río Choluteca y su sostenibilidad*
- 15 Padilla, G., 2003. Estado de la diversidad biológica de los árboles y bosques de Honduras. *FAO*.
- 16 Ponce de Montoya, B., 2008. Análisis de la contaminación del río Choluteca y sus efectos sobre la población a su paso por Tegucigalpa. *Revista Ciencia y Tecnología, n° 2*
- 17 Sutherland, N., 2004. Vegetación en el Ámbito Urbano de Tegucigalpa. *Universidad Nacional Autónoma de Honduras*.
- 18 Wießner, A., Kusch, P. & Stottmeister, U., 2002. Oxygen Release by Roots of *Typha latifolia* and *Juncus effusus* in Laboratory Hydroponic Systems. *Acta Biotechnol, n° 22*.

Anexo A: Planos

Anexo B: Análisis calidad aguas del río Choluteca en Tegucigalpa (2005/6)

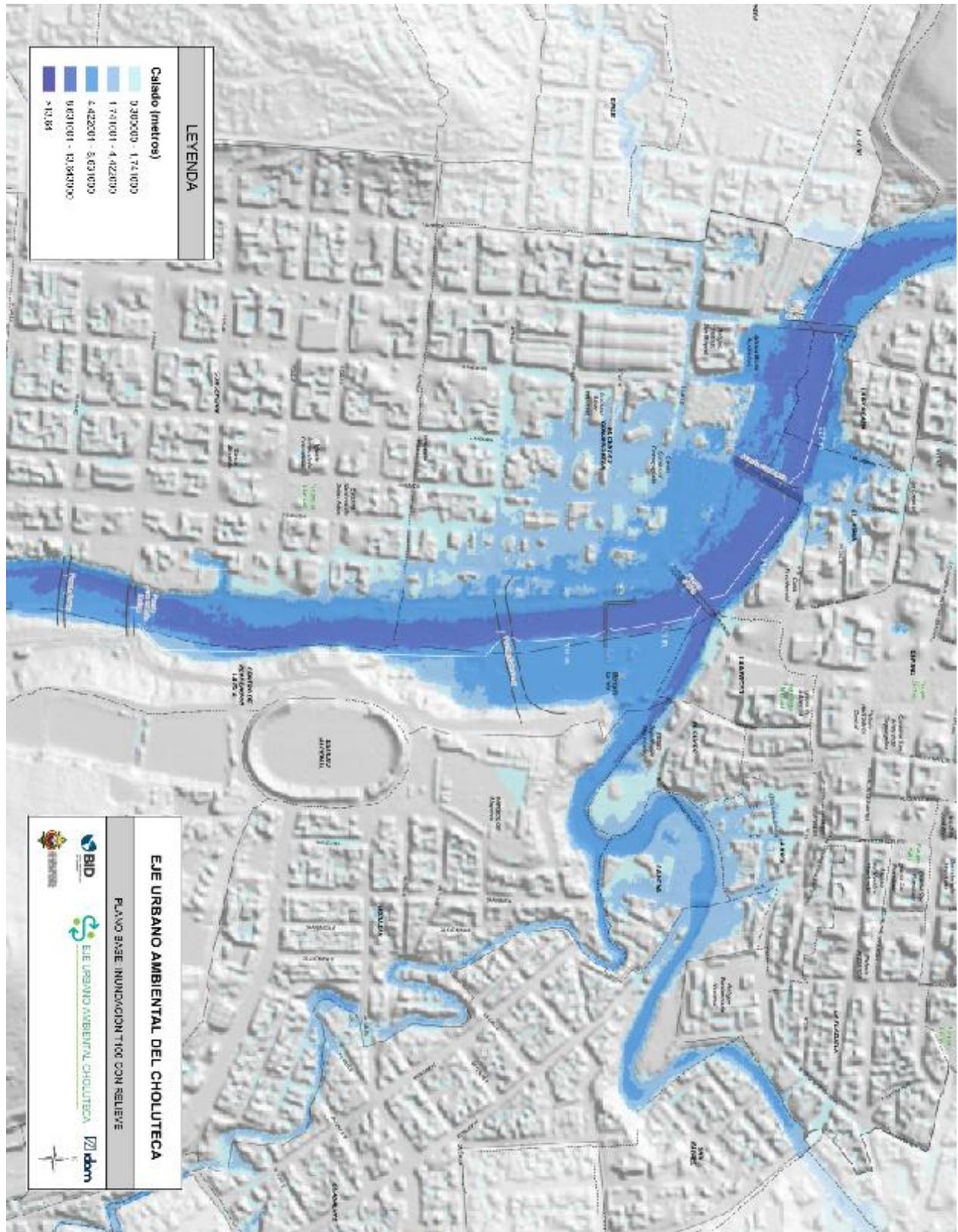
Anexo C: Norma de Calidad para Descarga de Agua Residuales en Cuerpos Receptores (Honduras)

Anexo D: Metodología de Análisis de la Calidad de Aguas (Honduras)

Anexo E: Selección Plantas Revegetación

Anexo A: Planos

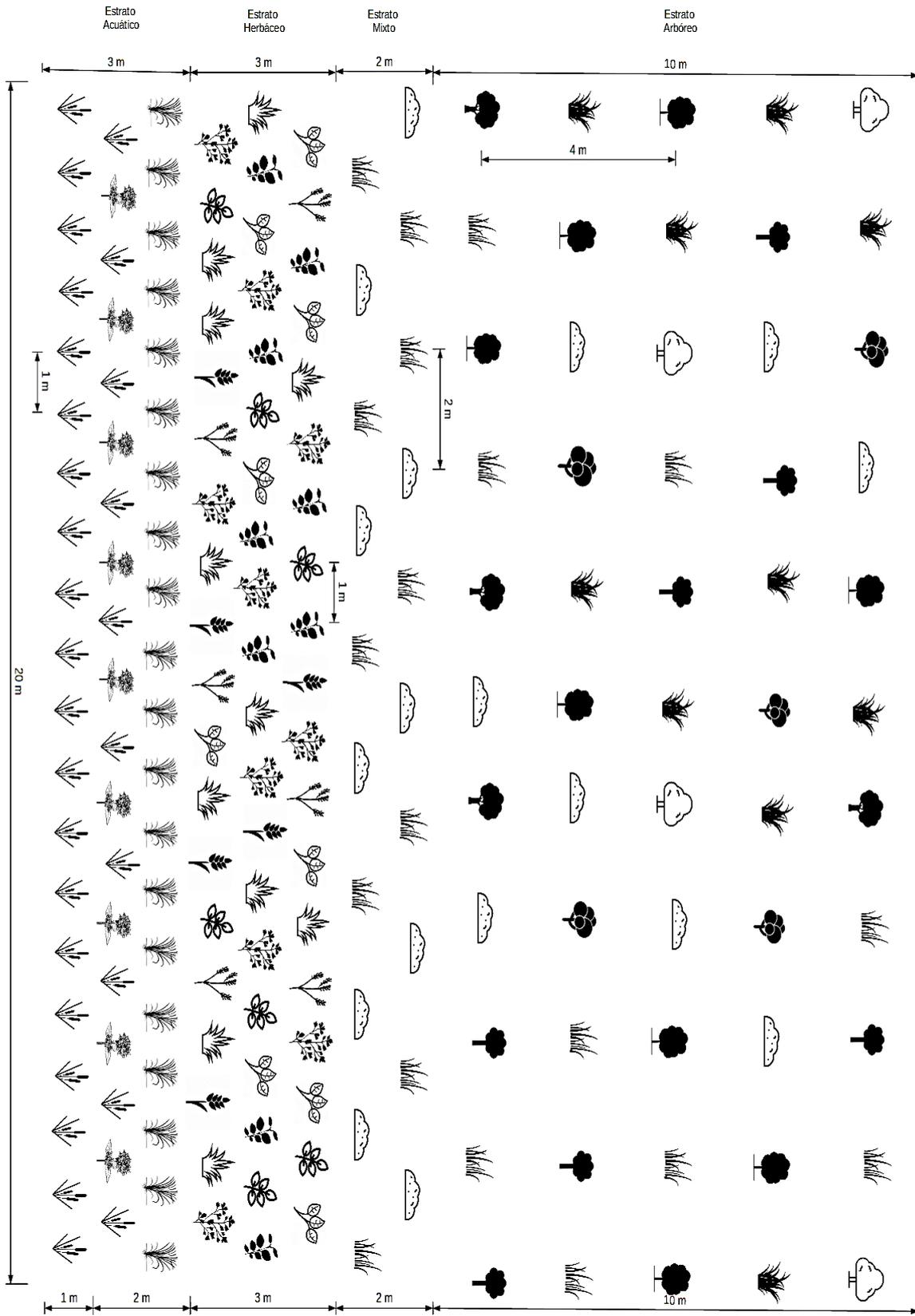
Mapa de inundación T100 del casco histórico de Tegucigalpa M.D.C. Fuente: IDOM; BID



Plano de situación de la actuación. Elaboración propia



Plano matriz de revegetación. Elaboración propia



Anexo B: Análisis de la calidad de las aguas del río Choluteca (2005/06)

Monitoreo del Río Choluteca (Período Lluvioso 2005 - Período Seco 2006)

ÉPOCA LLUVIOSA				ÉPOCA SECA		
Temperatura del Agua	Ago-05	Oct-05	Promedio-05	Dic-05	Abr-06	Promedio-06
Norma Técnica						
Puente Germania		20.8	20.8	21.8	27.4	24.6
Puente El Prado		21.2	21.2	22.3	26.7	24.5
Puente Juan R. Molina		22.1	22.1	24	27.5	25.7

ÉPOCA LLUVIOSA				ÉPOCA SECA		
Oxígeno Disuelto	Ago-05	Oct-05	Promedio-05	Dic-05	Abr-06	Promedio-06
Norma Técnica*	3	3	3	3	3	3
Puente Germania		6.53"	6.53	6.4"	11.4"	8.9
Puente El Prado		2.22"	2.22	0"	0"	0
Puente Juan R. Molina	4.4	2.2	3.3	0	0	0

ÉPOCA LLUVIOSA				ÉPOCA SECA		
Coliformes Totales	Ago-05	Oct-05	Promedio-05	Dic-05	Abr-06	Promedio-06
Norma Técnica*	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000
Puente Germania	12,400	25,000	18,700	900	3,000	1,950
Puente El Prado	6,300,300	10,000,000	8,150,000	90,000,000	60,000,000	75,000,000
Puente Juan R. Molina	4,960,000	10,000,000	7,480,000	95,000,000	75,000,000	85,000,000

ÉPOCA LLUVIOSA				ÉPOCA SECA		
Coliformes Termotolerantes	Ago-05	Oct-05	Promedio-05	Dic-05	Abr-06	Promedio-06
Norma Técnica*	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
Puente Germania		3,000	3,000	250	50	150
Puente El Prado		5,000,000	5,000,000	20,000,000	25,000,000	22,500,000
Puente Juan R. Molina		3,000,000	3,000,000	5,000,000	12,500,000	87,500,000

ÉPOCA LLUVIOSA				ÉPOCA SECA		
Nitrógeno Amoniacal	Ago-05	Oct-05	Promedio-05	Dic-05	Abr-06	Promedio-06
Norma Técnica*	2	2	2	2	2	2
Puente Germania	0.35	0.64	0.495	0.37	1.12	0.74
Puente El Prado	40.3	1.95	2.99	12.7	35.48	24.09
Puente Juan R. Molina	2.09	1.95	2.425	11.2	29.78	20.49

ÉPOCA LLUVIOSA				ÉPOCA SECA		
Fósforo Total	Ago-05	Oct-05	Promedio-05	Dic-05	Abr-06	Promedio-06
Norma Técnica**	5	5	5	5	5	5
Puente Germania	0.09	0.21	0.15	0.34	0.67	0.504
Puente El Prado	0.6	1.5	1.05	42.7	6.758	5.72
Puente Juan R. Molina	0.47	1.5	0.985	4	6.49	5.24

ÉPOCA LLUVIOSA				ÉPOCA SECA		
Aceites y Grasas	Ago-05	Oct-05	Promedio-05	Dic-05	Abr-06	Promedio-06
Norma Técnica**	10	10	10	10	10	10
Puente Germania	5.1	1.3	3.2	< 0.1	N.D	< 0.1
Puente El Prado	6.5	4.5	5.5	14	N.D	14
Puente Juan R. Molina	5.1	3.3	4.2	9.4	N.D	9.4

ÉPOCA LLUVIOSA				ÉPOCA SECA		
DBO5	Ago-05	Oct-05	Promedio-05	Dic-05	Abr-06	Promedio-06
Norma Técnica**	50	50	50	50	50	50
Puente Germania	1.8	5	3.4	5	3.80	4.4
Puente El Prado	3.5	4.5	15.65	91	87.80	89.4
Puente Juan R. Molina	7.6	3.3	16.3	76	83.80	79.9

ÉPOCA LLUVIOSA				ÉPOCA SECA		
DQO	Ago-05	Oct-05	Promedio-05	Dic-05	Abr-06	Promedio-06
Norma Técnica**	200	200	200	200	200	200
Puente Germania	29	31	30	12	48	30
Puente El Prado	51	70	60.5	214	280	247
Puente Juan R. Molina	29	116	72.5	280	296	288

ÉPOCA LLUVIOSA				ÉPOCA SECA		
Color	Ago-05	Oct-05	Promedio-05	Dic-05	Abr-06	Promedio-06
Norma Técnica**	< 200	< 200	< 200	< 200	< 200	< 200
Puente Germania	250	90	170	55	35	45
Puente El Prado	225	75	150	350	1,250	800
Puente Juan R. Molina	225	70	16.3	300	1,750	1,025

ÉPOCA LLUVIOSA				ÉPOCA SECA		
PH	Ago-05	Oct-05	Promedio-05	Dic-05	Abr-06	Promedio-06
Norma Técnica**	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9
Puente Germania	7.31	7.51	7.41	7.80	8.38	8.09
Puente El Prado	7.09	7.27	7.18	6.89	7.94	7.41
Puente Juan R. Molina	6.9	7.12	7.01	6.98	8.27	7.6

ÉPOCA LLUVIOSA				ÉPOCA SECA		
Conductividad	Ago-05	Oct-05	Promedio-05	Dic-05	Abr-06	Promedio-06
Norma Técnica						
Puente Germania	50	96	73	180	260	220
Puente El Prado	180	360	270	510	58	284
Puente Juan R. Molina	130	370	500	480	510	495

ÉPOCA LLUVIOSA				ÉPOCA SECA		
Turbiedad	Ago-05	Oct-05	Promedio-05	Dic-05	Abr-06	Promedio-06
Norma Técnica						
Puente Germania	117	28.1	72.55	16.50	1.77	9.13
Puente El Prado	102	20.5	61.25	146	122	134
Puente Juan R. Molina	95.3	16.7	56	117	155	136

ÉPOCA LLUVIOSA				ÉPOCA SECA		
Sólidos Disueltos	Ago-05	Oct-05	Promedio-05	Dic-05	Abr-06	Promedio-06
Norma Técnica						
Puente Germania		48	48		130	130
Puente El Prado		180	180		290	290
Puente Juan R. Molina		185	185		255	255

ÉPOCA LLUVIOSA				ÉPOCA SECA		
Sólidos Suspendedos	Ago-05	Oct-05	Promedio-05	Dic-05	Abr-06	Promedio-06
Norma Técnica**	100					
Puente Germania		12	12	4	12	8
Puente El Prado		8	8	172	424	298
Puente Juan R. Molina		28	28	124	628	376

- * Propuesta nacional de Normas para agua de uso en Preservación de Flora y Fauna.
- ** Norma de Calidad para Descarga de Agua Residuales en Cuerpos Receptores.
- “ Dato tomado en el campo con el oxigenómetro

Anexo C: Norma de calidad para descarga de aguas residuales en cuerpos receptores (Honduras)

Tabla #1

Normas de Calidad para Descarga de Aguas Residuales en Cuerpos Receptores

GRUPO A

PARÁMETRO	VALOR PERMISIBLE
Temperatura	<25.00 Grados Centigrados
Color	<200.00 uc
PH	6.00 a 9.00
Volumen Descargado	<10% del caudal o volumen promedio del cuerpo receptor

GRUPO B

PARÁMETRO	CONCENTRACIÓN MÁXIMA PERMISIBLE
Sólidos Sedimentales (S.Sed)	1.00 ml/l/h
Soplidos Suspendidos (S.sus)	100.00 mg/l
Material Flotante y Espuma	AUSENTE

GRUPO C

PARÁMETRO	CONCENTRACIÓN MÁXIMA PERMISIBLE
DBO	50 mg/l
DQO	200.00 mg/l
Grasas y Aceites	10.00 mg/l

GRUPO D

PARÁMETRO	CONCENTRACIÓN MÁXIMA PERMISIBLE
Nitrógeno Total Kjeldahl	30.00 mg/l
Nitrógeno Amoniacal	20.00 mg/l
Fósforo Total	5.00 mg/l
Sulfuros	0.25 mg/l
Sulfatos	400.00 mg/l
Aluminio	2.00 mg/l
Bario	5.00 mg/l
Hierro	1.00 mg/l
Manganeso	2.00 mg/l
Zinc	2.00 Mg/l
Cobre	0.50 mg/l
Estaño	2.00 mg/l
Níquel	2.00 mg/l
Plata	0.10 mg/l
Plomo	0.50 mg/l
Mercurio	0.01 mg/l
Cadmio	0.05 mg/l
Cromo Total	1.00 mg/l
Cromo Hexavalente	0.10 mg/l
Cobalto	0.50 mg/l
Arsénico	0.10 mg/l
Cianuro	0.50 mg/l
Fluoruros	10.00 mg/l
Selenio	0.20 mg/l

GRUPO E

PARÁMETRO	CONCENTRACIÓN MÁXIMA PERMISIBLE
Bifenilos Policlorados	AUSENTE
Tricloroetileno	0.30 mg/l
Tetracloroetano	0.10 mg/l
Tetracloruro de Carbono	1.00 mg/l
Dicloroetileno	1.00 mg/l
Cloroformo	0.03 mg/l
Sulfuro de Carbono	1.00 mg/l
Pesticidas Órgano Clorados	0.05 mg/l
Pesticidas Órgano Fosforados	0.10 mg/l
Hidrocarburos	0.50 mg/l
Fenoles	0.50 mg/l
Detergentes	2.00 mg/l

GRUPO F

PARÁMETRO	CONCENTRACIÓN MÁXIMA PERMISIBLE
Coliforme Fecal	5000/100 ml

GRUPO G

PARÁMETRO	CONCENTRACIÓN MÁXIMA PERMISIBLE
Isótopos Radioactivos	AUSENTE

Anexo D: Métodos analíticos de referencia en análisis de aguas (Honduras)

TABLA #3 (REFERENCIAS)

PARÁMETRO	MÉTODO ANALÍTICO
Ph	Potenciométrico
Temperatura	Visual con termómetro
Sólidos Sedimentables	Cono Imhoff
Sólidos en Agua	Gravimétrico
Color	Espectrofotométrico *
Materia Flotante	Visual con Malla Específica

PARÁMETRO	MÉTODO ANALÍTICO
Grasas y Aceites	Partición Gravimétrico *

PARÁMETRO	MÉTODO ANALÍTICO
Grasas y Aceites	Método Extracción Soxhlet
DBO	Análisis a 5 días a 20 °C
DQO	Reflujo cerrado por Colorimetría * Reflujo cerrado por valoración Tritrimétrica
Nitrógeno (K)	Kjeldahl
Nitrógeno Amoniacal	Kjeldahl * Nesslerización
Fósforo Total	Colorimétrico de Azul de Molibdeno o Cloruro Estaño
Sulfuros	Colorimétrico de Azul de Metileno * Iodimétrico (Tritrimétrico)

Sulfatos	Turbidimétrico * Gravimétrico con cloruro de bario
Bifenilos Policlorados	Extracción Líquido Cromatografía de Gas *
Pesticidas Órgano Clorados	Cromatografía de Gas
Pesticidas Órgano Fosforados	Cromatografía de Gas
Cloroformo	Cromatografía de Gas
Fenoles	Espectrofotométrico Bipirina de la 4-amino Antipirina* Colorimétrico de Azul metileno

* DEBE SER EL MÉTODO PREFERIBLEMENTE USADO.

PARÁMETRO	MÉTODO ANALÍTICO
Fenoles	Espectrofotométrico Bipirina de la 4-amino Antipirina * Colorimétrico de Azul metileno
Determinación de Detergente	Colorimétrico de azul de metileno

PARÁMETRO	MÉTODO ANALÍTICO
Metales:	Espectrofotométrico de Absorción Atómica *
Cobre:	Colorimétrico de Neocupreina
Níquel	Colorimétrico de la Dimetilgloximia
Plomo:	Colorimétrico de la Ditizona
Mercurio:	Colorimétrico de la Ditizona
Cadmio:	Colorimétrico de la Ditizona
Cromo Total:	Colorimétrico de la Ditizona
Cromo Hexavalente:	Colorimétrico de la Difenil Carbazida
Arsénico:	Espectrofotométrico de Absorción Atómica
Cianuro:	Colorimétrico y Titulométrico
Zinc:	Colorimétrico: Ditizona I, Ditizona II
Fluoruros:	Colorimetro del SPADNS
Selenio	Colorimétrico de la 3,3,3 Diamino Benecidina
Coliforme Fecales:	Tubos Múltiples * Membrana Filtrante a 44.5 °C
Isótopos Radiactivos:	Radio Chemical Métodos

* DEBE SER EL MÉTODO PREFERIBLEMENTE USADO.

Anexo E: Selección plantas revegetación

N.º	Nombre científico	Nombre común	Origen
Herbáceas			
1	<i>Aristida ternipes</i>	Tres barbas abierto	Autóctono
2	<i>Bidens riparia ver. Retracta</i>	Cáñamo acuático	Naturalizado
3	<i>Borreria densiflora</i>	Borreria	Autóctono
4	<i>Chamaescyce hyssopifolia</i>	Hierba de la golondrina	Autóctono
5	<i>Commelina diffusa</i>	Hierba de pollo	Autóctono
6	<i>Conyza confusa</i>	-	Autóctono
7	<i>Crolataria vitellina</i>	-	Autóctono
8	<i>Cymbopogon citratus</i>	Zacate de limón	Alóctono
9	<i>Cyperus odoratus</i>	-	Autóctono
10	<i>Desmodium heterocarpon</i>	Desmodio	Autóctono
11	<i>Digitaria bicornis</i>	Zacate pata de gallina	Autóctono
12	<i>Digitaria setigera</i>	East indian crabgrass	Naturalizado
13	<i>Dorstenia drakena</i>	Flor de gallito	Autóctono
14	<i>Emilia fosbergii</i>	Lechuguilla roja	Naturalizado
15	<i>Euphorbia graminea</i>	-	Autóctono
16	<i>Fleischmannia arguta</i>	-	Autóctono
17	<i>Florestina latifolia</i>	-	Autóctono
18	<i>Lasiacis ruscifolia</i>	-	Autóctono
19	<i>Melanthera aspera</i>	Totolquelite	Autóctono
20	<i>Mentha aquatica</i>	Menta acuática	Alóctono
21	<i>Mimosa teledactyla</i>	-	Autóctono
22	<i>Mitracarpus hirtus</i>	Tropical girdlepod	Autóctono

23	<i>Panicum laxum</i>	-	Autóctono
24	<i>Paspalum corcovadensis</i>	-	-
25	<i>Paspalum pulchellum</i>	-	Autóctono
26	<i>Phyllanthus niruri</i>	Chancapiedra	Autóctono
27	<i>Setaria Longipila</i>	-	Autóctono
28	<i>Stylosanthes guianensis</i>	Stylo	Naturalizado
29	<i>Typha latifolia</i>	Espadaña	Alóctono
30	<i>Urochloa fasciculata</i>	Browntop signalgrass	Autóctono
Arbustivo			
31	<i>Acalypha semipilosa</i>	-	Autóctono
32	<i>Acanthocerys tetragonus</i>	Cruceta	Autóctono
33	<i>Ayenia micrantha</i>	-	Autóctono
34	<i>Calea acuminata</i>	-	Autóctono
35	<i>Calliandra calothyrsus</i>	-	Autóctono
36	<i>Cephalocereus maxonii</i>	-	Autóctono
37	<i>Mimosa albida</i>	Espina dormilona	Autóctono
38	<i>Senna fruticosa</i>	-	Autóctono
39	<i>Solanum nudum</i>	Zapata	Autóctono
Arbóreo			
40	<i>Acacia pennatula</i>	Algarrobo	Autóctono
41	<i>Ardisia revoluta Kunth</i>	Capulín agarroso	Autóctono
42	<i>Astronium graveolens</i>	Comenegro	Autóctono
43	<i>Bursera simaruba</i>	Indio desnudo	Autóctono
44	<i>Coursetia poyiphylla</i>	-	Autóctono
45	<i>Ficus insipida</i>	Jonote	Autóctono
46	<i>Gettarda macrosperma</i>	-	Autóctono
47	<i>Guazuma ulmifolia</i>	Majahua	Autóctono

48	<i>Hymenaea courbaril</i>	Guapinol	Autóctono
49	<i>Lasianthea fruticosa</i>	Árnica Che	Autóctono
50	<i>Licania arborea</i>	Cacahuate de Jabón	Autóctono
51	<i>Liquidambar styraciflua</i>	liquidámbar americano	Autóctono
52	<i>Lonchocarpus hondurensis</i>	Jabin del agua	Autóctono
53	<i>Lonchocarpus retiferus</i>	Chapemo	Autóctono
54	<i>Pinus oocarpa</i>	Pino Amarillo	Autóctono
55	<i>Piscidia grandifolia</i>	Llora sangre	Autóctono
56	<i>Platymiscium albertinae</i>	-	Autóctono
57	<i>Psidium sartorianum</i>	Cacique	Autóctono
58	<i>Rondeletia hondurensis</i>	-	Autóctono
59	<i>Rondeletia deamii</i>	-	Autóctono
60	<i>Spondias radlkoferi</i>	-	Autóctono
61	<i>Simarouba glauca</i>	Aceituno	Autóctono
62	<i>Spondias mombim</i>	Hobo	Autóctono
63	<i>Thouinia serrata</i>	-	Autóctono

