



*Universidad Nacional de Córdoba*  
*Facultad de Ciencias Agropecuarias*  
*Escuela para Graduados*



---

**DISEÑO METODOLÓGICO DE MANEJO INTEGRAL  
PARA LA SUSTENTABILIDAD DE CUENCAS: CASO DE  
ESTUDIO LA CUENCA DE LOS TWIN STREAMS,  
AUCKLAND, NUEVA ZELANDA.**

**Cruz Elisa Torrecillas Núñez**

Tesis  
Para optar al Grado  
Académico de Doctora en  
Ciencias Agropecuarias

*Córdoba, 2016*

# **DISEÑO METODOLÓGICO DE MANEJO INTEGRAL PARA LA SUSTENTABILIDAD DE CUENCAS: CASO DE ESTUDIO LA CUENCA DE LOS TWIN STREAMS, AUCKLAND, NUEVA ZELANDA.**

**Cruz Elisa Torrecillas Núñez**

## **Comisión Asesora de Tesis**

**Director:** Dr. Andrés Carlos Ravelo

**Asesores:** Dr. Héctor Manuel Cárdenas Cota (Codirector)

Dr. Carlos Marcelo García Rodríguez

## **Tribunal Examinador de Tesis**

Dra. Ana María Planchuelo .....

Dra. Martha Alicia Velázquez Machuca .....

Dr. Carlos Marcelo García Rodríguez .....

## **Presentación formal académica**

13 de Abril de 2016

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Universidad Nacional de Córdoba

## AGRADECIMIENTOS

*Dios Mío Gracias por darme el coraje, conocimiento y principalmente la vida para realizar esta etapa tan importante en mi vida.*

*Gracias Dios por brindarme la oportunidad de rodearme de personas e instituciones que creyeran en Mí y me apoyaran a lo largo de los últimos tres años.*

*Principalmente quiero agradecer al Dr. Andrés Ravelo, a la Dra. Ana Planchuelo, al Dr. Héctor Manuel Cárdena y al Dr. Carlos García por su apoyo y dirección, por sus valiosos consejos y excelente disposición.*

*Agradezco a los Miembros del Tribunal, Dra. Ana Planchuelo, Dra. Martha Alicia Velázquez Machuca y al Dr. Carlos García por dedicar su valioso tiempo a la revisión de este trabajo, por la minuciosa lectura y el aporte constructivo desinteresado para mejorar estetrabajo.*

*Agradezco a la Universidad Autónoma de Sinaloa. En particular al Departamento del programa de Mejoramiento del Profesorado PROMEP por apoyarme con la beca que permitieron llevar a adelante mi formación doctoral y profesional, a FOMEX y a la Facultad de Ingeniería Culiacán por apoyarme en las estancias académicas realizadas para mi formación.*

*A la Universidad de Auckland, especialmente al Departamento de Ingeniería Civil y Medio Ambiente por su generosidaden recibirme y ayudarme a aplicar la Methodological Guide for an Integrated Catchment Management Plan, Twin Streams Catchment Assessment of Environmental Effects: Waitakere City Council y Stormwater Management Unit Action Plan de las 19 subcuencas de los Twin Streams. En particular agradezco al Dr. Bruce Melvi y al Dr. Assad Shanseldin.*

*Al Dr. Joaquín Andreu del Instituto Politécnico Nacional de Valencia y su personal por la asistencia y buena predisposición para transferir además de sus datos, su conocimiento sobre AQUATOOL.*

*Gracias a la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la UNC, por brindarme formación de posgrado. En particular quisiera agradecer a los integrantes del CREAN por brindarme su apoyo y compañía.*

*Agradezco también a todos lo que si bien no aportaron directamente a esta tesis han ayudado a mi crecimiento y maduración profesional, académica y personal. En especial*

*A mi Madre Victoria, Hijos: Silvia y Felipe, a mis Hermanos: Benjamín, Lucrecia, Esther, Reyna y Mary, a mis cuñadas Conchita y Blanca, Sobrinos, Tíos y Primos y último pero siempre primero en mi corazón, gracias a Antonio José por tu apoyo incondicional y por estar siempre conmigo cuando más lo necesitaba.*

*Y por sobre todo gracias a todos aquellos que comparten mi vida: A mis amigos, quienes están siempre presentes y me han acompañado en las buenas y en las malas.*

## RESUMEN

El objetivo de este estudio fue establecer una metodología de manejo integral para la sustentabilidad de cuencas de los Twin Streams, Nueva Zelanda y que al mismo tiempo sirva como un modelo para otras cuencas. El mérito de los trabajos realizados reside en la originalidad metodológica que incluye un enfoque sistémico y que contempla las interacción entre causa-efecto de las diferentes variables de una cuenca. La cuenca de Twin Streams está ubicada al oeste de la región de Auckland, con coordenadas UTM 5917670.3 Norte y 824742.6 Este. Tiene una superficie de 103.558 km<sup>2</sup> y tal como lo indica su nombre “Twin Streams o Ríos Gemelos”, está formada por dos sistemas hidrológicos. El Sistema I, denominado Ensenada de Henderson que tiene un área de 63.681 km<sup>2</sup> y el Sistema II, denominado Ensenada de Huruhuru que tiene un área de 39.877 km<sup>2</sup>. El análisis comprendió ambos sistemas en los que se evaluaron los siguientes indicadores cualitativos: erosión de ladera y del cauce del río, sedimentos, deforestación, ganado, nivel del agua de inundaciones, calidad del agua, depósitos de basura, lodo residual, encharcamientos, vertidos de agua residual, vertidos de agua pluvial, barreras físicas, tipo de vegetación en las zonas aledañas a los cauces de los ríos y presencia de malezas en los márgenes de los cauces. Para el diagnóstico ambiental se utilizó el método de Ward y la evaluación multi-criterio. Los estudios ambientales fueron complementados con análisis de indicadores cuantitativos que comprendieron: calidad de agua; calidad de sedimento y efectos físicos del medio ambiente. Los parámetros cuantitativos fueron evaluados por los métodos del coeficiente de correlación de Pearson, análisis de componentes principales y análisis de clusters jerárquico. Los resultados demuestran que en el Sistema I, en la parte alta donde se encuentra Upper Glen Eden, Glen Eden y Upper Opanuku, en la parte media en Henderson Creek South y Lower Opanuku, y en la parte baja en Henderson Creek South y Te Atatu Peninsula, los problemas de pérdida de calidad del agua y contaminación se deben al incremento de zonas urbanas que producen contaminaciones por: metales, derivados de las escorrentías de los techos de zinc de las casas; hidrocarburos producidos por automotores; productos químicos por desechos industriales y bacteriológicos por aguas residuales urbanas. Por otro lado, los problemas principales en el Sistema II se presentaron en la parte alta en Upper Swanson y en la parte media en Ranui, en donde se identificaron que fueron causados por la erosión en el cauce de los ríos, el sedimento, la deforestación de zonas aledañas, las barreras físicas de los cauces, la presencia de las malezas en los cauces y zonas aledañas, la contaminación por *Escherichia coli* y por cobre y zinc disueltos en el sedimento. Como conclusión se puede afirmar que la mejor calidad de agua de los Sistemas I y II de la Cuenca Twin Streams de Auckland sólo se puede lograr si se consideran todos los factores ecológicos y ambientales que influyen en el recorrido de la cuenca y para ello se deben aplicar una combinación de medidas a saber: dispositivos de bio-filtración y bio-retención; reforestación de zonas aledañas; control de malezas, estabilización del cauce y laderas, trampas de sedimento, educación ambiental, mantenimiento de la red de aguas residuales y de los DDBI existentes, así como el cumplimiento de las normas vigentes. Estas medidas permitirán reducir el 39,9% de los sedimentos, el 10,2% de zinc y 13,2% de cobre disueltos que son los peores contaminantes de las aguas de dichos arroyos.

**PALABRAS CLAVE:** Manejo Integral, Sustentabilidad de Cuencas, Contaminación Ambiental, Enfoque Sistémico, diseño de bajo impacto

# **Methodological approach for the integral management and sustainability of water basin: A case study for the Twin Streams, Auckland, New Zealand**

## **ABSTRACT**

The objective of the research carried in the Twin Streams basin in Auckland, New Zealand was to establish a methodological approach for an integral and sustainable management of the basin and possible use in other basins. The merit of the research is the original approach which includes a systemic focus and the interaction of cause-effect of the different variables of the basin. The Twin Streams basin is located west of the Auckland region with UTM coordinates 5917670.3 North and 824742.6 East. It covers an area of 103.558 km<sup>2</sup> and its name indicates it is formed by two hydrological systems. The System I, named Henderson Bay with an area of 63.681 km<sup>2</sup> and the System II named Huruheru Bay with an area of 39.877 km<sup>2</sup>. The analysis of both systems included the following qualitative indicators: erosion of riversides and river bed, sediments, deforestation, livestock, level of flooded areas, water quality, garbage deposits, mud deposits, flooded areas, contaminated water dumping, rainfall dumping, physical barriers, type of riverside vegetation and presence of weeds in the riversides. The method of Ward and multi-criteria analysis were used for the environmental diagnosis. Also, the environmental studies included analysis of quantitative indicators as: water quality, sediment quality and environmental physical factors. These indicators were analyzed using Pearson's correlation coefficient, principal components and cluster analysis. The results indicated that the System I, in the upper region where are located Upper Glen Eden, Glen Eden and Upper Opanuku, in the middle region with Henderson Creek South and Lower Opanuku and in the lower part with Henderson Creek South and Te Atatu Peninsula, the decreasing water quality is due to increased urban areas, which generate metal contaminants, metal zinc roof runoff from homes, petrol derivatives from cars, chemical products from industrial activities and bacteria contaminants from urban sewage. On the other hand, the main problems in the System II are found in the upper region in Upper Swanson, in the middle part in Ranui, caused by riverside erosion, sediments, deforestation in nearby areas, *Escherichia coli* contamination and copper and zinc in the sediments. As a conclusion, a better water quality in the Systems I and II of the Twin Streams basin can be obtained only if all ecological and environmental factors are taken in consideration. Towards this end, a combination of measures should be applied: bio-filtration and bio-retention mechanisms, reforestation of nearby areas, weed control, river bed and riversides stabilization, sediment traps, environmental education, maintenance of existing sewage network and DDBI as well as observing legal norms. These measures will allow to reduce the 39,9 % of sediments, 10,2 % of zinc and 13,2 % of copper in solution as the worst contaminants of the streams.

**KEY WORDS:** Integral management, river basin sustainability, environmental pollution, systemic approach, low impact design

## TABLA DE CONTENIDOS

LISTA DE FIGURAS.....	XI
LISTA DE FOTOS .....	XII
LISTA DE TABLAS .....	XII
LISTA DE ABREVIATURA .....	XIV
CAPÍTULO 1.....	1
INTRODUCCIÓN .....	2
El recurso agua y la contaminación .....	2
Historia del manejo integral del agua .....	9
Antecedentes de estudios en México, que sirvieron de base para el planteo de manejo integral de cuenca en Nueva Zelanda .....	12
Antecedentes de manejo de recursos hídricos en Nueva Zelanda .....	13
Antecedentes de la Región de Auckland .....	17
Antecedentes de la cuenca Twin Streams .....	21
Antecedentes metodológicos sobre el estudio integral del agua.....	21
Caso de estudio en Waitakere City Council de Nueva Zelanda .....	21
El pensamiento sistémico aplicado a la cuenca de Twin Streams .....	22
El método de Ward .....	25
Hipótesis .....	27
Objetivo general.....	27
Objetivos específicos .....	27
Importancia del estudio.....	28
CAPÍTULO 2.....	29
MATERIALES Y MÉTODOS .....	30
Descripción de la zona de estudio.....	30
Caracterización de los sistemas que integran la zona de estudio.....	33
Diagnóstico ambiental por el método de Ward .....	36
Datos considerados en las evaluaciones .....	40
Indicadores analizados y su modalidad de evaluación .....	41
Indicadores cualitativos .....	42
Indicadores cuantitativos .....	42
Valores normativos de la calidad del agua y los ecosistemas en Nueva Zelanda .....	43
Sitios de muestreo .....	45
Base de datos de los diferentes parámetros de contaminación para la cuenca de los Twin Streams .....	56
Métodos de análisis utilizados .....	56

Evaluación multicriterio (EM).....	57
Criterios estandarizados a una escala ordinal multicriterio para la evaluación ambiental de los datos registrados en la cuenca de los Twin Streams.....	58
Criterios para la evaluación ambiental cuantitativa de la cuenca de los Twin Streams .....	59
Análisis multivariado de los parámetros físicos, químicos y biológicos de la calidad del agua de la cuenca de los Twin Streams .....	60
Distribución normal multivariada.....	60
Teorema central del límite .....	61
Coefficiente de correlación lineal de Pearson.....	61
Rotación varimax.....	62
Análisis de Componentes Principales (ACP) .....	62
Cálculo de los componentes principales.....	63
Análisis de grupos o Clusters Jerárquicos .....	64
Árboles de clasificación.....	65
Gráficas Biplot.....	67
Diseño de la matriz multicriterio para la priorización de los problemas ambientales.....	67
CAPÍTULO 3.....	69
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	70
Resultados del análisis comparativo de las reglamentaciones para evaluar la calidad integral de los factores que afectan la cuenca Twin Streams .....	70
Evaluación cuantitativa de toda la cuenca .....	80
Análisis del coeficiente de correlación de Pearson del sistema I en el año 2004.....	80
Análisis del coeficiente de correlación de Pearson del sistema II en el año 2004.....	83
Análisis del coeficiente de correlación de Pearson del sistema I en el año 2006.....	86
Análisis del coeficiente de correlación de Pearson del sistema II en el año 2006.....	89
Análisis del coeficiente de correlación de Pearson en el sistema I en el año 2010 .....	92
Análisis del coeficiente de correlación de Pearson en el sistema II en el año 2010.....	95
Discusión de los resultados de los tres años evaluados a lo largo de la cuenca (sistema I y II).....	98
Análisis de Componentes Principales (ACP) .....	105
Gráficas biplot.....	107
Análisis de componentes principales con el método biplot en el sistema I y año 2004 .....	110
Análisis de componentes principales con el método biplot en el sistema II y año 2004.....	110
Análisis de componentes principales con el método biplot en el sistema I y año 2006 .....	111
Análisis de componentes principales con el método biplot en el sistema II y año 2006.....	112

Análisis de componentes principales con el método biplot en el sistema I y año 2010 .....	112
Análisis de componentes principales con el método biplot en el sistema II y año 2010 .....	113
Análisis de cluster jerárquico en el sistema I y año 2004.....	116
Análisis de cluster jerárquico en el sistema II y año 2004.....	117
Análisis de cluster jerárquico en el sistema I y año 2006.....	118
Análisis de cluster jerárquico en el sistema II y año 2006.....	119
Análisis de cluster jerárquico en el sistema I y año 2010.....	120
Análisis de cluster jerárquico en el sistema II y año 2010.....	121
Evaluación ambiental cualitativa del estado actual de la cuenca.....	125
Evaluación cualitativa del sistema I.....	125
Diagnóstico ambiental .....	125
Evaluación cualitativa del sistema II .....	131
Diagnóstico ambiental .....	131
Propuesta metodológica de un sistema de manejo integral para la sustentabilidad de una cuencas (SMISC).....	136
Formación del organismo de la cuenca del río .....	137
Caracterización de la cuenca.....	138
Establecimiento de los indicadores prioritarios de la cuenca .....	139
Evaluación de la causa-efecto de los problemas ambientales.....	141
Formulación y establecimiento del SMISC .....	142
Establecimiento de las estrategias.....	142
Funcionamiento sustentable de la cuenca .....	143
Pensamiento sistémico/marco lógico .....	150
Requerimientos esenciales para el monitoreo del SMISC.....	151
Monitoreo de la contaminación de la cuenca.....	151
Mitigación de la calidad y cantidad del agua de la cuenca.....	151
metodología de evaluación de los indicadores claves de Hooper (ICDC) .....	152
Control y seguimiento de los indicadores claves de desempeño de la cuenca(ICDC).....	153
Representación gráfica de los componentes que se requieren para lograr el SMISC.....	153
CAPÍTULO 4.....	160
CONCLUSIONES GENERALES.....	161
Recomendaciones .....	163
BIBLIOGRAFÍA .....	166
ANEXOS	
Anexo A Normas ambientales para evaluar el índice de calidad del agua Nueva Zelanda y Australia.....	184

Anexo B Estrategias e indicadores del SMISC. ....	190
---	-----

## LISTA DE FIGURAS

Figura. 1.1. Interrelaciones entre los sectores involucrados en la gestión de los recursos hídricos a nivel de alcaldía-----	17
Figura. 1.2. Representación esquemática del pensamiento sistémico para la cuenca de Twin Streams-----	23
Figura. 1.3. Cuenca de los Twin Streams en el contexto del pensamiento sistémico-----	24
Figura. 1.4. Integración de las sub-cuencas que componen a la cuenca de Twin Streams por Sistemas -----	24
Figura. 1.5. Conceptualización de la naturaleza de los ecosistemas loticos considerando sus cuatro dimensiones -----	25
Figura. 2.1. Mapa de la cuenca de Twin Streams-----	32
Figura. 2.2. Ubicación de los puntos de muestreo en los sistemas de la cuenca de Twin Streams -----	55
Figura. 3.1. Plano Factorial ACP del Sistema I en 2004-----	113
Figura. 3.2. Plano Factorial ACP del Sistema II en 2004-----	114
Figura. 3.3. Plano Factorial ACP del Sistema I en 2006-----	114
Figura. 3.4. Plano Factorial ACP del Sistema II en 2006-----	115
Figura. 3.5. Plano Factorial ACP del Sistema I en 2010-----	115
Figura. 3.6. Plano Factorial ACP del Sistema II en 2010-----	116
Figura. 3.7. Dendrograma del ACJ de las variables del Sistema I en 2004 -----	122
Figura. 3.8. Dendrograma del ACJ de las variables del Sistema II en 2004 -----	122
Figura. 3.9. Dendrograma del ACJ de las variables del Sistema I en 2006 -----	123
Figura. 3.10. Dendrograma del ACJ de las variables del Sistema II en 2006 -----	123
Figura. 3.11. Dendrograma del ACJ de las variables del Sistema I en 2010 -----	124
Figura. 3.12. Dendrograma del ACJ de las variables del Sistema II en 2010 -----	124
Figura. 3.13. Organigrama de un Organismo de Cuenca del Río y la participación social e institucional -----	138
Figura. 3.14. Representación esquemática del pensamiento sistémico para la cuenca -----	139
Figura. 3.15. Integración de las sub-cuencas que componen a la cuenca -----	140
Figura. 3.16. Diagrama de flujo con todos los componentes del Sistema de Manejo Integral para la Sustentabilidad de la Cuenca (SMISC) -----	155

## LISTA DE FOTOS

Foto A. Vista de la ciudad de Auckland desde la sierra hacia la zona costera al norte de la ciudad. -----	18
Foto B. Zona urbana de la parte media alta de la sierra. -----	18
Foto C. Vista panorámica de la parte urbana correspondiente al Sistema I. -----	34

Foto D. Vista panorámica de la parte urbana correspondiente al Sistema II.-----	35
Foto E. Erosión de ladera y del río en la parte alta-media de la cuenca.-----	126
Foto F. Deforestación y calles sin pavimentación. -----	126
Foto G. Agua jabonosa y vertidos de agua pluvial con grasas y aceites. -----	128
Foto H. Fosa séptica y sólido suspendido en el agua. -----	128
Foto I. Encharcamiento de agua con formación de lodo y rejillas sin mantenimiento. -----	129
Foto J. Conducción del agua toponeada y barreras físicas evitando el flujo del agua. -----	129
Foto K. Erosión del río y sistema de tratamiento de agua residual. -----	132
Foto L. Pastoreo y sedimento en el agua. -----	132
Foto M. Agua con vertidos agrícolas. -----	133

## LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1. Valores normativos de la calidad del agua y los ecosistemas en la Cuenca Twin Streams -----	44
Tabla 2.2. Ubicación de la parte alta de la cuenca-----	45
Tabla 2.3. Ubicación de la parte media de la cuenca-----	46
Tabla 2.4. Ubicación de la parte baja de la cuenca -----	46
Tabla 2.5. Ubicación de la parte alta de la cuenca-----	47
Tabla 2.6. Ubicación de la parte media de la cuenca-----	48
Tabla 2.7. Ubicación de la parte baja de la cuenca -----	49
Tabla 2.8. Datos físico-químicos y biológicos del agua del sistema I, cuenca Twin Streams	52
Tabla 2.9. Datos físico químicos y biológicos del agua del Sistema II de la cuenca de Twin Streams -----	53
Tabla 2.10. Ubicación de los sitios seleccionados de la evaluación ambiental cualitativa y cuantitativa -----	54
Tabla 2.11. Criterios para evaluar los datos del registro ambiental -----	59
Tabla 3.1. Aspectos que se deben incluir en la metodología de manejo integral para la sustentabilidad de las cuencas-----	72
Tabla 3.2. Matriz de correlaciones para las variables analizadas del Sistema I en el 2004---	82
Tabla 3.3. Matriz de correlaciones para las variables analizadas del Sistema II en el 2004--	85
Tabla 3.4. Matriz de correlaciones para las variables analizadas del Sistema I en el 2006---	88
Tabla 3.5. Matriz de correlaciones para las variables analizadas del Sistema II en el 2006--	91
Tabla 3.6. Matriz de correlaciones para las variables analizadas del Sistema I en el 2010---	94
Tabla 3.7. Matriz de correlaciones para las variables analizadas del Sistema II en el 2010--	97
Tabla 3.8. Estadísticas descriptivas de las variables físico-químicas y biológicas del agua de los Twin Streams de Auckland, New Zealand en el 2004-----	102
Tabla 3.9. Estadísticas descriptivas de las variables físico-químicas y biológicas del agua de los Twin Streams de Auckland, New Zealand en el 2006 -----	103

Tabla 3.10. Estadísticas descriptivas de las variables físico-químicas y biológicas del agua de los Twin Streams de Auckland, New Zealand en el 2010 -----	104
Tabla 3.11. Valores propios de los ejes seleccionados y porcentaje de la Varianza explicada del Sistema I -----	106
Tabla 3.12. Valores propios de los ejes seleccionados y Porcentaje de la Varianza explicada del Sistema II -----	106
Tabla 3.13. Correlaciones entre las variables y los factores tras rotación Varimax en el Sistema I -----	108
Tabla 3.14. Correlaciones entre las variables y los factores tras rotación Varimax en el Sistema II -----	109
Tabla 3.15. Evaluación Multicriterio del Sistema I de la cuenca de Twin Streams -----	130
Tabla 3.16. Evaluación Multicriterio del Sistema II de la cuenca de Twin Streams -----	135

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

- ACP: Análisis de Componentes Principales
- ACRPC: Plan Regional Costero de Auckland (Auckland Council Regional Plan: Coastal)
- ACJ: Análisis de Clusters Jerárquico (ACJ)
- AE: Área especial
- AG: Agricultura
- ALWP: Plan Regional de Auckland: Aire, Tierra y Agua
- ANZECC: Guías de Australia y Nueva Zelanda para la calidad del agua dulce y marina (Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality)
- AQUATOOL: Gestión de Sistemas de Recursos Hídricos
- AP: Área Protegida
- ARC: Auckland Regional Council
- ASDC: Centro de Desarrollo Sustentable de Auckland (Auckland Sustainable Development Centre)
- BF: Barreras Físicas para el paso de los peces
- BI: Birwood
- CA: Claridad del agua
- CECYT: Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología
- CP: Central Park
- CI: Cobertura impermeable
- CE: Conductividad eléctrica
- CONAFOR: Comisión Nacional Forestal
- CONAGUA: Comisión Nacional del Agua
- CO: Comercial
- Cu: Cobre disuelto en el agua
- Cu1: Cobre en el sedimento
- DB: Depósitos de basura
- DDBI: Diseño y Desarrollo de Bajo Impacto
- DE: Deforestación
- DHI: Decenio Hidrológico Internacional
- DL: Dimensión longitudinal
- DRP: Fósforo disuelto

DT: Dimensión Temporal  
DV: Dimensión Vertical  
*E.COLI: Escherichia Coli*  
EL: Erosión de ladera  
EMC: Evaluación Multicriterios  
EN: Encharcamientos  
EPA: Agencia de Protección al Ambiente de Los Estados Unido (U.S. Environmental Protection Agency)  
ER: Erosión del río  
SE: Sedimentos  
EA: Espacio abierto  
EPT: Hábitat Score  
FE: Factor de enriquecimiento  
FNP: fuentes no-puntuales  
GA: Ganado  
GE: Glen Eden  
GWP: (Global Water Partnership)  
HAP: Hidrocarburo aromático policíclico  
HC: Henderson Creek  
HCS: Henderson Creek South  
ICA: Índice de Calidad de Agua  
ICD: Indicadores Claves de Desempeño  
ICMP: Planes Integrados de Gestión de Cuencas Hidrográficas  
ID: Industrial  
IHA: Indicadores de Alteraciones Hidrológicas IISD Instituto Internacional para el Desarrollo Sostenible  
INVI: Índice de vegetación  
KM<sup>2</sup>: Kilómetros cuadrados  
LA: Dimensión lateral  
LID: Diseño de Bajo Impacto (Low Impact Design)  
LN: Lincoln  
LO: Lower Opanuku

LR: Lodo Residual  
L1: Contenido de agua  
L2: Zona baja que se inunda frecuentemente  
L3: Zona más alta que se inundación  
L4: Terraza de inundación antigua  
MACRO: Grande  
MA: Massey  
MESO: Mediana  
ME: Massey East  
MFE: (National Policy Statement for Freshwater Management)  
MICRO: Pequeña  
MIC: Macroinvertebrados  
MO: Momotu  
msnm: metros sobre el nivel del mar  
MZ: Maleza  
NH<sub>4</sub>-N: Amonio  
NI: Nivel del agua de la inundación  
NPS-FWM: Declaración de Política Nacional para la Gestión de Agua Dulce (National Policy Statement for Freshwater Management)  
OCR: Organismo de Cuenca de los Ríos  
OD: Oxígeno disuelto  
ODM: Objetivos de Desarrollo del Milenio  
OMS: Organización Mundial de la Salud (World Health Statistics)  
OMCO: (*Consumer World Organization*)  
ONG`S Organismo No Gubernamental  
PCE: Parlamentaria de Medio Ambiente  
Pb1: plomo en el sedimento  
pH: Potencial de hidrogeno  
PROFAPI: Programa de Fomento y Apoyo a Proyectos de Investigación  
PMPMS: Programas de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía  
PA: Paremuka  
PE: Periurbano

RA: Ranui  
RC: Respuesta de comportamiento  
RE: Respuesta de evolución  
RL: Residencial  
RMA: Ley de la Gestión de Recursos (Resource Management Act.)  
RPS Declaración de Política Regional  
RU: Rural  
SEMARNAT: Secretaria de Medio Ambiente y de Recursos Naturales  
SMISC: Sistema de Manejo Integral para la Sustentabilidad de Cuencas  
SSD: Sistemas Soporte de Decisión  
TAP: Te Atatu Peninsula  
TE: Temperatura  
TOXN: Nitrógeno total  
TSS: Sólidos Suspendidos Totales  
TU: Turbidez  
UGE: Upper Glen Eden  
UN-WWAP: (United Nations World Water Assessment Programme).  
UO: Upper Oratía  
UOP: Upper Opanuku  
UP: Plan de Ordenamiento Territorial (Unitary Plan)  
US: Upper Swanson  
UTM Universal Trasversal de Mercator (Universal Trasverse Mercator)  
VC: Vegetación en el cauce del río  
EV: Elevación vertical del cauce  
VR: Vertidos de agua residual  
VP: Vertidos de agua pluvial  
V1: Aguas superficiales  
V2: Aguas subterráneas  
WA: Waimoko  
WCED: Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo  
WSUD: Diseño Urbano Sensible con el Agua  
ZC: Zona de cabecera

ZD: Zona de Deposición

Zn: Zinc disuelto en el agua

Zn1: Zinc en el sedimento

ZT: Zona de transferencia

# **CAPITULO 1**

## **INTRODUCCIÓN**

# INTRODUCCIÓN

## EL RECURSO AGUA Y LA CONTAMINACIÓN

El agua es un recurso esencial para todas las formas de vida del planeta y si bien cubre aproximadamente un 71% de la superficie terrestre el 96% es agua salada y apenas un 3,5% del volumen total es agua dulce. La principal fuente de agua dulce se encuentra formando lagos, ríos y arroyos en la parte superficial y acuíferos en forma subterránea; el resto se encuentra en forma de hielo en los polos, los ventisqueros y en las cimas de las montañas. La cantidad total de agua dulce que existe en el mundo puede satisfacer todas las necesidades de la humanidad si estuviera uniformemente distribuida y fuera accesible (Naset *et al.*, 2008). Sin embargo, actualmente el 54 % de la población mundial vive en zonas urbanas, una proporción que se prevé que aumentará al 66 % en 2050. Las proyecciones muestran que la urbanización combinada con el crecimiento global de la población mundial podría añadir otros 2,5 millones de personas a las poblaciones urbanas en 2050, y cerca del 90 % del aumento se concentrará en Asia y África (ONU, 2014). La situación descrita conlleva a un acelerado cambio del uso de la tierra en zonas urbanas y periurbanas, que producen una pérdida irreparable de áreas naturales con bosques, con abandono de tierras rurales, y sobre todo un aumento de las áreas impermeables y la pérdida de los cursos naturales de agua que modifican la escorrentía para conducir las por tuberías.

El enfoque tradicional de la gestión de aguas pluviales se ha basado en los principios de eficiencia hidráulica que se traduce en una mayor proporción de las infraestructuras construidas que tienen un impacto significativo en las funciones hidrológicas y los ecosistemas y, a menudo como resultado del exceso de agua, la disminución de la recarga de los acuíferos y la contaminación de fuentes puntuales y no puntuales (Bras y Perkins, 1975; Chocat *et al.*, 2001; Booth *et al.*, 2002; Randhir, 2003; Matteo *et al.*, 2006). En conclusión todos los cambios de usos de la tierra producen un aumento de la vulnerabilidad de la población a las inundaciones, las sequías y problemas de calidad de agua.

La pequeña proporción de agua dulce que cuenta el planeta es indispensable para gran parte de las actividades que desarrollan los seres humanos, como la agricultura, la ganadería, los procesos industriales y la obtención de energía. Es por eso que la escasa cantidad de agua disponible para el suministro urbano se ve agravada en las épocas de sequías. Además, el agua aprovechable para uso humano está sufriendo un acelerado proceso de pérdida de calidad debido a la contaminación de los cursos de agua y la desecación de los humedales. Por otro lado, en los países en desarrollo, un 70 por ciento de los residuos industriales se vierten directamente sin tratar a los ríos produciendo un factor de contaminación y deterioro en la calidad de las aguas para los suministros sociales (ONU, 2012).

El uso del agua es el mejor indicador del grado de desarrollo social y económico de un país. Es un elemento esencial no solo para la preservación de la vida humana sino también para la conservación de la flora y fauna en una región, lo que representa, en algunos casos, el atractivo turístico de la zona (Sánchez, 2009). Las diferentes regiones del mundo enfrentan distintos tipos de problemas asociados a la disponibilidad, uso y control del recurso. Su conservación y su calidad están estrechamente vinculadas prácticamente a todas las actividades económicas y sociales en forma ineludible, así como a la salud de la población. Existe una relación directa entre la pobreza y el nivel de desigualdad en el acceso al agua potable: a mayor desigualdad, mayor pobreza (Astorga, 2008). Los agroquímicos son fuente de contaminación y su infiltración en tierras permeables causa la contaminación de corrientes freáticas (Burkart *et al.*, 1999; Rein, 1999). Los conflictos que surgen de la producción agrícola y la calidad ambiental se han incrementado en las últimas décadas (Falconer, 1998), ya que los compuestos químicos pueden ser transportados a través del aire y los escurrimientos a los ríos, lagos y estanques, afectando la calidad del agua (Mironeko *et al.*, 1998).

Según Prochat (2008), entre los “Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM)” están no sólo la reducción de la pobreza y la hambruna, sino también, la mejora de servicios de agua potable, de saneamiento de aguas servidas y la reducción de la problemática causada por las enfermedades originadas por aguas contaminadas, que sufren algunos sectores de la población mundial. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), sólo el 41 % de

la población mundial consume agua tratada y considerada segura; el resto se provee de aguas en malas condiciones para la salud humana y animal. Está plenamente demostrado que la contaminación hídrica es una de las principales causantes de enfermedades infecciosas y parasitarias gastrointestinales que causan un alto porcentaje de muertes en niños menores de un año (OMS, 2015).

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el 80% de las enfermedades en el planeta se debe a problemas con el agua (FAO, 2011; OMCO, 2010). Por lo que el agua, necesaria e indispensable para sostener la vida, también es portadora de enfermedades y muerte. La tifoidea, el cólera, la disentería, la diarrea y la hepatitis infecciosa son cinco enfermedades que se originan por la ingesta de agua contaminada y por lavar alimentos, utensilios y manos en ella de agua no salubres. La malaria y la fiebre amarilla son enfermedades transmitidas por vectores que se crían en el agua (OMS, 2009; OMS, 2011).

En las ciudades, la concentración de áreas impermeables, generadas por las urbanizaciones que incrementan las áreas con pavimento y construcciones, no permiten la infiltración del agua de lluvias para que recargue las napas de aguas subterráneas. En consecuencia, el caudal base de los arroyos es afectado y se incrementa el volumen de la escorrentía en la superficie. Los flujos resultantes de la escorrentía de las aguas pluviales en zonas urbanas, pueden acarrear grandes cantidades de contaminantes, lo cual reduce la calidad del agua de los cauces colectores de las aguas superficiales (Palaniappan *et al.*, 2010). En los Estados Unidos, varias estimaciones de principios del siglo sobre los efectos del crecimiento reciente de la cobertura impermeable (CI), subrayan los cambios dramáticos en muchas de las cuencas hidrográficas (Jantz *et al.*, 2005). Elvidge *et al.* (2004) estimaron que alrededor de 112.665 km<sup>2</sup> de CI se habían creado en 48 estados a partir de 2000. Según Beach (2002), las previsiones indican que la CI puede casi duplicarse para el año 2025, pudiendo llegar hasta 213.837 km<sup>2</sup> aproximadamente, dadas las tendencias actuales de desarrollo.

Los ríos son corrientes naturales sometidas a los cambios climáticos y a las características propias de la cuenca, la calidad de su agua varía naturalmente a lo largo del tiempo y de su curso debido a la combinación de factores ambientales. Sin embargo, las

actividades humanas alteran, a veces de manera irreversible, las características físicas, químicas y biológicas del agua (Chapman, 1996; Castañé *et al.*, 1998). El uso del agua por nuestra sociedad no es sustentable en virtud que tomamos agua limpia del ecosistema del que es abastecido y se descarga agua contaminada (Terprestra, 1999) sobre explotando este recurso de una manera alarmante (Rauch, 1998).

El uso indiscriminado de los recursos hídricos se ven más afectados en los períodos de sequías cuando por falta de lluvias se puede producir un desabastecimiento de los reservorios de agua superficial y subterránea. Es por esa razón que se hace indispensable monitorear las precipitaciones y establecer un seguimiento a través de índices para determinar estados de sequías. Diversos índices de evaluación de las sequías como el Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) pueden determinar el nivel de impacto negativo en aspectos agrícolas, hidrológicos y sociales (Zanvettor & Ravelo, 2000). También la evaluación de sequías se puede realizar por medio de información satelital tal como lo demostraron Ravelo & Pascale (1997) y Ravelo & Santa (2000).

Las sequías son fenómenos de ocurrencia reiterada y por lo tanto en un plan de manejo integrado de los recursos hídricos hay que tener en cuenta la implementación de un sistema de estimación de los efectos de las sequías (Ravelo *et al.*, 2001, 2014) y en especial en la agricultura que es el área de producción en donde las sequías impactan produciendo grandes pérdidas económicas (Planchuelo-Ravelo & Ravelo 1985, Ravelo, 2000).

Uno de los inconvenientes que presenta la valoración de la calidad del agua es precisamente la naturaleza multidimensional del concepto de “calidad del agua”. La interpretación y el manejo de los datos obtenidos en el monitoreo suele ser un trabajo complicado y, en muchas ocasiones, de difícil entendimiento para el público en general (Samboni *et al.*, 2007).

El problema se complica aún más cuando se trata de evaluar la calidad global, particularmente cuando son aplicados los distintos criterios para los diferentes usos del agua (Sedeño-Díaz y López-López, 2007).

Para facilitar la integración e interpretación de los datos de calidad del agua, diferentes países han desarrollado diversos índices de calidad, en función de sus necesidades y facilidad de manejo. Dichos índices agrupan de uno a varios parámetros, en su mayoría físicoquímicos y en algunos casos microbiológicos, de tal manera que permiten reducir la información a una expresión sencilla y fácil de interpretar (Samboni *et al.*, 2007).

En la cuenca del Río Salí-Dulce (Argentina), se analizaron distintos parámetros físico-químicos del agua, de los cuales se detectaron diferencias estadísticamente significativas de la calidad de las aguas entre embalses para la mayoría de los parámetros de calidad de agua estudiados (Werenitzky *et al.*, 2009).

El concepto “contaminación del agua” implica la incorporación de materias extrañas a esta, tales como microorganismos (coliformes totales y fecales), productos químicos (jabones, fertilizantes, pesticidas), metales pesados (cromo, plomo, mercurio, cobre, zinc etc.) o materia orgánica proveniente de los suelos a través de la escorrentía superficial y de las aguas residuales domésticas. Estas materias deterioran la calidad del agua y reducen los diferentes usos que podría tener un río (Calvo *et al.*, 2012). Dichos escurrimientos provocados por las precipitaciones arrastran contaminantes al cauce del río, incrementando su concentración en el agua.

En el río San Pedro, Aguascalientes, México se evaluó la variación espacial y temporal de las concentraciones de materia orgánica, nutrientes, tóxicos orgánicos, organismos coliformes y metales pesados. De acuerdo con las categorías del índice propuesto, la calidad global del agua del río San Pedro es en general *pobre*, apartándose usualmente de su condición natural o conveniente para uso agrícola. El IGCA mostró un ligero incremento en los sitios de muestreo cercanos a las descargas de plantas de tratamiento de aguas residuales, situándose en la categoría de *marginal* (Guzmán *et al.*, 2011).

En las últimas décadas, los impactos ambientales y socioeconómicos debidos a la escasez hídrica se han incrementado considerablemente, por un ineficiente y poco previsor manejo integrado del agua que se registra en muchos países. Una de las principales problemáticas para combatir estos impactos, es la falta de datos globales sobre las cargas

de contaminación y los cambios en la calidad del agua que existe en muchas partes del mundo. Por lo tanto, el panorama completo del daño que permanece es desconocido (UN-WWAP, 2009).

La cantidad de contaminación de fuentes difusas, tales como la escorrentía de aguas pluviales, los contaminantes agrícolas ha aumentado considerablemente en los últimos 20 años. La contaminación difusa puede ser minimizada principalmente por los métodos de control de origen (o fuentes) o por la interceptación de los contaminantes movilizados (Sharma, 2008).

Las principales fuentes de contaminación de estos sistemas son las descargas de tipo municipal e industrial, así como los flujos de retorno generados por las actividades agropecuarias. La contaminación de las aguas superficiales en México es un problema que ha sido objeto de estudio en los últimos años (Graniel y Carrillo 2006; Rivera-Vázquez *et al.*, 2007).

Yung *et al.*, (2013), investigaron la contaminación por los metales pesados en el Puerto de Kaohsiung. El estudio consistió en analizar las concentraciones en el agua de mar y los sedimentos en los dieciséis puntos de monitoreo que cubren toda la zona del puerto. La contaminación se ha caracterizado mediante análisis estadístico multivariado, incluyendo análisis de correlación, análisis de componentes principales (ACP) y de conglomerados. El cual demostró por componentes principales y análisis de valores agrupados y de valores estimados del Factor de Enriquecimiento (FE) que la contaminación de metales, tanto en el agua de mar y sedimentos era cada vez más grave durante el período de seguimiento. Además de las posibles contribuciones de fondo, la zona del puerto en este estudio parece estar muy afectada por las aguas no tratadas o parcialmente tratadas de origen industrial, agrícola, pastos y las aguas residuales municipales de varias fuentes que incluyen las salidas de las bocas de los ríos, las tuberías de descarga de aguas residuales, y las fuentes potenciales puntuales en el interior del puerto. Por la misma metodología de análisis se evaluó la calidad de las aguas superficiales en Michoacán (México) y determinaron que los drenajes agrícolas y las aguas residuales son las principales fuentes de contaminantes de la zona (Chávez-Alcántar *et al.*, (2011) El Factor de Enriquecimiento (FE), es una

herramienta para especular el origen de un solo elemento en un medio ambiental, que ha sido ampliamente utilizada para evaluar el grado de contaminación del suelo o sedimento con respecto a los contaminantes de metales pesados mediante la diferenciación de sus fuentes naturales y antropogénicas (Loska *et al.*, 2004; Choi *et al.*, 2012).

Rubio *et al.*, (2000) consideran que el Análisis de Componentes Principales (ACP) es una herramienta muy útil para definir los valores básicos para los metales en el área de la Ría de Vigo y que la elaboración de mapas de concentración superficial del elemento o mapas de anomalías geoquímicas es un método muy sencillo utilizado para detectar si un sedimento está contaminado o no. Además, el ACP permite identificar las áreas o regiones con contenidos anómalos (Chester y Voutsinou, 1981).

Harguinteguy *et al* (2014) demostraron que el Cu, Pb y Zn incorporados como contaminantes en las aguas superficiales y sedimentos son eliminados por la planta acuática *Stuckenia filiformis* por procesos de autodepuración. Por lo tanto, esta especie podría proponerse como bioindicador adecuado de metales pesados para las primeras etapas de la contaminación en los ríos.

La cantidad, calidad y eficiencia del manejo de las cuencas de las aguas superficiales, las aguas de escorrentías urbanas, así como la provisión de agua para uso poblacional depende en gran parte de las políticas de estado en el manejo de los recursos hídricos. Es por ello que desde el punto de vista legislativo, deben coordinarse leyes y políticas en materia de agua a nivel nacional, provincial y local para determinar las reglas del juego y establecer cómo los diferentes actores deben desempeñar sus respectivos roles en el aprovechamiento y la gestión de los recursos hídricos. Es necesaria la armonización de los planes de gestión de políticas hídricas a nivel de países, con los planes de gestión de cuencas que involucra en algunos casos más de un país. Es importante que el liderazgo político tenga un enfoque integrado, ya que no funcionará si la gestión de los recursos hídricos se realiza en forma puramente vertical, impidiendo la participación de las partes interesadas (GWP, 2009).

## **HISTORIA DEL MANEJO INTEGRAL DEL AGUA.**

El primer planteo sobre la gestión integral del agua se estableció en el Decenio Hidrológico Internacional (DHI), 1965-1974, promovido en la XIII Sesión de la Conferencia General de la UNESCO, con el fin de impulsar la cooperación internacional en los trabajos, investigaciones y formación de técnicos especialistas en el campo de la hidrología científica. Su propósito fue ayudar a todos los países, en los manejos de sus recursos hídricos y en la utilización más racional del agua, dado que la demanda de agua aumenta constantemente en función del desarrollo e incremento de la población, de la industria y la agricultura (UNESCO, 1981).

La segunda fase de la evolución en la gestión integral de los recursos hídricos se estableció en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, realizada en Rio de Janeiro del 3 al 14 de junio de 1992, particularmente en la Sección II. Conservación y Gestión de los Recursos para el Desarrollo (Orengo *et al.*, 2013).

En todo el mundo, la demanda creciente de agua, especialmente para uso agrícola, unida a la contaminación y la destrucción de cuencas y áreas de recarga ejercen una presión sobre los recursos hídricos que afectan el suministro, el desarrollo socioeconómico y la sostenibilidad de los asentamientos humanos. La percepción popular suele asociar la naturaleza con el campo y las ciudades con la contaminación, pero la realidad es más sutil. Por un lado, las ciudades dependen estrechamente de la naturaleza para su integridad física y el abastecimiento de agua, alimentos, materia prima y energía, de manera que ejercen una presión importante sobre los recursos naturales. Por otro lado, la concentración de población ofrece la oportunidad de aplicar soluciones técnicas menos agresivas y a menores costos que si la misma población estuviera dispersa.

En general, los temas relacionados con el recurso hídrico del ámbito urbano frecuentemente se mantienen desconectados de procesos más amplios de la planificación urbana y de la gestión en el ámbito de la cuenca. Los planes maestros urbanos no han logrado manejar satisfactoriamente los diversos componentes infraestructurales de la

gestión de las aguas urbanas (suministro de agua, aguas residuales, saneamiento seco, sistemas de drenaje del agua pluvial y tratamiento de desechos sólidos). Más aún, si bien el suministro de agua, el saneamiento y la planificación de asentamientos urbanos podrían ser incorporados dentro de los planes de gestión para toda la cuenca, estos planes descuidan el reconocimiento de la interdependencia entre el agua dulce, el agua residual, el control de inundaciones y el agua pluvial (Tucci, 2010).

El modelo tradicional de gestión de las aguas urbanas no ha logrado distinguir entre las diferentes calidades de agua ni identificar usos para las mismas. Como resultado de este hecho, el agua de buena calidad ha sido destinada a satisfacer las necesidades indiscriminadas de las zonas urbanas, lo cual ha contribuido a agudizar la escasez del recurso (Van der Steen, 2006).

En los países en vías de desarrollo, en muchas partes de las ciudades y en particular en áreas muy pobladas por personas con bajos ingresos, se están dando grandes inundaciones durante los períodos de fuertes lluvias. Existen opciones para la gestión de aguas de lluvia en el ámbito urbano, las cuales pueden reducir los efectos negativos e incrementar localmente la disponibilidad de agua. Estas opciones incluyen el uso de lagunas de retención, áreas permeables, zanjas de infiltración y sistemas naturales para disminuir la velocidad de escorrentía. Las ciudades de Lodz y Belo Horizonte están utilizando tales sistemas y la ciudad de Birmingham está experimentando con techos cubiertos con materia vegetal (green roofs) para lograr el mismo efecto (SWITCH, 2011). Las áreas verdes que captan agua pueden beneficiar las ciudades expuestas a grandes riesgos de inundación y proveer al ecosistema servicios de bajo costo similares a los sistemas de drenaje de aguas de lluvia convencionales (Bolund y Hunhammar, 1999).

La incorporación de funciones ecológicas en el diseño paisajístico puede ir más allá que el manejo de aguas pluviales. Éstas incluyen sistemas naturales o sistemas que imitan la naturaleza para el tratamiento de aguas contaminadas (Asano, 2005; Brown, 2009). El combinar tecnologías flexibles de tratamiento con paisajes funcionales permite utilizar diversos enfoques rentables en la restauración de la integridad de los ecosistemas urbanos (Brown, 2009).

Se puede considerar que la gestión integral del agua ha aumentado recientemente su relevancia con la atención de las necesidades de los seres humanos y su satisfacción mediante un enfoque holístico en el cual se incluyen la sustentabilidad y el cambio climático utilizando tecnologías de vanguardia. Los sistemas de gestión de agua siempre se asocian a diferentes prácticas culturales y cada sociedad percibe el agua de acuerdo con su entorno físico, sus recursos culturales y sus necesidades sociales (Orengo *et al.*, 2013). La gestión del agua en las ciudades del siglo 21 se ha convertido en un desafío que debe atender, las necesidades que requiere el crecimiento poblacional, las proyecciones del cambio climático, la escasez de recursos, la degradación ambiental y la evolución de las expectativas comunitarias para garantizar una mejor calidad de vida (Ferguson *et al.*, 2014).

Hooper (2006) examinó los factores que caracterizan una Organización de Cuenca (River Basin Organisation, RBO en inglés), como resultado identificó 115 indicadores de las mejores prácticas de gestión integrada de cuencas hidrográficas. Estos se dividieron en 5 Grupos de ahí se establecen las 3 categorías: Etapa Inicial-Funcional, a la que se aplican 21 de los indicadores; Etapa Emergente Auto-adaptable, a la que se aplican 61 de los indicadores y Etapa Emergente Madura Adaptable, a la que se aplican los 115 indicadores.

Según Ward (1989) los ríos son sistemas abiertos con vías interactivas a lo largo de cuatro dimensiones: longitudinal (cabecera fluvial-estuarios), lateral (ribera/ llanuras de inundación), vertical (ribera-subterránea), y temporal (escalas temporales); son altamente interactivos y la integridad ecológica de ellos depende de los acontecimientos que ocurren más allá de los límites de la cuenca. Por lo tanto, se necesita la gestión de los ecosistemas para mantener o restaurar la biodiversidad a escala del paisaje ribereño y para ser eficaces, los esfuerzos de conservación deben basarse en una sólida base conceptual y una comprensión holística de los ecosistemas fluviales naturales (Ward, 1998 y 2002). Está plenamente comprobado que la vegetación de los cursos de agua y de zonas aledañas, evita la erosión del suelo (Teich *et al.*, 2011) y que la paulatina degradación de la cobertura vegetal y del suelo aceleran los procesos que conllevan a la desertificación (Boletta *et al.*, 2006). Es por esas razones que hay que cuidar la cobertura vegetal como un elemento que

juega un papel predominante en la protección del suelo, que disminuye y se agrava en períodos de sequías (Ravelo *et al.*, 2005, Boletta *et al.*, 2010).

De manera que siguiendo los conceptos de Ward (1989) que considera que la integridad ecológica de una cuenca va más allá de los límites de la misma, es recomendable considerar escenarios de posibles cambios (García *et al.*, 2013) y mapeos que contemplen todos los parámetros del uso y degradación de la tierra (Ravelo *et al.* 2009, Zader *et al.*, 2011).

## **ANTECEDENTES DE ESTUDIOS EN MÉXICO QUE SIRVIERON DE BASE PARA EL PLANTEO DE MANEJO INTEGRAL DE CUENCA EN NUEVA ZELANDA**

La investigación sobre el manejo integral de cuencas para la sustentabilidad se ha desarrollado desde el 2000, a través de proyectos y consultorías en los cuales he participado o dirigido. El enfoque siempre ha sido considerando a las cuencas como un sistema holístico aplicando el método de Ward (1989) e integrando la educación ambiental.

La primera investigación fue realizada en México en la cuenca del Río Mocorito, se inició en el año 2000 y luego se constituyó en un proyecto denominado “Restauración Ecológica del Río Mocorito en el Estado de Sinaloa México”. En 2006 fue apoyado por la Comisión Nacional de Forestal (CONAFOR), la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), la Secretaria de Medio Ambiente y de Recursos Naturales (SEMARNAT) y los H. Ayuntamiento de Angostura, Salvador Alvarado y Mocorito. Otros proyectos incluyen: “Aplicación de un Modelo de Educación Ambiental para la salud de los tres ríos de Culiacán” en el Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología (CECyT, 2005); convocatoria Comunidades Saludables en el 2006 “Un Rastro Saludable para el Desarrollo y Progreso de Angostura” para el H. Ayuntamiento Constitucional de Angostura; en el Programa de Fomento y Apoyo a Proyectos de Investigación (PROFAPI, 2006) con el título "Monitoreo de la calidad del agua del Río Mocorito" y en el PROFAPI 2007 con el título "Determinación de las especies de vegetación riparia útiles para la restauración del Río Mocorito. Los resultados obtenidos fueron presentados en varios congresos nacionales e

internacionales y en el 2007 en el 10th Internacional RiverSimposium & Enviromental Flows Conference The Natural Conservation Brisbane, Australia.

Durante el periodo 2007-2012 se realizaron estudios y cursos de capacitación sobre el monitoreo, evaluación y pronostico de sequías en el estado de Sinaloa, México (Ravelo et al., 2014). Dichos estudios permitieron establecer mecanismos de acción para la gestión de los recursos hídricos en el Organismo de Cuenca del Pacifico Norte (CONAGUA, 2012).

En los años 2013 y 2015, la CONAGUA auspicio el desarrollo del “Proyecto de Coordinación, Seguimiento, Supervisión, Integración y Análisis del Programa de Medidas para Prevenir y Enfrentar la Sequía. Etapa 1 de 6: Programas de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía (PMPMS) en los Consejos de Cuencas Mocarito al Quelite, Presidio al San Pedro y Fuerte y Sinaloa ”. Este proyecto se realizó con la autoria de un grupo multidisciplinario con la participación de Culiacán, Sinaloa, México la MC. Cruz Elisa Torrecillas Nuñez, Córdoba Argentina el Dr. Andres Ravelo y Auckland Nueva Zelanda el Ing. Antonio José Miguel Rodriguez.

## **ANTECEDENTES DE MANEJO DE RECURSOS HÍDRICOS EN NUEVA ZELANDA**

En Auckland, Nueva Zelanda el enfoque en los recursos hídricos comenzó a cambiar con la introducción de la Gestión Integrada de Cuencas Hidrográficas en la década de 1990, seguido por la adopción de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos, que ha sido definido como “un proceso que promueve el desarrollo y el manejo coordinado del agua, del suelo y de recursos relacionados, maximizando el bienestar económico y social resultantes de manera equitativa, sin comprometer la sostenibilidad de ecosistemas vitales” (GWP, 2000).

En este contexto las recomendaciones de la ley es que se prepararen los planes integrados de gestión de cuencas hidrográficas (ICMP), con base al Low Impact Design (Diseño de Bajo Impacto, LID) el cualse fundamenta en las nuevas tecnologías de innovación. El aspecto más importante del LID es que la planificación y el diseño tienen

que tomar en cuenta el entorno natural y las condiciones climáticas para mitigar el impacto del entorno construido, la urbanización, y la agricultura manteniendo o mejorando los recursos naturales y preservando los hábitats naturales y los ecosistemas (ARC, 2013).

Debido a la dificultad de mostrar claramente las diferentes categorías y sus relaciones entre sí, algunas organizaciones internacionales de sostenibilidad han abandonado el concepto de un marco subyacente y se limitan a presentar las diferentes categorías como partes iguales de un total agregado. Por ejemplo, el Instituto Internacional para el Desarrollo Sostenible (IISD) utiliza las cuatro categorías fundamentales propuestas por las Naciones Unidas de: Servicios Sociales, Medio Ambiente, Economía e Institucional, como iguales partes de un cuadrado (IISD, 2004).

Se debe destacar la falta de reconocimiento de la necesidad de gestionar las aguas de forma integrada de acuerdo a los principios de los ecosistemas. Esto incluye el reconocimiento de que el agua no es un recurso ilimitado (PCE, 2000).

Actualmente, la gestión hídrica urbana ha llegado a ser la más integrada en cuanto a su visión conforme las ciudades lidian con patrones sin precedentes de urbanización y con la expansión desigual continuada de servicios hídricos y de saneamiento, junto con una crisis de calidad hídrica emergente que amenaza la seguridad hídrica en muchas partes del mundo (Corcoran *et al.*, 2010).

Desde el nacimiento del concepto de sustentabilidad en la Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo, a través del Informe Brundtland (WCED, 1987), el agua ha sido reconocida como un componente esencial para el desarrollo presente y futuro de los seres humanos (Loukas *et al.*, 2007). El manejo integrado de las cuencas ha cobrado recientemente mucha importancia debido a que anteriormente la gestión hídrica era tratada únicamente mediante consideraciones hidrológicas y económicas, de forma independiente, pero ahora se reconoce la necesidad de objetivos múltiples que tengan un enfoque holístico, con la intervención de los gestores y diferentes grupos de interés o “stakeholders”. Debido a estas pautas es importante incluir los indicadores económicos, medioambientales y sociales. De esta forma deben ser tomados en cuenta los impactos

producidos por un estado cambiantes de recursos hídricos, a menudo sobre explotados, en la calidad de la vida humana y en los ecosistemas independientes (Bouwer, 2002). Sobre la base de lo anteriormente expresado fue definida la sostenibilidad que quizás sea el factor más difícil de articular con claridad. Si bien la tarea de definir la sostenibilidad se está realizando en todo el mundo, se considera que es apropiado para esta tesis comenzar con las definiciones de origen de Nueva Zelanda. Por ejemplo, la Oficina del Comisionado de Nueva Zelanda Parlamentaria de Medio Ambiente (PCE) es una fuente primaria para el trabajo en la sostenibilidad (PCE, 2000). El PCE ha citado la Descripción de Costanza *et al* (1997) de que el propósito de la sostenibilidad debe ser a largo plazo. Se destacan las tres áreas básicas generalmente adoptadas que conforman un enfoque de sostenibilidad (PCE, 2000; Ashley *et al.*, 2004), es decir, "sociales", "económicas" y "ambientales" adoptadas de la descripción de Costanza (1994).

La creciente demanda de recursos hídricos en muchas partes de Nueva Zelanda se debe a que la población del país creció un 35 por ciento en el período de 1981 a 2013 con la mayor parte del aumento poblacional en la región de Auckland. El crecimiento poblacional en esta región ha incrementado la presión sobre la infraestructura de agua urbana, los niveles de escorrentía y la contaminación que descarga en los ríos y arroyos urbanos (Departamento de Estadísticas de Nueva Zelanda, 2013). Por lo que durante las últimas dos décadas, ha aumentado la competencia y los conflictos entre las diferentes partes interesadas para el acceso a las aguas superficiales y los escasos recursos de agua subterránea. Según el informe del Ministerio para el Medio Ambiente en Nueva Zelanda, la agricultura tiene un impacto significativo en la calidad del agua y la disponibilidad de agua dulce, en particular en los ríos y lagos (ARC, 2013). Al mismo tiempo, la creciente competencia de los productores de la riqueza de Nueva Zelanda, en actividades como la agricultura y la manufactura, hace que el acceso al agua sea imperativo y por lo tanto es necesario que el agua disponible se maneje como un bien económico (Memon y Skelton, 2007). La calidad del agua es muy buena en las zonas con vegetación autóctona y con menor uso intensivo de la tierra, pero es de menor calidad en las zonas de urbanas y agrícolas. En los ríos que atraviesan estas zonas han reducido la claridad del agua y la vida de los ecosistemas acuáticos, aumentado los niveles de nutrientes y las bacterias *Escherichiacoli* (Ministry for the Environment, 2015).

El desarrollo y la implementación exitosa de un plan dependen principalmente del compromiso y la participación de los miembros de la comunidad. Por lo tanto, es fundamental construir alianzas con los involucrados, personas y organizaciones que tienen un interés en el resultado del plan de cuenca al inicio de la planificación (EPA, 2008).

La finalidad de la conducción política es establecer un gobierno local democrático y eficaz que reconoce la diversidad de las comunidades de Nueva Zelanda donde todas las personas que ejercen funciones en relación a la gestión de la utilización, el desarrollo y la protección de los recursos naturales y físicos, deben considerar los principios del Tratado de Waitangi (Tratado que reconoce la propiedad de los maoríes, los indígenas de Nueva Zelanda, de sus tierras y otras propiedades) según el Artículo 8 de la Ley de Gestión de Recursos de 1991 (Local Government Act, 2002). Más allá de las normas y leyes en Nueva Zelanda, se requiere de la participación de los involucrados en la toma de decisiones para cualquier asunto significativo, incluyendo un plan de gestión y todas las medidas estructurales y no-estructurales relacionadas con el plan. La ley considera de suma importancia la participación efectiva de los habitantes, en su papel de custodios de los recursos naturales fundamentada en las obligaciones del Estado partiendo del Tratado de Waitangi de 1840 (ARC, 2013).

En Nueva Zelanda, los grupos de involucrados se han definido con base a la guía de la Agencia de Protección Ambiental (EPA, 2012) y los reglamentos de Auckland Nueva Zelanda (ARC, 2013), los cuales se presentan agrupados en tres categorías: los benefactores, los involucrados externos al Consejo y los involucrados internos del Consejo. Las interrelaciones entre los involucrados se muestran en la Figura 1.

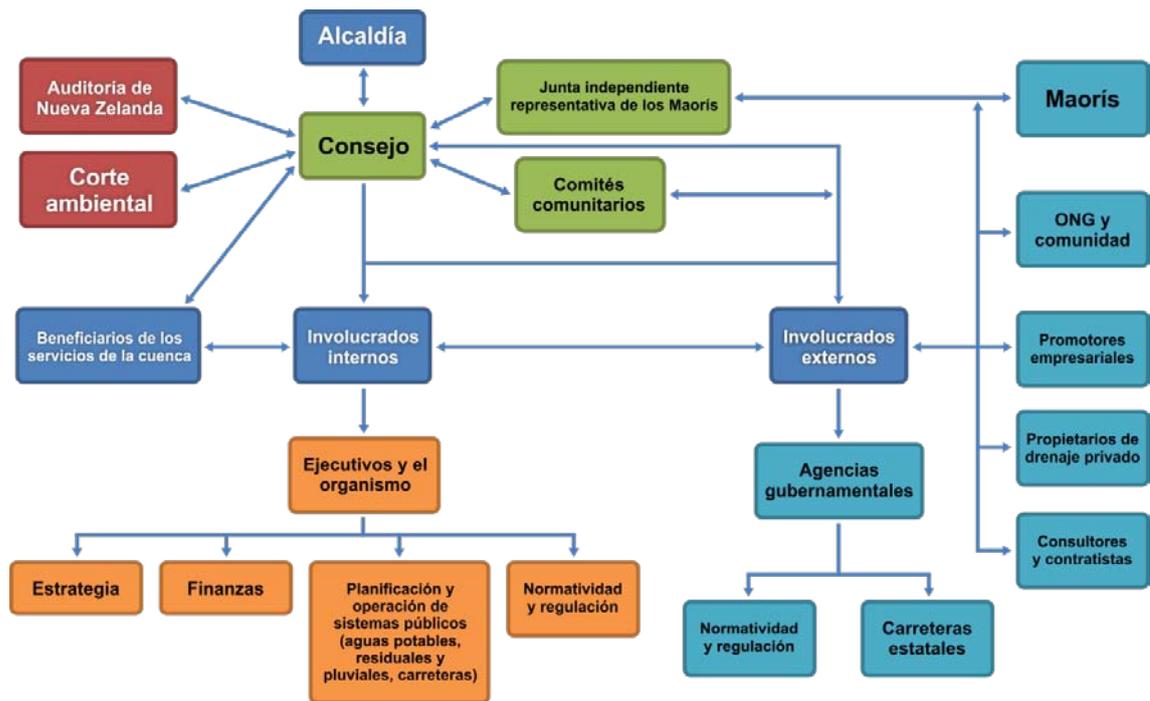


Figura. 1.1. Interrelaciones entre los sectores involucrados en la gestión de los recursos hídricos a nivel de alcaldía.

## ANTECEDENTES DE LA REGIÓN DE AUCKLAND

En Nueva Zelanda, los efectos de las zonas urbanas sobre la calidad del agua son más evidentes en Auckland. Dado que esta es la ciudad con más crecimiento, los impactos de la urbanización tendrán que ser evitados, controlados o mitigados con las buenas prácticas de gestión del agua. Tal como se observa en la Foto A y B, la ciudad de Auckland está densamente poblada con pequeñas áreas de vegetación, sin embargo en las zonas altas que son áreas naturales protegidas (primer plano de la Foto A) ya se ven pequeñas áreas urbanas (Foto B). Lo cual indica una pérdida de ecosistema de bosque por la impermeabilización del terreno debido a la urbanización.



Foto A. Vista de la ciudad de Auckland desde la sierra hacia la zona costera al norte de la ciudad.



Foto B. Zona urbana de la parte media alta de la sierra.

Por lo tanto, en Auckland es prioridad prevenir el deterioro adicional en la calidad de las aguas urbanas y proteger los cuerpos de agua cristalinas. Los métodos para mejorar la calidad del agua incluyen: tratamiento de las aguas pluviales y residuales, plantaciones en las zonas ribereñas, restauración de humedales, programas de educación pública, mejoramiento de la planificación urbana y desarrollo y diseño urbano de bajo impacto (MFE, 2008). Recientemente, se detectaron cambios en la mayoría de los indicadores de la calidad del agua en Auckland entre 1995 y 2005 para los ríos en áreas forestales y rurales que muestran que la mayoría de los ríos, lagos y acuíferos superficiales confinados en la región de Auckland se han degradado hasta cierto punto, aunque la calidad del agua recreativa en los lagos, en general, es buena, sin contaminación fecal. Dada la importancia del recurso hídrico para la región de Auckland, en los últimos años se han realizado acciones para las mejoras en algunos aspectos de la calidad del agua de los ríos (especialmente los arroyos urbanos) y muchos de los flujos de las zonas rurales tienen el potencial de mejora dramática y recuperación con una gestión adecuada (ARC, 2010). UniServices (2010), realizó mediante el método de USLE una predicción de la cuenca de los Twin Streams que consistió en analizar la pérdida de suelo anual promedio a largo plazo por la escorrentía según el uso y la gestión del suelo y los sistemas de cultivo. De acuerdo con los datos disponibles, el suelo predominante en el área de la ciudad de Waitakere es la arcilla. Por lo tanto el valor de K se utiliza para este cálculo es 0,03, que se ajusta entre los valores de margas y arcilla. Los resultados muestran la pérdida de suelo media anual en las sub-cuencas de los Twin Streams fue: 1.049 t/ha en Upper Opanuku, 0.772 t/ha en Upper Oratia, 0.565 t/ha en Waimoko, 0.426 t/ha en Momutu y de 0.331 t/ha en Upper Swanson debido a una combinación de alta erosión y la pendiente empinada. Las demás sub-cuencas presentan una erosión baja de 0.049 t/ha en Paremuka, 0.037 t/ha en Birwood, 0.13 t/ha en Glen Eden, de 0.012 t/ha en Ranui, 0.09 t/ha en Henderrson Creek South, 0.007 t/ha en Massey y 0.006 t/ha en Massey East debido a que tienen topografía plana. Este tipo de suelo arcillosos son muy impermeables, además las lluvias de Waitakere, Auckland Nueva Zelanda son intensas y rápidas por lo que no se aporta agua al suelos.

En la región de Auckland, se comprobó que las concentraciones de sedimentos de cobre, plomo y zinc exceden los valores normativos en muchas ensenadas costeras

contiguas a las cuencas urbanas debido a que las aguas pluviales se contaminan por la escorrentía de los techos metálicos de las casas. Si bien las sub-cuencas rurales no se encuentran tan contaminadas como las urbanas, se ha encontrado un aumento de nutrientes con la creciente intensidad de la producción lechera (Kelly, 2010).

Para la elaboración de un Plan de Gestión Integral de Cuenca en Auckland, Nueva Zelanda se debe considerar el requisito de la Ley de Gestión de Recursos de 1991, prescrito en las Reglas 5.5.10 al 5.5.13 del Plan Regional de Auckland: Aire, Tierra y Agua (ARC, 2013) y su Apéndice 9 “Contenido de los Planes de Gestión Integrada de Cuencas y Permisos de Descarga de las Redes” (Regional Policy Statement 1999). Además se debe incluir el Plan Regional Costero de Auckland 2004, el cual presenta el marco normativo para promover la gestión integrada y sostenible del medio ambiente costero de la región de Auckland (New Zealand Gazette, 2010).

Otro requisito del Plan Regional de Auckland: Aire, Tierra y Agua (ALWP) es que los municipios prepararen los planes integrados de gestión de cuencas hidrográficas (ICMP). Los ICMP se clasifican en dos tipos: (1) Desarrollo de campo verde, es decir las cuencas que se han identificado para el crecimiento futuro, pero que aún no se han desarrollado, y (2) Cuencas en desarrollo, es decir las cuencas que ya tienen una cantidad significativa de desarrollo urbano establecido (ARC, 2013).

Por otro lado los reglamentos del Auckland Council Regional Plan: Air, Land And Water 2013 en la política 5.4.7<sup>a</sup>, establece los requisitos para que un plan integrado de gestión de cuencas considere “un proceso consultivo con participación de las partes afectadas, incluidos los operadores de la infraestructura regional importante y el grado en que existe un acuerdo sobre el contenido de un plan integrado de gestión de cuencas” (ARC, 2013).

Tomados estos requisitos, ellos representan un enfoque de eco-ciudad y demuestran el firme compromiso de Auckland para la conservación de recursos, la minimización de residuos y la preservación de la biodiversidad y el medio ambiente natural (Plan de Auckland, 2012).

## **ANTECEDENTES DE LA CUENCA TWIN STREAMS**

Según D' Arcy *et al.* (2000), las fuentes no-puntuales (FNP) o contaminación difusa que se han generalizado en toda la cuenca o subcuenca de Twin Streams en Waitakere City Council se deben principalmente a las actividades de uso de la tierra urbana y rural. Por otro lado se ha identificado que los sedimentos, el cobre y el zinc son contaminantes de especial preocupación para el medio receptor aguas abajo de Twin Streams, es decir el puerto de Waitemata. La carga de contaminantes muestra que las cuencas rurales producen cargas desproporcionadamente altas de sedimentos, pero las cuencas urbanas producen cargas muy altas de cobre y zinc, que se originan principalmente de la escorrentía de carreteras y techos de metal (Hall, 2009).

Uno de los requisitos legales para las autoridades locales, es la consulta con Tangata Whenua (la gente de la tierra en maorí), por medio de la tribu o subtribu que se reconoce que mantiene derechos ancestrales en la zona, esto puede incluir la cuenca y el medio ambiente receptor aguas abajo (New Zealand Government, 2014a).

## **ANTECEDENTES METODOLÓGICOS SOBRE EL ESTUDIO INTEGRAL DEL AGUA**

El estudio y manejo integrado del agua es más que dar una simple solución ofertando un producto aislado. Es dar un enfoque holístico y combinar una serie de diferentes opciones que suelen ser, a la larga, más adecuados para ayudar a solucionar los problemas del agua que enfrenta la humanidad.

## **CASO DE ESTUDIO EN WAITAKERE CITY COUNCIL DE NUEVA ZELANDA**

A partir de las investigaciones realizadas por Torrecillas *et al.*, (2000) en México se han realizado consultorías para realizar proyectos a través de convenios con la Universidad Autónoma de Sinaloa a nivel internacional y nacional tales como: Integrated Program for

Sustainable Catchment Management: The Project Twin Streams (Waitakere City Council). February 2008; *Twin Streams Catchment Assessment of Environmental Effects*: Waitakere City Council. December 2009; Methodological Guide For An Integrated Catchment Management Plan. Response prepared for Autonomous University of Sinaloa. December 2009; Strategic planning for Project Twin Streams, including integrated catchment management planning and providing information to the Department. EcoMatters Environmental Trust Universidad de Auckland New Zelanda, 2009; Torrecillas y un equipo de trabajo multidisciplinario fueron los responsable de la elaboración y desarrollo del proyecto Sustainable Management and Development Centre en la Facultad de Ingeniería Civil y Medio Ambiente de la Universidad de Auckland New Zelanda, 2009. Handbook to the action Auckland Sustainable Development Centre (ASDC). EcoMatters Environmental Trust Auckland New Zealand, 2013.

## **EL PENSAMIENTO SISTÉMICO APLICADO A LA CUENCA DE TWIN STREAMS**

El pensamiento sistémico aspira a hacerse una idea de conjunto mediante la comprensión de los vínculos, interacciones y procesos entre los elementos que componen el "sistema" todo. Un problema que puede ser causado por la falta de sistemas de pensamiento en una organización es el efecto silo, donde la falta de comunicación puede causar un cambio en un área de un sistema y afectar negativamente a otra área del sistema. Hay una amplia gama de puntos de vista sobre el pensamiento sistémico y cómo se aplica a la sostenibilidad (Capra 1996; Bossel 1999; Robert 2000; Holling, 2001). (Figura 2).



Figura.1.2. Representación esquemática del pensamiento sistémico aplicado a cuencas hidrológicas.

La metodología de este estudio se fundamenta en el pensamiento sistémico, el cual es una concepción basada en la integración total de sus partes frente a una situación real, las partes se describen con un diagnóstico ambiental utilizando el método de Ward, 1989 y su evaluación con el método de multicriterio (Pacheco *et al.*, 2008). El propósito es Diseñar una Metodología de Sistema de Manejo Integral para la Sustentabilidad de Cuencas (SMISC): Caso de Estudio la Cuenca de los Twin Streams, Auckland, Nueva Zelanda. Para establecer un balance entre la preservación de los recursos naturales considerando los indicadores sociales, económicos, ambientales y culturales.

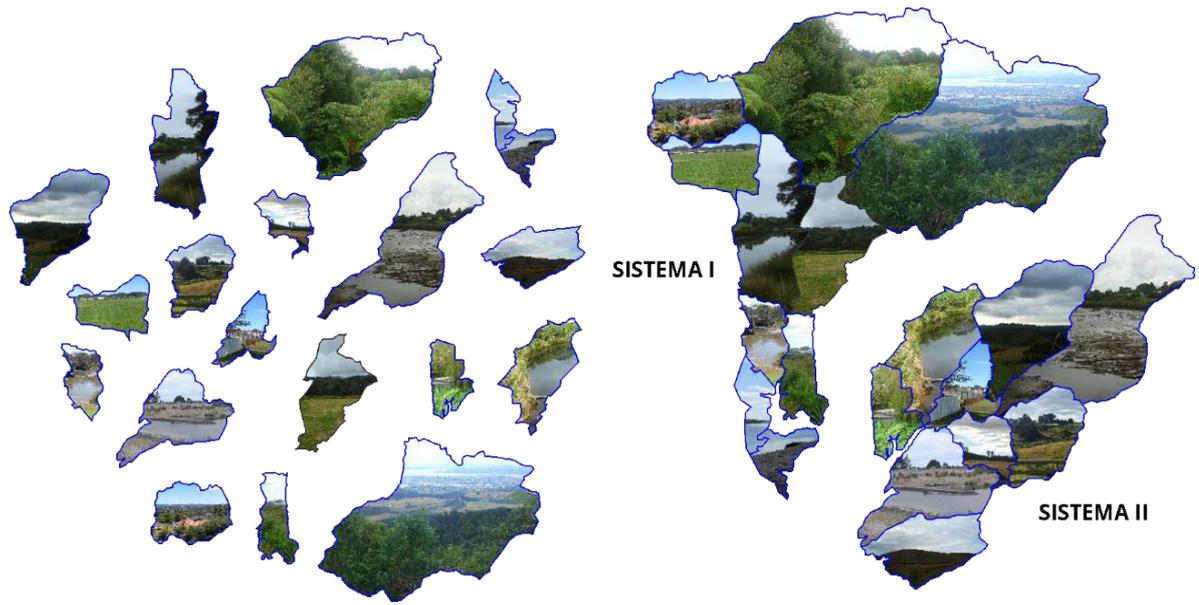


Figura.1.3. Cuenca de los Twin Streams en el contexto del pensamiento sistémico



Figura.1.4. Integración de las sub-cuencas que componen a la cuenca de Twin Streams por Sistemas.

## EL MÉTODO DE WARD

El método de Ward (1989) se utilizó como una herramienta para realizar el diagnóstico. Este método consiste en evaluar el funcionamiento del río considerando que la naturaleza dinámica y jerárquica de los ecosistemas puede ser conceptualizada en un marco de cuatro dimensiones. La dimensión longitudinal: evalúa las corrientes de sus cabeceras hacia la boca. Se reconocen tres zonas; zona de cabecera, zona de transferencia, y zona de deposición. La dimensión lateral: es de lado a lado a través del río y su planicie de inundación. La dimensión vertical: incluye las aguas superficiales y las aguas subterráneas y sus interacciones y La dimensión temporal: varía según la duración de los cambios temporales a corto plazo a cambio evolutivo a largo plazo

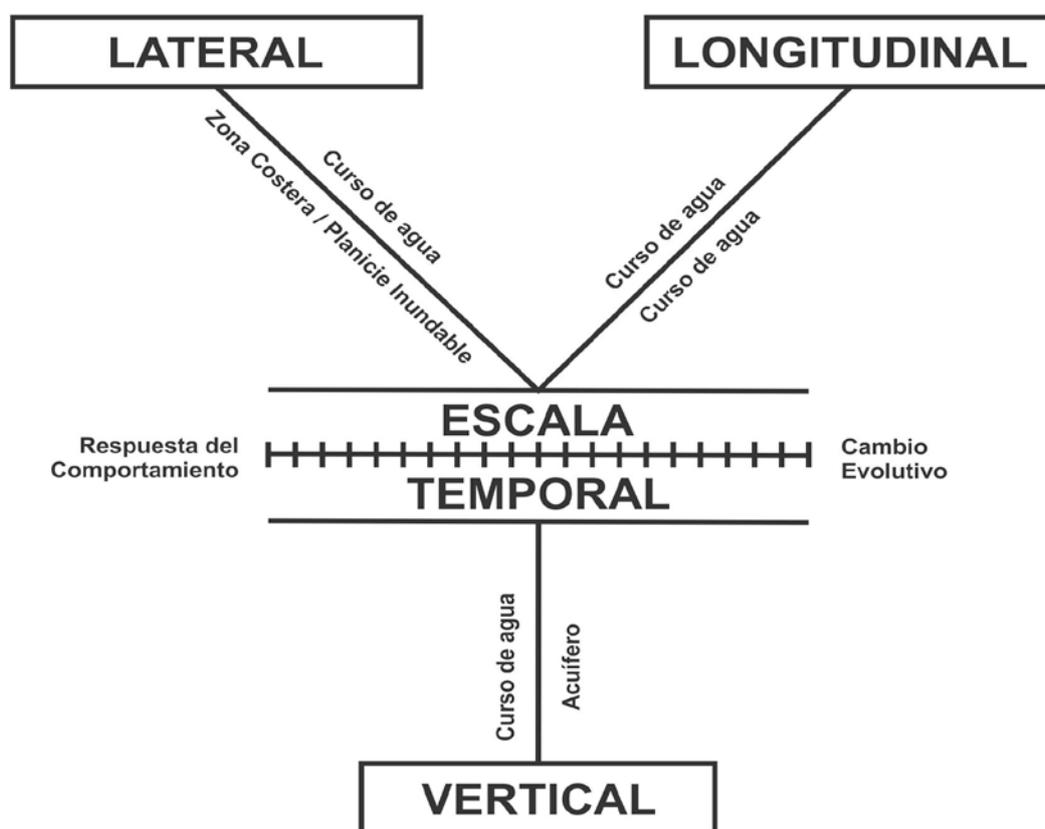


Figura.1.5. Conceptualización de la naturaleza de los ecosistemas lóticos considerando sus cuatro dimensiones.

A nivel mundial, prácticamente no existen modelos de manejo integral de cuenca con énfasis en la sustentabilidad debido a que la planificación integrada de cuencas urbanas está en sus comienzos por las siguientes razones: La preocupación con la provisión de agua potable, alcantarillado y saneamiento ha sido la prioridad para la sociedad y las autoridades para proteger la salud pública e impulsar el desarrollo económico; El agua potable, el agua residual, el agua pluvial y el agua subterránea se han manejado de manera independiente, debido a un enfoque técnico; En muchas ciudades no hay sistemas de agua pluvial o sino el agua pluvial es parte del alcantarillado combinado; Los llamados planes integrados de gestión de cuencas históricamente tenían un enfoque en los aspectos hidrológicos sin considerar la calidad del agua o la ecología, por la razón de que su propósito era la gestión de la inundación o para justificar las grandes obras de ingeniería; La falta de conciencia ambiental por parte de la sociedad, la cual sigue aún vigente.

Brown *et al.* (2008) consideraron la investigación histórica, contemporánea y de escenarios futuros de las ciudades australianas para identificar la evolución de la gestión del agua en las ciudades en seis etapas: “Ciudad de Abastecimiento de Agua”, “Ciudad de Alcantarillado”, “Ciudad de Drenaje”, “Ciudad Fluvial”, “Ciudad del Ciclo del Agua”, y la “Ciudad Sensible al Agua” (de Bajo Impacto). El objetivo fue ayudar a los administradores de los recursos hídricos urbanos a desarrollar la comprensión del alcance de los contratos hidro-sociales que operan en las ciudades con el fin de determinar el desarrollo de la capacidad y las iniciativas de reforma culturales necesarias para acelerar efectivamente la transición a la gestión del agua más sostenible y en última instancia a Ciudades Sensibles al Agua.

En 2009, el Proyecto UNESCO-IHE SWITCH aplicó dicho marco para evaluar ejemplos aleatorios de 27 ciudades en el mundo en países desarrollados y en desarrollo. La conclusión del estudio fue que se identificaron dos grupos, las ciudades en los países en desarrollo se categorizaron en “Ciudad de Abastecimiento de Agua” representado a 15 ciudades y en “Ciudad de Alcantarillado” eran solo tres; por otro lado en los países desarrollados el tipo “Ciudad de Drenaje” consistía en tres ciudades y seis ciudades se clasificaron en “Ciudad Fluvial”. En otro estudio, la UNESCO-IHE (2013) solo identificaron a Singapur como la única ciudad en el mundo que se estaba aproximando a

"Ciudad Sensible al Agua", esto se debe a que Singapur depende de agua de Malasia para su abastecimiento bajo un tratado que caduca en 2061 y por lo tanto está impulsando una política de auto suficiencia.

## **HIPÓTESIS**

El manejo sustentable de una cuenca se logra mediante un sistema integral que promueve la gestión y desarrollo coordinado del agua, la tierra y los recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico resultante de manera equitativa, sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas.

## **OBJETIVO GENERAL**

Establecer una metodología de manejo integral para la sustentabilidad de cuencas de los Twin Streams, Auckland, Nueva Zelanda, que al mismo tiempo sirva como un modelo de manejo integral para la sustentabilidad de otras cuencas.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Analizar metodologías de manejo integral de cuencas para determinar las variables ambientales que se deben considerar para alcanzar un manejo sustentable.
2. Evaluar la relación causa - efecto de los impactos ambientales en la cuenca de los Twin Streams con el fin de conservar, proteger y mejorar la salud humana y ambiental.
3. Realizar un diagnóstico ambiental de la cuenca de los Twin Streams por el método de Ward para identificar fuentes potenciales de contaminación.
4. Identificar los indicadores ambientales, sociales y económicos para establecer la relación entre las fuentes contaminantes y el impacto ambiental.

5. Desarrollar una metodología para el sistema del manejo integral para la sustentabilidad de las cuencas (SMISC) y recomendar las mejores prácticas para evitar, remediar y mitigar los impactos.

## **IMPORTANCIA DEL ESTUDIO**

Este estudio permite realizar una gestión apropiada de los recursos hídricos en la región de Auckland, utilizando una metodología estadísticamente validada que integra un buen diagnóstico con un enfoque sistémico y holístico considerando a todos los factores que intervienen en la dinámica de la cuenca e impactan al ambiente y a la sociedad.

Por lo tanto, el establecimiento de una metodología de manejo integral para la sustentabilidad de las cuencas es una acción estratégica de suma importancia para el lugar de estudio y para otras cuencas en las que se quiera aplicar la metodología desarrollada en esta tesis.

## **CAPITULO 2**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

# MATERIALES Y MÉTODOS

## DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La cuenca de Twin Streams está ubicada al oeste de la Región de Auckland, Nueva Zelanda, con coordenadas UTM 5917670.3 Norte y 824742.6 Este. Tiene una superficie de 103.558 km<sup>2</sup> y tal como lo indica su nombre “Ríos Gemelos”, está formada por dos Sistemas Hidrológicos. El Sistema I, denominado Ensenada de Henderson tiene un área de 63.681 km<sup>2</sup> y el Sistema II, denominado Ensenada de Huruhuru tiene un área de 39.877 km<sup>2</sup> (Figura 1). El rango de elevación en toda la cuenca va desde el nivel del mar en las costas del Puerto de Waitemata en el extremo norte, hasta 375 metros en la Sierra de Waitakere en el extremo sur y la temperatura media anual es 11.5 °C, la mínima es 7.5 °C, y la máxima es 24.1°C (New Zealand Meteorological Service, 2015). Climatológicamente el área presenta una estación invernal de junio a agosto que son los meses más lluviosos con una precipitación de 418 mm, tiene una primavera de septiembre a noviembre con una precipitación de 312.1 mm y un otoño de marzo a mayo con una precipitación de 320.9 mm, en donde las lluvias son moderadas y un verano de diciembre a febrero en donde las lluvias son leves con una precipitación de 249 mm (NIWA, 2015).

A los fines de analizar los dos sistemas se dividió cada uno de ellos en tres partes: Alta, media y baja. La parte alta de la cuenca que comienza en la cabecera de los arroyos, así como la parte media, se encuentran en un estado natural prístino en ambos sistemas. La geomorfología de los lechos de los ríos es de roca escarpada o grava, con cauce confinado y de baja sinuosidad con una pendiente promedio que varía del 9 % en la parte alta y 3 % en la parte media (Reid, *et al.*, 2009). En esta zona de la cuenca se registra una precipitación anual de 1800 mm en la parte alta y 1500 mm aproximadamente en la parte media (ARC, 2013). En la parte baja de la cuenca la geomorfología de los arroyos de los Sistemas I y II tienen el lecho del río de material fino y con un caudal influido por la marea, es confinado y de baja sinuosidad. La parte baja de ambos sistemas se encuentra perturbada en una parte de la cuenca ya que los ríos han sido entubados con la formación de estanques. La geomorfología de los arroyos son de material fino y en el valle es relleno

intactos con un caudal influido por la marea que forma estanques de agua y con una pendiente promedio de 0,35 % (Reid, *et al.*, 2009).

La región de Auckland cuenta con un servicio de agua potable con una demanda anual de 13.75Mm<sup>3</sup> en toda la cuenca, la cual proviene de las represas de Waitakere, Upper Huia, Lower Huia, Upper Nihotupu y Lower Nihotupu (Watercare, 2011 y 2012). Además, las zonas urbanas cuentan con un sistema de recolección y tratamiento de las aguas residuales, de las cuales se tratan 14.82 Mm<sup>3</sup> anualmente en toda la cuenca en la planta de tratamiento de las aguas residuales de Mangere”. Las zonas rurales y algunas periurbanas cuentan con sistemas de tratamiento individuales.

Actualmente, en la cuenca existen 2524 predios con sistemas de tratamiento de aguas residuales de los siguientes tipos: fosa séptica, LPED, filtros de arena, Jet, Reflexión, Clear, y Lifestyle. Desde 1990 se han construido algunos sistemas de tratamiento de las aguas pluviales y se dispone de 222 sistemas de 22 tipos diferentes. Actualmente, se cuenta con un 60% de servicio de agua pluvial. Los tipos de sistemas de tratamiento son: humedal artificial, lagunas de detención secas o húmedas, sistema de filtración Up-Flo, Stormfilter, detención y filtración de cartucho, detención y filtración Hynds, detención y filtración Ingal, filtración Stormwater 360, detención Atlantis, cunetas biológicas, filtros de arena, Enviropod, jardines pluviales, tanques de detención y pavimento permeable (Base de datos ARC, 2013). La recarga de los acuíferos tiene un rango de 4 milímetros por año en la parte media - baja y de 35 milímetros por año en la parte alta según el reporte de Adams *et al* (2010).

Se puede decir que la recarga de los acuíferos tiene un rango de 4 milímetros por año en la parte media y baja a 35 milímetros por año en la parte alta (Adams, 2011).

Los usos principales del Twin Streams son de recreación y paisajismo en los espacios abiertos y áreas naturales protegidas que alternan con zonas agrícolas, residenciales y urbanas de diferentes usos. El sistema educativo escolar ofrece a los estudiantes

oportunidades para que tengan una amplia participación en programas de educación ambiental con el propósito de promover la protección y restauración de la cuenca (Education Coutts, 2014).

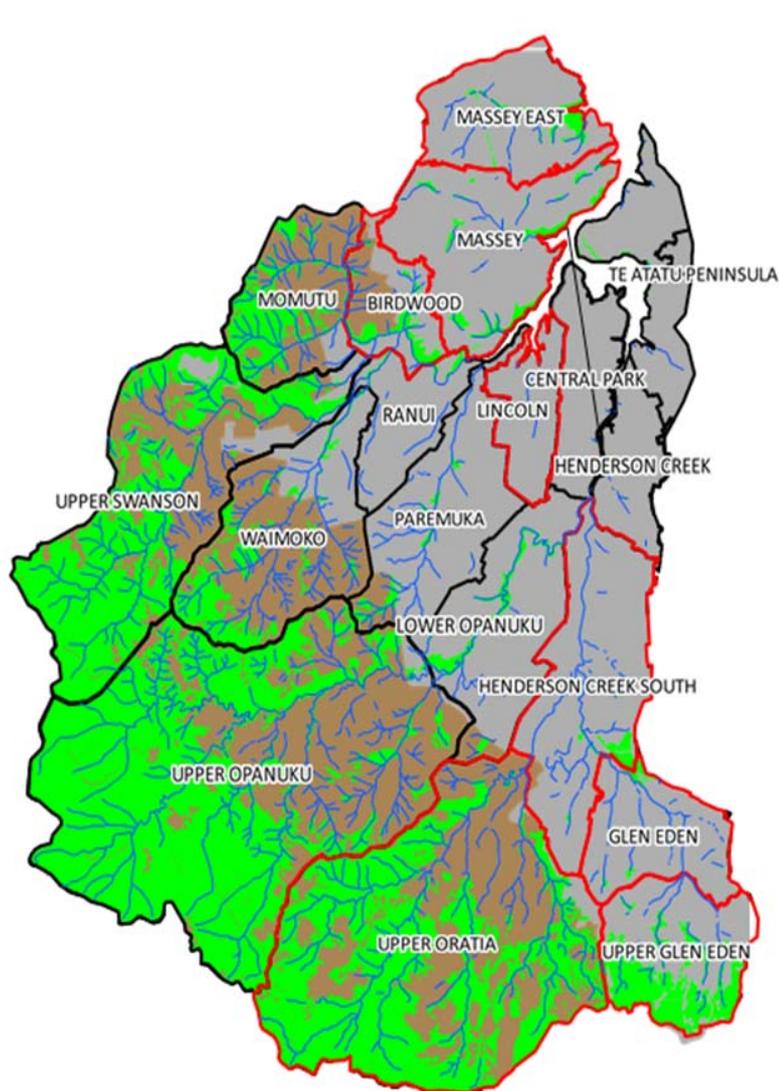


Figura 2.1. Mapa de la cuenca de Twin Streams.

## **CARACTERIZACIÓN DE LOS SISTEMAS QUE INTEGRAN LA ZONA DE ESTUDIO**

### **Sistema I.**

El Sistema I, está ubicado entre las coordenadas UTM 5907632.1 Norte y 816535.7 Este cubriendo un área de 63.681 km<sup>2</sup>. La parte alta tiene una pendiente promedio del 9 % con una altitud de 435.7 msnm está conformada por las subcuencas Upper Glen Eden (UGE), Glen Eden (GE), Upper Oratía (UO) y Upper Opanuku (UOP). Los registros climáticos señalan que hay una precipitación promedio anual de 1506 mm y una cobertura vegetal que produce una evapotranspiración de unos 817 mm (UniServices, 2010; Adams *et al.*, 2010). Las subcuencas de este sistema tienen un área impermeable de 10.89 km<sup>2</sup> que corresponden a un 26 % de todo el sistema el 55 % de toda la cuenca (ARC, 2013).

La parte media se encuentra a una altitud de 101.2 msnm y está conformada por las subcuencas Henderson Creek South (HCS), Lower Opanuku (LO) y Henderson Creek (HC) la parte baja a una altitud de 41.5 msnm está integrada por las subcuencas Central Park (CP) y Te Atatu Peninsula (TAP). El uso del suelo en este Sistema tiene distintas áreas de captación hídrica, que según su superficie se clasifican en: rural 17.14 km<sup>2</sup>, residencial 13.60 km<sup>2</sup>, espacios abiertos 12.54 km<sup>2</sup>, áreas naturales protegidas 6.46 km<sup>2</sup>, áreas periurbana de 3.15 km<sup>2</sup>, industrial 2.64 km<sup>2</sup>, comercial 0.45 km<sup>2</sup>, y otros 4.86 km<sup>2</sup> según estadísticas del Auckland Regional Council (2013).

En el 2013, el Sistema I tenía una población de 62,703 habitantes (Foto C) y se proyecta que para el 2051 tendrá 107,315 habitantes. Posee 22,647 viviendas, cada vivienda tiene en promedio de 3 a 4 habitantes. (ARC, 2014 y Censo de New Zealand, 2013). En el Sistema se encuentran registradas 22 escuelas con una población de 10,044 estudiantes.



Foto C. Vista panorámica de la parte urbana correspondiente al Sistema I.

## **Sistema II.**

El Sistema II, está ubicado entre las coordenadas UTM 5910777.6 Norte y 815987.6 Este cubriendo un área de 39.877 km<sup>2</sup>. La parte alta tiene una pendiente promedio del 5,4%, con una altitud de 337 msnm está conformada por las subcuencas Upper Swanson (US), Waimoco (WA) y Momotu (MO) Los registros climáticos señalan que hay una precipitación promedio anual de 1.506 mm y una cobertura vegetal que produce una evapotranspiración de unos 817 mm (UniServices, 2010) (Adams *et al.*, 2010). Las subcuencas de este Sistema tienen un área impermeable de total de 20.4 km<sup>2</sup> que corresponden a un 31,98 % de todo el Sistema el 45 % de toda la cuenca (ARC, 2013).

La parte media, a una altitud de 115.7 msnm, está conformada por las subcuencas Paremuka (PA), Ranui (RA) y Birwood (BI) con coordenadas UTM 5911819.0 Norte y 820375.0 Este. La parte baja, a una altitud de 98.7 msnm, está integrada por las subcuencas Lincoln (LN), Massey (MA) y Massey East (ME). El uso del suelo en este Sistema tiene

distintas áreas de captación hídrica, que según su superficie se clasifican en: rural 13.62 km<sup>2</sup>, residencial 11.49 km<sup>2</sup>, espacios abiertos 4.07 km<sup>2</sup>, áreas naturales protegidas 2.04 km<sup>2</sup>, periurbana 0.74 km<sup>2</sup>, industria 1 0.75 km<sup>2</sup>, comercial 0.23 km<sup>2</sup> y área especial 1.49 km<sup>2</sup> y otros 3.83km<sup>2</sup> según estadísticas del Auckland Regional Council 2013.

En el año 2013, el Sistema II tenía una población de 56,175 habitantes y se proyecta que para el 2051 tenga 104,399 habitantes y con un total de 15,123 viviendas ver Foto D, cada vivienda tiene en promedio de 3 a 4 habitantes. (ARC, 2014 y Censo de New Zealand, 2013). En el Sistema se registraron 16 escuelas con una población de 9,610 estudiantes (Education Coutts, 2014).



Foto D. Vista panorámica de la parte urbana correspondiente al Sistema II.

## **DIAGNÓSTICO AMBIENTAL POR EL MÉTODO DE WARD**

Se utilizó el pensamiento sistémico para determinar los problemas ambientales del estado actual de la cuenca de Twin Streams. El análisis consistió en dividir la cuenca en dos sistemas: Sistema I denominado Ensenada Henderson y el Sistema II denominado Ensenada de Huruhuru debido a su comportamiento y desarrollo. Cada cuenca hidrográfica de cada sistema está compuesta por parte alta, media y baja.

El diagnóstico ambiental en campo se realizó desde la parte alta hacia la parte baja de la cuenca (Ward, 1989). La evaluación de cada parte del sistema fue con un enfoque holístico considerando las interacciones de todas sus partes frente a una situación real de la cuenca de Twin Streams.

Se comenzó con un reconocimiento de campo en la cuenca de Twin Streams con la finalidad de valorar su comportamiento y desarrollo. Esto permitió identificar los daños más severos de la cuenca y determinar los puntos a evaluar. Además, identificar el punto con menor grado de afectación denominado testigo y compararlo con las demás sub-cuencas y poder determinar el comportamiento y desarrollo del estado actual de los sistemas.

El análisis de comportamiento y desarrollo se inició en el Sistema I, el cual tiene una longitud de 189,6 kilómetros de arroyos. La evaluación de la parte alta de la cuenca se inicia en el arroyo Waikumete en el punto 1UGE que pertenece a Upper Glen Eden (UGE), en su recorrido aguas abajo se conecta con el arroyo Bishop que corresponde al punto 2UGE, continuando con la trayectoria del arroyo Waikumete aguas abajo se localiza el punto 3UGE; los tres puntos se encuentran en zona de cabecera, sus aguas son superficiales y su respuesta es de evolución. Sin embargo, en el punto 3UGE se presentan inundaciones altas. Aguas abajo se localizan los puntos 4GE, 5GE y 6GE que pertenecen a Glen Eden (GE) en una zona de transición, sus aguas son superficiales, las inundaciones son altas en los puntos 5GE y 6GE y su respuesta es de evolución. Por otro lado, el punto

7UO indica la zona de cabecera del arroyo Potter en la subcuenca de Upper Oratía (UO); el agua es superficial y su respuesta es de comportamiento y aguas abajo, en una zona de transición, se conecta con el arroyo Oratía en el punto 8UO. En su recorrido se intercepta en el punto 9UO con el arroyo Cochran. El punto 10UO señala el arroyo Kaurimu; el agua es superficial, las inundaciones son altas y su respuesta es de comportamiento. Siguiendo su recorrido, en el punto 11UO se encuentra el arroyo Oratía; sus aguas son superficiales, las inundaciones son bajas pero frecuentes y su respuesta es de evolución. Además, Upper Opanuku (UOP) se inicia en la zona de cabecera, en el punto 12UOP que corresponde al arroyo Spragg; sus aguas son superficiales y su respuesta es de comportamiento. Aguas abajo en una zona de transición se localiza el punto 13UOP en el arroyo Opanuku; el agua es superficial, las inundaciones son altas y su respuesta es de comportamiento. Siguiendo su trayectoria se localiza el punto 14UOP del arroyo Driving; sus aguas son superficiales, las inundaciones son bajas pero frecuentes y su respuesta es de evolución. Al final del recorrido de UOP, se encuentra el punto 15UOP en el arroyo Opanuku; el agua es superficial y su respuesta es de evolución.

La evaluación de la parte media de la cuenca se inició en Henderson Creek South, en el arroyo Waikumete y en el punto 16HCS que está ubicado en una zona de transición; las aguas son superficiales, las inundaciones son altas y su respuesta es de comportamiento. Siguiendo su trayectoria, se intercepta con el arroyo Oratía en donde se localiza el punto 17HCS que pertenece a una zona de transición, sus aguas son superficiales y las inundaciones son bajas pero frecuentes, siguiendo su recorrido aguas abajo en una zona deposicional se ubica el punto 18HCS contiene agua superficial, las inundaciones son altas y su respuesta es de evolución, y el punto 19HCS contiene agua superficial, se inunda frecuentemente y su respuesta es de comportamiento. Siguiendo su recorrido en Lower Opanuku (LOP) en el arroyo Anamata se encuentran el punto 20LOP el cual intercepta con el arroyo Opanuku, siguiendo la trayectoria en el arroyo Opanuku se encuentran los puntos 21LOP y 22LOP, ubicados en una zona deposicional, contiene agua superficial, las inundaciones son bajas pero frecuentes y su respuesta es de evolución. Continuando con su recorrido el punto 23HC del arroyo Pixie en Henderson Creek (HC) el cual contiene agua superficial y tiene respuesta de comportamiento, en su recorrido se conecta aguas abajo con el arroyo Henderson Creek en el punto 24HC y en la parte baja con el punto 25HC

(Tabla 2), su terraza es antigua y su respuesta es de evolución. Todos los puntos se encuentran en una zona deposicional.

La evaluación de la parte baja de la cuenca se inició en Central Park (CP) en el tributario del arroyo de Henderson Creek, en el punto 26CP; aguas abajo está el punto 27CP en el arroyo de Henderson Creek, su terraza es antigua, su respuesta es de evolución y está en una zona deposicional. Al final del tramo, se encuentra el punto 28TAP que pertenece a Te Atatu Peninsula (TAP), continuando su trayectoria aguas abajo el arroyo de Henderson Creek se conecta con el arroyo Pixie en el punto 29TAP. Continuando con su recorrido, aguas abajo se vuelve a interceptar con el arroyo Henderson Creek en el punto 30TAP donde termina en una zona de deposición, con terrazas de inundación antiguas, aguas superficiales y respuesta de evolución.

El Sistema II tiene un recorrido de 134,39 kilómetros de arroyos, el cual se analizó de la parte alta hacia la parte baja de la cuenca. La evaluación de la parte alta de la cuenca se inicia en el tributario Swanson en el punto 31-S ubicado en la zona de cabecera de Upper Swanson (US), continuando su recorrido aguas abajo en una zona de transición se conecta con el arroyo Swanson en el punto 32-S. Siguiendo su trayectoria se conecta nuevamente con el tributario Swanson en el punto 33-S y se intercepta aguas abajo con el arroyo Swanson en el punto 34-S donde las inundaciones son bajas pero frecuentes.

Por otro lado, Waimoko (WA) se inicia en el punto 35-WA en el arroyo Waimoko, siguiendo con su trayectoria se intercepta con el arroyo Lonesome Brook en el punto 36-WA. Siguiendo el curso del arroyo Waimoko, aguas abajo se localiza el punto 37WA con inundaciones bajas pero frecuentes y su respuesta es de evolución. Continuando aguas abajo están los puntos 38-W con agua superficial y 39-WA con terraza de inundación antigua y el punto 40-WA con inundaciones bajas pero frecuentes y tienen respuesta de comportamiento. Continuando con la trayectoria se encuentra Momotu (MO) que se inicia en zona de cabecera en el punto 41MO, siguiendo su trayectoria en una zona de transición se localiza el punto 42MO; aguas abajo se conecta con el arroyo Marokura en el punto

43MO y 44MO. Retomando su recorrido el arroyo Momotu intercepta el punto 45MO; en estos puntos las aguas son superficiales y su respuesta es de comportamiento.

La evaluación de la parte media de la cuenca del arroyo Momotu, ubicado en zona de cabecera de Birwood (BI) donde se encuentra el punto 46BI; aguas abajo se encuentran los puntos 47BI, 48BI y 49BI y luego el tributario del arroyo Swanson donde se encuentra el punto 50BI. Todos los puntos se encuentran ubicados en una zona de transición, con agua superficial y respuesta de comportamiento. Al final del tramo se conecta con el arroyo Swanson en el punto 51BI con inundaciones bajas pero frecuentes y su respuesta es de evolución.

En su recorrido pasa por Ranui (RA) tributario del arroyo Swanson donde se localiza el punto 52RA; aguas abajo se intercepta con el arroyo Swanson en el punto 53RA, interceptando nuevamente aguas abajo con el tributario Swanson en el punto 54RA y concluyendo el recorrido en el arroyo de Swanson en los puntos 55RA y 56RA. Esta zona, es de transición, sus aguas son superficiales y su respuesta es de comportamiento y solamente el punto 53RA tiene una respuesta de evolución. Continuando con su recorrido pasa por Paremuka (PA) interceptando al arroyo Paremuka ubicándose en una zona de transición donde están los puntos 57PA y 58PA; aguas abajo hay inundaciones bajas pero frecuentes y se localiza el punto 59PA. Siguiendo su curso aguas abajo se localizan el punto 60PA el cual tiene agua superficial y los puntos tienen respuesta de comportamiento. Al final de la trayectoria del arroyo Paremuka se encuentran los puntos 61PA con inundaciones altas y el 62PA con inundaciones bajas pero frecuentes y su respuesta es de evolución.

La evaluación de la parte baja de la cuenca se inicia en Lincoln (LN) con el punto 63LN ubicado en el arroyo Lincoln en una zona de transición; aguas abajo se encuentra el punto 64LN con inundaciones bajas pero frecuentes y su respuesta es de comportamiento. Continuando con su recorrido se encuentra con el punto 65LN en una zona de deposición y respuesta de evolución. Continuando con su trayectoria pasa por Massey (MS) e intercepta el arroyo Huruhuru en una zona de deposiciones con respuesta de evolución y se encuentra

el punto 66LMS; aguas abajo se conecta con el arroyo Rarawara en los puntos 67MS y 68MS con aguas superficiales y respuesta de comportamiento. Continuando con su recorrido se localizan los puntos 69MS y 70MS en una zona de deposición y respuesta de evolución.

En zona de cabecera de Massey East (ME) se encuentra el arroyo de Manutewhau y el punto 71ME; aguas abajo en zona de transición se encuentra el punto 72ME y 73ME en una zona de deposición y en el tramo final del arroyo están los puntos 74ME y 75ME también en una zona de deposición. Todos los puntos tienen respuesta de comportamiento.

## **DATOS CONSIDERADOS EN LAS EVALUACIONES**

Para poder generar una base de datos con los diferentes parámetros físicos, químicos y biológicos del agua, se solicitó al Honorable Ayuntamiento de Auckland los proyectos que se realizaron en los últimos 10 años. Posteriormente, se llevó a cabo una revisión completa de la información existente sobre la calidad del agua, los sedimentos y el monitoreo en las 18 subcuencas de la cuenca Twin Streams. Los estudios y fuentes de datos que se revisaron son:

- Water Quality Programme (Management of streams), (Jones *et al.*, 2001; 2002).
- Project Twin Streams Catchment Monitoring. Water Quality Monitoring Report 2003–2004, (Kingett Mitchell Ltd *et al.*, 2005).
- Project Twin Streams Catchment Monitoring. Sediment Quality Monitoring Report 2003–2004, (Kingett Mitchell Ltd *et al.*, 2005).
- Project Twin Streams Catchment Monitoring. Ecological Monitoring Report 2003–2004, (Kingett Mitchell Ltd *et al.*, 2005).
- Project Twin Streams Catchment Monitoring. Pressures and State of the Environment: Synthesis 2003–2004, (Kingett Mitchell Ltd *et al.*, 2005).
- Project Twin Streams Catchment Monitoring. Water Quality Monitoring Report 2005–2006, (Kingett Mitchell Ltd *et al.*, 2006).

- Project Twin Streams Catchment Monitoring. Sediment Quality Monitoring Report 2005-2006, (Kingett Mitchell Ltd *et al.*, 2006).
- Project Twin Streams Catchment Monitoring. Ecological Monitoring Report 2005–2006, (Kingett Mitchell Ltd *et al.*, 2006).
- Project Twin Streams Catchment Monitoring. Pressures and State of the Environment: Synthesis 2005–2006, (Kingett Mitchell Ltd *et al.*, 2006).
- Pilot Stream Survey and Asset Condition Assessment Lincoln Stream (Morphum Environmental, 2006).
- Waitakere City stream surveys and asset assessments Year 1, Year 2 and Year 3 Report (Storey *et al.*, 2007, 2008, 2009).
- Twin Streams Catchment Assessment of Environmental Effects (Torrecillas *et al.*, 2009).
- Pressure-State-Response Report Project Twin Streams Catchment Monitoring, (Golder Associates, 2010).
- Datos de la calidad del agua, caudales y precipitación (Consejo de Auckland 2013).

## **INDICADORES ANALIZADOS Y SU MODALIDAD DE EVALUACIÓN**

En el presente estudio, se analizaron los datos según las normas emitidas por la Secretaria de Recursos Naturales contemplados en la Declaración de Política Regional (RPS) para la Región de Auckland y el Anexo 4 del artículo 72 de Resource Management Act, 1991 (ARC, 2013) que se conforma de indicadores cualitativos y cuantitativos que afectan directamente e indirectamente al estado actual de la cuenca.

## **INDICADORES CUALITATIVOS**

Para determinar los indicadores cualitativos se utilizó el pensamiento sistémico (Capra 1996) que permite evaluar los problemas ambientales mediante el método de Ward (1989) y la Evaluación Multicriterios (EMC) (Pacheco *et al.*, 2008).

Para el buen funcionamiento del río se consideraron los indicadores propuestos por el método de Ward (indicadores cualitativos): dimensión longitudinal(LO);dimensión vertical (VE);dimensión lateral (LA);dimensión temporal (TE); zona de cabecera (ZC), zona de transferencia (ZT) y zona de deposición (ZD); contenido de agua (L1) ; zona baja que se inunda frecuentemente (L2), zona más alta que se inunda a (L3); terraza de inundación antigua (L4)); elevación vertical del cauce (VE);aguas superficiales (V1) aguas subterráneas (V2), respuesta de comportamiento (RC); respuesta de evolución (RE).

Además se consideraron indicadores cualitativos tales como: erosión de ladera (EL), erosión del río (ER), sedimentos (SE), deforestación (DE), ganado (GA), nivel del agua de la inundación (NI), claridad del agua (CA), depósitos de basura (DB), lodo residual (LR), encharcamientos (EN), vertidos de agua residual (VR), vertidos de agua pluvial (VP), barreras físicas para el paso de los peces (BF), vegetación en el cauce del río (VC), maleza (MZ). Los datos de área protegida (AP), área especial (AE), espacio abierto (EA), agricultura (AG), industrial (ID), comercial (CO), periurbano (PE), residencial (RE), rural (RU) y otros (OT), obtenidos de la base de datos de Auckland Regional Council (2013).

## **INDICADORES CUANTITATIVOS**

Para evaluar los indicadores cuantitativos se utilizó un análisis multivariado: Se partió de un Análisis de Componentes Principales (ACP) que se utilizó como herramienta exploratoria para diseñar las agrupaciones naturales por Análisis de Clusters Jerárquicos (ACJ) dentro de un conjunto de datos (Harrison *et al.*, 1996; Yu *et al.*, 1998; Liu *et al.*, 2008; Bravo, 2009). Los análisis se realizaron con rotación ortogonal de los ejes factoriales, con el objetivo de conseguir que la correlación de cada una de las variables sea más próxima a 1 con solo uno de los factores y próxima a cero con todos los demás

(Kaiser, 1958). Además, los datos multivariados se representaron a través de graficas biplot (Gabriel, 1971 y 1990; Odoroff, 1990).

Los indicadores cuantitativos de calidad del agua fueron: conductividad eléctrica (CE), oxígeno disuelto (OD), pH, temperatura (TE), sólidos suspendidos totales (TSS), turbidez, *Escherichia coli*, amonio ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ), nitrógeno total (TOxN), fósforo disuelto (DRP), cobre (Cu) y zinc (Zn) disueltos; Los indicadores de la calidad de sedimento fueron: plomo (Pb1), cobre (Cu) y zinc (Zn); Los indicadores de efectos físicos del medio ambiente fueron: macro invertebrados (MCI) y hábitat score (EPT). Los datos fueron obtenidos de los reportes publicados por Kingett Mitchell *et al.*, 2003 y 2004; 2005c y 2006c y Golder Associates, 2010.

## **VALORES NORMATIVOS DE LA CALIDAD DEL AGUA Y LOS ECOSISTEMAS EN NUEVA ZELANDA**

Los valores normativos de la calidad del agua y los ecosistemas en Nueva Zelanda se establecen de acuerdo con La Ley de Gestión de Recursos 1991 (Resource Management Act, RMA) ver Tabla 2.1. A su vez esta ley autoriza que el gobierno declare los valores nacionales por medio de la Declaración de Política Nacional para la Gestión de Agua Dulce 2014 (National Policy Statement for Freshwater Management 2014, NPS-FWM). Al igual el RMA autoriza al Consejo de Auckland a declarar los valores regionales por medio del Plan de Ordenamiento Territorial (Unitary Plan, UP, 2012), el Plan de Gestión del Aire, Tierra y Suelo (Air Land Water Plan, ALWP, 2013) y el Plan Regional Costero de Auckland (Auckland Council Regional Plan: Coastal, ACRPC, 2004). Donde no existen valores normativos, el Consejo de Auckland referencia a las Guías de Australia y Nueva Zelanda para la Calidad del Agua Dulce y Marina (Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality: ANZECC 2000 Guidelines) ver Tabla 2.2 en el Anexo A y publicaciones técnicas.

La Tabla 2.1 describe los valores normativos de la calidad del agua y los ecosistemas en la región de Auckland, y por lo tanto pertinentes a la Cuenca Twin Streams.

Tabla 2.1. Valores normativos de la calidad del agua y los ecosistemas en a la Cuenca Twin Streams.

Referencia	Indicador de contaminación	Unidad	Clasificación de la Calidad del Agua				
			A	B	C	Mínimo	D
			Buena	Moderada	Severa		Crítica
<b>NPS-FWM</b>  <i>Declaración de Política Nacional para la Gestión de Agua Dulce (National Policy Statement for Freshwater Management, 2014),</i>	Perifiton (estado trófico)	mg chl-a/m	≤50	>50 y ≤120	>120 y ≤200	200	>200
	Nitrato (Toxicidad)	mg /l	≤1.0	>1.0 y ≤2.4	>2.4 y ≤6.9	6.9	>6.9
	Amoníaco (Toxicidad)	mg /l	≤0.03	>0.03 y ≤0.24	>0.24 y ≤1.30	1.3	>1.30
	Oxígeno Disuelto	mg/l	≥8.0	≥7.0 y <8.0	≥5.0 y <7.0	5	<5.0
	<i>E.coli</i>	NMP /100 ml	≤260	>260 y ≤540	>540 y ≤1000	1000	>1000
<b>UP</b>  <i>Plan de Ordenamiento Territorial (Unitary Plan, UP, 2012)</i>	MCI	Unidad	123	111	94	80	68
<b>ALWP</b>  <i>Plan de Gestión del Aire, Tierra y Suelo (Air Land Water Plan, ALWP, 2013)</i>	SEV	Unidad	0.91 a 1.00	0.81 a 0.90	0.71 a 0.80	0.61 a 0.70	< 0.60
<b>ACRPC</b>  <i>Plan Regional Costero de Auckland (Auckland Council Regional Plan: Coastal, ACRPC, 2004)</i>	Zinc	mg/kg	<124	125-132	133-141	142-150	>150
	Cobre	mg/kg	<19	20-24	25-29	30-33	>34
	Plomo	mg/kg	<30	31-37	38-44	45-49	>50
	HMW-PAH	mg/kg	<0.66	0.67-1.00	1.01-1.34	1.35-1.70	>1,7
<b>ANZECC</b>  <i>Guías de Australia y Nueva Zelanda para la Calidad del Agua Dulce y Marina (Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality: ANZECC 2000 Guidelines).</i>	Turbidez	NTU	<1.3	1.31-6.53	6.54-11.77	11.78-17	>17

## SITIOS DE MUESTREO

Para la evaluación ambiental cualitativa en la cuenca Twin Streams, se realizó un diagnóstico de campo en los Sistemas I y II de la cuenca de Twin Streams en 60 sitios de muestreo 30 en cada Sistema. Los sitios de muestreo del diagnóstico ambiental, se representan con base a la ubicación de la cuenca: parte alta, parte media y parte baja de cada sistema y se presentan en las Tablas 2.2 a la 2.7. En el Tabla 2.2. Se representan todos los puntos ubicados en las subcuencas de la parte alta de la cuenca del Sistema I.

Tabla 2.2. Ubicación de la parte alta de la cuenca.

IDENTIFICACIÓN ID	NOMBRE DEL ARROYO	COORDENADAS		ALTITUD	DIMENSIONES			
		NORTE	ESTE	(msnm)	LO	LA	VE	TE
<b>PARTE ALTA DE LA CUENCA</b>								
UPPER GLEN EDEN								
<b>1UGE</b>	Hibernia	5906151	825399.6	79.2	ZC	L1	V1	RC
<b>2UGE</b>	Waikumete (K)	5907585.6	825362.7	41	ZC	L3	V1	RC
<b>3UGE</b>	Whakarino	5907515.4	824749.4	39.8	ZC	L1	V1	RC
GLEN EDEN								
<b>4GE</b>	Waikumete (M)	5907877.1	825164.5	32.3	ZT	L3	V1	RC
<b>5GE</b>	Waikumete	5908189	825172.5	30.7	ZT	L3	V1	RC
<b>6GE</b>	Waikumete (N)	5909058.7	824635.6	23.2	ZT	L1	V1	RC
UPPER ORATÍA								
<b>7UO</b>	Potter (E*)	5907473.3	819935.5	80.8	ZC	L1	V1	RC
<b>9UO</b>	Cochran	5908239.5	821982.1	28.7	ZT	L3	V1	RC
<b>8UO</b>	Oratía (F)	5908056.5	821440.6	28.4	ZT	L3	V2	RC
<b>10UO</b>	Kaurimu	5908998.8	822861	21.4	ZT	L3	V1	RC
<b>11UO</b>	Oratía (G)	5909540.7	822992.7	14.9	ZT	L2	V1	RE
UPPER OPANUKU								
<b>12UOP</b>	Spragg	5909422.9	815994.9	339.7	ZC	L1	V1	RC
<b>13UOP</b>	Opanuku (A)	5909763.6	818195.4	57.6	ZT	L1	V1	RE
<b>14UOP</b>	Driving	5910516.1	819871.7	25.4	ZC	L2	V1	RE
<b>15UOP</b>	Opanuku (B)	5910720.6	820398.2	22.2	ZT	L3	V1	RC

Nota: **dimensión longitudinal (LO): zona de cabecera (ZC), zona trasferencia (ZT) y zona deposicional (ZD);** **dimensión lateral (LA): contiene agua (L1), inundación baja que se inunda frecuentemente (L2), inundación más alta (L3) y terraza de inundación antigua (L4);** **dimensión vertical (VE): aguas superficiales (V1), aguas subterráneas (V2) y dimensión temporal (TE): respuesta de comportamiento (RC) y respuesta de evolución (RE).**

En la Tabla 2.3. Se presentan todos los puntos ubicados en las subcuencas de la parte media de la cuenca del Sistema I.

Tabla 2.3. Ubicación de la parte media de la cuenca.

IDENTIFICACIÓN ID	NOMBRE DEL ARROYO	COORDENADAS		ALTITUD	DIMENSIONES			
		NORTE	ESTE	(msnm)	LO	LA	VE	TE
<b>PARTE MEDIA DE LA CUENCA</b>								
HENDERSON CREEK SOUTH								
<b>16HCS-O</b>	Waikumete (O)	5910040.8	823785.2	15.8	ZT	L3	V2	RC
<b>17HCS-H</b>	Oratía (H)	5910314.3	823442.5	13.9	ZT	L2	V1	RE
<b>18HCS</b>	Oratía	5911536.4	823848.9	4.7	ZD	L1	V1	RE
<b>19HCS-I</b>	Oratía (I)	5912179.3	823933.2	3.6	ZD	L2	V1	RC
LOWER OPANUKU								
<b>20LOP</b>	Anamata	5910741.4	821809.9	11.9	ZD	L2	V1	RE
<b>21LOP-C</b>	Opanuku (C)	5911179	822173	9.3	ZD	L2	V2	RE
<b>22LOP-D</b>	Opanuku (D)	5912657.1	823782	2	ZD	L2	V4	RE
HENDERSON CREEK								
<b>23HC</b>	Pixie (SMU-15)	5913072.2	824424.5	8.6	ZD	L1	V1	RC
<b>24HC</b>	Henderson Creek	5913466.3	824195.6	0	ZD	L4	V1	RE
<b>25HC</b>	Henderson Creek	5915040.3	824637.9	0	ZD	L4	V2	RE

En la Tabla 2.4. Se presentan todos los puntos ubicados en las subcuencas de la parte baja de la cuenca del Sistema I.

Tabla 2.4. Ubicación de la parte baja de la cuenca.

IDENTIFICACIÓN ID	NOMBRE DEL ARROYO	COORDENADAS		ALTITUD	DIMENSIONES			
		NORTE	ESTE	(msnm)	LO	LA	VE	TE
<b>PARTE BAJA DE LA CUENCA</b>								
CENTRAL PARK								
<b>26CP</b>	T. Henderson Creek	5913849.6	824159.4	1.6	ZD	L4	V1	RE
<b>27CP</b>	Henderson Creek	5913899.7	824144.9	1.1	ZD	L4	V1	RE
TE ATATU PENINSULA								
<b>28TAP</b>	T. Henderson Creek (SMU-14)	5915000.8	825226.9	4.4	ZD	L1	V1	RC
<b>29 TAP</b>	Pixie	5915067.7	825172.5	3.5	ZD	L4	V1	RE
<b>30TAP</b>	Henderson Creek	5917170.7	824519.6	0.5	ZD	L4	V1	RE

En la Tabla 2.5. Se presentan todos los puntos ubicados en las sub-cuencas de la parte alta de la cuenca del Sistema II.

Tabla 2.5. Ubicación de la parte alta de la cuenca.

IDENTIFICACIÓN ID	NOMBRE DEL ARROYO	COORDENADAS		ALTITUD	DIMENSIONES			
		NORTE	ESTE	(msnm)	LO	LA	VE	TE
<b>PARTE ALTA DE LA CUENCA</b>								
UPPER SWANSON								
<b>31US</b>	T. Swanson	5912470.7	816329	153.2	ZC	0	V1	RC
<b>32US-P</b>	Swanson-P	5912684.5	817369.7	48	ZT	L2	V1	RC
<b>33US</b>	T. Swanson	5914320.2	817888.2	34.1	ZT	L1	V1	RC
<b>34US-Q</b>	Swanson-Q	5914172.6	818261.9	29.7	ZT	L2	V1	RC
WAIMOKO								
<b>35WA</b>	Waimoko	5912638.7	819309.1	30	ZT	L1	V1	RC
<b>36WA</b>	Lonesome Brook	5913283.8	819937.3	24.3	ZT	L1	V1	RC
<b>37WA</b>	Waimoko	5913740.1	819992.7	19.9	ZT	L1	V1	RC
<b>38WA</b>	Waimoko	5914273.2	820261.4	15.4	ZT	L4	V1	RC
<b>39WA</b>	Waimoko (SMU-8)	5914729.2	820749.6	13.7	ZT	L2	V1	RC
MOMOTU								
<b>40MO</b>	Momotu	5915964	818792.5	114.7	ZC	L1	V1	RC
<b>41MO</b>	Momotu	5916491	819820.3	42.4	ZT	L1	V1	RC
<b>42MO</b>	Marokura (SMU-5)	5915404.2	819835.7	29.4	ZD	L1	V1	RC
<b>43MO</b>	Momotu	5915660	820449.7	18.8	ZT	L1	V1	RC

En la Tabla 2.6. Se presentan todos los puntos ubicados en las sub-cuencas de la parte media de la cuenca del Sistema II.

Tabla 2.6. Ubicación de la parte media de la cuenca.

IDENTIFICACIÓN ID	NOMBRE DEL ARROYO	COORDENADAS		ALTITUD	DIMENSIONES			
		NORTE	ESTE	(msnm)	LO	LA	VE	TE
<b>PARTE MEDIA DE LA CUENCA</b>								
BIRWOOD								
<b>44BI</b>	T. Swanson	5916111.2	821584.9	50	ZC	L1	V1	RC
<b>45BI</b>	Momotu (SMU-6)	5915687.8	820444.3	18.5	ZD	L1	V1	RC
<b>46BI</b>	Swanson (SMU-9)	5914883.3	821757.1	5.2	ZT	L2	V1	RE
RANUI								
<b>47RA</b>	T. Swanson	5914147.9	820827.8	27.7	ZT	L1	V1	RC
<b>48RA-R</b>	Swanson-R	5914616.4	820447.9	17.8	ZT	L2	V1	RE
<b>49RA-S</b>	Swanson-S	5915092	822167	10.2	ZT	L1	V1	RC
PAREMUKA								
<b>50PA</b>	Paremuka (SMU-10)	5911720.2	820999.9	42.9	ZT	L1	V1	RC
<b>51PA</b>	Paremuka (SMU-11)	5912774.5	821669.8	20.2	ZT	L2	V1	RC
<b>53PA</b>	Paremuka	5914736.6	822334.9	7.0	ZT	L3	V1	RE

En la Tabla 2.7. Se presentan todos los puntos ubicados en las sub-cuencas de la parte baja de la cuenca del Sistema II.

Tabla 2.7. Ubicación de la parte baja de la cuenca.

IDENTIFICACIÓN ID	NOMBRE DEL ARROYO	COORDENADAS		ALTITUD	DIMENSIONES			
		NORTE	ESTE	(msnm)	LO	LA	VE	TE
<b>PARTE BAJA DE LA CUENCA</b>								
LINCOLN								
53LN	Lincoln	5914346.4	823175.9	13.3	ZT	L1	V1	RC
54LN	Lincoln (SMU-13)	5914843.4	823228.1	4.1	ZT	L2	V1	RC
65-LN	Lincoln	5914963.3	823303.8	2.3	ZD	L1	V1	RE
MASSEY								
55MA	Rarawaru (SMU-3)	5917047.2	822652.5	15	ZT	L1	V1	RC
56MA	Rarawaru (SMU-4)	5916692.3	823105.7	6.9	ZD	L2	V1	RE
57MA	Huruhuru	5915059.4	822144	3	ZD	L1	V1	RE
MASSEY EAST								
58ME	Manutewhau (SMU-1)	5918602.6	822155.5	32.5	ZT	L1	V1	RC
59ME	Manutewhau (SMU-2)	5918513.4	822872.5	18.4	ZT	L1	V1	RC
60ME	Manutewhau	5918462.8	823341.5	10.3	ZD	L1	V1	RC

El programa de monitoreo de los componentes de calidad del agua, de los sedimentos y de la ecología acuática en la cuenca Twin Streams se llevaron a cabo en cuatro sitios del arroyos Opanuku, en cinco sitios del Arrollo Oratia, seis sitios en el Arroyo Waikumete y cuatro sitios en el Arroyo Swanson. Estos sitios cubren toda la gama de usos de la tierra presente en la cuenca de captación, con sitios representativos de la cabecera con áreas forestadas, zonas rurales y periurbanas y el uso de suelo urbano. El monitoreo de estos sitios permite evaluar los efectos de estos usos de la tierra y las presiones ambientales asociadas. (Kingett Mitchell, 2005).

Para la evaluación ambiental cuantitativa en la cuenca Twin Streams, se consideraron los 19 sitios de muestreo (Figura 2.1) que fueron propuestos por Kinger Michel *et al.*, (2004 y 2006). Esos mismos sitios fueron analizados nuevamente por Golder, (2010). Los estudios de los autores mencionados sirvieron de base para hacer estudios comparativos con los análisis *in situ* realizados por la autora de esta tesis. Los sitios quedaron representados en los Sistemas de la siguiente manera:

En el Sistema I se encuentran 15 sitios de muestreo ubicados en las siguientes subcuencas; A y B, Upper Opanuku; C y D, Lower Opanuku; E, F y G, Upper Oratia; H, I y O, Henderson Creek South; J, K y L, Upper Glen Eden y M y N; Glen Eden (Tablas 2.2. a la 2.4).

En el Sistema II se encuentran 4 sitios de muestreo ubicados en las siguientes subcuencas: P y Q) Upper Swanson y, R y S) Ranui y se representan en las Tablas 2.5. a la 2.7.

Además los sitios de muestreo de los parámetros físico-químicos y biológicos ambiental, se representan con base a la ubicación de la cuenca: parte alta, parte media y parte baja de cada sistema y se presentan en las Tablas 2.8.y 2.9.

Tabla 2.8. Datos físico-químicos y biológicos del agua del sistema I, cuenca Twin Streams.

Subcuenca	Año	ID	CO	OD	pH	TE	TSS	TU	<i>E. coli</i>	NH4-N	TOxN	DRP	Cu	Zn	Pb1	Cu1	Zn1	MCI	EPT
			µS/cm	% saturado	Sin unidad	°C	mg/l	NTU	%	NMP/100ml	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/kg	mg/kg	mg/kg	%
UGE	2004	J	219	84,2	7,22	14,5	3	12,5	173	0,05	0,109	0,01	1,17	3,08	24,2	17,3	101	108	9
UGE	2004	K	205	82,9	6,79	15,5	4	14,8	4.315	0,183	0,258	0,008	1,663	16,8	33,8	25,3	313	62	0
UGE	2004	L	189	90	6,97	15,7	5	15,9	2.095	0,036	0,215	0,008	1,28	19,2	44	36,5	383,7	73	0
UGE	2006	J	116,5	47,6	7,06	15,57	4	11,75	623	0,007	0,179	0,0038	1,9	4,78	27,5	18,7	141,3	110	4
UGE	2006	K	110	46,95	6,795	16,92	5	11,3	3.368	0,31	0,437	0,0112	2,22	33,4	34,7	30	334,3	67	1
UGE	2006	L	101,4	50,5	6,935	16,77	6	14,45	18.066	0,057	0,245	0,0074	1,96	27,18	68	29,7	515,3	56	0
UGE	2010	J	140	100,82	6,9	11,4	6	11	300	0,014	0,12	<0,004	0,0016	0,01	21	13	70	116	9
UGE	2010	K	150	100,82	6,8	11,4	4	7,8	1600	0,015	0,11	<0,004	0,025	0,044	27	16	120	74	2
UGE	2010	L	138	102,46	6,9	12,1	7	13	300	0,024	0,29	<0,004	0,018	0,048	41	29	270	91	2
GE	2004	M	213	78,8	7,03	16,7	12	28,1	5747	0,1	0,2	0,018	1,62	12,2	68,1	31,3	365	61	1
GE	2004	N	206	80,4	7,02	16,3	9	14,7	1700	0,017	0,22	0,006	2,13	20,7	89,3	37,7	459,7	69	1
GE	2006	M	170	44,5	6,965	16,82	10	22,05	7062	0,157	0,319	0,0152	2,48	26,12	66,1	31,7	431,3	62	1
GE	2006	N	180	45,7	7,11	17,13	11	22,2	5196	0,025	0,243	0,0108	2,36	33,24	74,8	37,3	471,7	71	1
GE	2010	M	130	102,23	6,9	12	12	16	1.000	0,063	0,29	0,05	0,0023	0,041	33	19	170	74	1
GE	2010	N	130	101,29	7,2	11,6	9	15	1.000	0,032	0,36	<0,004	0,0025	0,051	63	24	190	78	2
UO	2004	E	215	96,2	7,79	14,8	3	2,9	333	0,005	0,149	0,056	0,67	0,92	14,9	24,3	97,3	124	13
UO	2004	F	197	94,4	7,37	14,6	4	4,7	573	0,006	0,061	0,035	0,8	1,08	16,3	27,3	78,7	108	11
UO	2004	G	179	85	7,04	15,1	5	10,3	3503	0,011	0,131	0,012	1,77	2,58	22,5	38	97,3	93	6
UO	2006	E	708	53,6	7,495	15,14	4	5,645	477	0,005	0,135	0,0708	0,74	1,35	15,2	23,3	112,7	107	12
UO	2006	F	646	52,7	7,285	15,6	5	6,45	602	0,005	0,049	0,0518	2,48	4,34	15,4	27	88,7	110	11
UO	2006	G	690	48,5	6,97	16,2	6	11,65	1478	0,021	0,123	0,028	2,85	9,375	19,8	38,3	103,3	79	5
UO	2010	E	120	101,52	7,2	11,7	5	8,39	120	<0,002	0,17	0,029	0,001	0,0026	15	20	100	125	14
UO	2010	F	110	100,14	7,2	11,1	4	8,2	120	<0,002	0,11	0,018	0,0011	0,0032	14	19	55	98	9
UO	2010	G	120	110,24	6,9	11,5	6	13	700	<0,002	0,18	0,01	0,0026	0,0046	25	31	85	86	7
UOP	2004	A	124	92,9	7,43	15	1	2,3	363	0,007	0,075	0,007	0,85	0,75	10,9	29,7	83	92	4
UOP	2004	B	139	96	7,46	16,4	2	4,9	985	0,005	0,06	0,007	1,17	1,42	18,4	38,3	86,3	83	5
UOP	2006	A	107	52,45	7,265	15,55	1	3,55	380	0,012	0,078	0,0066	0,74	1,45	14,9	26,3	86,3	96	10
UOP	2006	B	119	54	7,23	16,29	2	6,55	656	0,01	0,0664	0,008	1,46	2,58	44,6	36,7	85,3	84	4
UOP	2010	A	90	110,75	7,1	11,1	<3	4,8	1	<0,002	0,14	0,004	0,0007	0,0015	11	25	89	102	12
UOP	2010	B	99	110,75	7	11,1	<3	8,2	220	<0,002	0,14	0,005	0,0011	0,0029	58	29	62	92	11
HCS	2004	H	176	83,3	7,07	15,7	10	12	3150	0,026	0,148	0,01	2	3,67	27,6	41	113,7	104	8
HCS	2004	I	178	91,4	7,39	15,8	11	17,5	6027	0,017	0,205	0,01	2,35	8,83	79,1	53,3	352,3	65	1
HCS	2004	O	186	72	6,88	16,3	12	18	7305	0,018	0,271	0,01	2,1	18	74,8	18	245,3	79	0
HCS	2006	H	148	48,15	6,985	16,48	11	13,5	3110	0,028	0,126	0,02	2,58	6,44	25,6	36,3	166	93	3
HCS	2006	I	149	51,4	7,145	17,16	12	16,25	6376	0,036	0,186	0,02	2,62	26,2	65,7	59	538	50	0
HCS	2006	O	168	41	6,94	13,85	13	15,5	2958	0,032	0,274	0,01	2,48	29,46	41,8	18	123	64	1
HCS	2010	H	120	120,26	6,9	11,8	14	15	800	<0,002	0,19	0,01	0,0027	0,0055	26	35	98	112	8
HCS	2010	I	120	102,23	6,9	12	9	15	600	0,013	0,26	0,01	0,0026	0,017	65	48	260	85	3
HCS	2010	O	150	91,96	7	11,4	9	13	600	0,031	0,58	0	0,0027	0,051	58	33	280	96	3
LO	2004	C	140	89,5	6,8	16,7	3	9,5	1590	0,012	0,108	0,01	1,78	3,92	14,9	28,7	86,7	104	6
LO	2004	D	154	75,4	6,99	16,8	4	9,3	2878	0,015	0,143	0,01	1,65	13,8	44,6	38,7	261	72	0
LO	2006	C	570	50,25	6,95	16,96	5	9,6	1522	0,016	0,072	0,01	1,72	4,92	16,9	26,7	111	114	5
LO	2006	D	627	43,2	6,95	17,23	6	10,65	990	0,021	0,14	0,01	2,08	18,3	46,7	37,3	283,7	77	0
LO	2010	C	100	101,05	7,1	11,5	4	9,7	620	0,011	0,17	0	0,0012	0,0053	16	25	76	112	8
LO	2010	D	110	101,05	6,9	11,5	7	12	800	0,011	0,2	<0,004	0,0014	0,017	31	31	140	80	2

Tabla 2.9. Datos físico-químicos y biológicos del agua del Sistema II, cuenca Twin Streams.

Subcuenca	AÑO	ID	CO	OD	pH	TE	TSS	TU	<i>E. coli</i>	NH4-N	TOxN	DRP	Cu	Zn	Pb1	Cu1	Zn1	MCI	EPT
			μS/cm	% saturado	Sin unidad	°C	mg/l	NTU	NMP/100ml	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/kg	mg/kg	mg/kg	%
US	2004	P	100	95,32	7	13,1	2	7	137	0,0035	0,044	0,0068	0,4403	0,7756	12,15	20,15	65,15	90	9
US	2004	Q	110	95,23	6	9	7	8	650	0,496	0,2165	0,0033	0,5303	1,6517	20,35	22,5	91,5	100	5
US	2006	P	110	112,15	6,5	16,21	2	7	240	0,005	0,02	0,0066	0,88	1,55	13,3	24,3	82,3	96	10
US	2006	Q	120	103,89	7	9	6	9	1190	0,099	0,358	0,0026	1,06	3,3	20,7	24	101	112	6
US	2010	P	120	106,38	7	9,9	<3	7,1	34	<0,002	0,068	0,007	0,0006	0,0012	11	16	48	115	14
US	2010	Q	120	97,51	6,7	9,9	7	10	110	<0,002	0,075	<0,004	0,0007	0,0034	20	21	82	103	9
RA	2004	S	150	79,78	6,3	9,9	3	10	846	0,325	0,3265	0,045	0,96075	4,5	16,3	14,75	89,9	82	3
RA	2004	R	150	78,87	6,2	9,5	2	9	0,4	0,2915	0,016	0,69065	3,9	494	22,7	19,65	92,05	74	2
RA	2006	S	170	88,73	6,5	10	4	11	1092	0,028	0,353	0,086	1,92	10,42	7,6	8,5	69,8	86	3
RA	2006	R	160	88,65	6,4	9,9	3	9	0,054	0,283	0,028	1,38	4,62	788	17,4	15,3	74,1	64	1
RA	2010	S	130	99,67	6,8	10,9	5	11	600	0,037	0,3	<0,004	0,0015	0,013	25	21	110	78	3
RA	2010	R	140	98,74	6,7	10,5	4	9,9	0,12	0,3	0,004	0,0013	0,0064	170	28	24	110	84	3

Los sitios de muestreo de los sistemas de la cuenca Twin Streams que coincidieron con la evaluación ambiental cualitativa y cuantitativa se seleccionaron para ver el comportamiento de la causa-efecto de la contaminación, tales sitios fueron: (13 y 15-A y B), (21 y 22-C y D), (7, 8 y 11-E, F y G), (16, 17 y 19-O, H y I), (1, 2 y 3-J, K y L) y (4 y 6-M y N) y 4 en el Sistema II; (32 y 34-P y Q) y (48 y 49-R y S) . Los cuales se presentan en el Tabla 2.10.y en la Figura 2.2.

Tabla 2.10. Ubicación de los sitios seleccionados de la evaluación ambiental cualitativa y cuantitativa y concordancia entre la clasificación de la nomenclatura de Kingett Michell, Golder y Torrecillas.

Nombre de la Subcuenca	Nomenclatura	Identificación		Nombre del Arroyo	Coordenadas	
		Kingger 2004/2006 y Golder 2010	Torrecillas <i>et al.</i> , 2014		Norte	Este
Upper Opanuku	UOP	A	13	Opanuku	5909763.6	818195.4
		B	15		5910720.6	820398.2
Lower Opanuku	LOP	C	21	Opanuku	5911179.0	822173.0
		D	22		5912657.1	823782.0
Upper Oratía	UO	E	7	Potter	5907473.3	819935.5
		F	8	Oratía	5908056.5	821440.6
		G	11		5909540.7	822992.7
Henderson Creek South	HCS	H	17	Oratía	5910314.3	823442.5
		I	19		5912179.3	823933.2
		O	16	Waikumete	5910040.8	823785.2
Upper Glen Eden	UGE	J	1	Hibernia	5906151.0	825399.6
		K	2	Waikumete	5907585.6	825362.7
		L	3	Whakarino	5907515.4	824749.4
Glen Eden	GE	M	4	Waikumete	5907877.1	825164.5
		N	6		5909058.7	824635.6
Upper Swanson	US	P	32	Swanson	5912684.5	817369.7
		Q	34		5914172.6	818261.9
Ranui	RA	R	48	Swanson	5914616.4	820447.9
		S	49		5915092.0	822167.0

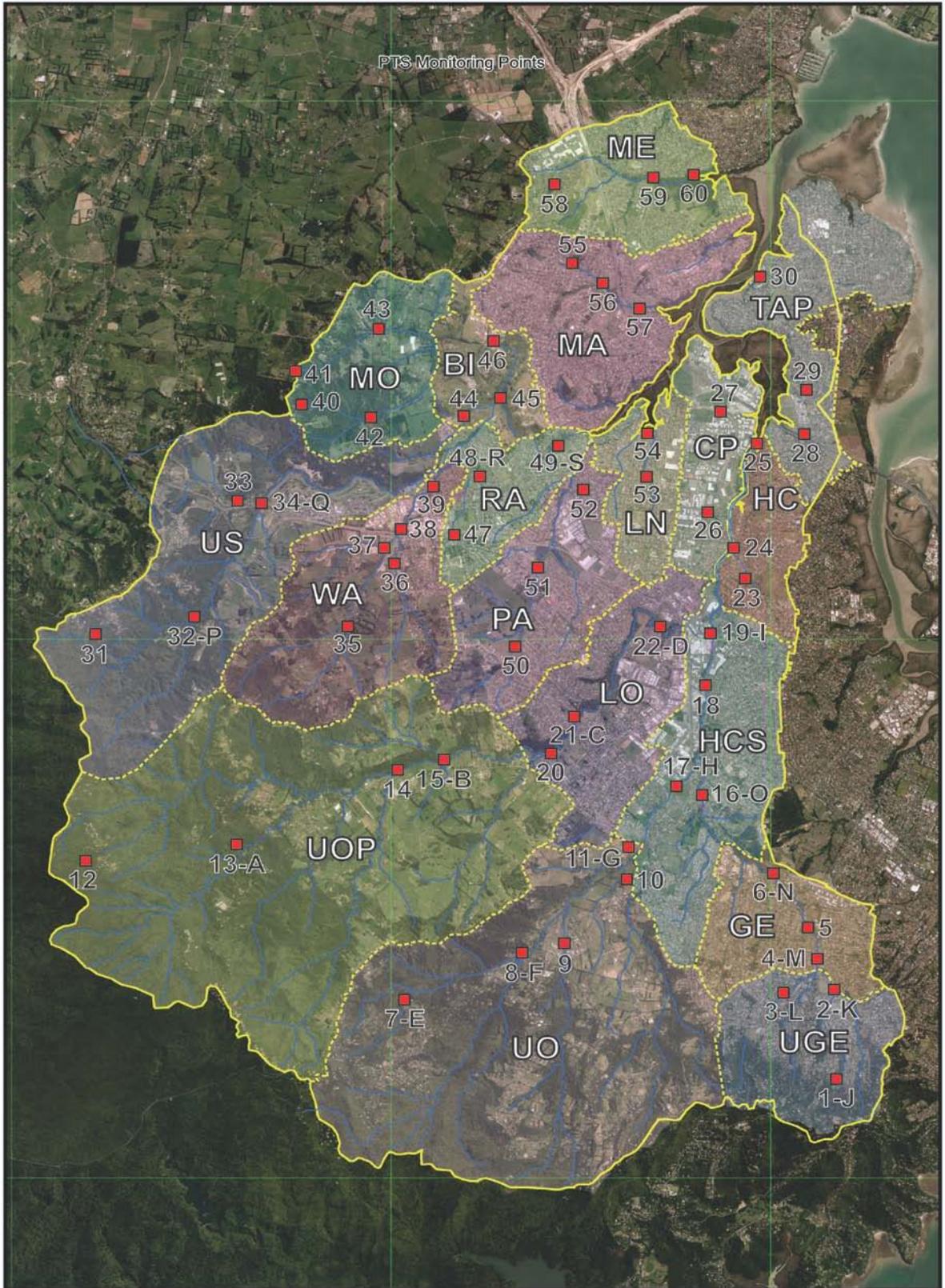


Figura 2.2. Ubicación de los puntos de muestreo en los sistemas de la cuenca de Twin Streams.

## **BASE DE DATOS DE LOS DIFERENTES PARÁMETROS DE CONTAMINACIÓN PARA LA CUENCA DE LOS TWIN STREAMS**

En primer término se consideró la homogeneidad en la obtención de los parámetros físicos químicos y biológicos del agua y de los sitios de muestreos para el análisis de los estudios Water Quality Programme (Management of streams); Project Twin Streams Catchment Monitoring; Pilot Stream Survey and Asset Condition Assessment Lincoln Stream; Waitakere City stream surveys and asset assessments Year 1, Year 2 and Year 3 Report; Twin Streams Catchment Assessment of Environmental Effects; Pressure-State-Response Report Project Twin Streams Catchment Monitoring; Datos de la calidad del agua, caudales y precipitación.

### **MÉTODOS DE ANÁLISIS UTILIZADOS**

Para identificar los aspectos metodológicos que se deben considerar para realizar el manejo sustentable de la cuenca, se efectuó una revisión bibliográfica de los métodos que más relación tienen con los criterios y normas ambientales de Nueva Zelanda.

El análisis consideró, en primer término, los criterios del Resource Management Act 1991 de Nueva Zelanda y el Plan Regional de Auckland: Aire, Tierra y Agua (ARC, 2013), debido que para realizar un Plan de manejo de las cuenca de los Twin Streams se debe cumplir con las normas emitidas por la Secretaria de Recursos Naturales contemplados en la Declaración de Política Regional (RPS) para la Región de Auckland y el Anexo 4 del artículo 72 de Resource Management Act, 1991 (ARC, 2013)

Posteriormente, se consideraron las metodologías que más se acercaban a los criterios establecidos y que podían aportar nuevos aspectos metodológicos, en las cuales se encuentran las correspondientes a la Agencia de Protección Ambiental (EPA, 2008 y 2012) de Estados Unidos, a la Gestión Integrada de los recursos hídricos (GWP, 2009); a la gestión de sistemas de recursos hídricos AQUATOOL para la construcción de Sistemas

Soporte de Decisión (Andreu, 1996), a las técnicas de DDBI tales como el Diseño Urbano Sensible con el Agua (WSUD, 2013) Sydney Coastal Councils Group. (2005) de Australia y la Teoría de Ward (Ward, 1989).

## **EVALUACIÓN MULTICRITERIO (EM)**

La técnica de evaluación multicriterio (EMC), desarrollada en la década de los sesenta, se usa para hacer una evaluación comparativa de diferentes intervenciones de gestión hídrica en donde los conflictos y la participación de los interesados son una cuestión de mayor importancia (Molina *et al.*, 2009).

El análisis descompone un problema complejo en partes más simples permitiendo que el agente ‘decisor’ pueda estructurar un problema con múltiples criterios en forma visual, mediante la construcción de un modelo jerárquico que básicamente contiene tres niveles: meta u objetivo, criterios y alternativas, jugando un papel vital como herramienta de planeación (Munda, 2004; Chen *et al.*, 2012).

Esta técnica de EMC es una herramienta para la comparación donde se tiene en cuenta numerosos puntos de vista y, por tanto, es particularmente útil durante la decisión de alternativas o intervenciones de gestión en problemas complejos. Cada estudio de EMC también debe de establecer los objetivos generales del problema. Varios estudios han sido desarrollados sobre la teoría y práctica de la aplicación de EMC (Mattunen *et al.*, 2005). Como estudios sobre la gestión hídrica se destacan Lahdelma *et al.*, (2000); Herath (2004); Hostmann *et al.*, (2005), y Molina (2009).

Existen numerosos métodos para realizar EMC y todos ellos ofrecen una clasificación de alternativas de la más positiva y la más negativa de un problema en función de una escala ordinal de multicriterio para cumplir con los objetivos preestablecidos. Los criterios pueden ser tanto cuantitativos como cualitativos. Adicionalmente posee ciertas ventajas al

ser comparada con las herramientas de decisión unidimensionales en la medida en que hace posible considerar un número amplio de datos, relaciones, criterios y propósitos, los cuales se presentan dentro de un problema de decisión dado en el mundo real que se estudia según un modelo multidimensional (Funtowicz *et al.*, 1993).

Combinar métodos en un mismo proyecto de investigación puede ser ventajoso por diversas razones (Philip, 1998), por ejemplo, el uso de más de una técnica en la recolección de pruebas ayuda a minimizar los riesgos de obtener postulados erróneos. Con todo ello, los datos no cuantificables, basados particularmente en experiencias y actitudes, pueden dar una visión “holística” y, derivar conocimientos y explicaciones causales (Pedone, 2000).

El EMC puede ser representado como una matriz X con alternativas o intervenciones y un criterio (Hippel, 1992). Esta matriz es usualmente conocida como Matriz de Evaluación (ME).

$$\begin{array}{r}
 X_{11} \quad \dots\dots\dots X_{n1} \\
 X = \\
 X_{1m} \quad \dots\dots\dots X_{nm}
 \end{array}$$

**CRITERIOS ESTANDARIZADOS A UNA ESCALA ORDINAL MULTICRITERIO PARA LA EVALUACIÓN AMBIENTAL DE LOS DATOS REGISTRADOS EN LA CUENCA DE LOS TWIN STREAMS**

Para evaluar los datos del registro ambiental, se estableció una escala ordinal multicriterio donde; (0) significa el estado natural del río o del ambiente es decir sin impacto; el (1) que se encuentra poco modificado o levemente impactado; el (2) en una

condición regular o moderadamente impactado y (3) condición pobre o mala y/o impacto severo considerando los intervalos de los niveles máximos permisibles de las normas y guías de Nueva Zelanda (ver Tabla 2.11).

Tabla 2.11. Criterios para evaluar los datos del registro ambiental.

CRITERIO ID	PROBLEMA		
	Impacto	Uso del suelo	Inundaciones
0	Estado Natural	AP	IN<1.5
1	Levemente Impactado	AE-EA-OT	1.5<IN<3
2	Moderadamente Impactado	AG-IL-CO-PE	3<IN<4.5
3	Impacto Severo	RE-RU	IN>4.5

*Usos del suelo: área protegida (AP), área especial (AE), espacio abierto (EA), agricultura (AG), industrial (IL), comercial (CO), periurbano (PE), residencial (RE), rural (RU) y otros (OT) obtenidos de la base de datos de Auckland Regional Council 2013 y Inundaciones (IN).*

## **CRITERIOS PARA LA EVALUACIÓN AMBIENTAL CUANTITATIVA DE LA CUENCA DE LOS TWIN STREAMS**

Para establecer los intervalos en cada parámetro físico, químico y biológico, se consideraron los criterios de las normas ambientales de Nueva Zelanda (ANZECC, 2000; NIWA, 2002; Auckland Regional Council, 2004; Otago Regional Council, 2012; Auckland Council, 2013; MFE, 2014).

## **ANÁLISIS MULTIVARIADO DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA CUENCA DE LOS TWIN STREAMS**

Se realizó una descripción estadística de los valores obtenidos (rango, media, desviación estándar). Se utilizó análisis multivariado del tipo Análisis de Componentes Principales, con el objetivo de reducir la direccionalidad de los datos perdiendo poca información en cuanto a su variabilidad y para la selección de los factores se realizó la correlación lineal de Pearson con un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$  determinando el valor propio, la variabilidad y el porcentaje acumulado de las variables ambientales que se incluyeron en el estudio tales como: CE, OD, pH, TE, TSS, TU,  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{TO}_x\text{N}$ , DRP, Cu, Zn, Pb1, Cu1, Zn1, MCI, EPT y *E. coli*. Además, para una mayor optimización del método se han utilizado rotaciones ortogonales Varimax para conseguir que cada componente rotado (en vertical) presente altas correlaciones. Para agrupar los sitios del Sistema I y II se usó el análisis de clusters jerárquico (ACJ) con transformación z de los datos, distancia euclidiana cuadrada como medida de disimilitud y método de agrupación de Ward estos análisis se realizaron con la finalidad de agrupar las variables de calidad de agua y los sitios de muestreo y evaluar el comportamiento del impacto ambiental de los Sistemas. Los tratamientos estadísticos de los datos fueron realizados siendo una combinación lineal de las variables originales con la utilización del software estadístico XLSTAT (Addinsoft, 2009).

### **DISTRIBUCIÓN NORMAL MULTIVARIADA**

Cuando se trabaja con datos biológicos y de la vida real, la suposición más habitual es que la variable en estudio se distribuye como una normal y muchas características que se miden son la conjunción de muchas causas que actúan conjuntamente sobre el suceso. La justificación matemática de esto se encuentra en el Teorema Central del Límite (Snedecor

& Cochran, 1973) que demuestra que la suma de variables independientes se distribuye en el límite como una normal.

## TEOREMA CENTRAL DEL LÍMITE

Si  $X_1, \dots, X_n$  son variables independientes con media  $\mu$  y varianza común  $\sigma^2 < \infty$ , la variable  $Z$  definida como

$$Z = \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}}$$

es una variable cuya función de densidad se aproxima a la distribución normal cuando  $n$  es grande:

$$Z \sim N(0, 1)$$

esto es,

$$\frac{X_1 + \dots + X_n}{n} = \bar{X} \simeq N\left(\mu, \frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right)$$

## COEFICIENTE DE CORRELACIÓN LINEAL DE PEARSON

El coeficiente de correlación de Pearson, es indicado para variables cuantitativas (escala mínima de intervalo), es un índice que mide el grado de covariación entre distintas variables relacionadas linealmente.

El coeficiente de correlación de Pearson es un índice de fácil ejecución y de fácil interpretación. Digamos, en primera instancia, que sus valores absolutos oscilan entre 0 y

1. Esto es, si tenemos dos variables X e Y, y definimos el coeficiente de correlación de Pearson entre estas dos variables como  $r_{xy}$  entonces:

$$0 \leq r_{xy} \leq 1$$

Se ha especificado los términos "valores absolutos" ya que en realidad si se contempla el signo el coeficiente de correlación de Pearson oscila entre  $-1$  y  $+1$ . No obstante ha de indicarse que la magnitud de la relación viene especificada por el valor numérico del coeficiente, reflejando el signo la dirección de tal valor. En este sentido, tan fuerte es una relación de  $+1$  como de  $-1$ . En el primer caso la relación es perfecta positiva y en el segundo perfecta negativa. Pasamos a continuación a desarrollar algo más estos conceptos. Decimos que la correlación entre dos variables X e Y es perfecta positiva cuando exactamente en la medida que aumenta una de ellas aumenta la otra. Esto sucede cuando la relación entre ambas variables es funcionalmente exacta. Frecuentemente ocurre en las ciencias físicas donde los fenómenos se ajustan a leyes conocidas, Por ejemplo, la relación entre espacio y tiempo para un móvil que se desplaza a velocidad constante.

## **ROTACIÓN VARIMAX**

El método consiste en efectuar una rotación ortogonal de los ejes factoriales, con el objetivo de conseguir que la correlación de cada una de las variables sea más próxima a 1 con solo uno de los factores y próxima a cero con todos los demás (Kaiser, 1958).

## **ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (ACP)**

El Análisis de Componentes Principales es una técnica que fue inicialmente desarrollada por Pearson a finales del siglo XIX y posteriormente fue estudiada por Hotelling en los años 30 del siglo XX. Sin embargo, hasta la aparición de las computadoras

no se utilizaron mayormente. Esta técnica estadística de síntesis de la información, o reducción de la dimensión (número de variables) no requiere la suposición de normalidad multivariada de los datos, aunque si esto último se cumple se puede dar una interpretación más profunda de dichos componentes. Es decir, ante un banco de datos con muchas variables, el objetivo será reducirlas a un menor número perdiendo la menor cantidad de información posible. Los nuevos componentes principales o factores serán una combinación lineal de las variables originales y, además, serán independientes entre sí. Un aspecto clave en ACP es la interpretación de los factores, ya que ésta no viene dada a priori, sino que será deducida tras observar la relación de los factores con las variables iniciales. Se debe estudiar tanto el signo como la magnitud de las correlaciones). Esto no siempre es fácil, y será de vital importancia el conocimiento que el experto tenga sobre la materia de investigación.

Para estudiar las relaciones que se presentan entre  $p$  variables correlacionadas (que miden información común) se puede transformar el conjunto original de variables en otro conjunto de nuevas variables correlacionadas entre sí (que no tenga repetición o redundancia en la información) llamado conjunto de componentes principales. Las nuevas variables son combinaciones lineales de las anteriores y se van construyendo según el orden de importancia en cuanto a la variabilidad total que recogen de la muestra.

De modo ideal, se buscan  $m < p$  variables que sean combinaciones lineales de las  $p$  originales y que estén correlacionadas, recogiendo la mayor parte de la información o variabilidad de los datos.

## **CÁLCULO DE LOS COMPONENTES PRINCIPALES**

Se considera una serie de variables  $(x_1, x_2, \dots, x_p)$  sobre un grupo de objetos o individuos y se trata de calcular, a partir de ellas, un nuevo conjunto de variables  $y_1, y_2, \dots, y_p$ , correlacionadas entre sí, cuyas varianzas vayan decreciendo progresivamente.

Cada  $y_j$  (donde  $j = 1, \dots, p$ ) es una combinación lineal de las  $x_1, x_2, \dots, x_p$  originales, es decir:

$$\begin{aligned} y_j &= a_{j1}x_1 + a_{j2}x_2 + \dots + a_{jp}x_p = \\ &= \mathbf{a}'_j \mathbf{x} \end{aligned}$$

Siendo  $\mathbf{a}'_j = (a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{pj})$  un vector de constantes, y

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_p \end{bmatrix}$$

Obviamente, si lo que queremos es maximizar la varianza, como veremos luego, una forma simple podría ser aumentar los coeficientes  $a_{ij}$ . Por ello, para mantener la ortogonalidad de la transformación, se impone que el módulo del vector  $\mathbf{a}_j = (a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{pj})$  sea 1. Es decir,

$$\mathbf{a}'_j \mathbf{a}_j = \sum_{k=1}^p a_{kj}^2 = 1$$

## ANÁLISIS DE GRUPOS O CLUSTERS JERÁRQUICOS

El análisis de grupos o clústers es una técnica cuya idea básica es agrupar un conjunto de observaciones en un número dado de clústeres o grupos. Este agrupamiento se basa en la idea de distancia o similitud entre las observaciones.

Es decir, todo depende de lo que consideremos como similar. El número posible de combinaciones de grupos y de elementos que integran los posibles grupos se hace

intratable desde el punto de vista computacional, aún con un número escaso de observaciones. Se hace necesario, pues, encontrar métodos o algoritmos que infieran el número y componentes de los clusters más aceptable, aunque no sea el óptimo absoluto.

En la práctica, no se pueden examinar todas las posibilidades de agrupar los elementos, incluso con los ordenadores más rápidos. Una solución se encuentra en los llamados métodos jerárquicos. Se tienen dos posibles formas de actuar:

Métodos jerárquicos aglomerativos: se comienza con los objetos o individuos de modo individual; de este modo, se tienen tantos grupos iniciales como objetos. Luego se van agrupando de modo que los primeros en hacerlo son los más similares y al final, todos los subgrupos se unen en un único grupo o cluster.

Métodos jerárquicos divididos: se actúa al contrario. Se parte de un grupo único con todas las observaciones y se van dividiendo según lo lejanos que estén. En cualquier caso, de ambos métodos se deriva un dendrograma, que es un gráfico que ilustra cómo se van haciendo las subdivisiones o los agrupamientos, etapa a etapa. Consideramos aquí los métodos aglomerativos con diferentes métodos de unión (linkage methods). Los más importantes son: (i) Mínima distancia o vecino más próximo. (ii) Máxima distancia o vecino más lejano. (iii) Distancia media (average distance).

## **ÁRBOLES DE CLASIFICACIÓN**

Suponemos que se dispone de una muestra de entrenamiento que incluye la información del grupo al que pertenece cada caso y que sirve para construir el criterio de clasificación.

Se comienza con un nudo inicial y nos preguntamos cómo dividir el conjunto de datos disponibles en dos partes más homogéneas utilizando una de las variables. Esta variable se

escoge de modo que la partición de datos se haga en dos conjuntos lo más homogéneos posibles.

Se elige, por ejemplo, la variable  $x_1$  y se determina un punto de corte, por ejemplo  $c$  de modo que se puedan separar los datos en dos conjuntos: aquellos con  $x_1 \leq c$  y los que tienen  $x_1 > c$ . De este nodo inicial saldrán ahora dos: uno al que llegan las observaciones con  $x_1 \leq c$  y otro al que llegan las observaciones con  $x_1 > c$ .

En cada uno de estos nodos se vuelve a repetir el proceso de seleccionar una variable y un punto de corte para dividir la muestra en dos partes más homogéneas. El proceso termina cuando se hayan clasificado todas las observaciones correctamente en su grupo.

Para construir un árbol se han de tomar las siguientes decisiones:

- i. Seleccionar las variables y sus puntos de corte para hacer las divisiones.
- ii. Cuándo se considera que un nodo es terminal y cuándo se continúa dividiendo.
- iii. La asignación de las clases a los nodos terminales.

Se puede asociar a cada nodo el subconjunto de observaciones que pasa por él. Para decidir qué variable va a utilizarse para hacer la partición en un nodo se calcula primero la proporción de observaciones que pasan por el nodo para cada uno de los grupos. Si se denomina a los nudos como  $t = 1, 2, \dots, T$  y  $p(g|t)$  a las probabilidades de que las observaciones que lleguen al nodo  $t$  pertenezcan a cada una de las clases, se define la impureza del nodo  $t$  como

$$I(t) = - \sum_{g=1}^G p(g|t) \cdot \log p(g|t)$$

que es una medida de la entropía o diversidad. Esta es máxima cuando  $p(g|t) = 1/G$ .

## **GRÁFICAS BILOT**

Son representaciones gráficas de datos multivariados que representan tres o más variables (Gabriel, 1971; Odoroff, 1990). El Biplot aproxima la distribución de una muestra multivariada en un espacio de dimensión reducida, normalmente de dimensión dos, y superpone sobre la misma representación de las variables sobre las que se mide la muestra. Las representaciones de las variables son normalmente vectores, y coinciden con las direcciones en las que mejor se muestra el cambio individual de cada variable. El prefijo "bi" se refiere a la superposición, en la misma representación, de individuos y variables.

## **DISEÑO DE LA MATRIZ MULTICRITERIO PARA LA PRIORIZACIÓN DE LOS PROBLEMAS AMBIENTALES**

Se diseñaron cuatro matrices de evaluación multicriterio, es decir, dos matrices para cada sistema de la cuenca de Twin Streams,

El diseño de las dos matrices del Sistema I, consistió en realizar una evaluación multicriterio con los datos del registro históricos y ambientales, el cual consistió en los pasos siguientes:

1. La primer matriz multicriterio del Sistema I: está formada por 88 filas y 19 columnas (Tabla 3.15). Se puede observar que algunos puntos registrados tienen un número separado por una letra, esto significa que el punto 1 del registro ambiental tiene la misma ubicación que el punto J del registro histórico y debido a lo anterior se nominó como punto (1-J)
2. La evaluación se realizó con los problemas que se encuentran en la fila 4 (Tabla 3.15). los cuales están clasificados dentro de los parámetros físicos, químicos y biológicos que se ubican en la fila 9, columnas 3 a la 17 de la matriz. Posteriormente se inició el

llenado de cada una de las casillas lo cual consistió en asignarle a cada valor establecido, según la norma ANZECC, un valor multicriterio (Tabla 2.12).

3. La suma de los problemas evaluados en todos los puntos de cada sub-cuencas, se encuentran en la fila 9, 16, 25, 33, 42, 49, 56, 63 y 70(Tabla 3.15).
4. Los valores promedios o de impacto de los problemas evaluados se localizan en las filas 10, 17, 26, 34, 43, 50, 57, 64 y 71. Para obtener el promedio se divide la suma entre el número total de puntos de cada sub-cuenca (Tabla 3.15).
5. Para obtener el orden de prioridad o jerarquía de la problemática, se identifica en la sumatoria el problema de mayor puntaje y se establece como el valor de mayor prioridad los cuales se localizan en las filas 11, 18, 27, 35, 44, 51, 58, 65 y 72(Tabla 3.15).
6. Se realiza una matriz de prioridades de las subcuencas del Sistema I y II, se obtiene la media y se suma el total del valor de la media. El valor de la media entre el valor total de medias de las sub-cuencas nos da como resultado el peso específico.
7. Para el diseño de la matriz del sistema II, se realizó el mismo procedimiento que en el sistema I (Tabla 3.16).

## **CAPITULO 3**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Como resultado del análisis de situación de los usos y manejo del recurso agua y los antecedentes presentados en el Capítulo I, “Introducción” y según los aspectos metodológicos aplicados que se describen en el Capítulo II, “Materiales y Métodos”, de esta tesis, se dan a continuación los resultados obtenidos y la aplicación de una metodología para la elaboración de un sistema de manejo integral para la sustentabilidad de la cuenca Twin Streams en la región de Auckland, Nueva Zelanda.

### **RESULTADOS DEL ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS REGLAMENTACIONES PARA EVALUAR LA CALIDAD INTEGRAL DE LOS FACTORES QUE AFECTAN LA CUENCA TWIN STREAMS**

Los resultados del análisis comparativo de los aspectos y factores de evaluación de cada uno de los códigos, las normas y/o procedimientos de las diferentes agencias y/o proyectos se muestran en la Tabla 3.1. A continuación se indican las normativas evaluadas:

- 1) RMA, 1991. Decreto sobre manejo de recursos de Nueva Zelanda (Resource Management Act of New Zealand) y ALWP, 2013. Plan Regional de Auckland: aire, tierra y agua.

El RMA y de ALWP consideran 39 aspectos metodológicos los cuales se establecen a través de cinco artículos A, B, C, D y E donde cada uno cuenta con los siguientes apartados. El A con siete, el B con tres; el C con siete; el D con cuatro y el E con seis.

- 2) EPA, 2008 y 2012 Agencia de Protección Ambiental, que considera 40 aspectos metodológico.
- 3) GWP, 2009. Gestión Integrada de Recursos Hídricos que considera 37 aspectos.

4) AQUATOOL es un método para la Construcción de Sistemas Soporte de Decisión (Andreu, 1996), que considera 25 aspectos.

5) WSUD Diseño Urbano Sensible al Recurso Hídrico (2013), que contempla 13 aspectos.

El análisis de todos los componentes permite establecer una metodología de manejo integral para la sustentabilidad de cuencas, tomando como ejemplo la de Twin Streams, Auckland, Nueva Zelanda.

Tabla 3.1 Aspectos de evaluación que se consideran en diferentes agencias y proyectos para el manejo integral y la sustentabilidad de las cuencas.

ARTÍCULOS ( INCISOS)	ASPECTOS	RMA Y ALWP 2013	EPA 2012	GWP 2009	AQUATOOL 1996	WSUD 2013
A	<b>Los problemas que surgen en la cuenca o el distrito debido a las descargas, los desvíos y las actividades asociadas de la gestión de las aguas pluviales y de las aguas residuales, incluyendo:</b>					
(i)	Una descripción de las redes de drenaje y su desempeño actual y futuro previsto.	X	X	X	X	
(ii)	Una descripción general del drenaje fuera de la red que afecta la cuenca o la red y su contribución probable a los efectos ambientales adversos	X	X	X	X	
(iii)	Una evaluación del medio ambiente receptor y los efectos reales y posibles (incluyendo los efectos acumulativos) de las desviaciones y las descargas de las aguas pluviales o de las aguas residuales y las actividades asociadas en los lechos de los ríos y los lagos en:					
	La salud pública;	X	X	X	X	
	Los riesgos de inundación, incluyendo los niveles de los pisos legalmente autorizados de los edificios habitables y las carreteras estatales con respecto a eventos de inundación hasta e incluyendo un periodo de retorno de 100 años;	X	X	X	X	
	La hidrología de las corrientes de agua, los niveles de los acuíferos a largo plazo y los usos autorizados de las aguas superficiales y subterráneas;	X	X		X	

Tabla 3.1 (Cont.) Aspectos de evaluación que se consideran en diferentes agencias y proyectos para el manejo integral y la sustentabilidad de las cuencas.

ARTÍCULOS ( INCISOS)	ASPECTOS	RMA Y ALWP 2013	EPA 2012	GWP 2009	AQUATOOL 1996	WSUD 2013
(iii) (Cont.)	La calidad ambiental en el entorno receptor de los sedimentos y la calidad del agua, incluyendo los resultados del monitoreo de los Indicadores Ambientales;	X	X	X	X	
	El hábitat acuático, la ecología y la salud de los ecosistemas;	X	X	X	X	
	Los valores naturales y de esparcimiento de los lagos, los ríos, los humedales y los acuíferos;	X	X	X	X	
	Lavegetación ribereña;	X	X			
	La extensión y la calidad de los arroyos con canales abiertos (no entubados);	X			X	
	Pasos para los peces autóctonos;	X	X		X	
	La erosión y la sedimentación de los lagos, los humedales y los ríos perennes	X	X		X	
	La descarga y la acumulación de basura;	X	X		X	
	En el caso de las descargas a la zona marina costera; la erosión, la acreción; el carácter natural y el acceso público	X	X			
La evaluación deberá identificar los contaminantes de interés dentro de la cuenca o de la red, que pueden incluir los sedimentos más finos (<100µm), zinc y los hidrocarburos de petróleo. El estudio de impacto ambiental debe evaluar los usos de la tierra con alto potencial de generación de contaminantes y los efectos de los contaminantes de las descargas de las aguas pluviales en los estuarios y los puertos. (CAUSA/EFFECTO)	X	X		X		

Tabla 3.1 (Cont.) Aspectos de evaluación que se consideran en diferentes agencias y proyectos para el manejo integral y la sustentabilidad de las cuencas.

ARTÍCULOS ( INCISOS)	ASPECTOS	RMA Y ALWP 2013	EPA 2012	GWP 2009	AQUATOOL 1996	WSUD 2013
(iv)	La identificación del crecimiento urbano potencial, la intensificación del uso del suelo, la reurbanización y el desarrollo de la infraestructura regional significativa dentro de la cuenca, teniendo en cuenta las proyecciones de crecimiento desarrolladas en el marco de la Estrategia Regional de Crecimiento y los acuerdos sectoriales relacionados producidos por el Foro de Crecimiento Regional de Auckland, y los planes de ordenamiento territorial;	X	X	X	X	
(v)	Una clasificación de los ríos y los arroyos urbanos dentro de la cuenca de conformidad con el Artículo 3.5 de este Plan; SEV ver normas	X				
(vi)	Las estructuras de gobierno y las responsabilidades de gestión para las redes de las aguas pluviales y las aguas residuales;	X	X	X		
(vii)	Las actividades importantes de desviación y descarga afuera de las redes de que puedan tener un efecto material en los resultados ambientales;	X	X		X	
<b>B</b>	<b>Una descripción de los objetivos estratégicos deseados para las descargas, las desviaciones y actividades asociadas de las aguas pluviales y de las aguas residuales en los entornos receptores, incluyendo:</b>					
(i)	Los objetivos sociales, ecológicos, económicos, recreativos y culturales;	X	X	X	X	
(ii)	La consulta realizada con a la comunidad y iwi en la determinación de los objetivos estratégicos	X	X	X		
(iii)	Las etapas establecidas para alcanzar dichos objetivos	X	X	X	X	

Tabla 3.1 (Cont.) Aspectos de evaluación que se consideran en diferentes agencias y proyectos para el manejo integral y la sustentabilidad de las cuencas.

ARTÍCULOS ( INCISOS)	ASPECTOS	RMA Y ALWP 2013	EPA 2012	GWP 2009	AQUATOOL 1996	WSUD 2013
<b>C</b>	<b>Una descripción y la consideración de la gama de opciones de gestión disponibles para lograr, o realizar el progreso hacia los objetivos identificados en (b), incluyendo:</b>					
<b>(i)</b>	Los métodos por los cuales se gestionarán las descargas de la red, las estructuras y actividades de las áreas urbanas (el desarrollo, la reurbanización y desarrollos de zonas sin desarrollar);	X	X	X	X	X
<b>(ii)</b>	Los métodos para la gestión de las actividades fuera de la red, tales como las descarga de las propiedades privadas;	X	X	X	X	X
<b>(iii)</b>	Los planes de ordenamiento territorial y otros planes, o los otros medios regulatorios y no regulatorios, incluyendo una evaluación de la eficacia de las disposiciones del Plan actual y la consideración de realizar cambios o variaciones del Plan;	X	X	X		X
<b>(iv)</b>	Las iniciativas de educación para apoyar el régimen de gestión;	X	X	X		
<b>(v)</b>	Los métodos para evitar los efectos adversos que se producen, tales como; control de las fuentes puntuales, el diseño de bajo impacto y los métodos innovadores;	X	X	X	X	X
<b>(vi)</b>	Los métodos para la gestión de fuentes de carga alta de contaminantes;	X	X	X	X	X
<b>(vii)</b>	Las normas de diseño y los niveles de servicio de la red	X				X

Tabla 3.1 (Cont.) Aspectos de evaluación que se consideran en diferentes agencias y proyectos para el manejo integral y la sustentabilidad de las cuencas.

ARTÍCULOS ( INCISOS)	ASPECTOS	RMA Y ALWP 2013	EPA 2012	GWP 2009	AQUATOOL 1996	WSUD 2013
D	<b>El método o métodos propuestos para la gestión de la cuenca y de las redes incluyendo:</b>					
(i)	La identificación de la Mejor Opción Practicable (BPO) para prevenir o minimizar los efectos adversos de las desviaciones, las descargas y las actividades conexas de las aguas pluviales o de las aguas residuales para mitigar los efectos adversos significativos inevitables;	X	X	X	X	X
(ii)	Los métodos por los cuales se propone gestionar y lograr una gestión integrada de: las interconexiones de las redes, las descargas fuera de las redes, los ríos y los arroyos urbanos y las actividades asociadas en los lechos de los ríos y de los lagos;	X	X	X	X	X
(iii)	Cualquier método regulatorio;	X	X	X		X
(iv)	Cualquier método no-regulatorio	X	X	X		X
E	<b>Una descripción de los procesos y herramientas de apoyo para la aplicación del ICMP (Plan Integrado de Gestión de Cuenca) o el cumplimiento de las condiciones de un permiso de recursos para la red incluyendo.</b>					
(i)	Los métodos de monitoreo y los informes de progreso;	X	X	X	X	X
(ii)	Un programa (s) con prioridades para la implementación de la Mejor Opción Practicable (BPO);	X	X	X	X	X

Tabla 3.1 (Cont.) Aspectos de evaluación que se consideran en diferentes agencias y proyectos para el manejo integral y la sustentabilidad de las cuencas.

ARTÍCULOS ( INCISOS)	ASPECTOS	RMA Y ALWP 2013	EPA 2012	GWP 2009	AQUATOOL 1996	WSUD 2013
(iii)	Los programas de operación y mantenimiento para asegurar el funcionamiento eficaz del método (s) de gestión;	X	X			X
(iv)	La identificación de las organizaciones con la responsabilidad legal o capacidad para la implementación de los métodos de gestión de la cuenca propuestos, y en particular las organizaciones:	X	X	X		
	· - Con la responsabilidad única o principal de la implementación;					
	· - Con la responsabilidad parcial o secundaria de la implementación;					
	· - Sin responsabilidad de la implementación;					
(v)	Un proceso para la revisión del enfoque de la gestión de la cuenca o de la red en base a una comprensión mayor de las respuestas del medio ambiente, los asuntos de salud pública, las necesidades de la comunidad y las prioridades de la red;	X	X	X		
(vi)	Una descripción del proceso de revisión del ICMP, para reflejar los cambios en los conocimientos, las aspiraciones de la comunidad, la tecnología y otros factores.	X	X	X		

Tabla 3.1 (Cont.) Aspectos de evaluación que se consideran en diferentes agencias y proyectos para el manejo integral y la sustentabilidad de las cuencas.

ARTÍCULOS	ASPECTOS	RMA Y ALWP 2013	EPA 2012	GWP 2009	AQUATOOL 1996	WSUD 2013
<b>A</b>	Garantizar acuerdos consensuados colectivamente que involucren a las partes interesadas a nivel de localidades y distritos y designar a responsables neutrales de las políticas gubernamentales sobre el agua en el ámbito de la toma de decisiones.		X	X		
<b>B</b>	Aplicar sanciones escalonadas.			X		
<b>C</b>	Incorporar mecanismos de resolución de conflictos.			X		
<b>D</b>	Elaborar derechos de propiedad claramente definidos.			X		
<b>E</b>	Distinguir entre el rol de proveedor del agua y el rol de regulador, a fin de evitar conflictos.			X		
<b>F</b>	Desarrollar opciones de gestión tanto de la oferta como de la demanda, y fomentar la eficiencia en el uso del agua a través de mecanismos tanto normativos, como no normativos, especialmente con el objetivo de mejorar la eficiencia en zonas secas y de riego.			X		
<b>G</b>	Evaluación de necesidades de los ecosistemas acuáticos y terrestres, vulnerabilidad ante sequías, inundaciones o eventos meteorológicos extremos, e implicancias de los cambios en el uso del suelo.		X	X		
<b>H</b>	Análisis de partes interesadas y de sus necesidades, y mecanismos para la participación.		X	X		
<b>I</b>	Distribución de los beneficios.			X		
<b>J</b>	Acuerdos de financiamiento para el uso y la gestión del agua, incluyendo detalles de programas de distribución de costos de proyectos y otras acciones.		X	X		
<b>TOTAL</b>		<b>39</b>	<b>40</b>	<b>37</b>	<b>25</b>	<b>13</b>

Como se puede observar la RMA y ALWP consideran 39 aspectos pero no incluyen ninguno de los 10 aspectos de la GWP y de estos sólo seis se encuentran en la EPA.

La Agencia de Protección Ambiental (EPA, 2012) contiene 40 aspectos de los cuales no incluye 3 aspectos de la RMA y ALWP, y 6 aspectos de la GWP.

La Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GWP, 2009) cuenta con 27 aspectos, pero no contiene 12 aspectos que se encuentran en la RMA y ALWP.

AQUATOOL contiene 25 aspectos de los cuales no se encuentran 14 de la RMA y ALWP, ni contiene 6 de la EPA que 2 se encuentran en la RMA y ALWP, además no contienen 18 aspectos de la GWP de los cuales 8 se encuentran en la RMA y ni se encuentran 5 aspectos de la WSUD que están en la RMA y ALWP.

EL Diseño Urbano Sensible con el Agua (WSUD, 2013) contiene 13 aspectos pero no contempla 26 aspectos de la RMA y ALWP, ni los 10 aspectos que se encuentran en la GWP.

El total de aspectos metodológicos que se deben incluir en el Manejo Integral para la Sustentabilidad de Cuencas según las metodologías estudiadas son 49.

El análisis de todos los componentes permite establecer una metodología de manejo integral para la sustentabilidad de cuencas, tomando como ejemplo la de Twin Streams, Auckland, Nueva Zelanda.

## **EVALUACIÓN CUANTITATIVA DE TODA LA CUENCA**

La evaluación cuantitativa de los contaminantes de toda la cuenca se analizó según se explicó en el capítulo 2 Materiales y Métodos mediante el coeficiente de correlación de Pearson que nos permite establecer si los contaminantes están asociados y nos muestra si el comportamiento es directamente proporcional o inversamente entre ellos. A continuación se realiza el análisis de cada Sistema de la cuenca iniciando con el año 2004, continuando con el 2006 y finalizando con el 2010.

### **ANÁLISIS DEL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE PEARSON DEL SISTEMA I EN EL AÑO 2004**

Al analizar los pares de variables en relación con el oxígeno disuelto, se observó que hay correlación inversamente proporcional con la variable de *Escherichia coli* (*E.coli*), con sólidos suspendidos totales (TSS), con la turbidez (TU), el nitrógeno total (TOxN), el cobre (Cu) y el zinc disuelto en el agua (Zn) y el plomo disuelto en el sedimento (Pb1) con los siguientes valores de  $r = -0,621, -0,573, -0,625, -0,608, -0,610, -0,651$  y  $-0,589$  respectivamente esto indica que a mayor contaminación menor oxígeno disuelto ver Tabla 3.6.

La contaminación del fósforo (DRP) y el Cu se comportaron de forma similar por tener el mismo coeficiente de correlación positivo moderado ( $r = 0,626$ ), formando par con el hábitat score ( $r = 0,610$ ), y a su vez una relación directamente proporcional al potencial de hidrógeno (pH) ver tabla 3.3.

La TU tuvo un coeficiente de correlación positivo alto ( $r = 0,796$ ), formando pares con el TOxN su con ( $r = 0,665$ ), el Cu con ( $r = 0,736$ ), Pb1 con ( $r = 0,820$ ), el Zn1 con ( $r = 0,585$ ) y la *E.Coli* ( $r = 0,809$ ) y a su vez una relación directamente proporcional a los sólidos suspendidos totales (SST). El TOxN mantuvo un coeficiente positivo alto con ( $r = 0,726$ ), formando grupo con el Cu y el Zn disuelto en el agua ( $r = 0,626$  y  $r = 0,651$ ), el Pb1 y Zn1 en el sedimento ( $r = 0,754$  y  $0,729$ ) y la *E.coli* ( $r = 0,763$ ) todos estos factores

tuvieron una relación directamente proporcionales a la turbidez del agua (TU). El Cu disuelto en el agua tuvo un correlación positiva ( $r = 0,612$ ), formando pares con el Zn disuelto en el agua ( $r = 0,856$ ) y el Pb1 y Zn1 en los sedimentos ( $r = 0,754$  y  $0,793$ ) y la *E.coli* ( $r = 0,737$ ) todos estos factores se relacionaron con el TOxN (Tabla 3.3).

Al analizar la relación con pares de variables en relación con los macroinvertebrados (MCI) en el 2004, se observó que hay correlación significativa alta con Zn disuelto en el agua, Pb1 y Zn1 en el sedimento ya que su comportamiento es inversamente proporcional ( $r = -0,761$ ,  $-0,719$  y  $-0,830$ ). Sin embarco la correlación fue significativamente moderada en la TE, TU, TOxN, el Cu y en la *E.coli* ( $r = -0,590$ ,  $r = -0,673$ ,  $r = -0,622$ ,  $r = -0,556$  y  $r = -0,635$  consecutivamente. El Zn disuelto en el agua y el sedimento se comportaron de forma similar con un coeficiente positivo moderado ( $r = 0,533$  y  $0,538$ ) sin embargo el Pb1 en el sedimento tuvo una correlación alta positiva ( $r = 0,717$ ) y la *E.coli* con ( $r = 0,738$ ) todos estos factores se relacionaron con el Cu. El Pb1 y Zn1 en el sedimento se comportaron con una correlación alta de ( $r = 0,776$  y  $0,898$ ) consecutivamente y la *E.coli* con ( $r = 0,531$ ) todos estos factores tienen una relación directamente proporcional con el Zn. El Zn1 en el sedimento se comportaron con una correlación alta positivade ( $r = 0,866$ ) y la *E.coli* con coeficiente moderado ( $r = 0,684$ ) todos estos factores se relacionaron con el Pb1. La *E.coli* con ( $r = 0,519$ ) este factor se relaciona con el Zn1. El hábitat score (EPT) tiene una afectación directamente proporcional con el Zn disuelto en el agua y el Zn1 en el sedimento con una correlación significativa alta negativa ( $r = -0,817$  y  $-0,780$ ). Por otro lado la *E.coli* tiene una correlación negativa moderada de ( $r = -0,635$ ) con relación al EPT (Tabla 3.3).

Tabla 3.2. Matriz de correlaciones para las variables analizadas del Sistema I en el 2004.

Variables	CE	OD	pH	TE	TSS	TU	NH4-N	TOxN	DRP	Cu	Zn	Pb1	Cu1	Zn1	MCI	EPT	<i>E.coli</i>
CE	1																
OD	-0,235	1															
PH	-0,008	0,707	1														
TE	-0,325	-0,474	-0,510	1													
TSS	0,368	<b>-0,573</b>	-0,309	0,401	1												
TU	0,459	<b>-0,625</b>	-0,557	0,454	<b>0,796</b>	1											
NH4-N	0,430	-0,310	-0,449	0,041	0,119	0,510	1										
TOxN	0,481	<b>-0,608</b>	-0,511	0,323	<b>0,665</b>	<b>0,726</b>	<b>0,510</b>	1									
DRP	0,410	0,407	<b>0,626</b>	-0,440	-0,155	-0,339	-0,177	-0,193	1								
Cu	0,011	<b>-0,610</b>	-0,608	<b>0,575</b>	<b>0,736</b>	<b>0,626</b>	0,124	<b>0,612</b>	-0,568	1							
Zn	0,313	<b>-0,651</b>	-0,630	<b>0,501</b>	0,499	<b>0,651</b>	0,408	<b>0,856</b>	-0,390	<b>0,533</b>	1						
Pb1	0,342	<b>-0,589</b>	-0,328	<b>0,502</b>	<b>0,820</b>	<b>0,754</b>	0,134	<b>0,754</b>	-0,304	<b>0,717</b>	<b>0,776</b>	1					
Cu1	-0,319	0,165	0,076	0,322	0,265	0,101	-0,241	-0,004	-0,290	0,450	0,051	0,294	1				
Zn1	0,375	-0,461	-0,409	0,462	<b>0,585</b>	<b>0,729</b>	0,392	<b>0,793</b>	-0,315	<b>0,539</b>	<b>0,898</b>	<b>0,866</b>	0,317	1			
MCI	-0,010	0,470	0,485	<b>-0,590</b>	-0,462	<b>-0,673</b>	-0,478	<b>-0,622</b>	0,591	<b>-0,556</b>	<b>-0,761</b>	<b>-0,719</b>	-0,391	<b>-0,830</b>	1		
EPT	0,139	0,567	<b>0,610</b>	<b>-0,649</b>	-0,416	<b>-0,615</b>	-0,369	<b>-0,657</b>	0,690	<b>-0,594</b>	<b>-0,817</b>	<b>-0,687</b>	-0,293	<b>-0,780</b>	0,940	1	
<i>E.coli</i>	0,158	<b>-0,621</b>	-0,471	0,466	<b>0,809</b>	<b>0,763</b>	0,344	<b>0,737</b>	-0,286	<b>0,738</b>	<b>0,531</b>	<b>0,684</b>	0,194	<b>0,519</b>	<b>-0,637</b>	<b>-0,635</b>	1

Los valores en negrita son diferentes de 0 con un nivel de significación alfa = 0,05

Nota:conductividad eléctrica (CE), oxígeno disuelto (OD), pH, temperatura (TE), sólidos suspendidos totales (TSS), turbidez, *Escherichia coli*, amonio (NH<sub>4</sub>-N), nitrógeno total (TOxN), fósforo disuelto (DRP), cobre (Cu) y zinc (Zn) disueltos en el agua, plomo (Pb1), cobre (Cu) y zinc (Zn) en el sedimento, macro invertebrados (MCI) y hábitat score (EPT).

## ANÁLISIS DEL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE PEARSON DEL SISTEMA II EN EL AÑO 2004

Al analizar los pares de variables en relación con el OD en el 2004 del Sistema II, se observó que hay una correlación significativa alta negativa con los siguientes parámetros: en la TU ( $r = -0,882$ ), en el TOxN con ( $r = -0,818$ ), en el DRP ( $r = -0,750$ ), Cu y Zn disuelto en el agua ( $r = -0,841$  y  $-0,964$ , respectivamente).

Además se observó una relación entre la *E.coli* con una correlación directamente proporcional positiva moderada ( $r=0,634$ ) y la conductividad eléctrica (CE). Los MCI y EPT tuvieron una correlación alta positiva ( $r = 0,892$  y  $0,846$ ) consecutivamente con relación al OD. La TU tuvo un valor de  $r = 0,995$  y el EPT de  $r = 0,789$ , ambos se comportaron con un coeficiente de correlación positivo alto con relación al pH. El EPT se comportó con una correlación alta positiva ( $r = 0,818$ ) por lo que su comportamiento tuvo una relación directamente proporcional con la TE. El amonio ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) y los MCI tuvieron un coeficiente de correlación positivo moderado ( $r = 0,635$  y  $r = 0,693$ ) ambos tienen una relación directamente proporcional con los TSS (Tabla 3.4).

El TOxN, DRP, el Cu y Zn disuelto en el agua, el Zn1 en el sedimento y la *E.coli* tuvieron un coeficiente de correlación positivo alto ( $r = 0,947$ ,  $r = 0,868$ ,  $r = 0,973$ ,  $r = 0,975$ ,  $r = 0,741$  y  $r = 0,848$ , respectivamente) y el coeficiente del  $\text{NH}_4\text{-N}$  fue positivo moderado  $r = 0,525$  teniendo una relación directamente proporcional con la TU. El TOxN, Zn1 y Pb1 en el sedimento, y la *E.coli* mantuvieron un coeficiente positivo alto ( $r = 0,761$ ,  $r = 0,883$  y  $0,958$ ,  $r = 0,751$ ) todos estos factores se relacionaron con el amonio. El Cu y el Zn disuelto en el agua, el Zn1 en el sedimento y el EPT tuvieron una correlación alta positiva ( $r = 0,851$ ,  $r = 0,924$ ,  $r = 0,915$  y  $r = 0,882$ ) y el DRP con coeficiente positivo moderado ( $r = 0,666$ ), todos estos indicadores tienen una relación directamente proporcional con el TOxN. Se presentó una correlación alta positiva en el Cu y Zn disuelto en el agua, y en los MCI ( $r = 0,958$ ,  $r = 0,824$  y  $r = 0,897$ ) y con una correlación positiva moderada con la *E.coli* ( $r = 0,660$ ) todos estos factores se relacionaron con el DRP. El zinc

disuelto en el agua y la *E.coli* tuvieron una correlación alta positiva ( $r = 0,934$  y  $r = 0,802$ ) y el Zn1 en el sedimento tuvo un coeficiente positivo moderado ( $r = 0,583$ ) todos estos factores se relacionaron con el Cu. El Zn1 en el sedimento con ( $r = 0,700$ ) y el EPT con ( $r = 0,723$ ) se comportaron con una correlación alta positiva con relación al Zn disuelto en el agua. El Zn1 en el sedimento se comportó con una correlación alta positiva ( $r = 0,860$ ) con relación al Pb1 (Tabla 3.4).

Al analizar la relación con pares de variables en relación con el MCI en el 2004, se observó que hay correlación significativa alta positiva con la CE, TU, Cu y Zn disuelto en el agua con ( $r = 0,815, 0,766, 0,842$  y  $0,823$ ) consecutivamente. Sin embargo la EPT tuvo una relación de correlación alta negativa con la CE ( $r = -0,911$ ), TU ( $r = -0,959$ ), Cu ( $r = -0,734$ ) y Zn ( $r = -0,938$ ). Además el EPT tiene una relación con DRP y Pb1 con una correlación negativa moderada ( $r = -0,694$  y  $-0,645$ ). Por otro lado la *E.coli* tiene una correlación alta negativa de ( $r = -0,878$ ) con relación al EPT. La *E.coli* tuvo una correlación alta positiva con ( $r = 0,842$ ) la cual se relaciona con el Zn1. El hábitat score (EPT) tuvo una correlación positiva moderada ( $r = 0,586$ ) con relación a los MCI (Tabla 3.4).

Tabla 3.3. Matriz de correlaciones para las variables analizadas del Sistema II en el 2004.

Variables	CE	OD	PH	TE	TSS	TU	NH4-N	TOxN	DRP	Cu	Zn	Pb1	Cu1	Zn1	MCI	EPT	<i>E.coli</i>
CE	1																
OD	-0,988	1															
PH	-0,474	0,339	1														
TE	-0,556	0,427	<b>0,995</b>	1													
TSS	-0,346	0,488	-0,628	-0,555	1												
TU	<b>0,933</b>	<b>-0,882</b>	-0,564	-0,634	-0,108	1											
NH4-N	0,447	-0,314	-0,998	-0,991	<b>0,635</b>	<b>0,525</b>	1										
TOxN	<b>0,898</b>	<b>-0,818</b>	-0,787	-0,841	0,102	<b>0,947</b>	<b>0,761</b>	1									
DRP	<b>0,755</b>	<b>-0,750</b>	-0,128	-0,203	-0,334	<b>0,868</b>	0,076	<b>0,666</b>	1								
Cu	<b>0,875</b>	<b>-0,841</b>	-0,391	-0,465	-0,197	<b>0,973</b>	0,345	<b>0,851</b>	<b>0,958</b>	1							
Zn	<b>0,989</b>	<b>-0,964</b>	-0,498	-0,577	-0,274	<b>0,975</b>	0,465	<b>0,924</b>	<b>0,824</b>	<b>0,934</b>	1						
Pb1	<b>0,511</b>	-0,429	-0,864	-0,871	0,326	0,414	<b>0,883</b>	0,672	-0,093	0,192	0,459	1					
Cu1	-0,677	<b>0,705</b>	-0,092	-0,013	0,502	-0,756	0,143	-0,505	-0,975	-0,879	-0,735	0,263	1				
Zn1	<b>0,682</b>	-0,566	-0,967	-0,987	0,424	<b>0,741</b>	<b>0,958</b>	<b>0,915</b>	0,331	<b>0,583</b>	<b>0,700</b>	<b>0,860</b>	-0,125	1			
MCI	<b>-0,815</b>	<b>0,892</b>	-0,024	0,014	<b>0,693</b>	<b>-0,766</b>	0,119	-0,552	<b>0,897</b>	<b>-0,842</b>	<b>-0,823</b>	0,073	<b>0,935</b>	-0,172	1		
EPT	<b>-0,911</b>	0,846	<b>0,786</b>	<b>0,818</b>	-0,068	<b>-0,959</b>	<b>-0,734</b>	<b>-0,999</b>	<b>-0,694</b>	<b>-0,871</b>	<b>-0,938</b>	<b>-0,645</b>	<b>0,540</b>	<b>-0,897</b>	<b>0,586</b>	1	
<i>E.coli</i>	<b>0,634</b>	<b>-0,515</b>	<b>0,787</b>	-0,812	-0,423	<b>0,848</b>	<b>0,751</b>	<b>0,882</b>	<b>0,660</b>	<b>0,802</b>	<b>0,723</b>	0,449	-0,478	<b>0,842</b>	-0,354	-0,878	1

Los valores en negrita son diferentes de 0 con un nivel de significación alfa = 0,05.

## ANÁLISIS DEL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE PEARSON DEL SISTEMA I EN EL AÑO 2006

En la Tabla 3.5 se observa que el OD en el 2006 en el Sistema II, tiene una relación con las variables tales como los TSS, la TU, el TOxN, el Cu y el Zn disuelto en el agua con relación al 2004. Sin embargo el fosforo se mantuvo con un coeficiente positivo moderado ( $r = 0,656$ ) y el EPT con un coeficiente positivo alto ( $r = 0,771$ ), con relación al pH. Además en el 2006 hubo presencia de Cu1 y el Zn1 en el sedimento con un coeficiente positivo moderado ( $r = 0,665$  y  $r = 0,622$ ) con relación a la TE. El Zn disuelto en el agua y el EPT tuvieron un coeficiente positivo moderado ( $r = 0,626$  y  $r = 0,610$ ), ambos tienen una relación directamente proporcional con el pH. La TU y el Cu se mantuvieron en el 2006 con relación al 2004 y el Zn se incrementa a forma moderada con ( $r = 0,645$ ), el plomo en el sedimento tiene una disminución en su correlación ( $r = 0,552$ ), y el zinc en el sedimento se mantiene con ( $r = 0,505$ ). El TOxN tuvo una disminución en su coeficiente de alto a moderado con ( $r = 0,614$ ), el cobre (Cu) se mantuvo y el zinc disuelto en el agua tuvo un incremento con ( $r = 0,655$  y  $r = 0,772$ ) consecutivamente y, el Pb1 y el zinc en el sedimento se mantuvieron con ( $r = 0,793$  y  $r = 0,734$ ), y la *E.coli* cambio de correlación alta a moderada con ( $r = 0,524$ ) todos estos factores se relacionaron con la turbidez (Tabla 3.5).

El amonio incremento con relación al 2004 a una correlación alta positiva ( $r = 0,834$ ), el Zn disuelto en el agua se comportó con una correlación positiva moderada ( $r = 0,579$ ) ambos tuvieron una relación directamente proporcional al NH<sub>4</sub>-N. El zinc disuelto en el agua se mantuvo con ( $r = 0,845$ ), sin embargo el Pb1 y el Zn1 en el sedimento disminuyeron de una correlación alta positiva a moderada ( $r = 0,521$  y  $r = 0,600$ ) con relación al 2004. Además el zinc en el sedimento tuvo una correlación alta positiva ( $r = 0,793$ ) todos estos factores tuvieron una relación directamente proporcional con el nitrógeno total. Sin embargo el EPT mantuvo su correlación positiva moderada ( $r = 0,684$ ) con relación al DRP. El zinc disuelto en el agua mantuvo su correlación positiva moderada ( $r = 0,519$ ) con relación al Cu. El Pb1 y Zn1 en el sedimento se mantuvieron con una correlación alta positiva ( $r = 0,781$  y  $0,796$ ) consecutivamente con relación al 2004. Sin embargo la *E.coli* se mantuvo ( $r = 0,689$ ) todos estos factores se relacionaron con el Zn. El

Zn1 en el sedimento se mantuvo ( $r = 0,881$ ) y la E coli con coeficiente positivo moderado ( $r = 0,689$ ) ambos factores se relacionaron con el Pb1. En el 2006 se presentó el Zn1 en el sedimento con un coeficiente positivo moderado ( $r = 0,541$ ) con relación con el Cu1. La *E.coli* tuvo una correlación alta positiva ( $r = 0,765$ ) con relación al Zn1 (Tabla 3.5).

Al analizar la relación con pares de variables los MCI en el 2006, se observó que se mantuvo la TU, el TOxN, el Cu, el Zn, el Pb1 y el Zn1 en el sedimento, pero aparece el Cu1 en el sedimento con un coeficiente positivo moderado ( $r = -0,516$ ) y el TSS con ( $r = -0,590$ ). La EPT en el 2006 se mantuvo con relación al 2004 en las siguientes variables TU, TOxN, Cu, Zn, Pb1 y Zn1. Sin embargo tuvo la presencia de TSS con ( $r = -0,590$ ). Además la *E.coli* tiene una correlación moderada de ( $r = -0,532$ ) con una relación inversamente proporcional a el EPT (Tabla 3.5).

Tabla 3.4. Matriz de correlaciones para las variables analizadas del Sistema I en el 2006.

Variables	CE	OD	PH	TE	TSS	TU	NH4-N	TOxN	DRP	Cu	Zn	Pb1	Cu1	Zn1	MCI	EPT	<i>E.coli</i>
CE	1																
OD	0,145	1															
PH	0,278	0,682	1														
TE	-0,059	0,030	-0,352	1													
TSS	-0,226	-0,603	-0,356	0,055	1												
TU	-0,375	-0,639	-0,497	0,341	<b>0,813</b>	1											
NH4-N	-0,332	-0,291	-0,546	0,301	0,079	0,274	1										
TOxN	-0,470	<b>-0,579</b>	-0,580	0,138	0,416	<b>0,614</b>	<b>0,834</b>	1									
DRP	<b>0,667</b>	0,425	<b>0,656</b>	-0,299	-0,093	-0,336	-0,194	-0,282	1								
Cu	-0,042	<b>-0,526</b>	-0,595	0,247	<b>0,710</b>	<b>0,655</b>	0,219	0,331	-0,155	1							
Zn	-0,408	<b>-0,627</b>	-0,580	0,292	<b>0,645</b>	<b>0,772</b>	<b>0,579</b>	<b>0,845</b>	-0,361	<b>0,519</b>	1						
Pb1	-0,499	-0,366	-0,300	0,464	<b>0,552</b>	<b>0,793</b>	0,218	<b>0,521</b>	-0,416	0,367	<b>0,781</b>	1					
Cu1	-0,069	0,145	-0,041	<b>0,665</b>	0,343	0,300	0,012	-0,043	-0,069	0,396	0,256	0,469	1				
Zn1	-0,404	-0,248	-0,333	<b>0,622</b>	<b>0,505</b>	<b>0,734</b>	0,390	0,600	-0,271	0,365	<b>0,796</b>	<b>0,881</b>	<b>0,541</b>	1			
MCI	0,465	0,417	0,456	-0,301	<b>-0,571</b>	<b>-0,652</b>	-0,432	<b>-0,652</b>	0,369	-0,467	<b>-0,849</b>	<b>-0,817</b>	<b>-0,516</b>	<b>-0,774</b>	1		
EPT	0,494	0,645	0,771	-0,479	-0,590	-0,743	-0,380	<b>-0,608</b>	0,684	<b>-0,578</b>	<b>-0,778</b>	<b>-0,778</b>	-0,399	<b>-0,692</b>	0,772	1	
<i>E.coli</i>	-0,406	-0,081	-0,352	0,335	0,325	<b>0,524</b>	0,231	0,445	-0,254	0,236	<b>0,586</b>	<b>0,689</b>	0,196	<b>0,765</b>	-0,648	-0,532	1

Los valores en negrita son diferentes de 0 con un nivel de significación alfa=0,05

## **ANÁLISIS DEL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE PEARSON DEL SISTEMA II EN EL AÑO 2006**

El coeficiente de correlación de la TU se mantuvo con relación al 2004 con un coeficiente positivo alto ( $r = 0,832$ ), en el DRP ( $r = 0,851$ ), Cu y Zn disuelto en el agua ( $r = 0,933$  y  $r = 0,862$ ) consecutivamente y en el TOxN disminuyó de coeficiente positivo alto a moderado ( $r = 0,898$ ) todos tuvieron relación directamente proporcional con la CE. La TE y Zn1 en el sedimento con un coeficiente positivo moderado ( $r = 0,669$  y  $r = 0,628$ ) su comportamiento fue similar al año 2006 y Cu1 en el sedimento, MCI y el EPT se mantuvo su comportamiento con correlación alta positiva desde el 2004 con ( $r = 0,825$ ,  $0,702$  y  $0,967$ ) todos se encuentran relacionados con la conductividad eléctrica (CE). El Sistema II con relación al Sistema I tuvo presencia con una correlación alta positiva en los TSS, en el NH<sub>4</sub>-N, el Zn1, los MCI, el Pb1 y el Cu1 en el sedimento ( $r = 0,865$ ,  $r = 0,778$ ,  $r = 0,924$ ,  $r = 0,711$ ,  $r = 0,591$  y  $0,528$ ) consecutivamente todos los indicadores tienen relación directamente proporcional con el pH (Tabla 3.6).

El EPT se mantuvo con relación al 2004 con una correlación alta positiva ( $r = 0,776$ ) con relación a la TE. El NH<sub>4</sub>-N incremento su correlación positiva moderada a alta ( $r = 0,874$ ). Además hubo la presencia de correlación alta positiva moderada del TOxN, de la *E. coli* y del Zn1 con ( $r = 0,792$ ,  $r = 0,886$  y  $r = 0,637$ ) consecutivamente en relación al TSS. Los parámetros que se mantuvieron con relación al 2004 fueron el TOxN, el DRP, el Cu y el Zn disuelto en el agua con ( $r = 0,853$ ,  $r = 0,843$ ,  $r = 0,931$  y  $r = 0,942$ ) todos los indicadores tienen una relación directamente proporcional con la TU. Sin embargo en el 2004 el TOxN, el Pb1 y la *E. coli* se mantuvieron con un coeficiente alto de ( $r = 0,703$ ,  $r = 0,768$  y  $r = 0,739$ ) y el Zn1 en el sedimento disminuyó su coeficiente positivo alto a moderado ( $r = 0,689$ ) todos los indicadores tienen una relación directamente proporcional con el NH<sub>4</sub>-N (Tabla 3.6).

El Cu y el Zn en el agua disminuyó con relación al 2004 de una correlación alta positiva moderada ( $r = 0,628$  y  $0,629$ ), sin embargo la *E. coli* se mantuvo ( $r = 0,980$ ), ambos indicadores se relacionan con el TOxN. Se mantuvo la correlación alta positiva en el Cu y Zn disuelto en el agua ( $r = 0,968$  y  $0,974$ ) teniendo una relación con el DRP. El Zn disuelto

en el agua se mantuvo su coeficiente positivo alto ( $r = 0,986$ ) con relación al 2004 y la *E.coli* disminuyó a una correlación positiva moderada ( $r = 0,580$ ) con base al año 2004 teniendo una relación directamente proporcional con el Cu. La *E.coli* disminuyó en el año 2006 a una correlación positiva moderada ( $r = 0,548$ ). En el 2006 se tuvo la presencia de Cu1 en el sedimento con un coeficiente moderado y los MCI con correlación alta positiva ( $r = 0,678$  y  $r = 0,874$ ) con relación al Pb1. El Zn1 en el sedimento y EPT tuvieron una correlación alta positiva ( $r = 0,700$  y  $r = 0,723$ ) con relación al Zn disuelto en el agua. El Zn1 en el sedimento se comportó con una correlación alta positiva ( $r = 0,860$ ) con relación al Pb1.

Al analizar la relación con pares de variables en relación con el MCI en el 2006 del Sistema II, se observó que se mantuvo la presencia de la CE, la TU, el Cu y el Zn disuelto en el agua con relación al año 2004. Sin embargo hubo la presencia de pH y de NH<sub>4</sub>-N ambos con correlación alta positiva y, el DRP y el EPT tuvieron una correlación positiva con relación a los MCI (Tabla 3.6).

Tabla 3.5. Matriz de correlaciones para las variables analizadas del Sistema II en el 2006.

Variables	CE	OD	PH	TE	TSS	TU	NH4-N	TOxN	DRP	Cu	Zn	Pb1	Cu1	Zn1	MCI	EPT	<i>E.coli</i>
CE	1																
OD	-0,978	1															
PH	-0,502	-0,395	1														
TE	-0,574	0,699	-0,371	1													
TSS	0,000	-0,114	<b>0,865</b>	<b>-0,767</b>	1												
TU	<b>0,832</b>	<b>-0,820</b>	0,000	<b>-0,764</b>	0,478	1											
NH4-N	-0,059	-0,125	<b>0,778</b>	<b>-0,775</b>	<b>0,874</b>	0,233	1										
TOxN	<b>0,603</b>	<b>-0,697</b>	-0,381	<b>-0,981</b>	<b>0,792</b>	<b>0,853</b>	<b>0,703</b>	1									
DRP	<b>0,851</b>	<b>-0,739</b>	-0,442	-0,318	-0,026	<b>0,843</b>	-0,326	0,441	1								
Cu	<b>0,933</b>	<b>-0,869</b>	-0,356	-0,534	0,124	<b>0,931</b>	-0,109	<b>0,628</b>	<b>0,968</b>	1							
Zn	<b>0,862</b>	<b>-0,785</b>	-0,257	-0,511	0,196	<b>0,942</b>	-0,106	<b>0,629</b>	<b>0,974</b>	<b>0,986</b>	1						
Pb1	-0,475	0,284	<b>0,591</b>	-0,271	0,420	-0,412	<b>0,768</b>	0,121	-0,821	-0,652	-0,689	1					
Cu1	-0,966	0,895	<b>0,528</b>	0,440	0,055	-0,849	0,227	-0,514	-0,957	-0,980	-0,940	<b>0,678</b>	1				
Zn1	-0,749	0,628	<b>0,924</b>	-0,111	<b>0,637</b>	-0,370	<b>0,689</b>	0,071	-0,750	-0,681	-0,606	0,165	<b>0,804</b>	1			
MCI	<b>-0,834</b>	0,702	0,711	0,091	0,345	<b>-0,650</b>	<b>0,558</b>	-0,188	<b>-0,945</b>	<b>-0,881</b>	<b>-0,853</b>	0,874	0,934	0,923	1		
EPT	<b>-0,954</b>	0,967	0,220	0,776	-0,299	<b>-0,938</b>	-0,203	<b>-0,812</b>	<b>-0,807</b>	<b>-0,929</b>	<b>-0,883</b>	0,332	0,906	0,525	0,695	1	
<i>E.coli</i>	0,464	<b>-0,553</b>	<b>0,533</b>	-0,942	<b>0,886</b>	-0,814	<b>0,739</b>	<b>0,980</b>	0,379	<b>0,548</b>	<b>0,580</b>	0,140	-0,404	0,214	-0,088	<b>-0,708</b>	1

Los valores en negrita son diferentes de 0 con un nivel de significación alfa=0,05.

## **ANALISIS DEL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE PEARSON EN EL SISTEMA I EN EL AÑO 2010**

Se realizó un análisis comparativo del 2010 con relación al 2006 y 2004. En el análisis del coeficiente de correlación 2010, se observa la presencia del Cu con un coeficiente positivo moderado y el Zn disuelto en el agua con una correlación alta positiva ( $r = 0,567$  y  $r = 0,753$ ) consecutivamente, el Zn1 en el sedimento y la *E.coli* con un coeficiente positivo moderado ( $r = 0,537$  y  $r = 0,510$ ) con relación a la CE. El TSS se presentó en el 2010 con una correlación positiva moderada ( $r = 0,681$ ) con relación a la TE. La TU se presentó en forma con una correlación alta positiva ( $r = 0,747$ ) y el Zn1 en el sedimento se mantuvo con relación al 2006 con ( $r = 0,616$ ). La TU se mantuvo en el 2004 y 2006 con relación al 2010 con ( $r = 0,879$ ). Sin embargo hubo la presencia de NHA-N con relación al 2004 y 2006 con una correlación positiva moderada ( $r = 0,525$ ) y el TOxN se mantuvo con un coeficiente moderado ( $r = 0,512$ ) con relación al 2004, todos los parámetros antes mencionados tuvieron una relación directamente proporcional con los sólidos suspendidos totales (Tabla 3.7).

El NH<sub>4</sub>-N disminuyó con relación al 2006 pero mantuvo su correlación positiva moderada ( $r = 0,582$ ) con relación al 2004, sin embargo el TOxN mantuvo su correlación positiva moderada ( $r = 0,564$ ) en los tres años evaluados. Además el Pb1 y el Zn1 en el sedimento disminuyeron su correlación de alta positiva a moderada con ( $r = 0,534$  y  $r = 0,579$ ) con relación al 2004 y 2006, todos estos contaminantes tienen relación con la TU. El TOxN tuvo un incremento con relación al 2006 pero se mantuvo con relación al 2004 con una correlación positiva moderada ( $r = 0,598$ ), el Zn disuelto en el agua y Zn1 en el sedimento aumentaron con relación a los años evaluados con una correlación de ( $r = 0,769$  y  $r = 0,560$ ), con relación al NH<sub>4</sub>-N. El Zn disuelto en el agua se mantuvo de forma alta con una correlación de ( $r = 0,700$ ), el Pb1 en el sedimento se mantuvo con relación al 2006 pero disminuyó con relación al 2004 con una correlación de ( $r = 0,643$ ) y el Zn1 en el sedimento incremento con relación al 2006 y se mantuvo alto como en el 2004 con ( $r = 0,815$ ) todos estos parámetros tienen relación directamente proporcional al TOxN (Tabla 3.7).

El zinc disuelto en el agua se mantuvo en forma moderada con un coeficiente positivo moderado ( $r = 0,548$ ) y la *E.coli* disminuyó con relación al 2004 a una correlación positiva moderada ( $r = 0,502$ ) con relación al Cu. El Pb1 en el sedimento disminuyó con relación al 2004 y 2006 con una correlación positiva moderada ( $r = 0,543$ ), el Zn1 se mantuvo de forma alta en los tres años evaluados ( $r = 0,759$ ) y la *E.coli* se mantuvo de forma moderada ( $r = 0,564$ ) todos estos factores tienen relación con el Zn. El Cu1 en el sedimento se presentó en el 2010 con una correlación positiva moderada ( $r = 0,557$ ) y el Zn1 en el sedimento disminuyó su coeficiente a positivo moderado ( $r = 0,685$ ) con relación al 2004 y 2006 ambos factores tienen una relación con el Pb1. El Zn1 en el sedimento se mantuvo su correlación positiva moderada ( $r = 0,506$ ) con respecto al 2006 con relación al Cu1 (Tabla 3.7).

Al analizar la relación con pares de variables en relación con el MIC en el 2010 del Sistema II, se observó que se mantuvo la presencia del Zn disminuyendo la correlación a moderada con relación al 2004 y 2006. Sin embargo el EPT en el 2010 tuvo una relación con la CE y el NH<sub>4</sub>-N. Además la TE y TU se comportó de manera moderada en el 2004 y 2010, la TU tuvo una correlación positiva moderada en el 2004 y 2010 y alta en el 2006, en el TOxN tiene correlación positiva moderada y en el Zn fue alta en los tres años evaluados, el Pb1 tuvo un coeficiente de correlación positivo moderado en el 2004 y 2010 y alto en el 2006 y el Zn1 tuvo una correlación alta positiva en el 2004 y 2010, y moderada en el 2006. Sin embargo la *E.coli* se incrementó su correlación a positivo alto en el 2010 con relación al 2004 y 2006 (Tabla 3.7).

Tabla 3.6. Matriz de correlaciones para las variables analizadas del Sistema I en el 2010,

Variables	CE	OD	PH	TE	TSS	TU	NH4-N	TOxN	DRP	Cu	Zn	Pb1	Cu1	Zn1	MCI	EPT	<i>E.coli</i>
CE	1																
OD	-0,479	1															
PH	-0,431	-0,157	1														
TE	0,387	-0,016	-0,355	1													
TSS	0,384	0,162	-0,314	<b>0,681</b>	1												
TU	0,434	-0,026	-0,345	<b>0,747</b>	<b>0,879</b>	1											
NH4-N	<b>0,510</b>	-0,444	-0,188	0,491	<b>0,525</b>	<b>0,582</b>	1										
TOxN	0,483	-0,470	0,026	0,327	<b>0,512</b>	<b>0,564</b>	<b>0,598</b>	1									
DRP	0,024	0,008	0,067	0,376	0,337	0,236	0,465	-0,049	1								
Cu	<b>0,567</b>	-0,139	-0,496	0,227	-0,110	-0,080	0,130	-0,056	-0,189	1							
Zn	<b>0,753</b>	<b>-0,527</b>	-0,239	0,406	0,375	0,463	<b>0,769</b>	<b>0,700</b>	-0,005	<b>0,548</b>	1						
Pb1	0,301	-0,207	-0,146	0,272	0,342	<b>0,534</b>	0,369	<b>0,643</b>	-0,194	0,038	<b>0,543</b>	1					
Cu1	-0,175	0,227	-0,216	0,346	0,369	0,435	-0,152	0,367	-0,255	-0,184	-0,042	<b>0,557</b>	1				
Zn1	<b>0,537</b>	-0,453	-0,233	<b>0,616</b>	0,472	<b>0,579</b>	<b>0,560</b>	<b>0,815</b>	-0,058	0,280	<b>0,759</b>	<b>0,685</b>	<b>0,506</b>	1			
MCI	-0,244	0,169	0,397	-0,154	-0,169	-0,346	<b>-0,506</b>	-0,245	-0,078	-0,380	<b>-0,596</b>	-0,495	-0,155	-0,399	1		
EPT	<b>-0,579</b>	0,398	0,501	<b>-0,509</b>	-0,494	<b>-0,657</b>	<b>-0,697</b>	<b>-0,534</b>	0,004	-0,450	<b>-0,822</b>	<b>-0,522</b>	-0,218	<b>-0,703</b>	0,789	1	
<i>E.coli</i>	<b>0,510</b>	-0,099	-0,503	0,282	0,389	0,421	0,438	0,166	0,029	<b>0,502</b>	<b>0,564</b>	0,229	-0,029	0,210	-0,632	-0,712	1

Los valores en negrita son diferentes de 0 con un nivel de significación alfa = 0,05

## **ANÁLISIS DEL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE PEARSON EN EL SISTEMA II EN EL AÑO 2010**

Al analizar la relación con pares de variables en relación con el CE en el 2010 del Sistema II, se observó la presencia de NH<sub>4</sub>-N con un coeficiente positivo alto ( $r = 0,977$ ) comparado con el 2004 y 2006. Sin embargo el TOxN se mantuvo con relación al 2004 y disminuyó su correlación en el 2006. Por otro lado el Zn disuelto en el agua disminuyó su correlación con relación al 2004 y 2006, y el Pb<sub>1</sub>, Zn<sub>1</sub> y el Cu<sub>1</sub> en el sedimento tuvieron un incremento en su correlación pasando de positivo moderado a alto. La relación con pares de variables en relación con el OD en el 2010, se observó la presencia de los TSS, Pb<sub>1</sub> y el Cu<sub>1</sub> en el sedimento con una correlación alta negativa ( $r = -0,874$ ,  $r = -0,781$  y  $r = -0,807$ ). Se mantuvo la TU de forma alta con relación al 2004. Sin embargo la correlación de Zn<sub>1</sub> en el sedimento cambio de positiva moderada a alta. En el 2010 existe la presencia de la TU, el TOxN, el Cu, el Zn, el Pb<sub>1</sub> y el Zn<sub>1</sub> con una correlación alta positiva ( $r = 0,707$ ,  $r = 0,943$ ,  $r = 0,984$ ,  $r = 0,960$ ,  $r = 0,750$  y  $r = 0,832$ ) y el NH<sub>4</sub>-N y el Cu<sub>1</sub> con una correlación positiva moderada ( $r = 0,545$  y  $0,533$ ). Además la *E.coli* se comportó con una correlación alta positiva ( $r = 0,902$ ) con relación al 2004 y 2006 todos estos tienen una relación con la TE (Tabla 3.8).

El DRP tuvo presencia en el 2010 con una correlación de ( $r = 0,683$ ) con relación al TSS. El TOxN, DRP, el Cu y Zn disuelto en el agua, el Zn<sub>1</sub> en el sedimento y la *E.coli* con una correlación alta positiva ( $r = 0,947$ ,  $r = 0,868$ ,  $r = 0,973$ ,  $0,975$ ,  $r = 0,741$  y  $r = 0,848$ ) consecutivamente y el NH<sub>4</sub>-N con un coeficiente moderado con  $r = 0,525$  todos estos indicadores tuvieron relación directamente proporcional con la TU. El TOxN tuvo una disminución con relación al 2004 y 2006, el Cu y Zn disuelto en el agua se mantienen con una correlación alta positiva en los tres años evaluados. Sin embargo en el 2010 hubo la presencia de Pb<sub>1</sub> y Cu<sub>1</sub> en el sedimento con correlación alta positiva ( $r = 0,864$  y  $0,792$ ) y el Zn<sub>1</sub> en el sedimento tuvo correlación alta positiva con relación al 2004. El TOxN, Pb<sub>1</sub> en el sedimento se mantuvieron con la misma correlación del 2004 y 2006. Además hubo presencia de Cu y Cu<sub>1</sub> con una correlación positiva moderada ( $r = 0,664$  y  $0,700$ ) y el Zn<sub>1</sub>

se comportó con correlación alta positiva con relación al año 2004 y con una correlación positiva moderada en el 2006 (Tabla 3.8).

El Cu, Zn y Zn1 en el 2004 y 2010 se comportó con una correlación alta positiva y en el 2006 fue correlación positiva moderada en el Cu y Zn, el Pb1 incremento su correlación con relación al 2004. Además en el 2010 hubo la presencia de Cu1 con una correlación alta positiva con ( $r = 0,709$ ) con relación a los años evaluados. Por otro lado la *E.coli* mantuvo una correlación alta positiva como en el 2004 y 2006, todos estos indicadores se relacionan con el TOxN. El Zn disuelto en el agua se mantuvo alto en los tres años evaluados. Además hubo la presencia de correlación alta positiva en el Pb1 y moderada en el Cu1 en el 2010 con una correlación alta positiva con ( $r = 0,851$  y  $0,670$ ) y el Zn1 en el sedimento fue correlación alta positiva en el 2010 con ( $r = 0,907$ ) y moderada en el 2004 con un coeficiente ( $r = 0,583$ ) y la *E.coli* tuvo correlación alta positiva en el 2004 y 2010, Sin embargo fue moderada en el 2006, todos estos factores se relacionaron con el Cu. El Pb1 en el 2010 tuvo presencia de correlación alta positiva con ( $r = 0,711$ ), el Zn se mantiene con una correlación alta positiva en el 2004 y 2010 y la *E.coli* tuvo una correlación alta positiva en el 2004 y 2010 pero moderada en el 2006 con relación al Zn disuelto en el agua. El Cu1 se incrementó su concentración en el 2010 con relación al 2006, el Zn1 se mantuvo su en el 2004 y 2010, y la *E.coli* tuvo presencia en el 2010 con correlación positiva moderada de ( $r = 0,554$ ) con relación al Pb1 (Tabla 3.8).

El Zn1 se mantuvo con una correlación alta positiva en el 2006 y 2010 con relación al Cu1. Al analizar la relación con pares de variables en relación con el MCI en el 2010, se observó que se mantuvo con una correlación alta positiva la CE, TU, Cu y Zn disuelto en el agua. Además hubo la presencia en el 2010 de las variables TE, NH<sub>4</sub>-N, Pb1, Cu1 y Zn1 con un coeficiente de correlación alta negativa ( $r = -0,845$ ,  $r = -0,839$ ,  $r = -0,974$ ,  $r = -0,889$  y  $r = -0,971$ ) consecutivamente. El EPT tuvo una presencia en el 2010 de correlación alta negativa ( $r = -0,776$ ), la TU se mantuvo con correlación alta positiva en los tres años evaluados y el Zn se mantuvo con una correlación alta positiva en el año 2004 y 2006 y disminuyó a correlación positiva moderada en el 2010 (Tabla 3.8).

Tabla 3.7. Matriz de correlaciones para las variables analizadas del Sistema II en el 2010.

Variables	CE	OD	PH	TE	TSS	TU	NH4-N	TOxN	DRP	Cu	Zn	Pb1	Cu1	Zn1	MCI	EPT	<i>E.coli</i>
CE	1																
OD	-0,401	1															
PH	-0,492	0,980	1														
TE	<b>0,711</b>	-0,344	-0,289	1													
TSS	-0,255	<b>-0,782</b>	-0,690	-0,080	1												
TU	0,478	<b>-0,880</b>	-0,802	<b>0,707</b>	<b>0,629</b>	1											
NH4-N	<b>0,977</b>	-0,374	-0,500	<b>0,545</b>	-0,280	0,356	1										
TOxN	<b>0,904</b>	-0,418	-0,427	<b>0,943</b>	-0,148	<b>0,670</b>	<b>0,793</b>	1									
DRP	-0,522	0,975	<b>0,943</b>	-0,544	<b>0,683</b>	-0,955	-0,458	-0,595	1								
Cu	-0,806	-0,456	-0,426	<b>0,984</b>	-0,033	<b>0,755</b>	<b>0,664</b>	<b>0,980</b>	-0,640	1							
Zn	<b>0,529</b>	-0,441	-0,340	<b>0,960</b>	0,152	<b>0,810</b>	-0,341	<b>0,836</b>	-0,624	<b>0,928</b>	1						
Pb1	<b>0,842</b>	<b>-0,807</b>	-0,824	<b>0,750</b>	0,289	<b>0,864</b>	<b>0,778</b>	<b>0,864</b>	-0,896	<b>0,851</b>	<b>0,711</b>	1					
Cu1	<b>0,787</b>	<b>-0,874</b>	-0,924	<b>0,533</b>	0,383	<b>0,792</b>	<b>0,777</b>	<b>0,709</b>	-0,905	<b>0,670</b>	0,494	<b>0,959</b>	1				
Zn1	<b>0,798</b>	<b>-0,781</b>	-0,768	<b>0,832</b>	0,301	<b>0,911</b>	<b>0,700</b>	<b>0,892</b>	-0,894	<b>0,907</b>	<b>0,817</b>	<b>0,986</b>	<b>0,904</b>	1			
MCI	<b>-0,918</b>	0,653	0,677	<b>-0,845</b>	-0,080	<b>-0,785</b>	<b>-0,839</b>	<b>-0,953</b>	0,781	<b>-0,927</b>	<b>-0,764</b>	<b>-0,974</b>	<b>-0,889</b>	<b>-0,971</b>	1		
EPT	-0,156	0,600	0,430	-0,407	<b>-0,776</b>	<b>-0,775</b>	0,309	-0,187	0,638	-0,365	<b>-0,644</b>	-0,352	-0,255	-0,463	0,247	1	
<i>E.coli</i>	-0,349	-0,329	-0,197	<b>0,902</b>	0,162	-0,738	0,144	<b>0,714</b>	-0,511	<b>0,835</b>	<b>0,977</b>	<b>0,554</b>	0,316	-0,686	-0,610	-0,710	1

Los valores en negrita son diferentes de 0 con un nivel de significación alfa=0,05.

## DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS TRES AÑOS DE EVALUACIÓN A LO LARGO DE LA CUENCA (SISTEMAS I y II)

La *Escherichia coli* (*E.coli*) se encontró en forma crítica o de clase D con un valor de 2276.53 /ml en el 2004 en el Sistema I y con clase B o moderada de (300/ml) en el Sistema II en el 2006 ver Tabla 3.9, 3.10 y 3.11 (Kingett Millaell *et al.*, 2005 y 2006). Sin embargo en el 2010 tuvo una reducción a clase B en el Sistema I y en el Sistema II se mantuvo (Golder, 2010) ver Tabla 2.1 (NPS-FWM, 2014). La *E.coli* es debida fundamentalmente a los desechos humanos y animales, ya que los agentes patógenos –bacterias y virus- se encuentran en las heces, orina y sangre, y son de origen de muchas enfermedades y epidemias (fiebres tifoideas, disentería, cólera, polio, hepatitis infecciosa, giardiasis, y criptosporidiosis). Los niveles de bacterias son más altos a menudo después de la lluvia cuando la materia fecal se libera de la tierra y se traslada por las aguas pluviales.

El Zn<sub>1</sub> en el 2004 se observó en la clase C o severa con un valores de 136.71 mg/kg en el Sistema I y en el 2006 se incrementó a clase D con valor de 172.5 mg/kg ver Tabla 3.9, 3.10 y 3.11, y en este mismo año en el Sistema I no se presentó según los informes de (Kingett Millaell *et al.*, 2005 y 2006). Sin embargo en el 2010 no hubo presencia (Golder, 2010) ver Tabla 2.1 (ACRPC, 2004). El zinc en el sedimento es un contaminante común en las aguas pluviales urbanas que se acumula en los sedimentos y en última instancia en el puerto y en los sedimentos del estuario donde tienen efectos biológicos adversos. El zinc en el sedimento se atribuye a la escorrentía de las vialidades que arrastra partículas de las zapatas y discos de los frenos de los automóviles y camiones, de los neumáticos, y el desgaste del asfalto de las vialidades; y la escorrentía de techos de metal galvanizado.

El Zn disuelto en el agua fue de moderado en el año 2004 con un valor de (7.54 mg/m<sup>3</sup>) y en el año 2006 fue alto con un valor de (12.64 mg/m<sup>3</sup>) para el Sistema I ver Tabla 3.9, 3.10 y 3.11 (Kingett Millaell *et al.*, 2005 y 2006) y en el año 2010 no hubo presencia de este contaminante. NIWA en 2008, encontró que el Zn= 3461.4 kg/año fue muy alto en la cuenca de los Twin Streams. El Cu disuelto en el agua fue de moderado en el año 2004 con un valor de 0.521 mg/m<sup>3</sup> y 0.646 mg/m<sup>3</sup> en el 2006, ambos años en el Sistema I (Kingett Millaell *et al.*, 2005 y 2006). Sin embargo en el año 2010 no hubo presencia de este

contaminante ver Tabla 2.1 (ANZECC, 2000). NIWA en 2008, encontró que el Zn= 3461.4 kg/año fue muy alto en la cuenca de los Twin Streams. El zinc y el cobre son los metales principales contaminantes de la escorrentía urbana y suponen un riesgo para la vida acuática. Los metales disueltos son un mejor indicador de la calidad del agua y de la toxicidad que los metales totales, que pueden incluir partículas. Las fuentes de cobre incluyen las zapatas y discos de los frenos de los automóviles y camiones, y el desgaste del asfalto de las vialidades. La acumulación de estos metales pesados es un problema para la salud de la población ya que el agua se utiliza para consumo doméstico (Hansen y van Afferden 2001 y Chávez., *et al* 2011).

La TU en el Sistema I en el año 2004 fue clase C con un valor de 6.83 NTU y en el 2006 disminuyó a clase B con un valor de 5.5NTU ver Tabla 2.1 (ANZECC, 2000) y en el Sistema II en el 2004 fue clase A o sin presencia de TU y en el 2006 incremento a clase B. Sin embargo en el Sistema II se mantuvo en clase B en los ambos Sistemas ver Tabla 3.9, 3.10 y 3.11. La turbidez es la medida de las propiedades de dispersión de la luz en el agua y depende de la cantidad, tamaño y composición de la materia en suspensión, tal como arcilla, limo, partículas coloidales, y organismos microscópicos en la columna de agua. NIWA en 2008, encontró que el TSS= 8.229.549 kg/año fue muy alto en la cuenca de los Twin Streams. Además a mayor valor en TSS menor es el OD (Calvo *et al.*, 2009), por lo que este contaminante puede obstruir las branquias de los peces y organismos acuáticos, sofocar y cambiar los hábitats bentónicos de los Arroyos, y se depositan en los estuarios y puertos. Por otro lado los sedimentos tienen relación con los metales. Sólo los organismos acuáticos tolerantes pueden sobrevivir en los Arroyos con grandes cargas de sedimento.

El NH<sub>4</sub>-N en el 2004 y 2006 se observó en la clase B con un valor de 0.048 g/m<sup>3</sup> y 0.081 en el Sistema I y en el Sistema II en ambos años se mantuvo en la misma clase. Sin embargo en el 2010 en el Sistema I disminuyó a clase A (Kingett Millaell *et al.*, 2005 y 2006) y en el Sistema II se mantuvo en la clase B ver Tabla 2.1, 3.9, 3.10 y 3.11 (NPS-FWM, 2014). Un mayor contenido de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> está asociado con una mayor densidad poblacional y una menor calidad del agua (mayor valor numérico). También este incremento está asociado con una menor precipitación pluvial y un mayor pH y OD (Calvo *et al.*, 2009). El amonio es considerado habitualmente como nitrógeno procedente de la

descomposición de materia orgánica y/o excreción producida por organismos y son considerados como el macro nutriente limitante para el crecimiento del fitoplacton (López *et al.*, 2009).

El OD en el 2004 en el Sistema I fue clase B y el 2006 incremento a clase D (Kingett Millaell *et al.*, 2005 y 2006) y en el Sistema II no hubo presencia de este contaminante (Kingett Millaell *et al.*, 2005 y 2006). Sin embargo en el 2010 incremento a clase C en el Sistema I y a clase D en el Sistema II (Golder, 2010) ver Tabla 2.1 3.3, 3.6 y 3.9 (NPS-WM, 2014). Este elemento es un requerimiento esencial para el metabolismo de todos los organismos acuáticos que presentan respiración aeróbica y es uno de los gases más importantes en la dinámica y caracterización de los ecosistemas acuáticos (Ledesma *et al.*, 2013). Los niveles bajos de OD pueden encontrarse en áreas donde el material orgánico (vertidos de depuradoras, granjas, plantas muertas y materia animal) está en descomposición. Las bacterias requieren oxígeno para descomponer desechos orgánicos y, por lo tanto, disminuyen el oxígeno del agua. Los Arroyos de gradiente bajo como en gran parte de la cuenca Twin Streams en general, tienen menores niveles de oxígeno, por su flujo lento, que los Arroyos de alta pendiente que fluyen rápidamente. Sin embargo dependiendo de las características del terreno aledaño a los ríos, es posible que lluvias leves ayuden a diluir los contaminantes presentes en los ríos, mejorando su calidad, pero lluvias mayores pueden empeorar su calidad debido a la introducción de una mayor carga contaminante en el río, producto de la erosión de los suelos (Calvo *et al.*, 2009).

Los MCI en los años 2004, 2006 y 2010 en el Sistema I y II se encontraron en la clase D ver Tabla 2.1 (UP, 2013) ver Tabla 3.3, 3.6 y 3.9 (Kingett Millaell *et al.*, 2005 y 2006 y Golder, 2010). El MCI en clase D indica que el índice biótico calidad del agua del Twin Streams, es muy mala.

El EPT se presentó moderado en el 2004, 2006 y 2010 en el Sistema I (Tabla 2.1, 3.3, 3.6 y 3.9) y pobre en el 2004 y 2006, pero muy bueno en el 2010 (ANZECC, 2000). Los valores del EPT son generalmente sensibles a los cambios en la calidad del agua y el hábitat y dan una buena indicación del 'rango de salud '. Las puntuaciones altas de EPT

indican agua y/o hábitat de alta calidad, mientras que las puntuaciones bajas indican típicamente agua y/o hábitat de baja calidad.

Estas correlaciones indican que tienen un origen común y similitud geoquímica (Knudson *et al.*, 1977). Los demás parámetros indican una correlación  $r < 0,5$  de pobre a muy pobre. Además se observa que entre los metales pesados (Zn, Pb1, Cu1 y Zn1), existe una fuerte dependencia lineal positiva ( $r > 0,5$ ), con un nivel de significación de  $p < 0,01$ , lo que significa que el incremento de uno de los metales también se corresponde con los restantes. Por otro lado, la OD, pH, TE y TOxN están correlacionados con los metales (Zn, Pb, Cu1 y Zn1).

Los indicadores de mayor prioridad según el comportamiento en el Sistema I y II de los años 2004, 2006 y 2010 son: Zn1, Zn, Cu1, Cu, Pb1, *E.coli*, TSS, TOxN, NH4-N los cuales tienen una afectación en la reducción del OD que estos a su vez afectan a los macroinvertebrados y al Habitat Score en las aguas de los Twin Streams.

Los resultados de los parámetros físico-químicos y biológicos del agua de los Twin Streams, Auckland, New Zealand se encuentran en la Tabla 3.9, 3.10 y 3.11.

Tabla 3.8. Estadísticas descriptivas de las variables físico-químicas y biológicas del agua de los Twin Streams de Auckland, New Zealand en el 2004.

SISTEMA 1					SISTEMA 2				
2004									
Variable	Unidad	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
CE	µS/cm	124,000	219,000	181,333	30,035	100,000	150,000	127,500	26,300
OD	% saturado	72,000	96,200	86,160	7,521	78,870	95,320	87,300	9,216
pH	Sin unidad	6,790	7,790	7,150	0,284	6,000	7,000	6,375	0,435
TE	°c	14,500	16,800	15,727	0,791	9,000	13,100	10,375	1,854
TSS	mg/L	1,000	12,000	5,867	3,815	2,000	7,000	3,500	2,380
TU	NTU	2,300	28,100	11,827	6,828	7,000	10,000	8,500	1,291
NH4-N	mg/L	0,005	0,183	0,034	0,048	0,004	0,496	0,306	0,214
TOxN	mg/L	0,060	0,271	0,157	0,069	0,044	0,327	0,220	0,126
DRP	mg/L	0,006	0,056	0,014	0,014	0,003	0,045	0,018	0,019
Cu	mg/L	0,670	2,350	1,534	0,521	0,440	0,961	0,656	0,228
Zn	mg/L	0,750	20,700	8,463	7,539	0,776	4,500	2,707	1,778
Pb1	mg/kg	10,900	89,300	38,893	26,541	12,150	22,700	17,875	4,643
Cu1	mg/kg	17,300	53,300	32,360	9,491	14,750	22,500	19,263	3,255
Zn1	mg/kg	78,700	459,700	208,267	136,706	65,150	92,050	84,650	13,032
MCI	%	61,000	124,000	86,467	19,813	74,000	100,000	86,500	11,121
EPT	%	0,000	13,000	4,333	4,386	2,000	9,000	4,750	3,096
<i>E. coli</i>	NMP/100mL	173,000	7305,000	2715,800	2276,528	137,000	846,000	531,750	299,994

Nota:conductividad eléctrica (CE), oxígeno disuelto (OD), pH, temperatura (TE), sólidos suspendidos totales (TSS), turbidez, *Escherichia coli*, amonio (NH<sub>4</sub>-N), nitrógeno total (TOxN), fósforo disuelto (DRP), cobre (Cu) y zinc (Zn) disueltos en el agua, plomo (Pb1), cobre (Cu) y zinc (Zn) en el sedimento, macro invertebrados (MCI) y hábitat score (EPT).

Tabla 3.9. Estadísticas descriptivas de las variables físico-químicas y biológicas del agua de los Twin Streams de Auckland, New Zealand en el 2006.

SISTEMA I					SISTEMA 2				
2006									
Variable	Unidad	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
CE	µS/cm	101,400	708,000	307,327	252,298	110,000	170,000	140,000	29,439
OD	% saturado	41,000	54,000	48,700	3,927	88,650	112,150	98,355	11,659
pH	Sin unidad	6,795	7,495	7,072	0,182	6,400	7,000	6,600	0,271
TE	°C	13,850	17,230	16,245	0,946	9,000	16,210	11,278	3,319
TSS	mg/L	1,000	13,000	6,733	3,731	2,000	6,000	3,750	1,708
TU	NTU	3,550	22,200	12,073	5,504	7,000	11,000	9,000	1,633
NH4-N	mg/L	0,005	0,310	0,049	0,081	0,005	0,099	0,047	0,040
TOxN	mg/L	0,049	0,437	0,178	0,108	0,020	0,358	0,254	0,159
DRP	mg/L	0,004	0,071	0,019	0,019	0,003	0,086	0,031	0,038
Cu	mg/L	0,740	2,850	2,045	0,646	0,880	1,920	1,310	0,456
Zn	mg/L	1,350	33,400	15,276	12,639	1,550	10,420	4,973	3,843
Pb1	mg/kg	14,900	74,800	38,513	21,641	7,600	20,700	14,750	5,647
Cu1	mg/kg	18,000	59,000	31,753	10,029	8,500	24,300	18,025	7,599
Zn1	mg/kg	85,300	538,000	239,460	172,494	69,800	101,000	81,800	13,810
MCI	%	50,000	114,000	82,667	21,273	64,000	112,000	89,500	20,091
EPT	%	0,000	12,000	3,867	4,103	1,000	10,000	5,000	3,916
<i>E. coli</i>	NMP/100mL	380,000	18066,000	3524,267	4585,663	240,000	1190,000	827,500	427,428

Tabla 3.10. Estadísticas descriptivas de las variables físico-químicas y biológicas del agua de los Twin Streams de Auckland, New Zealand en el 2010.

SISTEMA I					SISTEMA 2				
2010									
Variable	Unidad	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
CE	μS/cm	90,000	150,000	121,800	18,159	120,000	140,000	127,500	9,574
OD	% saturado	91,960	120,260	103,838	6,621	97,510	106,380	100,575	3,970
pH	Sin unidad	6,800	7,200	6,993	0,133	6,700	7,000	6,800	0,141
TE	°C	11,100	12,100	11,547	0,325	9,900	10,900	10,300	0,490
TSS	mg/L	2,990	14,000	6,799	3,279	3,000	7,000	4,750	1,708
TU	NTU	4,800	16,000	11,339	3,350	7,100	11,000	9,500	1,675
NH4-N	mg/L	0,002	0,063	0,015	0,017	0,002	0,120	0,040	0,056
TOxN	mg/L	0,110	0,580	0,221	0,124	0,068	0,300	0,186	0,132
DRP	mg/L	0,000	0,050	0,010	0,013	0,004	0,007	0,005	0,002
Cu	mg/L	0,001	0,025	0,004	0,007	0,001	0,002	0,001	0,000
Zn	mg/L	0,002	0,051	0,020	0,020	0,001	0,013	0,006	0,005
Pb1	mg/kg	11,000	65,000	33,600	18,875	11,000	28,000	21,000	7,439
Cu1	mg/kg	13,000	48,000	26,467	8,814	16,000	24,000	20,500	3,317
Zn1	mg/kg	55,000	280,000	137,667	78,337	48,000	110,000	87,500	29,456
MCI	%	74,000	125,000	94,733	15,989	78,000	115,000	95,000	17,068
EPT	%	1,000	14,000	6,200	4,296	4,000	71,000	39,000	33,456
<i>E. coli</i>	NMP/100mL	1,000	1600,000	585,400	426,883	34,000	600,000	228,500	253,842

## ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (ACP)

Los resultados del ACP para el Sistema I muestran las variables de contaminación que están asociados a los diferentes factores: las que se asocian al primer factor (D1) fueron las que tienen probablemente origen de contaminantes derivados de los techos, gasolinas e industrias (TOxN, NH<sub>4</sub>-N, Zn, Zn1 y Pb1); las que se asocian al segundo factor (D2) fueron las aguas residuales urbanas (CE, pH, DRP, MCI y EPT); las que se asocian al tercer factor (D3) fue probablemente el intemperismo de rocas y suelos (Cu1) y las que se asocian al cuarto factor (D4) fueron los provocados por desechos humanos y de animales (TSS, TU, DRP, *E.coli*).

Los resultados para el Sistema II muestran las siguientes variables: para el primer factor (D1) fueron las que se asocian al intemperismo de rocas y suelos, y metales derivados de los techos y de gasolina: Cu, Cu1, Zn, Zn1, Pb1 y MCI; para el segundo factor (D2) las que se asocian a la escorrentía, (arrastre de materiales orgánicos y residuos agrícolas): TSS, TU, TOxN y NH<sub>4</sub>-N y para el tercer factor (D3) fueron las que se asocian la contaminación por desechos humanos y de animales (CE, OD, EPT y *E.coli*).

Para el Sistema I se seleccionaron cuatro factores donde la varianza acumulada fue mayor o igual a 80% en los tres años (Tabla 3.12).

Tabla 3.11. Valores propios de los ejes seleccionados y porcentaje de la Varianza explicada del Sistema I.

Combinaciones Lineales	SISTEMA I								
	2004			2006			2010		
	Valor Propio	Porcentaje	Porcentaje Acumulado	Valor Propio	Porcentaje	Porcentaje Acumulado	Valor Propio	Porcentaje	Porcentaje Acumulado
<b>F1</b>	9,071	53,357	53,357	8,598	50,577	50,577	7,248	42,636	42,636
<b>F2</b>	2,454	14,434	67,792	2,140	12,587	63,164	2,489	14,639	57,274
<b>F3</b>	1,657	9,745	77,536	1,719	10,110	73,273	1,984	11,668	68,942
<b>F4</b>	1,199	7,055	84,591	1,330	7,823	81,096	1,861	10,946	79,888

Para el Sistema II, se seleccionaron tres factores principales dado que se alcanzó una varianza acumulada de 100% (Tabla 3.13).

Tabla 3.12. Valores propios de los ejes seleccionados y Porcentaje de la Varianza explicada del Sistema II.

Combinaciones Lineales	SISTEMA II								
	2004			2006			2010		
	Valor Propio	Porcentaje	Porcentaje Acumulado	Valor Propio	Porcentaje	Porcentaje Acumulado	Valor Propio	Porcentaje	Porcentaje Acumulado
<b>F1</b>	11,021	64,830	64,830	10,122	59,544	59,544	11,449	67,348	67,348
<b>F2</b>	4,852	28,543	93,372	5,867	34,511	94,055	3,267	19,216	86,564
<b>F3</b>	1,127	6,628	100,000	1,011	5,945	100,000	2,284	13,436	100,000

## GRÁFICAS BILOT

En los gráficos Biplot representados por los ejes de coordenadas cartesianas D1 y D2, se muestran la posición de los sitios de muestreo: A y B en Upper Opanuku (UOP); C y D en Lower Opanuku (LO); E, F y G en Upper Oratía (UO); H, I y O en Henderson Creek South (HCS); J, K y L en Upper Glen Eden (UGE); P y Q en Upper Swanson (US); R y S en Ranui (RA) y las 17 variables físico-químicas y biológicas del agua en la cuenca Twin Streams.

Para el análisis de los componentes principales se sigue el siguiente orden de evaluación:

- 1) Los sitios que se encuentran en el cuadrante D1+, D2+ son los que tienen el mayor impacto de contaminantes derivados de metales pesados producidos por la escorrentía de los techos, de gasolinas y de industrias (TOxN, NH<sub>4</sub>-N, Zn, Zn1 y Pb1) más los derivados de las aguas residuales urbanas (CE, pH, DRP, MCI y EPT).
- 2) Los sitios que se encuentran en el cuadrante D1+, D2- tienen contaminantes derivados de la escorrentía de los techos, de gasolinas y de industrias (TOxN, NH<sub>4</sub>-N, Zn, Zn1 y Pb1).
- 3) Los sitios que se encuentran en el cuadrante D1-, D2+ tienen contaminantes derivados de las aguas residuales urbanas (CE, pH, DRP, MCI y EPT).
- 4) Los sitios que se encuentran en el cuadrante D1-, D2- no están afectados por los contaminantes anteriormente mencionados.

Las correlaciones entre las variables y los factores tras rotación Varimax del ACP en el Sistema I y II, se muestran en la Tabla 3.14 y 3.15.

Tabla 3.13. Correlaciones entre las variables y los factores tras rotación Varimax en el Sistema I:

SISTEMA I												
Factor	D1			D2			D3			D4		
Variable/ Año	2004	2006	2010	2004	2006	2010	2004	2006	2010	2004	2006	2010
<b>CE</b>	0,262	-0,572	0,585	0,784	0,021	-0,122	-0,362	0,145	0,520	0,303	0,483	0,208
<b>OD</b>	-0,236	-0,166	-0,843	0,289	0,282	0,211	0,503	-0,762	0,023	-0,656	0,434	0,192
<b>PH</b>	-0,317	-0,185	0,167	0,559	0,008	-0,195	0,564	-0,471	-0,778	-0,361	0,786	-0,245
<b>TE</b>	0,314	0,210	0,165	-0,604	0,768	0,168	0,107	-0,021	0,230	0,416	-0,339	0,765
<b>TSS</b>	0,249	0,360	0,131	0,087	0,129	0,253	0,081	0,839	0,116	0,929	0,081	0,878
<b>TU</b>	0,547	0,567	0,275	0,000	0,199	0,358	-0,229	0,675	0,179	0,684	-0,163	0,812
<b>NH4-N</b>	0,582	0,549	0,668	0,091	-0,244	-0,214	-0,610	0,033	0,212	-0,034	-0,425	0,573
<b>TOxN</b>	0,653	0,769	0,796	0,112	-0,316	0,392	-0,277	0,304	-0,092	0,584	-0,339	0,294
<b>DRP</b>	-0,346	-0,160	-0,016	0,800	-0,151	-0,543	0,076	-0,027	-0,169	-0,117	0,891	0,679
<b>Cu</b>	0,271	0,097	0,169	-0,408	0,248	-0,125	0,067	0,831	0,830	0,782	-0,163	-0,210
<b>Zn</b>	0,792	0,777	0,813	-0,123	0,032	0,033	-0,234	0,498	0,490	0,392	-0,254	0,197
<b>Pb1</b>	0,604	0,756	0,520	0,014	0,421	0,662	0,145	0,293	0,127	0,721	-0,146	0,155
<b>Cu1</b>	0,255	0,176	-0,071	-0,271	0,876	0,926	0,803	0,172	-0,049	0,171	0,060	0,223
<b>Zn1</b>	0,888	0,818	0,714	0,031	0,461	0,483	0,061	0,217	0,191	0,398	-0,092	0,304
<b>MCI</b>	-0,861	-0,759	-0,328	0,340	-0,267	-0,158	-0,053	-0,361	-0,626	-0,277	0,190	-0,137
<b>EPT</b>	-0,777	-0,492	-0,558	0,505	-0,312	-0,213	0,039	-0,491	-0,641	-0,295	0,590	-0,352
<b><i>E.coli</i></b>	0,349	0,760	0,175	-0,149	0,255	-0,043	-0,097	0,040	0,781	0,783	-0,079	0,266

Nota:conductividad eléctrica (CE), oxígeno disuelto (OD), pH, temperatura (TE), sólidos suspendidos totales (TSS), turbidez, *Escherichia coli*, amonio (NH<sub>4</sub>-N), nitrógeno total (TOxN), fósforo disuelto (DRP), cobre (Cu) y zinc (Zn) disueltos en el agua, plomo (Pb1), cobre (Cu) y zinc (Zn) en el sedimento, macro invertebrados (MCI) y hábitat score (EPT).

Tabla 3.14. Correlaciones entre las variables y los factores tras rotación Varimax en el Sistema II:

SISTEMA II									
Factor	D1			D2			D3		
Variable/Año	2004	2006	2010	2004	2006	2010	2004	2006	2010
<b>CE</b>	0,787	-0,498	0,958	0,464	0,063	0,068	-0,407	-0,865	0,280
<b>OD</b>	-0,791	0,336	-0,306	-0,342	-0,180	-0,939	0,506	0,924	-0,158
<b>PH</b>	-0,103	0,244	-0,444	-0,982	0,831	-0,896	-0,156	0,500	-0,022
<b>TE</b>	-0,183	0,031	0,482	-0,978	-0,809	0,062	-0,104	0,587	0,874
<b>TSS</b>	-0,403	0,008	-0,342	0,567	0,998	0,939	0,718	0,068	0,031
<b>TU</b>	0,870	-0,654	0,269	0,491	0,522	0,747	-0,051	-0,547	0,608
<b>NH4-N</b>	0,053	0,455	0,996	0,990	0,881	0,062	0,132	-0,129	0,070
<b>TOxN</b>	0,665	-0,210	0,745	0,743	0,831	0,091	-0,072	-0,516	0,661
<b>DRP</b>	0,996	-0,879	-0,382	0,012	0,013	-0,855	0,084	-0,477	-0,352
<b>Cu</b>	0,956	-0,756	0,602	0,293	0,173	0,158	0,030	-0,631	0,783
<b>Zn</b>	0,844	-0,833	0,262	0,461	0,237	0,227	-0,273	-0,499	0,938
<b>Pb1</b>	-0,077	0,910	0,717	0,940	0,410	0,554	-0,332	0,056	0,424
<b>Cu1</b>	-0,980	0,702	0,728	0,197	0,000	0,667	-0,006	0,713	0,162
<b>Zn1</b>	0,319	0,536	0,630	0,948	0,594	0,531	0,021	0,600	0,566
<b>MCI</b>	-0,930	0,791	-0,785	0,124	0,303	-0,354	0,345	0,531	-0,509
<b>EPT</b>	-0,695	0,477	0,396	-0,715	-0,358	-0,661	0,080	0,803	-0,637
<i>E.coli</i>	0,620	-0,237	0,065	0,671	0,912	0,164	0,406	-0,334	0,984

## **ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES CON EL MÉTODO BILOT EN EL SISTEMA I y AÑO 2004**

Tal como se ve en el Gráfico Bilot del año 2004 del Sistema I, en el cuadrante D1+ y D2+ que es la suma de la contaminación producida por escorrentía de los techos, de gasolinas, de industrias y de aguas residuales urbanas, se encuentran presentes los sitios L y K (UGE), M y N (GE) ubicados en la parte alta y el sitio I (HCS) de la parte media. En el cuadrante D1+ y D2- se encuentra el sitio D (LO) de la parte media que está influenciado por arrastres de metales derivados de los techos y gasolina e industrias. En los cuadrantes D1- y D2+ se encuentran los sitios de muestreo: J (UGE) y E y F (UO) de la parte alta, que están afectados por los vertidos de aguas residuales urbanas. En el cuadrante D1- y D2- se ubican los sitios de muestreo: A y B (UOP), G (UO) de la parte alta y de la parte media O y H (HCS); C (LO) del Sistema I que no se encuentran influenciados por ningún factor ver figura 1. Esto demuestra que la corriente principal de la parte alta de Ensenada de Henderson (UGE, GE) y la parte baja (HCS) es la más contaminada debido a la suma de factores urbanos e industriales que congrega una población de aproximadamente 28,700 habitantes en contraste de con la zona de Lower Opanuku con una población aproximada de 9,750 habitantes.

## **ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES CON EL MÉTODO BILOT EN EL SISTEMA II y AÑO 2004**

Tal como se ve en el Bilot del año 2004 del Sistema II, en el cuadrante D1+ y D2+, se muestra la posición del sitio de muestreo R (RA) de la parte media que son los que tienen el mayor impacto de contaminantes derivados de metales pesados producidos por la escorrentía de los techos, de gasolinas y de industrias (TOxN, NH<sub>4</sub>-N, Zn, Zn1 y Pb1) más los derivados de las aguas residuales urbanas (CE, pH, DRP, MCI y EPT). En el cuadrante D1+ y D2- se encuentra el sitio S (RA) de la parte media el cual se encuentran influenciados por arrastres de metales derivados de los techos y gasolina e industrias. En el cuadrante D1- y D2+ se encuentra el sitio de muestreo Q (US) de la parte alta influenciado

por vertidos de las aguas residuales urbanas. En el cuadrante D1- y D2- se ubica el sitio de muestreo P (US) que no fue significativa la contaminación ver Figura 2. Esto demuestra que la corriente principal de la parte media de Ensenada de Huruhuru que fue evaluada por el sitio R parte alta y sitio S de la parte baja de la subcuenca Ranui es la más contaminada debido a la suma de factores urbanos e industriales que congrega una población de aproximadamente 7,300 habitantes en contraste con la zona de Upper Swanson representada por los sitio P y Q que tienen menor contaminación y una población aproximada de 1,950 habitantes.

## **ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES CON EL MÉTODO BIPLLOT EN EL SISTEMA I y AÑO 2006**

Tal como se ve en el Biplot del año 2006 del Sistema I, en el cuadrante D1+ y D2+, se repite la presencia de los sitios de muestreo: L (UGE) y N (GE) de la parte alta y I (HCS) de la parte media del Sistema que mantienen una gran similitud en sus contaminantes con los encontrados en el 2004. Mientras que en el cuadrante D1+ y D2- se encuentran los sitios K (UGE), E (UO), M (GE) de la parte alta y O (HCS) de la parte media I esto indica que los sitios K y M no tengan la presencia de vertidos de aguas residuales como se presentó en el 2004. En el cuadrante D1- y D2+ se encuentran en los sitios de muestreo: G (UO) y B (UOP) de la parte alta, C y D (LO), y H (HCS) de la parte media del Sistema I esto indica que el sitio D tuvo un cambio en su contaminación a vertidos de aguas residuales. Sin embargo el sitio B, C, G y O tuvieron la presencia de vertidos de aguas residuales urbanas, comparados con el 2004 que no fueron significativos, el sitio H se mantiene como en el 2004 y el D no fue significativo, sin embargo en el 2004 estuvo influenciado por arrastres de metales derivados de los techos y gasolina e industrias. En el cuadrante D1- y D2- se encuentran en los sitios de muestreo: A (UOP), J (UGE) y F (UO) de la parte alta del Sistema I, no se encuentran influenciados por ningún factor donde el sitio A, se comportó igual que en el 2004 y los sitios J y F se eliminó la presencia de los vertidos aguas residuales urbanas ver Figura 3.

## **ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES CON EL MÉTODO BILOT EN EL SISTEMA II y AÑO 2006**

Tal como se ve en el Biplot del año 2006 del Sistema II, en el cuadrante D1+ y D2+, se muestra la posición del sitio de muestreo Q (US) de la parte media tuvo un incremento en la contaminación con relación al año 2004. En el cuadrante D1+ y D2- se encuentra los sitios P (US) de la parte alta y R (RA) de la parte media esto significa que el sitio P incremento su contaminación debido a que en el año 2004 no fue significativo. En el cuadrante D1- y D2+ se encuentra el sitio de muestreo S (RA) de la parte media el cual mantuvo su contaminación con relación al 2006. En el cuadrante D1- y D2- no tuvo influencia ningún factor en ningún sitio ver Figura 4.

## **ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES CON EL MÉTODO BILOT EN EL SISTEMA I y AÑO 2010**

Tal como se ve en el Biplot del año 2010 del Sistema I, en el cuadrante D1+ y D2+ se repite la presencia de los sitios de muestreo L (UGE) de la parte alta y, I (HCS) de la parte media con relación al 2004 y 2006 y N (GE) de la parte alta se mantiene igual que en el año 2004 y se registra por primera vez el sitio O (HCS) de la parte media. En el cuadrante D1+ y D2- se encuentran los sitios K (UGE) y M (GE) de la parte baja los cuales tuvieron una reducción en la contaminación con relación al año 2004 ya que nada más hubo presencia de vertidos de aguas residuales urbanas y esta misma contaminación se mantiene en el 2006 en los mismos sitios. En el cuadrantes D1- y D2+ se encuentran los sitios de muestreo G (UO) y B (UOP) de la parte alta, D (LO), y H (HCS) de la parte media esto indica que los sitios B, G y H tengan incremento en la contaminación con relación al 2004 y que el sitio D tenga un cambio en el comportamiento de la contaminación a vertidos de aguas residuales urbanas con relación a este mismo año. En el cuadrante D1- y D2- se ubican en los sitios de muestreos A (UOP), C (LO), J (UGE), E y F (UO) el cual se mantiene su comportamiento en un estado natural sin afectación como en el 2004 y el 2006 ver Figura 5.

## ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES CON EL MÉTODO BILOT EN EL SISTEMA II y AÑO 2010

Tal como se ve en el Biplot del año 2010 del Sistema II, en el cuadrante D1+ y D2+ el sitio de R (RA) de la parte media se mantiene en el 2004 y en el 2006 se dio una disminución en la contaminación debido a que únicamente tuvo presencia de arrastres de metales derivados de los techos y gasolina e industrias. En el cuadrante D1+ y D2- no tuvo influencia ningún factor en ningún sitio. En el cuadrante D1- y D2+ se encuentran en los sitios Q (US) y S (RA) de la parte media del Sistema tuvo una influencia de vertidos de aguas residuales urbanas incrementando su contaminación con relación al 2004 y en el 2006 tuvo un cambio en su comportamiento debido a que tuvo cambio en la contaminación. En el cuadrante D1- y D2- se ubica el sitio de muestreo P (US) el cual no fue significativa su contaminación comportándose igual que en el año 2004. Sin embargo en el 2006 tuvo presencia de arrastres de metales derivados de los techos y gasolina e industrias ver Figura 6.

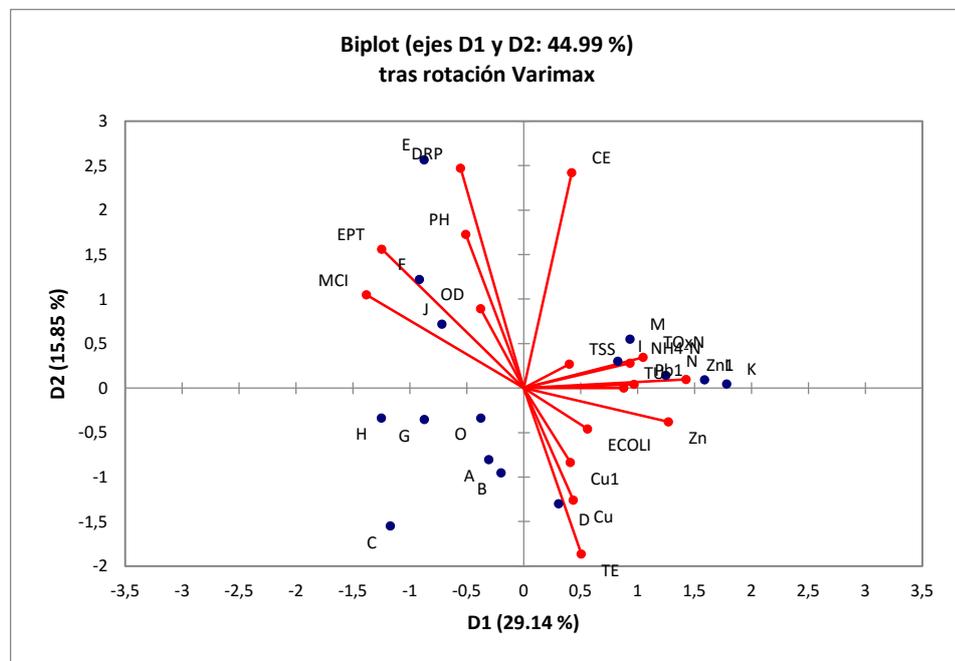


Figura 3.1 Plano Factorial ACP del Sistema I en 2004

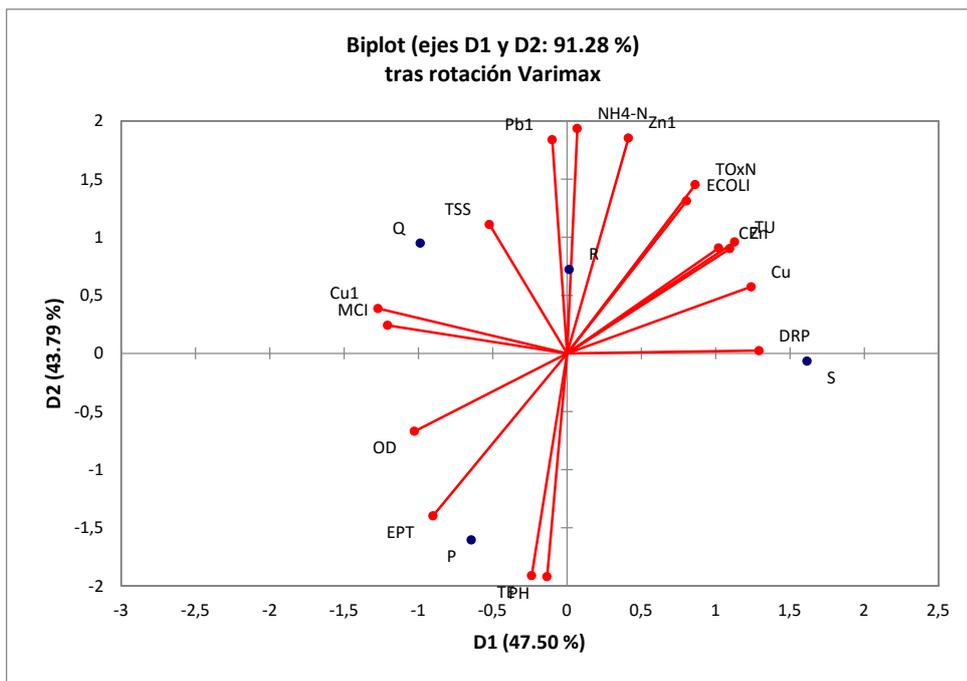


Figura 3.2. Plano Factorial ACP del Sistema II en 2004

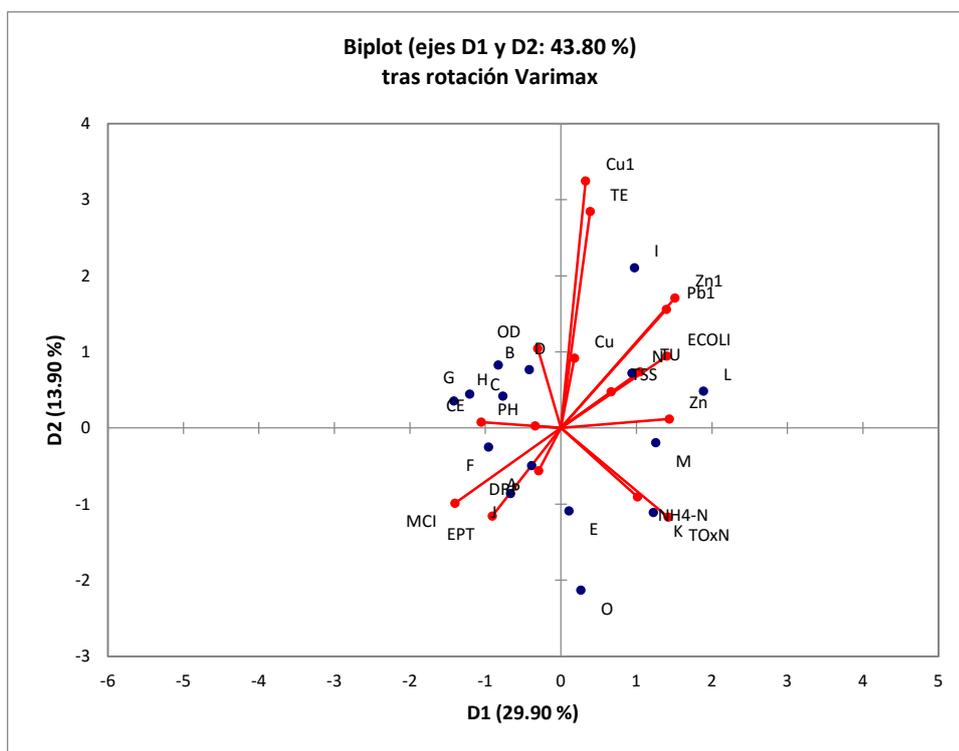


Figura 3.3. Plano Factorial ACP del Sistema I en 2006

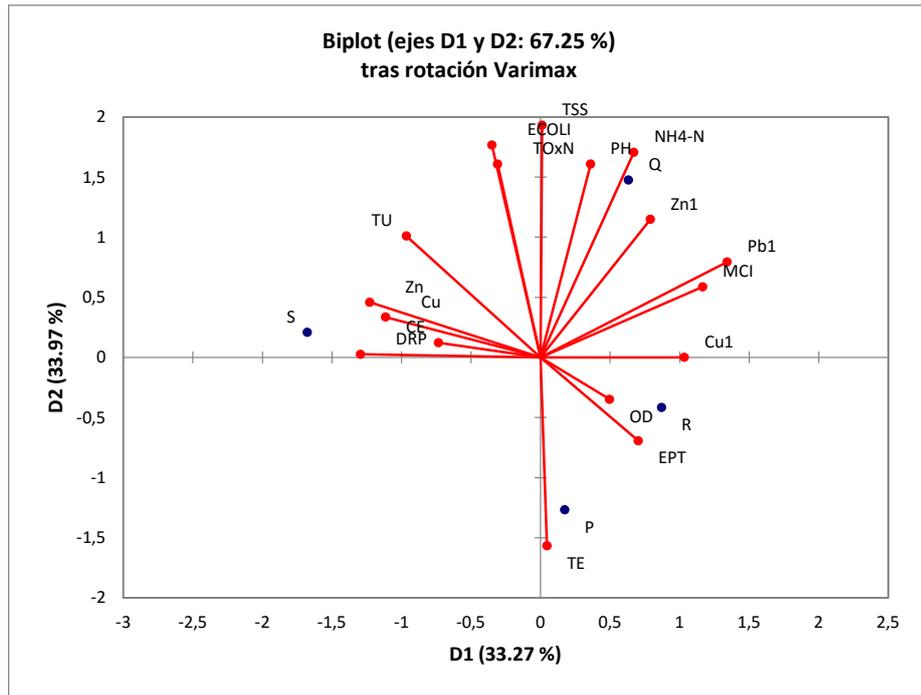


Figura 3.4. Plano Factorial ACP del Sistema II en 2006.

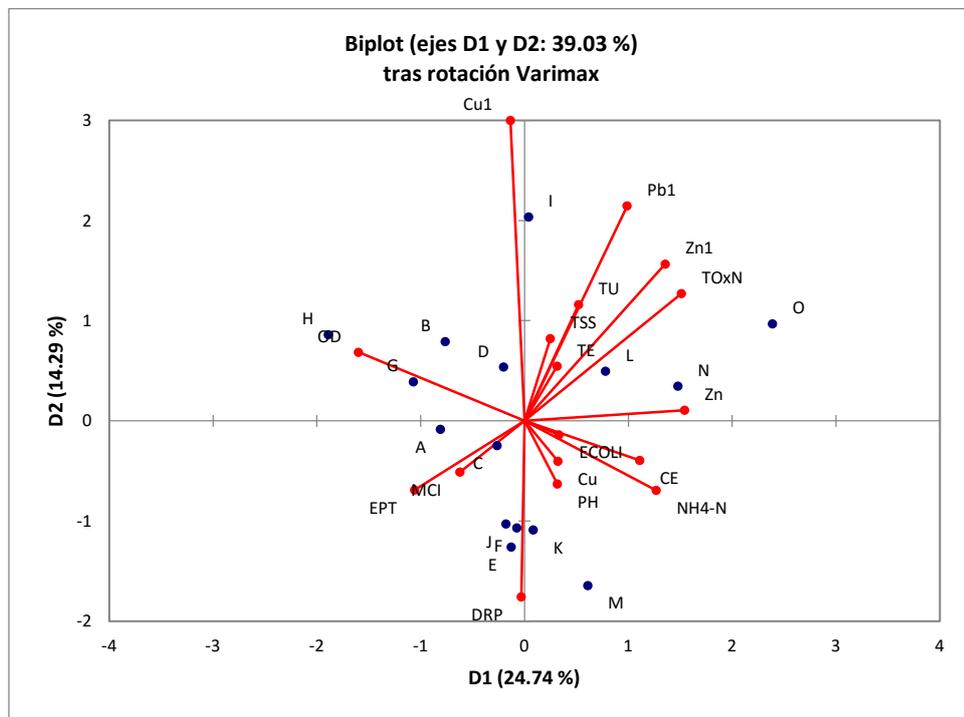


Figura 3.5. Plano Factorial ACP del Sistema I en 2010

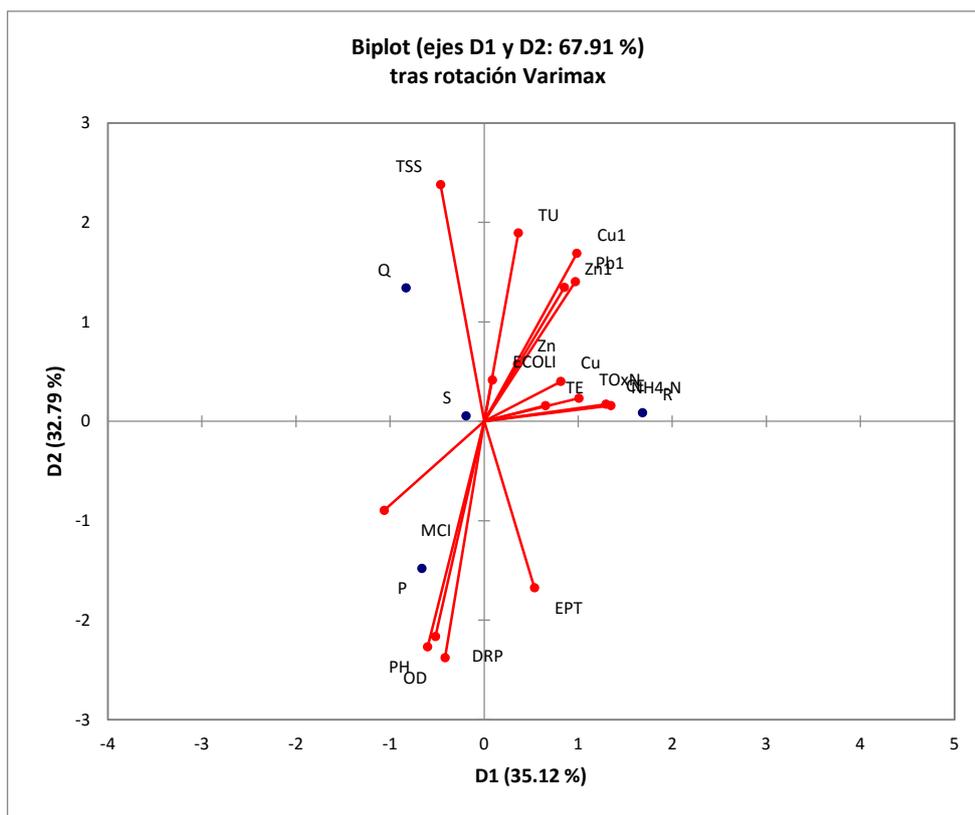


Figura 3.6. Plano Factorial ACP del Sistema II en 2010

## ANÁLISIS DE CLUSTER JERÁRQUICO EN EL SISTEMA I y AÑO 2004

El análisis de Cluster Jerárquico (ACJ) (Figura 3.7) del año 2004 del Sistema I, mostró dos grupos. El grupo 1 contiene al sitio J (Arroyo Hibernia) que corresponde al área más alta de la subcuenca de Upper Glen Eden y no presenta similitud con los otros sitios del Sistema. El grupo 2 está a su vez dividido en dos subgrupos de los cuales el subgrupo 2.1, reúne a la mayoría de los sitios muestreados, y se puede identificar la asociación estrecha entre los sitios L (Arroyo Whakarino, UGE) y N (Arroyo Waikumete, GE) de la parte alta de cada subcuenca, por otro lado, K (Arroyo Waikumete, UGE), M (Arroyo Waikumete, GE) y I (Arroyo Oratía, HCS) están agrupados entre ellos y todos tienen similitud en su comportamiento debido a que se encuentran afectados por los factor D1+ D2+, tal como se puede observar en gráfico biplot de ese año (Figura 3.1). Además los sitios B Arroyo

Opanuku, UOP) y C (Arroyo Oratía, LOP), G (Arroyo Opanuku, UO), H (Arroyo Oratía, HCS) y O (Arroyo Waikumete, HCS) no tuvieron significancia en su comportamiento con otros sitios y el sitio D (Arroyo Potter, LOP) solamente está afectado por el factor D1. El subgrupo 2.2, contiene tres sitios, el sitio E (Arroyo Potter) no presenta similitud con otro sitio debido que se encuentra por fuera de la línea de significancia, pero está afectado por las contaminaciones del factor D2+ al igual que el sitio F (Arroyo Oratía, UO) de la parte alta que se encuentra ligado al sitio A (Arroyo Opanuku, UOP) que no muestra contaminación por encontrarse en el cuadrante D1-D2-.

Los resultados demuestran que en el ACJ del 2004, la afectación en el Sistema I partió de vertidos de aguas residuales urbanas en el Arroyo Hibernia (J) de la subcuenca Upper Glen Eden, que se conecta aguas abajo con el Arroyo Potter (E) y el Arroyo Oratia (F) ambos de la subcuenca de Upper Oratia. La contaminación se incrementa por arrastres de metales derivados de los techos y gasolina e industrias aguas abajo en el Arroyo Opanuku (D) de la subcuenca de Lower Opanuku. Sin embargo, la mayor contaminación fue en el Arroyo Waikumete (K) que se conecta aguas abajo con el Arroyo Whakarino (L) ambas se localizan en la subcuenca de Upper Glen Eden y es una corriente continua del Arroyo Waikumete (M y N) de la subcuenca de Glen Eden. Además, en la parte baja de la subcuenca de Henderson Creek South se interceptan con el Arroyo Oratia (I) y aguas abajo con el Arroyo Opanuku (D) de la subcuenca de Lower Opanuku. Esto conlleva a una acumulación de los contaminantes que se descargan a la corriente principal de Ensenada de Henderson que toman como cuerpo receptor el Puerto de Waitemata.

## **ANÁLISIS DE CLUSTER JERÁRQUICO EN EL SISTEMA II y AÑO 2004**

El ACJ (Figura 3.8) del 2004 del Sistema II, mostró dos grupos. El grupo 1 contiene al sitio P (Arroyo Swanson) el cual no tuvo relación con otros sitios. El grupo 2 a su vez se divide en dos subgrupos; uno de ellos contiene al sitio R (Arroyo Swanson, RA), parte más alta de la subcuenca de Ranui que no muestra similitud con otros sitios por encontrarse

fuera de la línea de significancia, dado que es el único que se encuentra afectado por el factor D1+D2+. El subgrupo 2.2 se encuentran los sitios Q (Arroyo Swanson, US) que se ubica en la parte alta de la subcuenca de Upper Swanson que está afectado por el factor D2 y el sitio S (Arroyo Swanson, RA) ubicado en la parte baja de la subcuenca de Ranui que se encuentra afectado por el factor D1.

Los resultados demuestran que en el ACJ del 2004 en el Sistema II, que los sitios de muestreo que tienen influencia en la corriente principal de Ensenada de Huruhuru inician con afectación de vertidos de aguas residuales urbanas fueron: el Arroyo Upper Swanson (Q) de la parte baja de la subcuenca de Upper Swanson y en el mismo arroyo se incrementa su contaminación por arrastres de metales derivados de los techos y gasolina e industrias en el sitio S, que se localiza en la parte baja de la subcuenca de Ranui el cual tiene una descarga directamente al Puerto de Waitemata.

## **ANÁLISIS DE CLUSTER JERÁRQUICO EN EL SISTEMA I y AÑO 2006**

El ACJ (Figura 3.9) del 2006 del Sistema I, mostró dos grupos principales. El grupo 1 agrupa a los sitios E (Arroyos Potter, UO) y F (Arroyo Oratía, UO), ambos de la parte alta de la subcuenca de Upper Oratía con comportamiento similar y están afectados por el factor D2+. El grupo 2 se divide a su vez en dos subgrupos: el subgrupo 2.1 que está formado por los sitios D (Arroyo Potter, LOP) y C (Arroyo Oratía, LOP), y el sitio G (Arroyo Opanuku, UO) los cuales tuvieron significativa en su comportamiento y están influenciados por el factor D2+. El subgrupo 2.2, está formado por dos grupos, el 2.2.1 que agrupa a un gran número de sitios entre los que se destacan los sitios K(Arroyo Waikumete), M (Arroyo Waikumete) y O (Arroyo Waikumete, HCS) que se encuentran influenciados por el factor D1+ mientras que los sitios L (Arroyo Whakarino), N (Arroyo Waikumete, GE) y I (Arroyo Oratía) se encuentran en el factor D1+D2+ y H (Arroyo Oratía) se encuentra afectado solo por el factor D2+. El subgrupo 2.2.2, formado por el sitio A (Arroyo Opanuku UOP) está en forma separada del pequeño grupo de los sitios J

(Arroyo Hibernia, UGE) y B (Arroyo Opanuku, UOP) que indicaría un comportamiento muy similar, sin embargo, el sitio J no está influenciado por ningún factor y el sitio B se encuentra en el factor D2+.

Los resultados demuestran que en el ACJ del 2006, partió de vertidos de aguas residuales urbanas en el Arroyo Oratía (G) de la subcuenca Upper Oratía, que se conecta aguas abajo con el Arroyo Opanuku (B) que es una corriente continua de los sitios (C y D). Además la misma afectación continua en la parte baja del Arroyo Oratía (H) de la subcuenca de Henderson Creek todos estos sitios tienen diferente comportamiento que en el año 2004. Por otro lado el Arroyo de Waikumete (K y M) tienen una disminución en su contaminación y el arroyo Potter (E) tuvo un cambio en su contaminación con relación al 2004. Además hubo la presencia de contaminación por arrastres de metales derivados de los techos y gasolina e industrias en el Arroyo Waikumete (O) que se sitúa en la parte baja de Henderson Creek South. La contaminación con más afectación se encuentra en el Arroyo Whakarino (L), que se ubica en la parte baja de Upper Glen Eden y continua aguas abajo en el arroyo Waikumete (N) de la subcuenca de Glen Eden, conectándose con el Arroyo Oratía (I) en la parte baja de la subcuenca de Henderson Creek, por lo que existe una acumulación de contaminación desde el 2004 en la corriente principal de Ensenada de Henderson Creek e incrementando la contaminación del Puerto de Waitemata.

## **ANÁLISIS DE CLUSTER JERÁRQUICO EN EL SISTEMA II y AÑO 2006**

El ACJ (Figura 3.10) del 2006 del Sistema II, mostró dos grupos principales, el grupo 1 está formado por el sitio P (Arroyo Swanson, US) que al igual que en el análisis del año 2004 no mostró contaminación y el grupo 2 reúne a los otros tres sitios, todos con contaminación significativa, en el que individualiza el sitio Q (Arroyo Swanson, US) con presencia del factor D1+D2+ del conjunto que forman el sitio R que contiene el mismo factor y el sitio S pertenecientes al Arroyo Swanson (RA) solo por el factor D2+.

Los resultados demuestran que en el ACJ del 2006 en el Sistema II los sitios con mayor contaminación fueron el sitio R del Arroyo Swanson que se sitúa en la parte alta de la subcuenca Ranui el cual tuvo un incremento en su contaminación con relación al 2004 y en el mismo arroyo tiene la presencia de un nuevo sitio Q del Arroyo Swanson que se localiza en la parte alta de la subcuenca de Upper Swanson por lo que se incrementa su contaminación por arrastres de metales derivados de los techos y gasolina e industrias continuando la misma trayectoria del Arroyo Swanson en la parte baja de la subcuenca de Ranui se localiza el sitio S con afectación de vertidos de aguas residuales urbanas el cual mantuvo su contaminación con relación al 2004. Sin embargo el sitio P del Arroyo Swanson que se localiza en la parte alta de la subcuenca de Upper Swanson no fue significativo en ninguno de los dos años evaluados. Todos estos arroyos tienen influencia en la corriente principal de Ensenada de Huruhuru y toman como cuerpo receptor el Puerto de Waitemata.

## **ANÁLISIS DE CLUSTER JERÁRQUICO EN EL SISTEMA I y AÑO 2010**

El ACJ del 2010 (Figuras 3.11 y 3.12) mostró dos grupos principales, el grupo 1 está formado por dos subgrupos que se encuentran por debajo de la línea de significancia, lo que significa que los sitios están contaminados. El grupo subgrupo 1.1, contiene sólo al sitio L (Arroyo Whakarino UGE), que si bien está contaminado no muestra los problemas de los sitios que forman el subgrupo 1.2, que a su vez se divide en dos subgrupos con un numero desigual de sitios. El subgrupo 1.2.1, está formado por los sitios J (Arroyo Hiberniam, UGE) y B (Arroyo Opanuku, UOP) que se encuentran en la parte alta de la cuenca y el subgrupo 1.2.2, contienen al resto de los sitios que se encuentran algunos en la parte alta J (Arroyo Hibernia UGE), K y L (Arroyo Waikumete, UGE), M y N (Arroyo Waikumete, GE) G (Arroyo Oratia, UO), B (Arroyo Opanuku, UOP) y los sitios H y I (Arroyo Oratía, HCS) y O (Arroyo Waikumete, HCS); C y D (Arroyo Opanuku, LO) ubicados en la cuenca media de la cuenca. El grupo 2 contiene dos subgrupos en donde el sitio A (Arroyo Opanuku UOP) que no tiene afectación de contaminantes y el subgrupo

2.2, con los sitios E (Arroyo Potter, UO) y F (Arroyo Oratía, UO) que tienen problemas de contaminación pero no tan severos como los sitios del grupo 1.2.2.

Los resultados demuestran que en el ACJ del 2010 en el Sistema I, persisten los vertidos de aguas residuales urbanas en el Arroyo Opanuku (B) que es una corriente continua y de igual contaminación del sitio (D). Además persiste también la misma afectación en la parte baja del Arroyo Oratía (H) de la subcuenca de Henderson Creek. Todos estos sitios tienen la misma afectación desde el año 2004. Además el Arroyo de Waikumete (K y M) continúa con la misma afectación por arrastres de metales derivados de los techos y gasolina e industrias que en el año 2004. Por otro lado persiste la contaminación con afectación por arrastres de metales derivados de los techos y gasolina e industrias y aguas residuales urbanas en el Arroyo Whakarino (L), que se ubica en la parte baja de Upper Glen Eden y continua aguas abajo en el Arroyo Waikumete (N) de la subcuenca de Glen Eden, conectándose con el Arroyo Oratía (O y I) de la subcuenca de Henderson Creek, por lo que existe una acumulación de contaminación desde el 2004 teniendo un impacto ambiental significativo en la corriente principal de Ensenada de Henderson Creek y por lo tanto en el Puerto de Waitemata.

## **ANÁLISIS DE CLUSTER JERÁRQUICO EN EL SISTEMA II y AÑO 2010**

El sistema II, para el año 2010 muestra dos grupos, el grupo 1, contiene solamente el sitio S (Arroyo Swanson, RA) que no muestra contaminación, a diferencia de lo que se mostraba en el análisis de 2004 y 2006 que se encontraba en un grupo por debajo de la línea de significancia para contaminantes. El grupo 2 contiene dos subgrupos, uno de ellos el 2.2, tiene sólo al sitio P (Arroyo Swanson, US) que se separa del resto por encima de la línea de significancia, lo que significa que no tiene contaminación, mientras que el grupo 2.2, formado por los sitios Q (Arroyo Swanson, US) y R (Arroyo Swanson, RA) están mostrando contaminaciones de moderadas a severas

Los resultados demuestran que en el ACJ del 2010 en el Sistema II, al igual que en el 2004 persiste la afectación de vertidos de aguas residuales urbanas en el Arroyo Swanson (S) que se localiza en la subcuenca de Ranui, sin embargo disminuyó su contaminación con relación al 2004 y continua desde el año 2006 la presencia de afectación por arrastres de metales derivados de los techos y gasolina e industrias en el Arroyo Swanson (Q). Además el Arroyo Swanson (R) que se sitúa en la parte alta de la subcuenca Ranui tuvo nuevamente la presencia de afectación por arrastres de metales derivados de los techos y gasolina e industrias y aguas residuales urbanas como en el año 2004. Todos estos arroyos tienen influencia en la corriente principal de Ensenada de Huruhuru teniendo un impacto ambiental acumulativo en el Puerto de Waitemata.

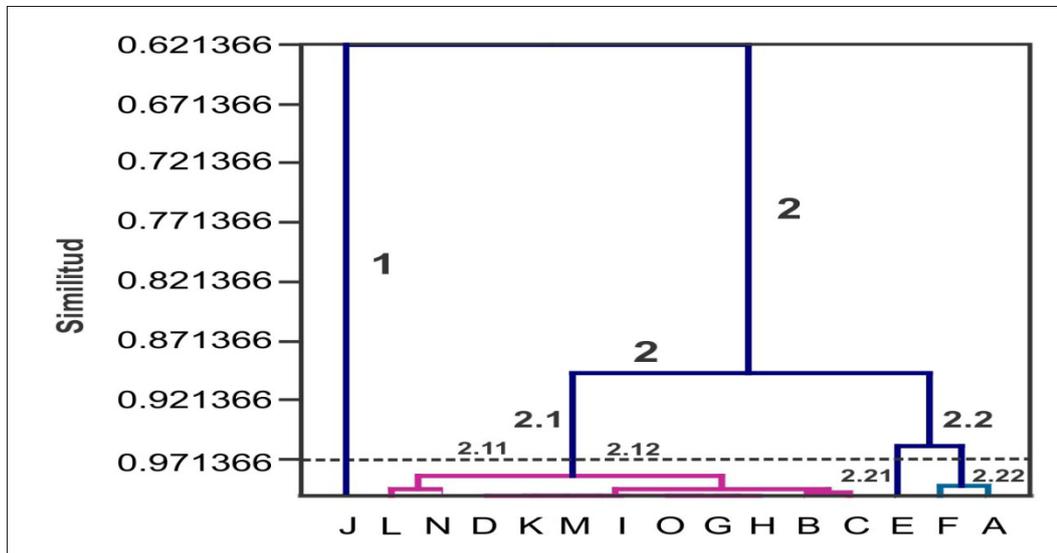


Figura 3.7. Dendrograma del ACJ de los sitios de muestreo del Sistema I en 2004.

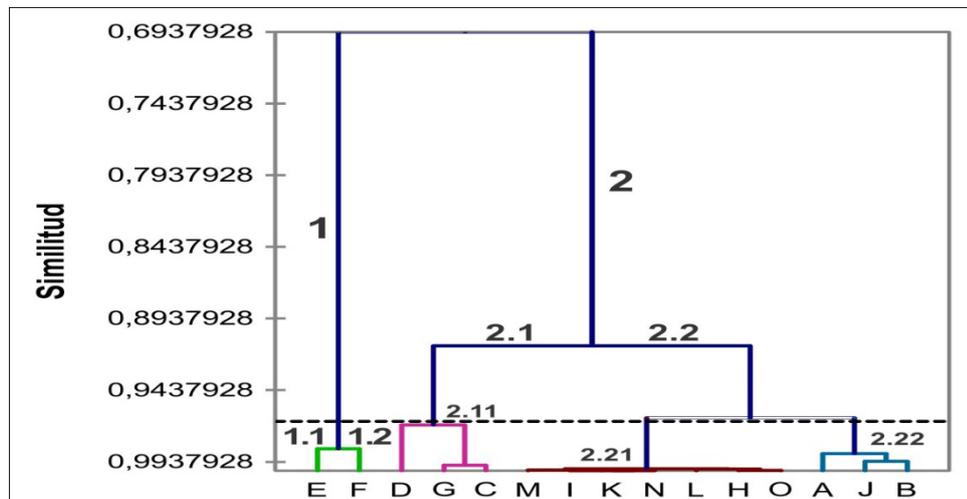


Figura 3.8. Dendrograma del ACJ de los sitios de muestreo del Sistema II en 2004.

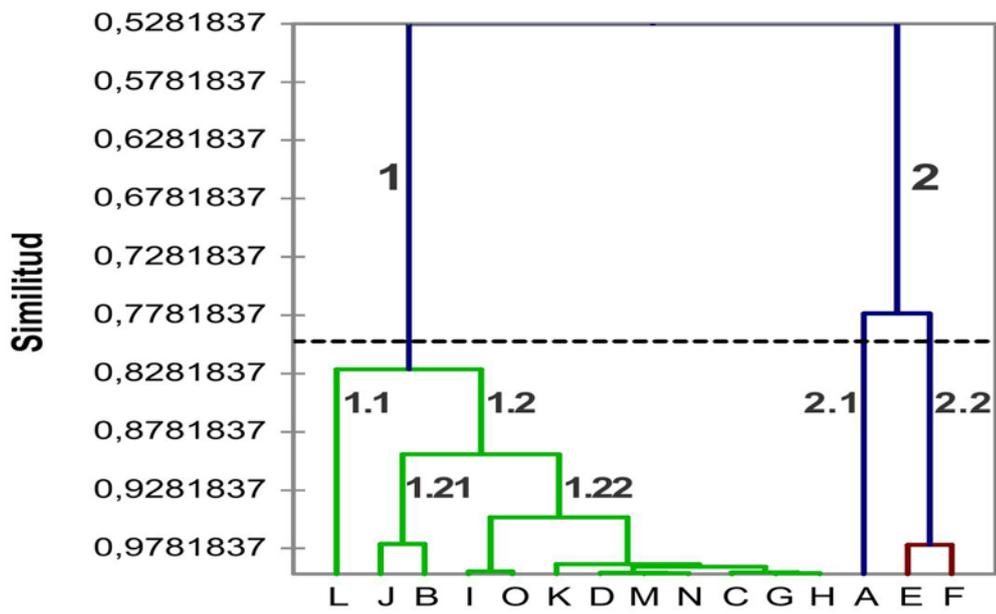


Figura 3.9. Dendrograma del ACJ de los sitios de muestreo del Sistema I en 2006.

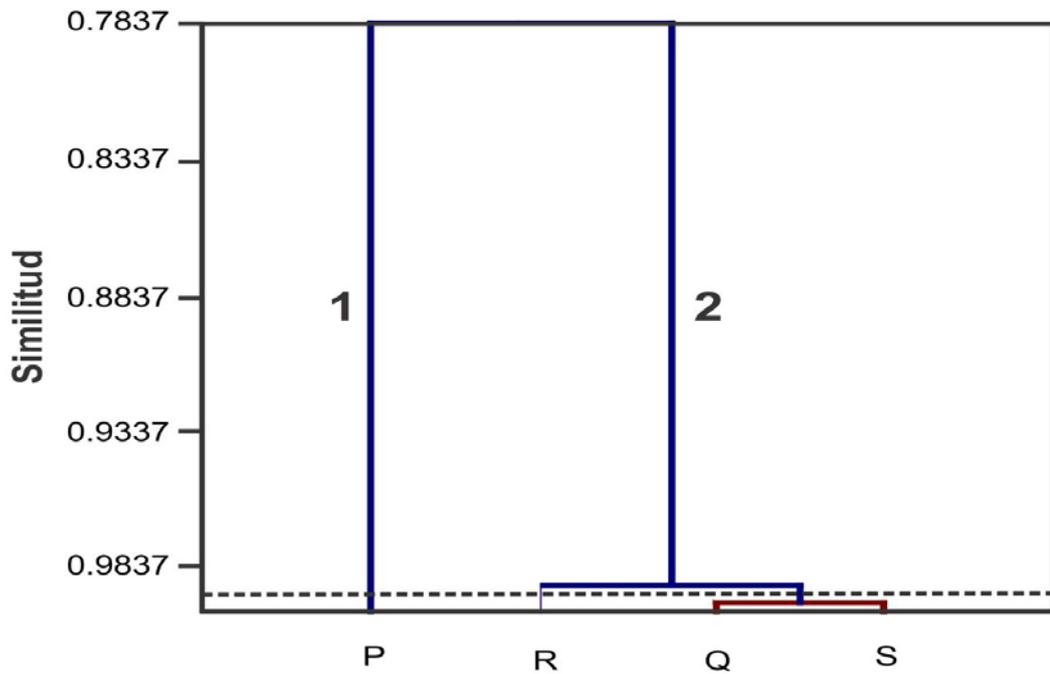


Figura 3.10. Dendrograma del ACJ de los sitios de muestreo del Sistema II en 2006.

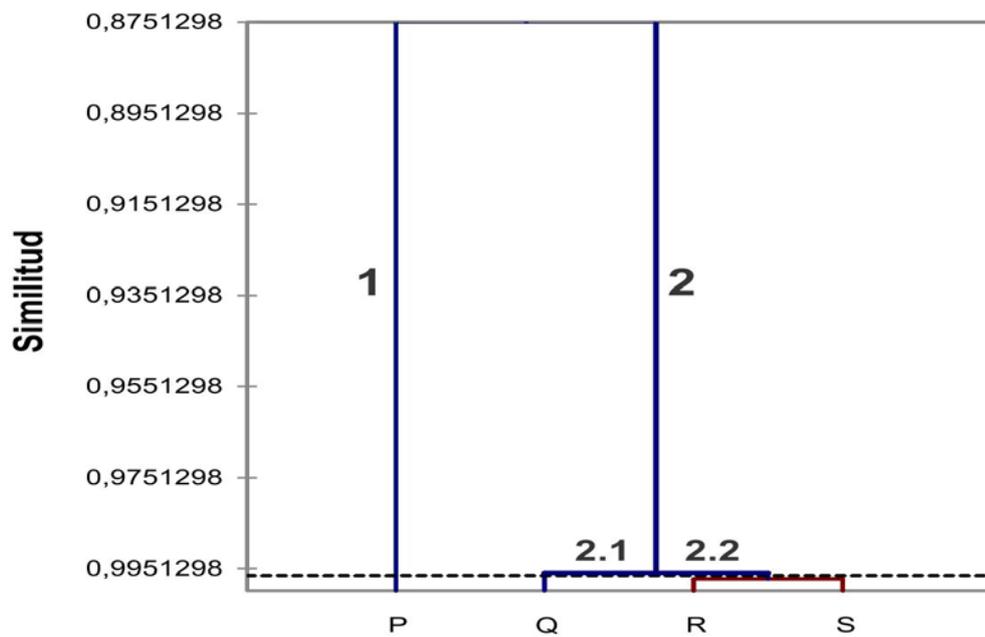


Figura 3.11. Dendrograma del ACJ de los sitios de muestreo del Sistema I en 2010.

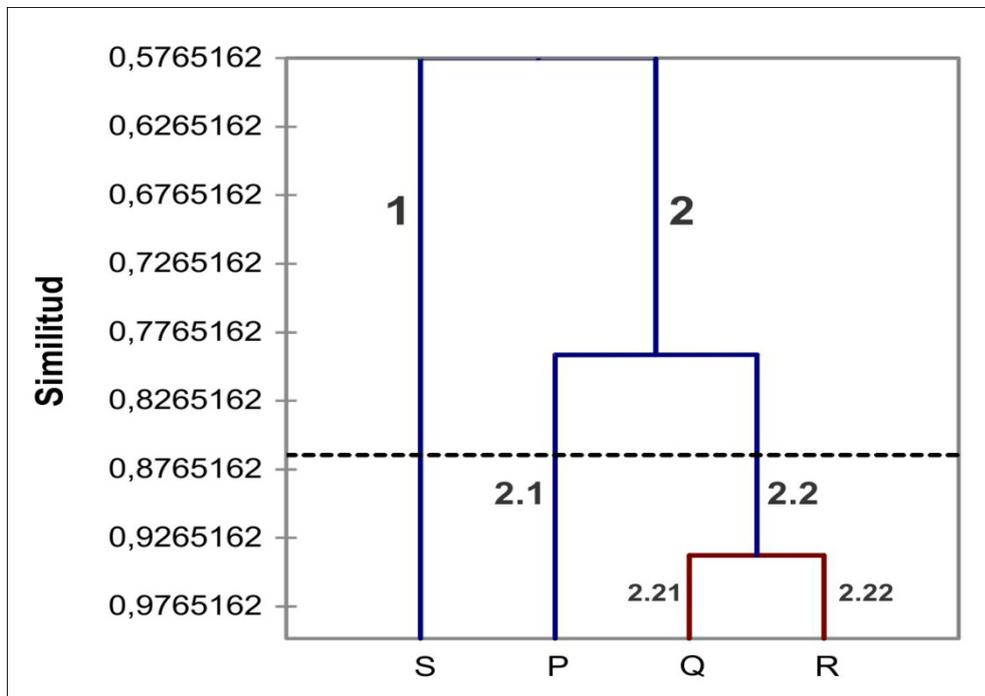


Figura 3.12. Dendrograma del ACJ de los sitios de muestreo del Sistema II en 2010.

## **EVALUACIÓN AMBIENTAL CUALITATIVA DEL ESTADO ACTUAL DE LA CUENCA**

Los resultados que se presentan son las observaciones de campo que tuvieron un impacto ambiental significativo según los criterios establecidos para el análisis de evaluación multicriterio Tabla 2.11. Este análisis tuvo lugar debido a la falta de integración de los monitoreos de Kingett Mitchell (2003/04 y 2005/06) y de Golder (2010) se realizaron de forma puntual. La metodología aplicada para esta presentación de tesis permitió evaluar el origen de las contaminaciones que intervienen en la cuenca estableciendo la causa-efecto en forma integral. Con enfoque sistémico y holístico se pudo establecer los factores natural y antropogénica que intervienen a lo largo de la cuenca de los Twin Streams como la base para desarrollar un Sistema de Manejo Integral para la Sustentabilidad de cualquier otra Cuenca.

## **EVALUACIÓN CUALITATIVA DEL SISTEMA I**

### **DIGNÓSTICO AMBIENTAL**

En el Sistema I se observó un estado ambiental degradado debido a la alta deforestación en los sitios 2-3 (UGE), 5-6 (GE), 10-11 (UO) y 17 (UOP) ubicados en la parte alta, en los sitios 18-19 (HCS), 21 (LO) y 23-24 (HC) de la parte media y en los sitios 27 (CP) y 28 y 29 (TAP) de la parte baja ver Tabla 3.16. La deforestación trae aparejado problemas en parte boscosa de la cabecera de los ríos tal como lo demostró Eva *et al.* (2005) que solamente pueden ser superadas con un programa de reforestación Kingett Michell *et al.* (2006). Además se observó erosión de ladera en el sitio 5 (GE), 10 (UO) y 12, 14 y 15 (UOP) en la parte alta, erosión del río en los sitios 1-2 y 3 (UGE); 4, 5 y 6 (GE); 7-9-10 y 11 (UO); 12 y 15 (UOP); 18 y 19 (HCS), 20-21 y 22 (LO) y 24-25 (HC) en la parte media y en los sitios 26 y 27 (CP), y 28- 29 y 30 (TAP) ver Tabla 3.16, dando como resultado la formación de sedimento en los mismo sitios que resulta en un cambio de la calidad del agua tal como lo demostró NIWA (2002).



Foto E. Erosión de ladera y del río en la parte alta-media de la cuenca.



Foto F. Deforestación y calles sin pavimentación

El crecimiento poblacional fue otra causa de degradación del suelo que influyeron en la calidad del agua superficial de los cauces, debido a: la deforestación para la construcción de viviendas; el aumento de trazado de calles sin pavimentación que producen la erosión por escorrentías con arrastres de materiales; la falta de estabilización de taludes entre otros en concordancia con lo expresado como efectos de los asentamientos poblacionales según Randhir (2003). Lo que indica un gradiente en la contaminación; partiendo de la cuenca alta donde no existe contaminación hasta llegar al sitio de descarga donde se presenta contaminación severa. Tal como lo observó Kingett Mitchell *et al* (2004; 2006), y Golder (2010), que encontraron patrones claros de reducción en la calidad del agua y la salud ecológica asociada con un mayor desarrollo urbano en la cuenca. Además en las cuencas urbanas se producen cargas muy altas de cobre y zinc, que se originan principalmente de la escorrentía de las carreteras y los techos de metal igual como lo encontró NIWA (2010).

El área de mayor incremento de población fue en Glen Eden 18,51%, seguido por Upper Opanuku del 12,74%, el Upper Oratia del 5,84% y Upper Glen Eden del 4,97%. Aunado a esto Glen Eden y Upper Oratia tienen una área total de 1681 hectáreas de zona rural en la cual se ocasiona la erosión debido a la agricultura de baja intensidad, pastoreo, huertas frutales esto aunado con las precipitaciones altas que ocasionan los arrastres de los sedimentos por escorrentías tal como se muestran en los resultados obtenidos de análisis de componentes principales y de clústers jerárquico del 2004, 2006 y 2010 en el Sistema I, que está de acuerdo por lo expresado por Diffuse Sources Ltd. Et al. (2005 y 2006). A raíz de esta problemática ambiental que causó el incremento de la población se impulsó el Plan de gestión aire, suelo y agua ARC (2013) imponiendo medidas de prevención y mitigación.

Los resultados de la evaluación multicriterio por el método de Ward se muestran en la Tabla 3.16 donde se observa que las causas de contaminación en la calidad del agua son debido a la presencia del lodo residual en los siguientes sitios: 18 (HCS) y 24-25 (HC), 27 (CP) y 28 y 29 (TAP), encharcamiento en 26-27 (CP) y 28-29 y 30 (TAP), vertidos de agua residual 3-L (UGE), 6-N (GE) y 15-B (UOP), 27 (CP) y 28 y 29 (TAP), vertidos de agua pluvial 5 (GE), depósitos de basura 5 (GE), 18 (HCS) y 24-25 (HC), claridad del agua 17-H, 18 (HCS) y 25 (HC), 27 (CP) y 28 y 29 (TAP), barreras físicas 2-K y 3-L (UGE), 5 y 6-N (GE) y 15-B (UOP), 26 (CP) y 28 y 30 (TAP) y maleza 10 (UO) todos estos indicadores ocasionan la presencia de vegetación en el cauce de los Arroyos de los sitios 3-L (UGE), 6-N (GE) y 15-B (UOP) 16-O, 17-H, 18-19-I (HCS), 23 y 24-25 (HC), 27 (CP) y 28 y 29 (TAP) el cual nos indica que existe fuerte contaminación en sus aguas. Esto se demuestra en los resultados de los indicadores de calidad del agua que fueron estudiados a través de ACP y ACJ del 2004, 2006 y 2010 que presentaron contaminación por arrastres de metales derivados de los techos y gasolina e industrias y aguas residuales urbanas en los siguientes sitios: Arroyo Whakarino (L) y el Arroyo Waikumete (K, M y N), en el Arroyo Opanuku (B y D), Arroyo Oratía (H, O y I) por lo que existe una acumulación de contaminación del agua desde el 2004 teniendo un impacto ambiental significativo en la corriente principal de Ensenada de Henderson Creek y por lo tanto en el Puerto de Waitemata tal como lo observó Hall (2009).

Otra causa es que este Sistema cuenta con un 60% de servicio de agua pluvial y que existe la presencia de 478 sitios de descarga de las aguas pluviales que arrastran contaminantes a los Arroyos tal como lo reporto Auckland Regional Council (2013). Ademásen muchos casos duarte el recorrido de campo se pudo observar que la falta de mantenimiento impide el buen funcionamiento del sistema de tratamiento, provocando efectos puntuales de vertidos de aguas residuales de las zonas residenciales, periurbanas, rurales, industriales y comerciales incrementando la contaminación en los Twin Streams (Torrecillas and Cárdenas, 2009b; Torrecillas *et al.*, 2010; 2014 y 2015). Igualmente Wartecare (2011) observó contaminación bacteriana debido a la mala condición de las redes de aguas residuales debido a una sobrecargada lo que resulta en infiltración y exfiltración del agua residual.



Foto G. Agua jabonosa y vertidos de agua pluvial con grasas y aceites.



Foto H. Fosa séptica y sólido suspendido en el agua.

Los resultados demuestran que los niveles de inundación más intensos fueron en los sitios 5 (GE), 10, 11-G (UO), 12-15-B (HCS) y 20-21-C, 22-D (LO), 27 (CP) y 28 y 29 (TAP) ocasionando impactos económicos y sociales ver Tabla 3.16. Para abatir el impacto de la inundación el H. Ayuntamiento de Waitakere realizó una inversión de 35,1 millones de dólares de Nueva Zelanda para comprar 78 viviendas prioritarias y la compra parcial de otros 78 predios ubicados en zonas de inundación para su remoción de la llanura de inundación, el predio se declaró no habitable y se convirtió en parqueo ciclo-vías (Atlas Communications & Media Ltd., 2011). Con todo eso existe un riesgo de inundación en 432 predios en un evento con un periodo de retorno de 100 años, por lo tanto los dispositivos de diseño de bajo impacto tienen prioridad en estas zonas debido que pueden disminuir los flujos picos que se ocasionan por la precipitación tan alta y periódica en la cuenca Twin Streams (Auckland Council, 2013).



Foto I. Encharcamiento de agua con formación de lodo y rejillas sin mantenimiento.



Foto J. Conducción del agua obstruido y barreras físicas evitando el flujo del agua.

Tabla 3.15. Evaluación Multicriterio del Sistema I de la cuenca de Twin Streams.

INDICADORES CUALITATIVAS														
PROBLEMA	EL	ER	SE	DE	NI	CA	DB	LR	EN	VR	VP	BF	VC	MZ
UBICACIÓN	PARTE ALTA DE LA CUENCA													
SUBCUENCA	UPPER GLEN EDEN													
ID	CRITERIO													
1 UGE-J	0	2	2	0	0	1	0	0	0	0	2	2	2	2
2 UGE-K	0	2	2	3	0	2	0	2	2	0	0	3	2	2
3 UGE-L	0	2	2	3	1	2	0	2	0	3	2	3	3	2
SUMA	0	6	6	6	1	5	0	4	2	3	4	8	7	6
VALOR IMPACTO	0	2	2	2	0	2	0	1	1	1	1	3	2	2
JERARQUIA	0	3	3	3	8	4	0	5	7	6	5	1	2	3
SUBCUENCA	GLEN EDEN													
4 GE-M	0	2	2	2	0	2	0	0	0	1	1	0	0	2
5 GE	3	3	3	3	3	3	0	0	0	1	3	2	2	3
6 GE-N	0	2	2	3	1	2	3	0	0	3	1	3	3	2
SUMA	3	7	7	8	4	7	3	0	0	5	5	5	5	7
VALOR IMPACTO	1	2	2	3	1	2	1	0	0	2	2	2	1	2
JERARQUIA	5	2	2	1	4	2	5	0	0	3	3	4	3	2
SUBCUENCA	UPPER ORATÍA													
7 UO-E	0	2	2	2	2	2	0	0	2	0	2	2	2	2
8 UO-F	0	1	1	2	2	0	0	0	0	0	1	0	0	1
9 UO	0	2	2	2	2	0	0	0	0	0	2	0	1	2
10 UO	2	2	2	3	3	2	2	2	2	0	2	2	2	3
11 UO-G	1	2	2	3	3	2	1	2	1	0	1	1	1	2
SUMA	3	9	9	12	12	6	3	4	5	0	8	5	6	10
VALOR IMPACTO	1	2	2	2	2	1	1	1	1	0	2	1	1	2
JERARQUIA	9	3	3	1	1	5	9	8	7	0	4	7	5	2
SUBCUENCA	UPPER OPANUKU													
12 UOP	2	2	2	1	0	1	0	2	1	0	0	0	2	2
13 UOP-A	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1
14 UOP	2	1	1	2	2	0	0	0	0	0	0	0	1	2
15 UOP-B	2	2	2	2	2	2	2	2	1	3	0	3	3	2
SUMA	7	6	6	6	5	4	2	4	2	4	0	3	6	7
VALOR IMPACTO	2	2	2	2	1	1	1	1	0	2	0	1	1	2
JERARQUIA	1	2	2	2	3	4	6	4	6	4	0	5	2	1
UBICACIÓN	PARTE MEDIA DE LA CUENCA													
SUBCUENCA	HENDERSON CREEK SOUTH													
16 HCS	0	1	1	2	3	2	0	1	0	3	2	0	0	2
17 HCS	0	1	1	2	2	3	0	2	0	3	2	0	2	2
18 HCS	0	3	3	3	2	3	2	3	2	3	1	0	1	2
19 HCS	0	2	2	3	3	2	2	2	0	3	3	1	0	2
SUMA	0	7	7	10	10	10	4	8	2	12	8	1	3	8
VALOR IMPACTO	0	2	2	3	3	3	1	2	1	3	2	0	1	2
JERARQUIA	0	4	4	2	2	2	5	3	7	1	3	8	6	3
SUBCUENCA	LOWER OPANUKU													
20 LO	0	2	2	3	1	2	1	2	1	1	0	0	2	2
21 LO	0	2	2	2	3	2	1	2	0	2	2	0	0	2
22 LO	0	3	2	2	3	2	1	2	1	2	1	0	1	2
SUMA	0	7	6	7	7	6	3	6	2	5	3	0	3	6
VALOR IMPACTO	0	2	2	2	2	2	1	2	1	2	1	0	1	2
JERARQUIA	0	2	3	2	1	2	5	3	6	2	4	0	5	2
SUBCUENCA	HENDERSON CREEK													
23 LO	0	1	1	1	3	2	1	1	0	3	3	0	1	2
24 HC	0	3	3	3	2	2	1	3	0	3	3	0	0	2
25 HC	0	3	3	3	2	3	1	3	0	3	2	0	1	2
SUMA	0	7	7	7	7	7	3	7	0	9	8	0	2	6
VALOR IMPACTO	0	2	2	2	2	2	1	2	0	3	3	0	1	2
JERARQUIA	0	3	3	3	3	3	5	3	0	1	2	0	6	4
UBICACIÓN	PARTE BAJA DE LA CUENCA													
SUBCUENCA	CENTRAL PARK													
26 CP	0	2	2	2	1	2	0	2	3	2	2	3	2	2
27 CP	0	3	3	3	2	3	1	3	3	3	2	0	3	2
SUMA	0	5	5	5	3	5	1	5	6	5	4	3	5	4
VALOR IMPACTO	0	3	3	3	2	3	1	3	3	3	2	2	3	2
JERARQUIA	0	2	2	2	4	2	5	2	1	2	3	4	2	3
SUBCUENCA	TE ATATU PENINSULA													
28 TAP	0	3	3	3	2	3	1	3	3	3	3	3	2	2
29 TAP	0	3	3	3	2	3	1	3	3	3	2	0	3	2
30 TAP	0	2	2	2	1	2	0	2	3	2	2	3	2	2
SUMA	0	8	8	8	5	8	2	8	9	8	7	6	7	6
VALOR IMPACTO	0	3	3	3	2	3	1	3	3	3	2	2	3	2
JERARQUIA	0	2	2	2	4	2	5	2	1	2	3	4	2	3

## **EVALUACIÓN CUALITATIVA DEL SISTEMA II**

### **DIGNÓSTICO AMBIENTAL**

En el Sistema II se observó un estado ambiental degradado debido a la alta deforestación en los sitios 33-34 (US), 35-36-38-39 (WA) y 41-43 (MO) de la parte alta, en los sitios 44-46 (BI), 47-48-49 (RA) y 50-52 (PA) de la parte media y 53-54 (LN), 55 (MA) y 58-59-60 (ME) de la parte baja. La deforestación trae aparejado problemas en parte boscosa de la cabecera de los ríos tal como lo demostró Eva *et al.* (2005), que solamente pueden ser superadas con un programa de reforestación (Kingett Michell *et al.*, 2006).

Además se observó erosión de ladera en los sitios 31-32 y 33 (US), 35-36 y 38 (WA), 40-41-42 y 43 (MO), 44 y 45 (BI) ; la erosión del río en los sitios 33 y 34 (US), 35-36-37-38 y 39 (WA), 40-41-42-43 (MO), 45-46 (BI), 48 y 49 (RA), 52 (PA), 53-54 (LN), 55-56-57 (MA) y 59-60 (ME) dando como resultado la formación de sedimento en los mismo sitios que resulta en un cambio de la calidad del agua tal como lo demostró NIWA (2002).

El crecimiento poblacional fue otra causa de degradación del suelo que influyeron en la calidad del agua superficial de los cauces, debido a: la deforestación para la construcción de viviendas; el aumento de trazado de calles sin pavimentación que producen la erosión por escorrentías con arrastres de materiales; la falta de estabilización de taludes entre otros en concordancia con lo expresado como efectos de los asentamientos poblacionales según Randhir (2003). Lo que indica un gradiente en la contaminación; partiendo de la cuenca alta donde no existe contaminación hasta llegar al sitio de descarga donde se presenta contaminación severa. Tal como lo observó Kingett Mitchell *et al.*, (2004; 2006) y Golder (2010), que encontraron patrones claros de reducción en la calidad del agua y la salud ecológica asociada con un mayor desarrollo urbano en la cuenca. Además en las cuencas urbanas se producen cargas muy altas de cobre y zinc, que se originan principalmente de la escorrentía de las carreteras y los techos de metal igual como lo encontró NIWA, 2010.



Foto K. Erosión del río y sistema de tratamiento de agua residual.



Foto L. Pastoreo y sedimento en el agua.

El área de mayor incremento de población fue Waimoko 28,71%, seguido por Momotu del 23,84% y Upper Swanson del 20,95%. Aunado a esto Glen Eden y Upper Oratia tienen una área total de 1158 hectáreas de zona rural en la cual se ocasiona la erosión debido a la agricultura de baja intensidad, pastoreo, huertas frutales esto aunado con las precipitaciones altas que ocasionan los arrastres de los sedimentos por escorrentías tal como se muestran en los resultados obtenidos de análisis de componentes principales y de clústers jerárquico del 2004, 2006 y 2010 en el Sistema I, que está de acuerdo por lo expresado por Diffuse Sources Ltd. Et al. (2005 y 2006). A raíz de esta problemática ambiental que causó el incremento de la población se impulsó el Plan de gestión aire, suelo y agua ARC (2013) imponiendo medidas de prevención y mitigación.

Los resultados de la evaluación multicriterio por el método de Ward se muestran en la Tabla 3.17 donde se observa que las causas de contaminación en la calidad del agua son debido a la presencia del lodo residual en los siguientes sitios: 36-38 (WA) y 40 (MO), 48 (RA), 54 (LN), 56-57 (MA) y 60 (ME), encharcamiento en 40 (MO), 51 (PA), 54 (LN), 57 (MA) y 58 (ME) vertidos de agua residual 31 y 34 (US), 49 (RA), 57 (MA) y 60 (ME) vertidos de agua pluvial 5 (GE), 58 (ME) depósitos de basura 5 (GE), 18 (HCS) y 24-25 (HC), claridad del agua 35-36-38-39 (WA) y 40 (MO), 48 (RA) y 51 (PA), 54 (LN) y 57 (MA), barreras físicas 36-38 (WA) y 40 (MO), 47-48 (RA) y 50-51 (PA), 53-54 (LN), 55 (MA) y 58-59 (ME) y maleza 36 (WA), 52 (PA) y 54 (LN) todos estos indicadores ocasionan la presencia de vegetación en el cauce de los Arroyos de los sitios 36 (WA), 40 (MO) y 33 (US), 51-52 (PA) y 60 (ME) el cual nos indica que existe fuerte contaminación en sus aguas. Esto se demuestra en los resultados de los indicadores de calidad del agua que fueron estudiados a través de ACP y ACJ del 2004, 2006 y 2010 que presentaron contaminación por arrastres de metales derivados de los techos y gasolina e industrias y aguas residuales urbanas en los siguientes Arroyos: Arroyo Swanson (Q) de la subcuenca de Upper Swanson y el Arroyo Swanson (R y S) de la subcuenca Ranui por lo que existe una acumulación de contaminación desde el 2004 teniendo un impacto ambiental significativo en la corriente principal de Ensenada de Huruhuru y a su vez en el Puerto de Waitemata.



Foto M. Agua con vertidos agrícolas.

Otra causa es que este Sistema cuenta con un 60% de servicio de agua pluvial y que existe la presencia de 478 sitios de descarga de las aguas pluviales que arrastran contaminantes a los Arroyos tal como lo reporto Aucklan Regional Council (2013). Además en muchos casos durante el recorrido de campo se pudo observar que la falta de mantenimiento impide el buen funcionamiento del sistema de tratamiento, provocando efectos puntuales de vertidos de aguas residuales de las zonas residenciales, periurbanas, rurales, industriales y comerciales incrementando la contaminación en los Twin Streams Torrecillas and Cárdenas, 2009a y 2009b; Torrecillas *et al.*, 2013 y 2014; Miguel *et al.*, 2015). Igualmente Wartecare (2011) observó contaminación bacteriana debido a la mala condición de las redes de aguas residuales debido a una sobrecargada lo que resulta en infiltración y escurrimiento del agua residual.

Una vez completadas estas etapas deben establecerse un plan de emergencia monitoreo, evaluación, pronóstico y mitigación de ocurrencia de sequías (Ravelo *et al.*, 2001) dado que este fenómeno puede afectar negativamente el manejo integral de la cuenca. De igual manera es necesario contemplar la ocurrencia de los excesos hídricos que alteran los flujos normales de los cursos de agua.

Tabla 3.16. Evaluación Multicriterio del Sistema II de la cuenca de Twin Streams.

EVALUACIÓN MULTICRITERIOS DEL SISTEMA II														
CRITERIO	INDICADORES CUALITATIVOS													
	EL	ER	SE	DE	NI	CA	DB	LR	EN	VR	VP	BF	VC	MZ
UBICACIÓN	PARTE ALTA DE LA CUENCA													
SUBCUENCA	UPPER SWAN SON													
ID														
31 US		0	0	1	0	0	0	0	0	3	1	0	0	1
32 US-P	2	1	2	2	0	2	1	1	1	1	0	2	2	2
33 US	2	2	2	3	2	2	2	2	1	1	2	1	1	3
34 US-Q	1	2	2	3	2	2	1	2	1	3	1	0	2	1
SUMA	5	5	6	9	4	6	4	5	3	8	4	3	5	7
VALOR IMPACTO	2	1	2	2	1	2	1	1	1	2	1	1	1	2
JERARQUIA	3	5	4	1	6	4	6	5	7	2	6	7	5	3
SUBCUENCA	WAIMOKO													
35 W	2	2	2	3	0	3	1	2	2	1	0	2	2	2
36 W	2	2	2	3	0	3	1	3	2	1	1	3	3	3
37 W	1	2	2	3	0	2	1	2	2	1	2	2	2	2
38 W	2	3	3	3	1	3	2	3	2	2	2	3	2	2
39 W	1	2	2	3	2	3	2	2	2	2	2	1	2	1
SUMA	8	11	11	15	3	14	7	12	10	7	7	11	11	10
VALOR IMPACTO	2	2	2	3	1	3	1	2	2	1	1	2	2	2
JERARQUIA	7	4	4	1	9	2	8	3	5	8	8	4	4	5
SUBCUENCA	MOMOTU													
40 M	2	2	3	2	0	3	1	3	3	2	0	3	3	1
41 M	2	2	2	3	0	2	0	2	1	1	0	0	2	2
42 M	2	2	1	2	0	2	2	1	1	1	0	0	2	2
43 M	3	2	2	3	0	2	2	2	1	1	0	3	2	2
SUMA	9	8	8	10	0	9	5	8	6	5	0	6	9	7
VALOR IMPACTO	2	2	2	3	0	2	1	2	2	1	0	2	2	2
JERARQUIA	2	3	3	1	7	2	6	3	5	6	7	5	2	4
UBICACIÓN	PARTE MEDIA DE LA CUENCA													
SUBCUENCA	BIRWOOD													
44 B	2	0	0	3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2
45 B	2	2	3	2	1	2	0	2	1	1	0	0	1	2
46 B	1	2	2	3	2	2	0	1	1	0	1	0	1	1
SUMA	5	4	5	8	3	4	0	3	2	2	1	0	2	5
VALOR IMPACTO	2	1	2	3	1	1	0	1	1	1	0	0	1	2
JERARQUIA	2	3	2	1	4	3	8	4	5	5	6	8	5	2
SUBCUENCA	RANUI													
47 R	0	1	2	3	0	1	1	2	1	1	2	3	1	1
48 R-R	0	2	3	3	0	3	1	3	2	1	2	3	2	2
49 R-S	1	2	2	3	2	2	1	2	1	3	2	0	1	2
SUMA	1	5	7	9	2	6	3	7	4	5	6	6	4	5
VALOR IMPACTO	0	2	2	3	0	2	1	2	1	2	2	2	1	2
JERARQUIA	8	4	2	1	7	3	6	2	5	4	3	3	5	4
SUBCUENCA	PAREMUKA													
50 P	0	1	1	3	0	2	0	1	1	1	0	3	2	2
51 P	0	0	2	2	1	3	0	2	3	1	1	3	3	1
52 P	0	2	2	3	2	2	1	2	1	1	2	2	3	3
SUMA	0	3	5	8	3	7	1	5	5	3	3	8	8	6
VALOR IMPACTO	0	1	2	3	1	2	0	2	2	1	1	3	3	2
JERARQUIA	8	5	4	1	5	2	7	4	4	5	5	1	1	3
UBICACIÓN	PARTE BAJA DE LA CUENCA													
SUBCUENCA	LINCOLN													
53 L	0	2	2	3	1	2	1	2	2	1	2	3	2	2
54 L	0	2	3	3	1	3	2	3	3	1	2	3	2	3
SUMA	0	4	5	6	2	5	3	5	5	2	4	6	4	5
VALOR IMPACTO	0	2	3	3	1	3	1	3	3	1	2	3	2	3
JERARQUIA	0	3	2	1	5	2	4	2	2	5	3	1	3	2
SUBCUENCA	MASSEY													
55 M	0	2	2	3	1	2	2	2	2	1	2	3	2	2
56 M	0	3	3	1	0	2	1	3	2	0	0	0	1	2
57 M	0	3	3	2	2	3	2	3	3	3	0	0	1	2
SUMA	0	8	8	6	3	7	4	8	7	4	2	3	4	6
VALOR IMPACTO	0	3	3	2	1	2	1	3	2	1	1	1	1	2
JERARQUIA	0	1	1	3	5	2	4	1	2	4	6	5	4	3
SUBCUENCA	MASSEY EAST													
58 M	0	0	2	3	0	2	1	1	3	0	3	3	2	2
59 M	0	3	2	3	1	2	1	1	1	0	2	3	2	2
60 M	0	3	3	3	1	2	1	3	0	3	0	0	3	2
SUMA	0	6	7	9	2	6	3	5	4	3	5	6	7	6
VALOR IMPACTO	0	2	2	3	1	2	1	2	1	1	2	2	2	2
JERARQUIA	0	3	2	1	7	3	6	4	5	6	4	3	2	3

## **PROPUESTA METODOLÓGICA DE UN SISTEMA DE MANEJO INTEGRAL PARA LA SUSTENTABILIDAD DE UNA CUENCA (SMISC)**

La gestión integrada de las cuencas y sus recursos hídricos implica una gama de medidas estructurales y funcionales para cumplir objetivos múltiples, con el propósito de asegurar provisión de agua de calidad y cantidad para las necesidades de los humanos y el medio ambiente. Las estrategias y los indicadores se desarrollaran para lograr el propósito sobre la base del concepto del ciclo de vida, el cual es un proceso integrado de planificación, diseño, puesta en marcha y continuidad (control, evaluación y seguimiento).

El diseño de las medidas estructurales debe contemplar varias escalas a nivel parcelario, a nivel de una zona de desarrollo del uso del suelo, a nivel municipal, o a nivel de cuenca; y los conceptos de infraestructura descentralizada y centralizada. Las medidas funcionales incluyen la gobernabilidad y la gobernanza del agua, la normatividad, la educación, la mercadotecnia, y los instrumentos financieros como los impuestos, las incentivas, los subsidios y las multas por no cumplir con las leyes.

El aspecto adaptivo se refiere a los medios que las sociedades emplean para superar con éxito las limitaciones que impone el hábitat. La conducta adaptativa puede igualmente ubicarse en el marco del proceso de socialización, dentro del cual los individuos de una sociedad adquieren las conductas y valores propios de ella.

Esta propuesta metodológica puede estructurarse en las siguientes etapas: Etapa 1. Coordinación y participación social; Etapa 2. Caracterización de la cuenca; Etapa 3. Establecimiento de los indicadores prioritarios de la cuenca; Etapa 4. Investigación; Etapa 5. Evaluación de la causa-efecto de los problemas ambientales; Etapa 6. Establecimiento de objetivos; Etapa 7. Establecimiento de las estrategias; Etapa 8. Funcionamiento sustentable de la cuenca; Etapa 9. Pensamiento sistémico/marco lógico; Etapa 10: Monitoreo de la contaminación de la cuenca; Etapa 11. Mitigación de la calidad y cantidad del agua de la cuenca; Etapa 12. Evaluación de los indicadores claves de desempeño de la

cuenca (ICDC) y Etapa 13. Control y seguimiento de los indicadores. Una vez completadas estas etapas deben establecerse un plan de emergencia monitoreo, evaluación, pronóstico y mitigación de ocurrencia de sequías (Ravelo *et al.*, 2001) dado que este fenómeno puede afectar negativamente el manejo integral de la cuenca. De igual manera es necesario contemplar la ocurrencia de los excesos hídricos que alteran los flujos normales de los cursos de agua.

## **FORMACIÓN DEL ORGANISMO DE LA CUENCA DEL RÍO**

Para la coordinación y participación social es necesario establecer un Organismo de Cuenca de los Ríos (OCR) tal como se sugiere por Hopper. (2006). El OCR debe de estar conformado con los departamentos de los tres órdenes de gobierno (nacional, estatal y municipal) y de concertación con los representantes de los usuarios de la cuenca y grupos organizados de la sociedad con objeto de formular programas y acciones de manera integral con el cumplimiento de las normas vigentes para no repetir esfuerzos y recursos, mejorar la administración de las aguas, el desarrollo de la infraestructura hidráulica y de los servicios respectivos, y la preservación de los recursos de la cuenca con la finalidad de lograr con un plan único un SMISC.



Figura 3.13. Organigrama de un Organismo de Cuenca del Río y la participación social e institucional.

## CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA

Dentro de la caracterización de la cuenca es relevante medir el tipo y tamaño de la cuenca: MICRO, MESO O MACRO escala, debido a que es necesario dar pauta del tipo de plan de desarrollo (nacional, estatal y/o municipal) que se requiere hacer dentro de la planificación. Después se establece el área de estudio, descripción de la zona de estudio y la caracterización de los sistemas que integran la zona de estudio.

## ESTABLECIMIENTO DE LOS INDICADORES PRIORITARIOS DE LA CUENCA

Los indicadores que se requieren para realizar la planificación del SMISC son cinco elementos (agua, suelo, aire, energía y la armonía) obtenidos de una revisión bibliográfica de los proyectos realizados en toda la cuenca y de un diagnóstico ambiental realizado con un enfoque sistémico y holístico de la misma. Por lo que el encargado de la planificación de cuencas debe comprender los vínculos, interacciones y procesos entre los elementos que componen el "sistema" todo. Un problema que puede ser causado por la falta de sistemas de pensamiento en una organización es el efecto silo, donde la falta de comunicación puede causar un cambio en un área de un sistema para afectar negativamente a otra área del sistema (Torrecillas *et al.*, 2009; 2010; 2013) (Figura 3.14).

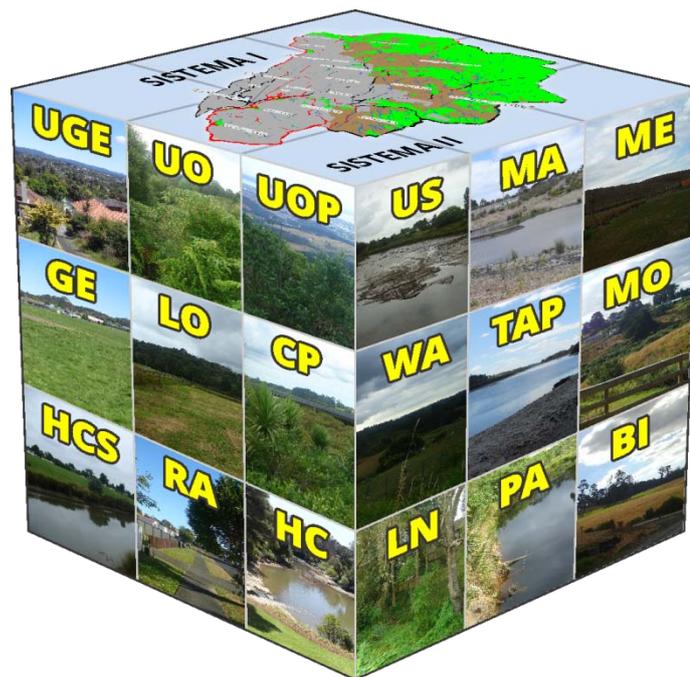


Figura 3.14. Representación esquemática del pensamiento sistémico para la cuenca Twin Streams.

La metodología se fundamenta en el pensamiento sistémico, el cual es una concepción basada en la integración total de sus partes frente a una situación real. Las partes se

describen con un diagnóstico ambiental utilizando el método de Ward, 1989 y su evaluación con el método de multicriterio (Pacheco *et al.*, 2008). El propósito de la Metodología de Manejo Integral para la Sustentabilidad de Cuencas (SMISC) es establecer un balance entre la preservación de los recursos naturales considerando los indicadores sociales, económicos, ambientales y culturales.

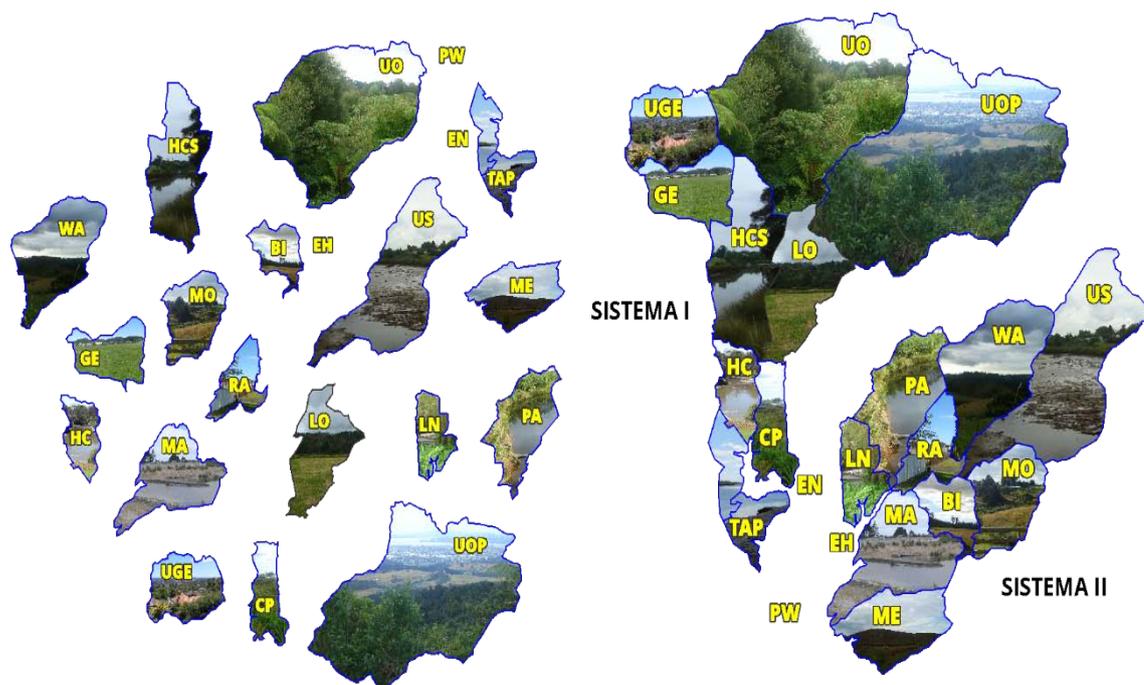


Figura 3.15. Integración de las sub-cuencas que componen a la cuenca.

La investigación se inicia con el establecimiento de la base de datos y un diagnóstico ambiental con la aplicación del método de Ward (1989) el cual considera que la naturaleza dinámica y jerárquica de los ecosistemas puede ser conceptualizada en un marco de cuatro dimensiones. La dimensión longitudinal: evalúa las corrientes de sus cabeceras hacia la boca. Se reconocen tres zonas; zona de cabecera, zona de transferencia, y zona de deposición. La dimensión lateral: es de lado a lado a través del río y su planicie de inundación. La dimensión vertical: incluye las aguas superficiales y las aguas subterráneas y sus interacciones y La dimensión temporal: varía según la duración de los cambios temporales a corto plazo a cambio evolutivo a largo plazo. El diagnóstico ambiental en campo debe tener un enfoque sistémico desde su inicio y evaluar la cuenca desde la parte alta hacia la parte baja. Además si la cuenca tiene varios ríos, estos se dividen en Sistemas. Para determinar el número de Sistemas en la cuenca se evalúa cada parte del

sistema debe ser con un enfoque holístico considerando las interacciones de todas sus partes frente a una situación real de la cuenca.

## **EVALUACIÓN DE LA CAUSA-EFECTO DE LOS PROBLEMAS AMBIENTALES**

Para evaluar la causa efecto de los problemas ambientales, se inicia con un reconocimiento de campo en la cuenca con la finalidad de valorar su comportamiento. Esta evaluación permite identificar los daños más severos en la cuenca y determinar los indicadores a evaluar. Además, al mismo tiempo se una revisión bibliográfica para saber con cuanta información se cuenta de la cuenca tanto normativa como legal, ambiental, social, cultural y económica del manejo de la cuenca. Esta revición nos da la pauta para saber la información y los datos disponibles así como los faltantes para lograr un Sistema de Manejo Integral para la Sustentabilidad de la Cuenca. Teniendo encuesta estos aspectos se determinan los indicadores que deben ser evaluados en la cuenca.

La evaluación causa-efecto de los indicadores de la cuenca, empieza a través de un diagnóstico ambiental en forma integral para poder comprender el estado actual y sus modificaciones a través del tiempo. En el elemento suelo: compactación del suelo, vivienda, trasporte y diseños de bajo impacto ya implementados; cobertura vegetal, deforestación, agropecuario, vialidad, residuos sólidos. En el elemento agua: fenómenos naturales (inundaciones, sequía y cambio climático) y fenomeno antropogenico (falta de cultura y de educación ambiental). En el elemento aire: Partículas suspendidas en el agua y suelo con el propósito de mitigar los efectos adversos de la cuenca en el elemento suelo fueron: impermeabilidad, mantenimiento de las casas con techos de metal, derrame de aceites, lubricantes, solventes petróleo entre otros, mantenimiento de los dispositivos de diseño y desarrollo de bajo impacto (DDBI), disminución de la biomasa, alteración del paisaje natural, perdida de especies nativas, manejo de pastoreo, uso de plaguicidas y fertilizantes etc., calles de terracería y empedradas, contaminación del suelo. En el elemento agua: contaminación de los cuerpos de agua, vegetación y barreras físicas en el

cauce de los ríos, asentamientos en la cuenca, evaluación de la capacidad del acuífero, vertidos de aguas pluviales, disminución de la cantidad y la calidad del recurso, variación del clima y en el elemento aire: la variabilidad del HAP.

## **FORMULACIÓN Y ESTABLECIMIENTO DEL SISTEMA DE MANEJO INTEGRAL PARA LA SUSTENTABILIDAD DE CUENCAS (SMISC)**

Los objetivos generales se establecen para dar solución a la relación causa efecto del comportamiento de la cuenca en estudio considerando los mismos elementos analizados. En el elemento suelo: implementar sistemas de recarga de los acuíferos, evaluar el comportamiento de la contaminación debido a techos de metal, evaluar en la cuenca los derrames de aceites, lubricantes, solventes petroléos entre otros, evaluar el comportamiento de todos los DDBI que existen en la cuenca, evaluación integral de flora y fauna en la cuenca, mejoramiento del paisaje, incremento de las especies nativas, estabilización del suelo (ladera y río), alternativas de manejo pastoril, manejo adecuado de los agroquímicos, pavimentar las calles con alternativa de DDBI y biorremediación de suelos. El elemento agua: mantenimiento de los cuerpos de agua, plan hidrológico con un enfoque integral, disminución de sedimentos, sistema de depuración y recargas de acuíferos, análisis de la oferta y la demanda, evaluación de los efectos climáticos. El elemento aire: metales en sedimentos y cumplimiento de la norma de calidad del aire. Cada objetivo deberá ser establecido y evaluado con base a las normas que se tengan de cada región hidrológica a nivel nacional, estatal y municipal y con el involucramiento de la sociedad.

## **ESTABLECIMIENTO DE LAS ESTRATEGÍAS**

Para establecer las estrategias es necesario el involucramiento de la sociedad por lo que debe iniciar con la impartición de un Taller de Planeación Estratégica a los miembros del Organismo del Consejo de Cuenca del Río (OCR). El Taller debe de ser diseñado con los

resultados obtenidos del diagnóstico ambiental donde deberá discutirse la problemática del estado actual de la cuenca encontrado, con el objetivo de que los miembros del OCR con su experiencia obtenida de la problemática social de la cuenca definan: la visión, misión y los objetivos definitivos de la cuenca que resuelvan de forma integral la contaminación del agua, el análisis de los involucrados nos sirve para establecer la Matriz FODA, el Árbol de Problemas y el Árbol de Objetivos, y finalmente la elaboración de la Matriz de Marco Lógico. Dando como resultado un abanico de proyectos que son evaluados a través de Multicriterios por los mismos integrantes del OCR. La técnica de evaluación multicriterio (EMC), trata de que en el análisis se descompone de un problema complejo en partes más simples permitiendo que el agente 'decisor' pueda estructurar un problema con múltiples criterios en forma visual, mediante la construcción de un modelo jerárquico que básicamente contiene tres niveles: meta u objetivo, criterios y alternativas, jugando un papel vital como herramienta de planeación.

Algunas estrategias que se deben considerar son en el elemento suelo: Dispositivos de DDBI, incremento de la biodiversidad, aéreas de protección para el control de sedimentos. El elemento agua: gestión integrada del agua y evaluación del ICA. El elemento aire: gestión de las emisiones de partículas. Además las estrategias nos da la pauta para establecer un funcionamiento sustentable de la cuenca (Anexo B).

## **FUNCIONAMIENTO SUSTENTABLE DE LA CUENCA**

Para un funcionamiento sustentable de la cuenca se debe contemplar que el río es un sistema heterogéneo, diverso, variable en el tiempo y en el espacio y esta es la condición que se debe preservar o restaurar por lo que se requiere de un programa integral de la cuenca para su manejo sustentable que contemple las siguientes directrices; *Social, Ambiental, Cultural y Económica* de las cuales se proponen diferentes dimensiones.

## ***Directriz1. SOCIAL***

**Objetivo General:** Fomentar la participación informada de la sociedad y órdenes de gobierno, así como acrecentar el conocimiento sobre los procesos de contaminación del agua para lograr una gestión transparente y efectiva en el saneamiento de la cuenca.

### **Dimensión 1. Establecimiento de un Consejo de Cuenca para desarrollar el programa integral de la cuenca.**

- Fomentar la participación informada de la sociedad y órdenes de gobierno, así como acrecentar el conocimiento sobre los procesos de contaminación del agua para lograr una gestión transparente y efectiva en el saneamiento de la cuenca, actualmente se tiene relación con seis comunidades pero se necesita incluir toda la cuenca.
- Formular programas y acciones para la mejor administración de las aguas, el desarrollo de la infraestructura hidráulica y de los servicios respectivos y la preservación de los recursos de la cuenca.
- Promover la capacitación de educación ambiental y coordinar la participación responsable y activa de la población estudiantil, docencia, usuarios del agua, puestos públicos de las comunidades aledañas a los ríos y mantener vinculación con ONG'S, para lograr el desarrollo urbano sustentable de la cuenca.
- Negociar con los habitantes que se encuentran asentados en el lecho del río, el cambio de propiedad y controlar la invasión de asentamientos irregulares en la zona de inundación, informándoles que es importante controlar las inundaciones para reducir el impacto económico, social y ambiental que ellos están viviendo.
- Promover la economía del uso domiciliario del agua por ejemplo los planes de contingencia para el uso del agua en épocas de sequía como los que realiza la COOPI (Carlos Paz Argentina).

## **Dimensión 2. Protección de la salud pública y la seguridad social.**

- Preparar un estudio de la salud pública de la comunidad en la cuenca de PTS en colaboración con el departamento de salud.
- Implementar un plan de acciones para proteger la salud pública asegurando el Índice de Calidad de Agua (ICA) en la cuenca para que sirva de espaciamento y recreo.

## **Dimensión 3. Promover eventos sociales y académicos.**

- Fomentar eventos sociales para celebrar los avances del proyecto y reunir a los involucrados de mismo y de esta manera fomentar el desarrollo sustentable de la cuenca.
- Fomentar eventos académicos incluyendo talleres y presentaciones para difundir los conocimientos aprendidos dentro del proyecto.
- Difusión en congresos internacionales, nacionales y locales.
- Promoción de jardinería con plantas resistentes a la falta de agua o jardines xerofíticos (Planchuelo, 2010; Planchuelo & Barbeito, 2011).

## ***Directriz2. AMBIENTAL***

**Objetivo General:** Mejorar la salud ambiental para preservar la salud humana y de los ecosistemas hasta un nivel deseable y consensado por los actores de la cuenca.

### **Dimensión 1. Conocer el estado actual de la cuenca.**

- Evaluar los Indicadores de Alteraciones Hidrológicas (IHA) delosríos para conocer su estado actual.
- Diagnóstico del funcionamiento integral de la cuenca delrío definiendo la problemática con base a sus cuatro dimensiones: Longitudinal, transversal, vertical y temporal.
- Identificar por medios visuales los recursos e impactos y preparar material de información para comunicar estos con los interesados.

## **Dimensión 2. Manejar el río a través de un “Plan Hidrológico Integral”.**

- Establecer el balance hidráulico de la cuenca ( Agua de entrada y salida)
- Rectificación y encauzamiento, incluyendo sus principales afluentes del río, que se consideren necesarias.
- Análisis para realizar la selección de las obras que se piensan hacer de manera jerarquizada y se deban llevar a nivel ejecutivo; con base en la prioridad de control de inundaciones, como medida de contingencia y para poder reducir los desastres naturales.
- Elaborar los anteproyectos de las obras de protección (estabilización de bordos, cárcavas, represas etc.).

## **Dimensión 3. Conceptualización de un Modelo de Pronóstico de Sequías.**

- Reducir la vulnerabilidad en los usos del agua y los efectos de la sequía mediante la integración de una estructura de coordinación, concertación, supervisión y ejecución de acciones. Utilizando el “Manual de Capacitación Profesional; Aplicaciones del Índice de Vegetación (NDVI) en el Monitoreo Hidrometeorológico, Sistema de Procesamiento WinDisp” e índices de evaluación de sequías tal como el Índice Estandarizado de Precipitación (SPI).

## **Dimensión 4. Establecer un caudal ecológico.**

- Mejorar la salud ambiental.
- Proteger la flora y fauna y sistemas ecológicos.

## **Dimensión 5. Evaluación de impacto ambiental.**

- Elaborar un Estudio de Impacto Ambiental en base al programa de la cuenca para su manejo sustentable.

### **Dimensión 6. Mejorar la calidad del agua**

- Evaluar la calidad del agua de la cuenca y de la Bahía, generada por los vertidos químicos utilizados en la industria, agricultura y zona urbana y los arrastres de sedimentos y desechos derivados de la lluvia, en función del Índice de Calidad del Agua (ICA) para proponer estrategias y medidas correctivas.
- Evaluar la contaminación del agua generada por fuentes puntuales y no puntuales de la Industria, agricultura y zona urbana.
- Promover la investigación sobre los procesos de contaminación, para apoyar la toma de decisiones en los problemas de calidad del agua.
- Establecer y operar una red de monitoreo de la calidad del agua de las corrientes de la cuenca.
- Establecer y operar una red de monitoreo de la calidad del agua de la Bahía, notando que esto es la responsabilidad de los Estados.

### **Dimensión 7. Implementar un plan de reforestación**

- Caracterización y abundancia de especies.
- Determinar las especies de vegetación riparia útiles para la restauración de la cuenca.
- Establecimiento de viveros de vegetación riparias en la región.
- Reforestación de las riberas de los ríos con fines de restauración, revitalización y acondicionamiento ecológico.
- Establecimiento de parques con la finalidad de crear zonas de recreo y mejorar el paisaje.
- Concientizar a los dueños de las propiedades privadas para la reforestación de campos y zonas riparias con especies nativas y ver si es apropiado la negociación de incentivos.

### **Dimensión 8. Elaborar programas de manejo de áreas naturales protegidas**

- Planificar el conjunto de acciones tendientes a combinar las funciones de conservación y aprovechamiento de los recursos naturales de la región.

### **Dimensión 9. Bancos de información**

Revisar toda la información que se tiene en el Ayuntamiento, municipalidad, provincia y otros organismos gubernamentales, actualizarla y mejorarla, por ejemplo el área de la cuenca, precipitación, estado del medio ambiente etc., y su sistematización.

- Establecer la sistematización de los datos en un banco de información del programa integral de la cuenca para identificar vacíos de información y prever las consecuencias y magnitudes de algunos impactos relevantes para hacerlos del dominio público.

### ***Directriz 3. CULTURAL***

**Objetivo General:** Fomentar la cultura ambiental de las comunidades aledañas a los ríos (Torrecillas *et al.*, 2013).

#### **Dimensión 1. Inclusión de la sociedad en el proyecto.**

- Establecer las directrices y valores importantes de la cultura de todos los habitantes de la cuenca.
- Preparar e implementar un plan de integración de la cultura.

#### **Dimensión 2. Inclusión de otras culturas.**

- Identificar las culturas y los liderazgos de los habitantes, considerando otras culturas.
- Establecer las directrices y valores importantes de las diferentes culturas.
- Preparar e implementar un plan de integración de las diferentes culturas.

### **Dimensión 3. Educación Ambiental**

- Diseño y aplicación de un modelo de educación ambiental basado en la problemática real de la cuenca para mejorar la salud de los ríos (Torrecillas *et al.*, 2009 y 2012).
- Proponer un diseño curricular de educación ambiental basado en la problemática real de la cuenca para que sea implementado en el sector de educación pública.
- Inducir la adopción de compromisos y un cambio de actitud de los usuarios, ciudadanos y sociedad organizada mediante un programa de participación social y comunitaria.

### ***Directriz 4. ECONÓMICO***

**Objetivo General:** Asignación eficiente de bienes y recursos escasos estableciendo un balance entre el desarrollo económico y las directrices, de las distintas dependencias gubernamentales quienes debe impulsar que dentro del Manejo Integral para la Sustentabilidad de la Cuenca se fomente el desarrollo económico.

### **Dimensión 1. Evaluación del costo beneficio tomando en cuenta valores cuantitativos y cualitativos.**

- Establecer el valor ambiental y de los usuarios de manera integral de la cuenca.
- Establecer el valor de fomentar el desarrollo económico de la cuenca. Recordando que el Municipio, provincia, estado y nación puede restringir o prohibir el desarrollo en la cuenca si a si fuera necesario por medio de las normas.

## **Dimensión 2. Identificación de oportunidades para el desarrollo económico sustentable.**

- Preparar una estrategia económica basada en un estudio de las oportunidades que existen en el mercado internacional, nacional, regional, y local donde su objetivo es impulsar los puestos de trabajo en la cuenca.
- Promover el turismo ecológico a través del Manejo Integral para la Sustentabilidad de la Cuenca para establecer a las ciudades, como una destinación de interés.
- Demostrar tecnologías sustentables en la industria y construcción de aplicación en las ciudades para fomentar nuevos negocios.

## **Dimensión 3. Colaboración con Gobierno, Industria y Sector educativo.**

- Promover la vinculación a nivel internacional a través de convenios de colaboración para la creación de puestos de trabajo.
- Promover la investigación científica y crear un centro de excelencia en desarrollo sostenible.

## **Dimensión 4. Presupuestos**

- Preparar un plan rector de SMISC para 2016 – 2026, identificando diferentes fondos de apoyos y asegurar los recursos necesarios.

## **PENSAMIENTO SISTÉMICO/MARCO LÓGICO**

Los proyectos que resultaron de las dimensiones de las 4 directrices que se establecieron a través de los indicadores claves de desempeño de la cuenca (ICDC) con un pensamiento sistémico, deberán cumplir con la estructura del Marco Lógico. Para el cumplimiento de los cuatro directrices establecidas por este Programa y el logro de sus objetivos, se consideran necesarias 49 procesos, de los cuales 16 son estructurales y 33 no estructurales.

## **REQUERIMIENTOS ESENCIALES PARA EL MONITOREO DEL SISTEMAS DE MANEJO INTEGRAL PARA LA SUSTENTABILIDAD DE LA CUENCA (SMISC)**

### **MONITOREO DE LA CONTAMINACIÓN DE LA CUENCA**

El SMISC debe contener los indicadores claves de desempeño de la cuenca (ICDC) a evaluar, donde su monitoreo se debe realizar por lo menos cada tres años en los siguientes indicadores en el elemento suelo: niveles de los acuíferos, DDBI, flora y fauna, especies nativas, erosión, sedimento, agricultura sustentable, pavimentación con DDBI y biorremediación de suelos. El elemento agua como fenómeno antropogenico: CE, OD, pH, TE, TSS, TU, NH<sub>4</sub>-N, DRP, TO<sub>x</sub>N, Cu, Zn, Cu<sub>1</sub>, Zn<sub>1</sub>, Pb<sub>1</sub>, MCI, EPT, *E.coli* que fueron evaluados para el Twin Streams, más otros tales como Perifiton (estado trofico), NO<sub>3</sub>, SEV, HMW-PAH entre otros. El elemento agua como fenómeno natural: Vulnerabilidad y riesgo de las inundaciones, sequías y cambio climático. El elemento aire: evaluación de las partículas suspendidas en el aire. Esto nos da una panorámica de analizar si están funcionando las medidas de mitigación implementadas.

### **MITIGACIÓN DE LA CALIDAD Y CANTIDAD DEL AGUA DE UNA CUENCA**

Todos los proyectos tienen que contemplar medidas de mitigación que estén establecidas en uno de los objetivos de los elementos de suelo, agua y aire que se requieren para alcanzar el SMISC. Además es necesario revisar si están cumpliendo con las normas del ICA de aquí la importancia de cada tres años realizar un monitoreo, otro aspecto que se debe revisar es si pertenece a una de las directrices, si el proyecto está estructurado con base al Marco Lógico y si su costo beneficio es redituable. Si no contribuyen con alguno de estos procesos se rechaza el proyecto o se les solicita que revisen los objetivos del SMISC y si cumplen con todos los procesos se pasa a evaluar los indicadores claves de desempeño de la cuenca (ICDC).

## **METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LOS INDICADORES CLAVES SEGÚN HOOPER (ICDC)**

La evaluación de los indicadores claves según Hooper (2006) que establece un estado de desempeño de la cuenca (ICDC) nos sirve para determinar en que estado se encuentra la cuenca. Este proceso de evaluación consiste en revisar los 49 indicadores claves de desempeño que se establecieron en la cuenca de los Twin Streams. Cabe aclarar que el tamaño de esta cuenca fue micro por lo que los indicadores pueden variar y aumentar el número dependiendo el tamaño de la cuenca y las condiciones en que se encuentra. El proceso de evaluación se puede dividir en las siguientes etapas.

**Etapas Inicial-Funcional:** se puede decir que se cumplió la etapa inicial cuando se tienen ejecutados los primeros 15 ICDC. Esta etapa se divide en dos grupos. **Grupo 1:** Agua y Recursos Naturales, recopilación y procesamiento de datos, modelado de los sistemas, planeación del agua y los recursos naturales, consulta de los interesados y claridad de los procedimientos de los proyectos. **Grupo 2:** Viabilidad, diseño, implementación, operación y mantenimiento, gestión para la obtención de fondos, consulta de la comunidad involucrada y obtención de licitaciones del proyecto.

**Etapas Auto-Adaptativa Emergente:** se puede decir que se cumplió la etapa Auto-Adaptativa cuando se tiene entre 16 a 30 ICDC. Esta Etapa se divide en dos grupos. **Grupo 3:** Ubicación y monitoreo del agua a compartir (calidad y cantidad y coparticipación de posibles recursos naturales) principales para la repartición de los costos. **Grupo 4:** Política y desarrollo estratégico para los asuntos económicos, sociales y ambientales, recompensas y participación de la comunidad.

**Etapas Adaptativa Madura:** se puede decir que se cumplió la etapa Adaptativa Madura cuando se tiene un total de 49 o más ICDC dependiendo del tamaño y las condiciones de la cuenca al cumplir con estos procesos se podrían certificar la sustentabilidad de la cuenca. Esta Etapa cuenta con el Grupo 5: Monitoreo del uso y compartición del agua, monitoreo

de las condiciones ambientales y de la contaminación, vigilancia y revisión de los roles de los proyectos promovidos por los socios de la Organización de Cuenca del Río (OCR), monitoreo y evaluación de los recursos naturales de la cuenca. Monitoreo de la sustentabilidad de la gestión de recursos, revisión de la planeación e implementación de los planes modificados. Indicadores que al cumplirse satisfactoriamente se considera que se está haciendo un manejo adecuado de la cuenca, la cual puede ser acreditada como Eco ciudad y su objetivo es evaluar y clasificar la etapa de desarrollo de la cuenca dentro del Organismo Operador (OO).

## **CONTROL Y SEGUIMIENTO DE LOS INDICADORES CLAVES DE DESEMPEÑO DE UNA CUENCA (ICDC)**

La importancia del control y seguimiento del programa es que los ríos son sistemas heterogéneos, diversos, variables en el tiempo y en el espacio, y esta es la condición que se debe preservar o restaurar si queremos mantener o alcanzar un estado ecológico y por ende un SMISC.

## **REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS COMPONENTES QUE SE REQUIEREN PARA LOGRAR EL SISTEMA DE MANEJO INTEGRAL PARA LA SUSTENTABILIDAD DE UNA CUENCA (SMISC)**

El diagrama de flujo (Figura 3.16) presenta a todos los componentes del Sistema de Manejo Integral para la Sustentabilidad de una Cuenca (SMISC), donde el análisis de la cuenca se establece de manera local a través del manejo integral de la cuenca del río (MICR), las cuales deben ser regulados por un organismo de cuenca del río (OCR). Además, se tiene que tomar en cuenta el tipo de la cuenca (MICRO, MESO O MACRO) que se quiere regular y después desarrollar el SMISC. Para realizar la proyección del plan se tomara en cuenta el estado actual de la cuenca, realizando un diagnóstico de la problemática de su funcionamiento que incluya monitoreo, investigación y coordinación y

que se sustente en las dimensiones establecidas; Ambiental, Económica, Social y Cultural tengan un enfoque sistémico y las actividades propuestas de dicho plan se fundamenten en un marco lógico, dichas actividades se evaluarán en la OCR y se integrarán a la base de datos preestablecida donde el sistema de evaluación consiste de 49 indicadores claves de desempeño de la cuenca (ICDC), de las cuales 16 son estructurales y 33 no estructurales que se establecen en el diagnóstico. 15 ICDC aplicados en la Etapa Inicial-Funcional. Tal como se explico anteriormente esta etapa se divide en dos grupos: Grupo 1: Agua y Recursos Naturales, recopilación y procesamiento de datos, modelado de los sistemas, planeación del agua y los recursos naturales, consulta de los interesados y claridad de los procedimientos de los proyectos: Grupo 2; Viabilidad, diseño, implementación, operación y mantenimiento, consecución de fondos, consulta de la comunidad involucrada y obtención de licitación del proyecto. 15 ICDC más a la Etapa Auto-Adaptativa Emergente dando un total de 30 ICDC. Esta etapa se divide en dos grupos: Grupo 3; Ubicación y monitoreo del agua a compartir (calidad y cantidad y compartición de posibles recursos naturales) principales para la repartición de los costos; Grupo 4: Política y desarrollo estratégico para los asuntos económicos, sociales y ambientales, recompensas y participación de la comunidad y en la Etapa Adaptativa Madura se debe alcanzar un total de 49 o más ICDC dependiendo del tamaño y las condiciones de la cuenca. En la cual se encuentra el Grupo 5: Monitoreo del uso y compartición del agua, monitoreo de las condiciones ambientales y de la contaminación, vigilancia y revisión de los roles de los proyectos promovidos por los socios de la Organización de Cuenca del Río, monitoreo y evaluación de los recursos naturales de la cuenca. Monitoreo de la sustentabilidad de la gestión de recursos, revisión de la planeación e implementación de los planes modificados. Indicadores que al cumplirse satisfactoriamente se considera que se está haciendo un manejo adecuado de la cuenca, la cual puede ser acreditada como Eco-ciudad y su objetivo es evaluar y clasificar la etapa de desarrollo de la cuenca dentro del organismo regulador OCR.

**METODOLOGÍA PARA EL SISTEMA DEL MANEJO INTEGRAL PARA LA SUSTENTABILIDAD DE LAS CUENCAS (SMISC).**

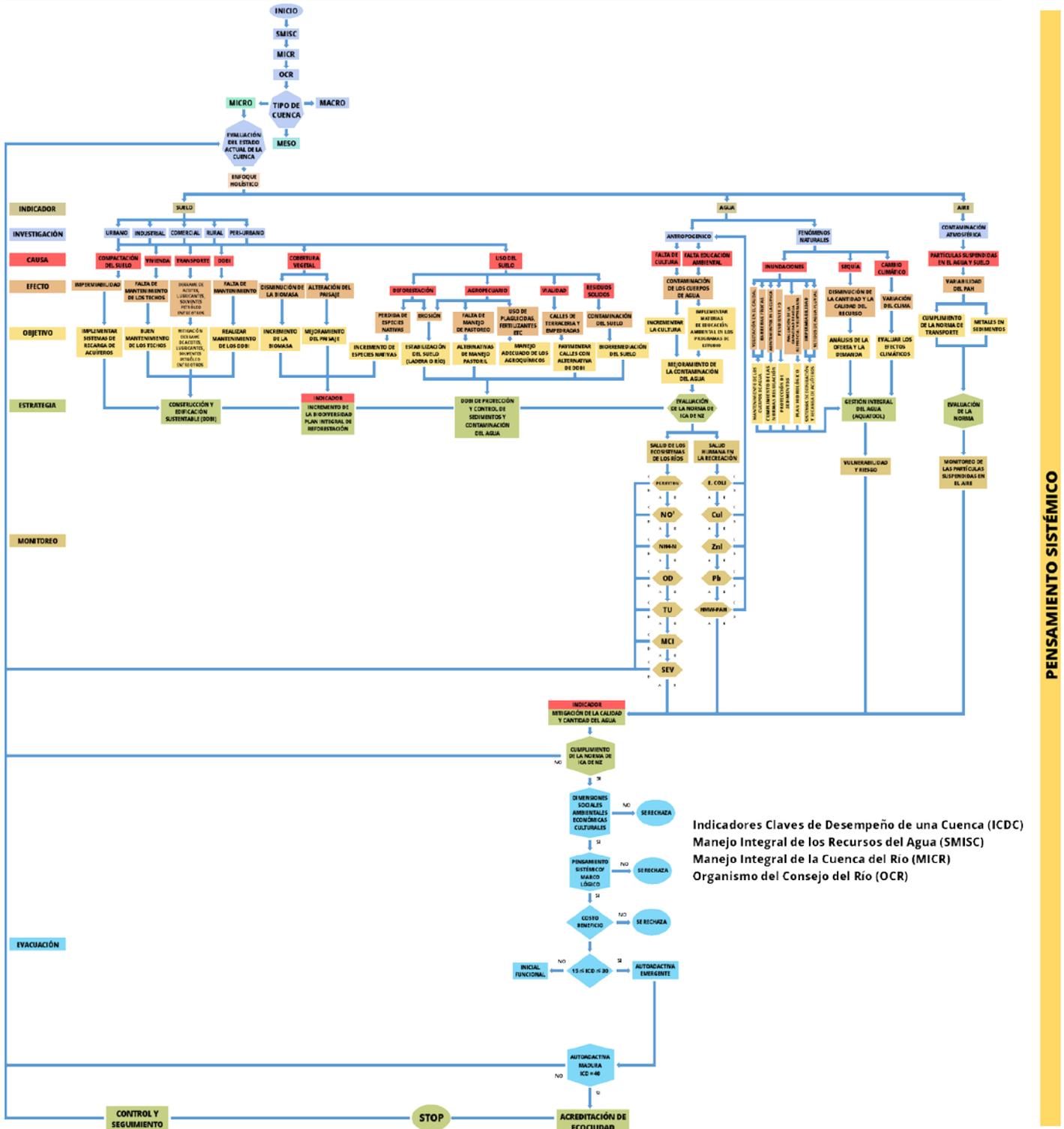
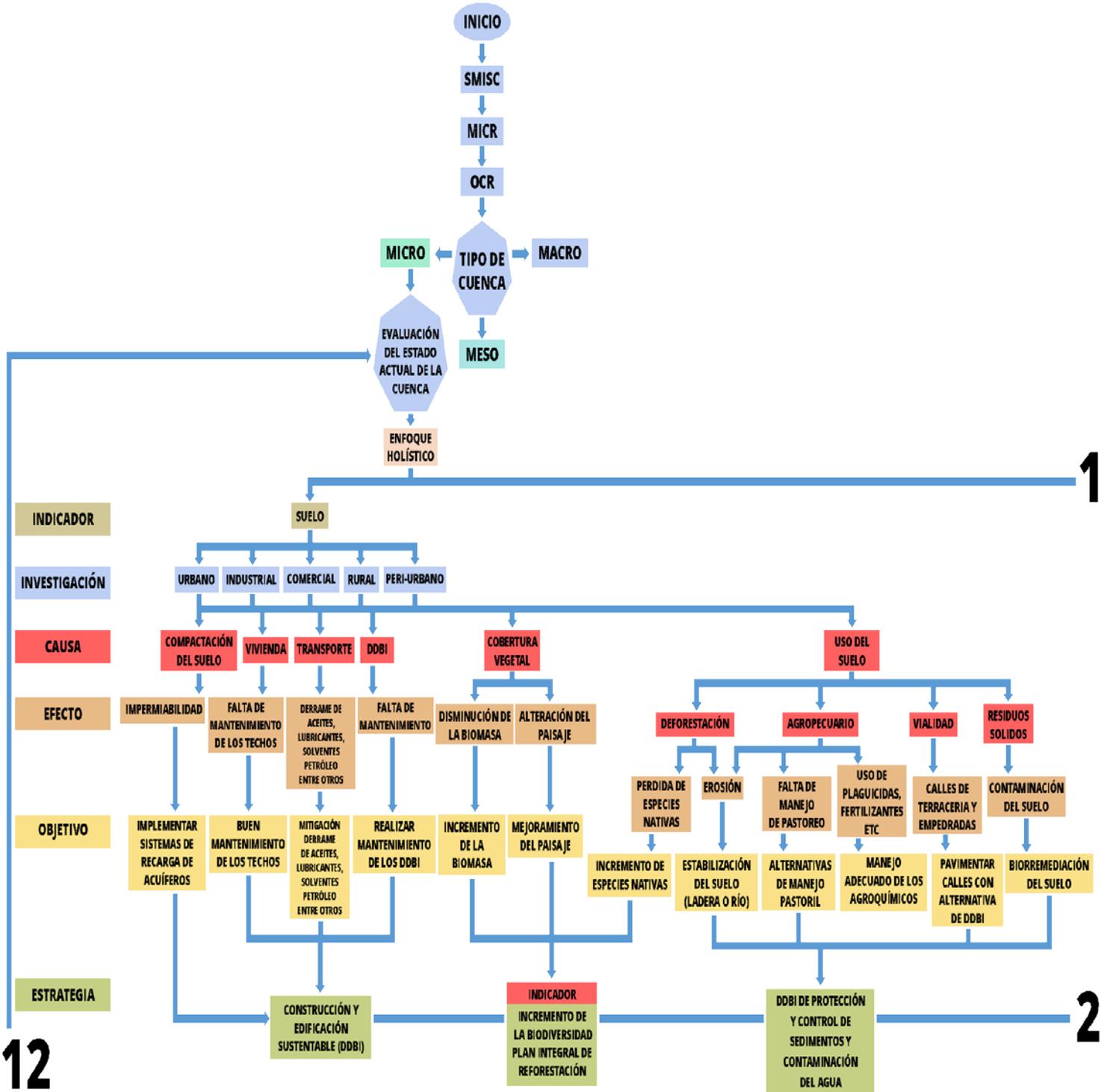


Figura 3.16. Diagrama de flujo con todos los componentes del Sistema de Manejo Integral para la Sustentabilidad de la Cuenca (SMISC)

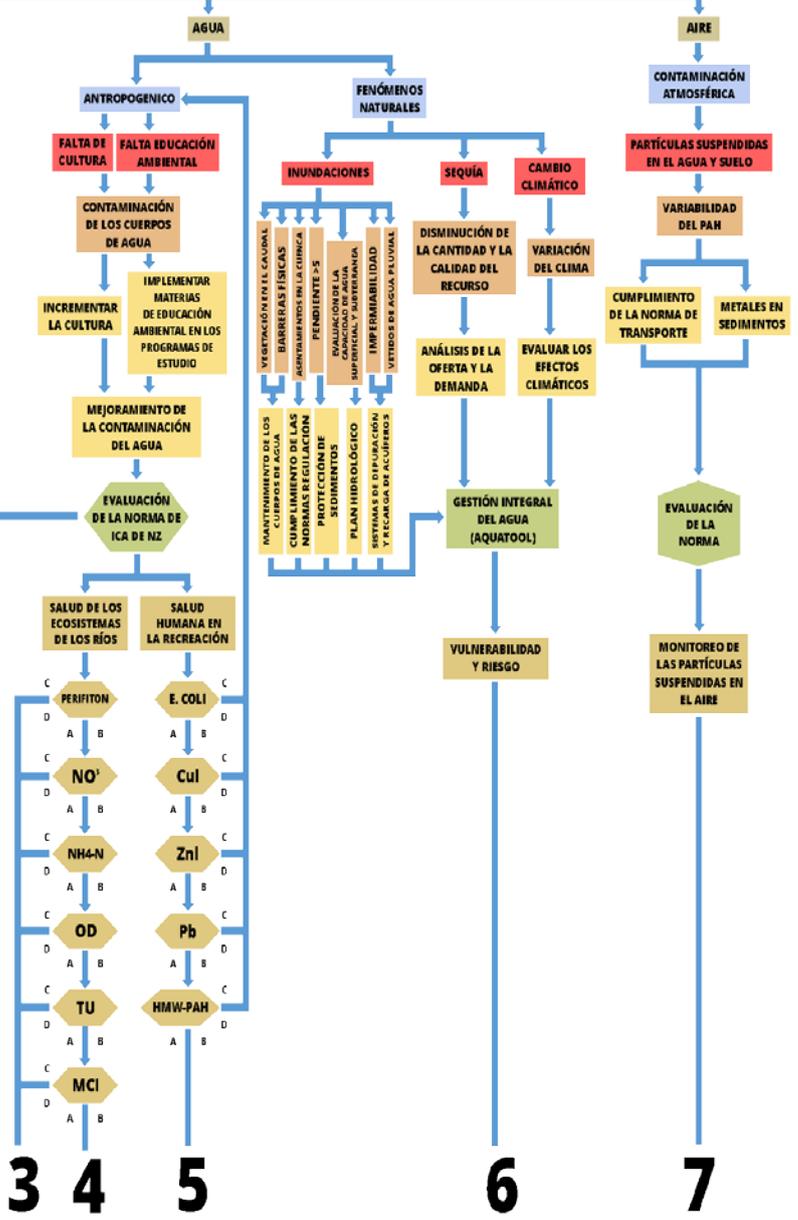
# METODOLOGÍA PARA EL SISTEMA DEL MANEJO INTEGRAL PARA LA SUSTENTABILIDAD DE LAS CUENCAS (SMISC).



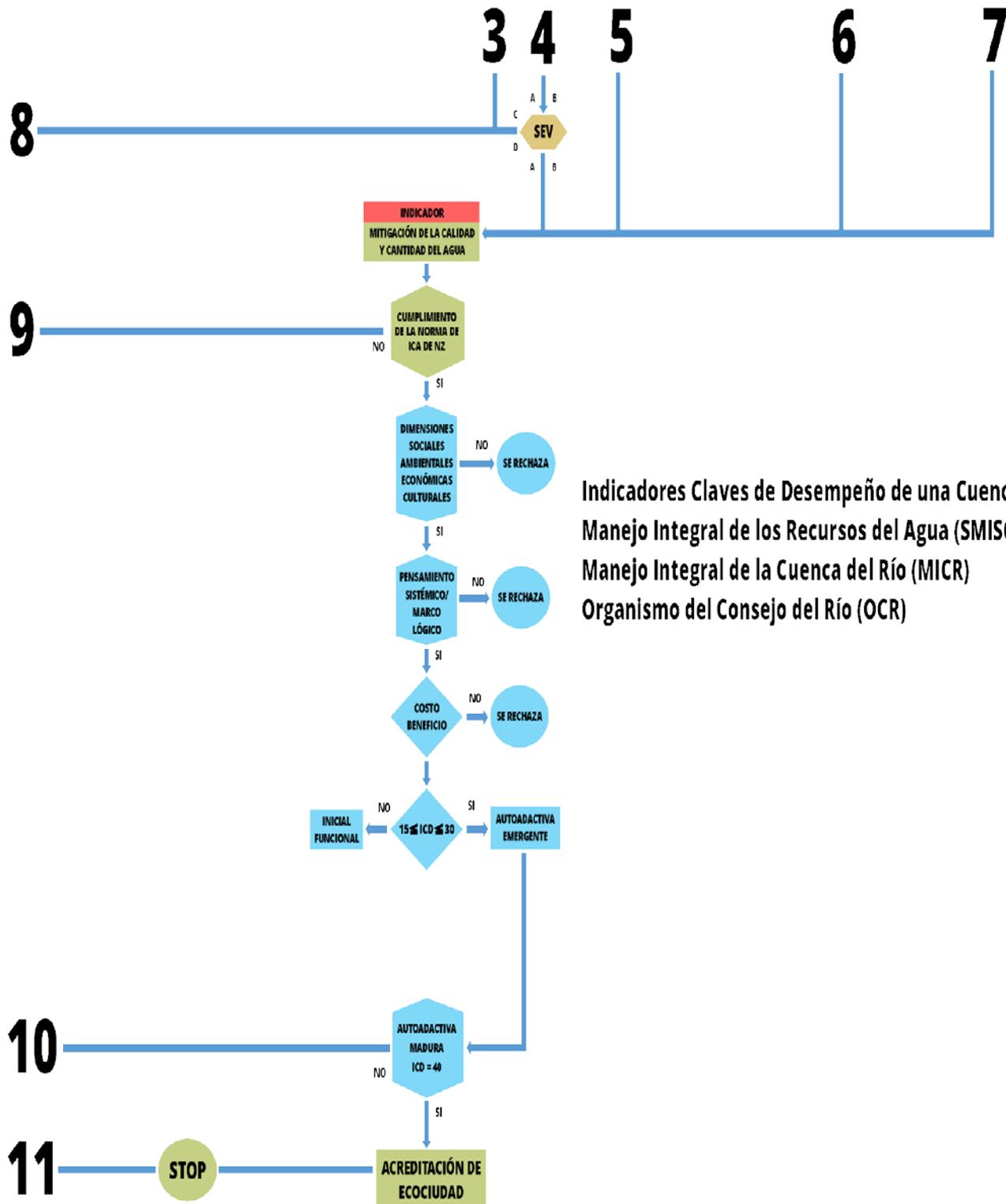
12

1

2



PENSAMIENTO SISTÉMICO



12

8

9

EVACUACIÓN

10

CONTROL Y  
SEGUIMIENTO

11

## **CAPITULO 4**

### **CONCLUSIONES GENERALES**

## CONCLUSIONES GENERALES

1. El mérito de los trabajos realizados reside en la originalidad metodológica que incluye un enfoque sistémico y que contempla la interacción entre causa-efecto de las diferentes variables que afectan la sustentabilidad de una cuenca.
2. Los métodos utilizados para evaluar la causa-efecto de los impactos ambientales en la cuenca de los Twin Streams, son una herramienta fácil y de mucha utilidad en el Sistema de Manejo Integral para la Sustentabilidad de una Cuenca (SMISC) debido a que el método de Ward, nos ayuda a visualizar la fuente de contaminación y valorar la causa efecto de la misma. Además nos permite identificar las oportunidades para establecer dispositivo de Diseño y Desarrollo de Bajo Impacto (DDBI) que nos ayuden a controlar la contaminación in situ y evitar que llegue a los cuerpos de agua. Por otro lado la evaluación Multicriterios nos permite el involucramiento de la sociedad, el personal de los departamentos encargados de mitigar los daños y de la gobernanza de los mismos. Por otro lado, la evaluación de los indicadores de la contaminación por el método de Pearson, nos permite determinar cuáles son los contaminantes más críticos que se deben de considerar en la planificación para establecer los indicadores ambientales, sociales y económicos. Sin embargo el Analisis de Componentes Principales (ACP) nos ayuda a evaluar el comportamiento de la acumulación de las cargas de los contaminantes e identificar el tipo de contaminación. Este resultado nos orienta a decidir dónde deben de ser colocados los DDBI y/o las mejores prácticas de manejo estructural y funcional en la cuenca. Además nos ayuda a tomar decisiones sobre las medidas de regulación de vertidos con base a las normas. Por otro lado el análisis de Clusters Jerárquico nos ayuda a determinar cuáles sitios tienen mayor contaminación y de aquí partir para establecer las etapas de planeación para la prevenir, evitar, remediar y mitigar los impactos ambientales. Otro aspecto importante es que a través de estas herramientas se pudo dar evaluación, control y seguimiento en la mitigación de los impactos según el Índice de Calidad del Agua (ICA).

3. La falta de mantenimiento por parte de los propietarios de los sistemas de tratamiento individual de las aguas residuales (fosas sépticas) y en la zona urbana por la mala condición de las redes de aguas residuales es conducente a una alta concentración de *Escherichia coli* (*E.coli*) en los Twin Streams en zonas rurales y periurbanas.
4. Las altas concentraciones de cobre y zinc en el agua y plomo, cobre y zinc en el sedimento en zonas urbanas es debido a la falta de mantenimiento de los techos de las casas y derrames de combustibles y aceites de automóviles.
5. El incremento en la impermeabilidad, asociada con la turbidez y las concentraciones elevadas de metales pesados en los Twin Streams, afectan el hábitat y el ciclo alimentario de la Comunidad de los Macroinvertebrados (MCI) y del Hábitat Escore manteniéndolo en un índice muy bajo.
6. Existe similitud del comportamiento del Cu en el agua, el Zn y Pb en el sedimento, TOxN, TSS, *E.coli* en Henderson Creek South y Glen Eden en los tres periodos evaluados y en Upper Oratía y Upper Opanuku en el EPT, MCI, CO, pH y DRP.
7. Se requiere analizar los valores normativos de la calidad del agua y los ecosistemas en el mismo número de muestras, periodo, época y por una misma consultoría. Para poder dar una planeación adecuada del manejo integral de la cuenca de los Twin Streams.
8. La confrontación de resultados cualitativos con cuantitativos da pautas de que si bien, la contaminación fisicoquímica son factores de mucha importancia hay otros factores cualitativos que influyen desfavorablemente a la calidad del agua y de la biota acuática de aquí la importancia del SMISC.
9. En el diagnóstico ambiental se pudo observar que las cargas desproporcionadamente altas de sedimentos se producen principalmente por las cuencas rurales que se originan debido a la deforestación, las calles de pedrería y terracería y su pendiente promedio mayor al 5%, todos estos factores incrementan la erosión de ladera y del río, además las precipitación altas y continuas provocan altos arrastres de sedimentos por la

impermeabilidad del suelo en la parte media baja tomando como medio receptor los arroyos en la cuenca Twin Streams, trasportándose a su vez al Puerto de Waitemata.

10. Para lograr la sustentabilidad de la Cuenca de los Twin Streams, se debe establecer indicadores sociales, económicos, ambientales y culturales, y sus estrategias de crecimiento y desarrollo en el Manejo Integral de Cuencas, con un enfoque de ecociudad.
11. Para mejorar el régimen hidrológico y amortiguar las variaciones en los flujos se requiere continuar con los programas de reforestación de plantación riberana y autóctona preferentemente en las áreas estratégicas mencionadas considerando la plantación de la parte alta a la parte baja del Sistema I y II.
12. La combinación de los dispositivos de Diseño y Desarrollo de Bajo Impacto (DDBI), la reducción de la impermeabilidad de las calles, las medidas de control y la aplicación de la normatividad en el Sistema I y II permitirán reducir el 39,9% de los sedimentos, el 10,2% de zinc y 13,2% de cobre disueltos que son los peores contaminantes de las aguas de dichos arroyos reduciendo a su vez la carga de contaminantes en el Puerto de Waitemata.
13. La metodología desarrollada se puede aplicar a otras cuencas con diferentes características.

## **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda considerar los valores normativos de la calidad del agua y analizar los ecosistemas con los mismos indicadores, con el mismo número de muestras y época de muestreo. La consultora a contratar debería retomar la evaluación, control y seguimiento del comportamiento de la cuenca y poder recomendar una planificación adecuada para el manejo integral de la cuenca.

- Para una apropiada gestión de los recursos hídricos en la Región de Auckland, se recomienda utilizar de una metodología que integre un buen diagnóstico con un enfoque sistémico y holístico que permita identificar a todas las interacciones de las diferentes fuentes de contaminación tanto naturales como antropogénicas y que tenga evaluación, control y seguimiento.

- Para alcanzar un SMISC, se recomienda implementar las siguientes acciones en un proceso de evaluación, control y seguimiento: educación ambiental, mantenimiento de pintura a los techos de las casas y dar cumplimiento a las normas vigentes para toda la cuenca. Además, incrementar los sistemas de agua pluvial, en los sitios: 26-27 (CP), 18 (HCS), 24-25 (HC) y 28-29-30 (TAP) y en el Sistema II en los sitios 31-34 (US), 36-38 (WA), 40 (MO), 48 y 49 (RA), 51 (PA), 54 (LN), 56-57 (MA) y 58-60 (ME), realizar el mantenimiento de la red de aguas residuales y de los DDBI existentes en la cuenca. Esto permitirá reducir los encharcamientos, el lodo residual y vertidos que existen en estos sitios y a su vez mitigarán la presencia de vegetación en el cauce de los arroyos de los sitios 3-L (UGE), 4-M, 5, 6-N (GE) y 15-B (UOP) 16-O, 17-H, 18-19-I (HCS), 23 y 24-25 (HC), 27 (CP) y 28 y 29 (TAP), 33 (US), 36 (WA), 40 (MO) y 60 (ME), y la maleza en 10(UO), 36 (WA) y 54 (LN) mejorando así la calidad del agua en los sitios 4-M y 6-N (GE) del Arroyo Waikumete; 7-E (UO) del Arroyo Potter; 8-F y 11-G (UO) del Arroyo Oratía y 34-Q en el Arroyo Swanson (US) y por ende incrementaran la vida acuática del Sistema I y II.

- Se recomienda implementar nuevos dispositivos de Diseño y Desarrollo de Bajo Impacto (DDBI) en Upper Glen Eden, Henderson Creek y Te Atatu Peninsula del Sistema I y Lincoln y Massey del Sistema II tales como: plan integral de reforestación, trampas de sedimento, estabilización del cauce y laderas en los sitios 27 (CP), 18 (HCS), 24-25 (HC), 28-30 (TAP) y 44-45-46 (BI), 47-48-49 (RA) y 50-51-52 (PA), 53-54 (LN), 56-57 (MA) y 58-59-60 (ME) del Sistema II y mantenimiento en el cauce del río en los sitios 2-K y 3-L (UGE), 5 y 6-N (GE) y 15-B (UOP), 26 (CP) y 28-30 (TAP) en el Sistema I y en los sitios 33-34 (US), 35-36-38-39 (WA) y 41-43 (MO) y mantenimiento en el cauce del río en los sitios 2-K y 3-L (UGE), 5 y 6-N (GE) y 15-B (UOP), 26 (CP) y 28-30 (TAP) 36-38 (WA) y 40 (MO), 53-54 (LN), 55 (MA) y 58-59 (ME) del Sistema II.

- Se requiere que se disminuya la impermeabilidad máxima del 90% a un 70% en las zonas industriales y/o comerciales que se localizan en Central Park, Upper Opanuku, Lower Opanuku y Henderson Creek South del Sistema I y Waimoko, Paremuka, Ranui y Massey East del Sistema II. Implementándose dentro del predio un 20% de área con DDBI tales como: dispositivos de biofiltración y bioretención concreto permeable en la pavimentación, reforestación, estabilización del cauce y/o laderas, control de maleza, trampas de sedimento; mantenimiento de los DDBI existentes. Además, que las industrias le den mantenimiento de pintura a los techos dando cumplimiento a las normas vigentes. Dando prioridad a UOP, LO y HCS los sitios 13-A y 15-B (UOP), 21-D (LO) en el Arroyo Opanuku y H, I y O en el Arroyo Oratía.

- La implementación de nuevos DDBI tales como dispositivos de biofiltración y bioretención concreto permeable en la pavimentación, reforestación, estabilización del cauce y/o laderas, control de maleza, trampas de sedimento, reubicadas las casa y mantenimiento de los DDBI existentes en los sitios 5 (GE), 10, 11-G (UO), 12-15-B (HCS) y 20-21-C, 22-D (LO), 27 (CP) y 28 y 29 (TAP) mitigará el riesgo de inundación en 432 predios que se encuentran en el Sistema I.

- Es esencial realizar el análisis del comportamiento del acuífero en lo referente a su capacidad de almacenamiento y establecer los niveles de contaminación a los fines de una utilización eficiente y sustentable.

- Aún en zonas con abundantes precipitaciones es importante considerar la variabilidad climática manifestada en anomalías hídricas negativas a través de un sistema de monitoreo y evaluación de las sequías.

## BIBLIOGRAFÍA

- Adams K.N., Koh S., Tutulid M. R., and Shamseldin, A. Y. 2010, Project Twin Streams Development of a Three-Dimensional Groundwater Flow Model for Investigation of the Waitemata Sandstone Aquifer.
- Addinsoft. 2009. XLSTAT Software Estadístico.
- Andreu J., Capilla J. and Sanchís E. 1996. AQUATOOL, a generalized decision-support system for water-resources planning and operational management. *Journal of Hydrology*, 177, 269-291.
- ANZECC. 2000, *Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality. National Water Quality Management Strategy*. Australian and New Zealand Environment and Conservation Council. Agriculture and Resource Management Councils of Australia and New Zealand. Canberra, Australia.
- ARC (Auckland Regional Council), 1999. Auckland Regional Policy Statement. Auckland Regional Council. ISBN 0-908938-489. Agosto 1999.
- ARC (Auckland Regional Council), 2004a. *Framework for assessment and management of urban streams in the Auckland Region*. Environmental Management, Technical Publication 232, Auckland. 32 pp.
- ARC (Auckland Regional Council), 2006. Hojas de cálculos del Modelo de Cargas de Contaminantes.
- ARC (Auckland Regional Council), 2010, State of the Environment.
- ARC (Auckland Regional Council), 2012<sup>a</sup>. Auckland Plan. Auckland Council.
- ARC (Auckland Regional Council), 2012<sup>b</sup>. Long Term Plan 2012-2022. Auckland Council.
- ARC (Auckland Regional Council), 2013<sup>a</sup>. Auckland Council Regional Plan: Air, Land and Water.
- ARC (Auckland Regional Council), 2013<sup>b</sup>. The Proposed Auckland Unitary Plan. Auckland Council.
- ARC (Auckland Regional Council), 2013. Base de datos procedente del SIG del Ayuntamiento.

- ARC(Auckland Regional Council), 2013. Base de datos de las viviendas y propiedades en la llanura de inundación de la cuenca Twin Streams, con base a los modelos hidráulicos y registros en el SIG.
- ARC (Auckland Regional Council),2014. Plan de Ordenamiento Territorial de Auckland Apartado de Waitakere 2003.
- ARC (Auckland Regional Council),2014<sup>a</sup>. Annual Plan 2014/2015. Auckland Council.
- ARC (Auckland Regional Council),2014<sup>b</sup>. Auckland Council District Plan - Operative Waitakere Section 2003. Auckland Council.
- Asano T. (2005) 'Urban water recycling'. *Water Science & Technology*, 51/8 (2005): 83–89.
- Ashley R., D. Blackwood *et al.*, 2004. Sustainable Water Services, A procedural guide (SWARD), IWA Publishing, Lightning Source, Milton Keynes, UK.
- Astorga Y. 2008. *Situación del recurso hídrico. Informe preliminar*. Decimocuarto Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible. Litografía e Imprenta Guilá, S.A. San José, Costa Rica.
- Atlas Communications y Media Ltd. 2011. Project Twin Streams case study: Large-scale property purchase without recourse to compulsory purchase. Prepared for the Ministry for the Environment on behalf of Waitakere City Council. Wellington: Ministry for the Environment, pg.32.
- Beach D. 2002. "Coastal sprawl. The effects of urban design on aquatic ecosystems in the United States." Pew Oceans Commission, Arlington, Va.
- Bras R. L. y Perkins F.E. 1975. Effects of urbanization on catchment response. *J. of Hydraulics Division*. Vol. 101, HY3 ,pp.451-466.
- Boletta, P.E., Ravelo, A.C. Planchuelo, A.M. & Grilli, M. 2006. Assessing deforestation in the Argentine Chaco. *Forest Ecology and Management* 228: 108-114.
- Boletta, P.E., Ravelo, A., Planchuelo, A.M., Grilli, M. & Zanvettor, R.E. 2010. Evaluación de sequías, deforestación y desertificación en el Chaco Seco. *RALDA Agrometeorología sin fronteras*: 150-151.
- Bossel H. 1999. *Indicators for Sustainable Development: Theory, Method, Applications*. A Report to the Balaton Group Published by the International Institute for Sustainable Development, Winnipeg, Manitoba, Canada.

- Boyacioglu H. and Boyacioglu H. 2007. Surface water quality assessment by environmetric methods. *Environ. Monit. Assess.* 131: 371-376.
- Booth D.B., Hartley D. and Jackson, R. 2002. Forest cover, impervious-surface area, and the mitigation of stormwater impacts, *Journal of the American Water Resources Association*, 38(3), 8356-845.
- Bouwer H. 2002. "Integrated Water Management for the 21<sup>st</sup> Century: Problems and Solutions." *J. Irrig. Drain Eng.*, 10, 11061 (ASCE) 0733-9437 (2002) 128:4(193), 193-202.
- Brown R., Keath N. and Wong T. (2008). *Transitioning to Water Sensitive Cities: Historical, Current and Future Transition States*. 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland, UK, 2008
- Burkart M. R., Kolpin D. W. and James D. E. 1999. Assessing Groundwater Vulnerability to Agrichemical Contamination in the Midwest US. *Wat. Sci. Tech.* 39:103-112.
- Calvo B. G. y Mora M. J. 2009. Evaluación y clasificación preliminar de la calidad del agua de las cuencas de los ríos Tárcoles y Reventazón. Parte IV: Análisis estadístico variables relacionadas con la calidad del agua *Tecnología en Marcha*, Vol. 22, N.º 1, pp.57-64
- Capra F. 1996. *The Web of Life - A New Synthesis of Mind and Matter*, Harper Collins Publishers, 77-85 Fulham Palace Road, Hammersmith, London W6 8JB, UK.
- Castañé P. M., López C. R., Olguín F., Puig A., Rovedatti M. G., Topalián M. L. y Salibián A. 1998. Caracterización y variación espacial de parámetros físicoquímicos y del plancton en un río urbano contaminado (río Reconquista, Argentina). *Rev. Int. Contam. Ambie.* 14, 69-77.
- Censo de New Zealand. 2013. <http://www.stats.govt.nz/Census/2013-census/data-tables.aspx>
- Chapman D. 1996. *Water Quality Assessments -A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring -Second Edition* 1996, paginas 651 UNESCO/WHO/UNEP ISBN 0 419 21590 5
- Chávez-Alcántar A., Velázquez-Machuca M., Pimentel-Equihua J. L., Venegas-González J., Montañez-Soto J. L., and Vázquez-Gálvez G. 2011. Hydrochemistry of Surface Water in the Cienega of Chapala and Water Quality Index, México. *Terra*

- Latinoamericana, vol. 29(1), pp. 83-94 Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México.
- Chen, S., Jiang, Y., Lui, Y. and Diao, C. (2012). Cost constrained mediation model for analytic hierarchy process negotiated decision making. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 19, 3-13.
- Chester R. y Voutsinou F. G. 1981. The initial assessment of trace metal pollution in coastal sediments. *Marine Pollution Bulletin*, 12: 84-91.
- Choi K.Y., Kim S.H., Hong G.H. and Chon H.T. 2012. Distributions of heavy metals in the sediments of South Korean harbors. *Environ. Geochem. Health* 34, 71–82.
- Chocat B., Krebs P., Marsalek J., Rauch W., and Schilling W. 2001. Urban drainage redefined: from stormwater removal to integrated management. *Water and Science Technology*, 43, 61-68.
- Costanza R. 1994. Three general policies to achieve sustainability. In: A. Jansson, M.Hammer and R. Costanza, eds. Investing in natural capital., Washington: Island Press.
- Corcoran E., Nellemann C., Baker E., Bos R., Osborn D. and Savelli H. (Eds). 2010, Sick Water? The central role of wastewater management in sustainable development. A Rapid Response Assessment. United Nations Environment Programme, UN-HABITAT, GRID-Arendal.
- D'Arcy B. J., Ellis J. B., Ferrier R. C., Jenkins A. and Dils R. (eds.). 2000 *Diffuse Pollution Impacts, the environmental and economic impacts of diffuse pollution in the UK.* Chartered Institution of Water and Environmental Management ( CIWEM).
- Departamento de Estadísticas de Nueva Zelanda, Censo del 2013.  
<http://www.stats.govt.nz/Census/2013-census/data-tables/meshblock-dataset.aspx>.
- Education Counts, 2014. Base de datos de escuelas en Nueva Zelanda.
- Ellis J.B., Deutsch J.C., Mouchel J.M., Scholes L. and Revitta M.D. 2004. Multicriteria decision approaches to support sustainable drainage options for the treatment of highway and urban runoff. *Sci. Total Environ*, 334–335,251–260.
- Elvidge C. D., Sutton P. C. and Wagner T. W. 2004. Urbanization. In G. Gutman, A. Janetos, Justice C., *et al.*, (Eds.), *Land change science: Observing, monitoring, and understanding trajectories of change on the earth's surf.*

- EPA (U.S. Environmental Protection Agency). 2008. Handbook for Developing Watershed Plans to Restore and Protect Our Waters. United States Environmental Protection Agency Office of Water Nonpoint Source Control Branch Washington, DC 20460, EPA 841-B-08-002.
- EPA (U.S. Environmental Protection Agency). 2012. Water Quality Criteria. National Recommended Water Quality Criteria, <http://water.epa.gov/scitech/swguidance/standards/criteria/current/index.cfm#C>.
- Eva-Terezia Vesley and Heijs J. 2005. The Economics of Low Impact Stormwater Management in Practice - Glencourt Place. The 4th South Pacific Conference on Stormwater and Aquatic Resource Protection, 4 - 6 May, 2005, Auckland, New Zealand.
- Falconer K. E. 1998. Managing Diffuse Environmental Contamination from Agricultural Pesticides: An Economic Perspective on Issues and Policy Options, with Particular Reference to Europe. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 69:37-54.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2011. La FAO lanza campaña para prevenir las enfermedades de transmisión alimentaria. Obtenido desde: <http://www.alimentacion.enfasis.com/notas/12574-la-fao-lanza-campanaprevenir-las-enfermedades-trasmision-alimentaria>. (11/11/11).
- FAO. Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos. (<http://www.fao.org/docrep/w2598s/w2598s03.htm#TopOfPage>)
- Ferguson B. C., Brown, R. R. and Werbeloff, L. 2014. Benchmarking Auckland's stormwater management practice against the Water Sensitive Cities framework. Prepared by the Cooperative Research Centre for Water Sensitive Cities for Auckland Council. Auckland Council technical report, TR2014/007.
- Fowler E. C. and Duggan I. C. 2008. Assessment of Trophic State Change in Selected Lakes of the Auckland Region based on Rotifer Assemblages: 2005-2008. Prepared by the Centre for Biodiversity and Ecology Research, University of Waikato, for Auckland Regional Council. Auckland Regional Council Document TR 2009/001.
- Funtowicz, S. and Ravetz, J. R. (1993). *Epistemología política. Ciencia con la gente*.

<http://www.coodi.com.uy/redoeste/docs/menu%20general/MATERIALES%20DE%20INTERES/Epistemologia%20politica%20Ciencia%20con%20>

- Gabriel, K. R. 1971. The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis. *Biometrika*, vol. 58 (3), 453-467.
- Gabriel K.R. and Odoroff C.L. 1990, Biplots in biomedical research. *Statistics in Medicine*, vol. 9, 469-485.
- García, C.L., García, C.M., Planchuelo, A.M. & Ravelo, A. 2013. Escenarios posibles y herramienta de pronóstico en una cuenca serrana de Córdoba, Argentina. 1r Cong. Iberoame. de Protección, Gestión, Eficiencia, Reciclado y Reúso del Agua. 9-12 Mayo, 2013. Córdoba.
- Golder Associated, 2010, Pressure State Responce Report Project Twin Streams Catchment Monitoring. Waitakere City Council, Auckland New Zealand.
- Grael C. E. and Carrillo C. M. 2006. Calidad del agua del río Zanatenco en el Estado de Chiapas. *Ingeniería* 10, 35-42.
- Guzmán C. G., Thalasso F., Ramírez L. E., Rodríguez N., Guerrero B. A., and Avelar G. F. 2011. Evaluación Espacio-Temporal de la calidad del agua del río San Pedro en el Estado de Aguascalientes, Mexico. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. Vol 27 N° 2. [http://www.revistas.unam.mx/index.php/rica\\_editor.rica@atmosfera.unam.mx](http://www.revistas.unam.mx/index.php/rica_editor.rica@atmosfera.unam.mx).
- Global Water Partnersio (2012). Hacia una gestión integrada de aguas urbanas.
- GWP (Global Water Partnership) y INBO (International Network of Basin Organizations). 2009. Manual para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos en Cuencas ISBN: 978-91-85321-78-0 páginas 112.
- GWP (Global Water Partnership). 2000, Manejo integrado de recursos hídricos, Comité de Consejo Técnico (TAC) Background Papers N° 4. Disponible en <http://www.gwpforum.org/gwp/library/TAC4sp.pdf>.
- Hall K. 2009. *Project Twin Streams Water Quality: What to Aim For*, Waitakere City Council, pp1-21. Contaminant Mitigation Options for Shoal Bay. Pp 1-50.
- Harguinteguy C. A., Fernández C. A.M. and Pignata L., (2014). Heavy metal accumulation in leaves of aquatic plant *Stuckenia filiformis* and its relationship with sediment and water in the Suquía river (Argentina).

- Herath G. 2004. Incorporating community objectives in improved wetland management: The use of the analytic hierarchy process. *J. Environ Manage.* 7(3) 263-273.
- Hipper K. H. 1992. Multiple objective decision making in water resources. *Water Resources Bulletin* 28 3-10.
- Holling C. S. 2001. "Understanding the Complexity of Economic, Ecological, and Social Systems." *Ecosystems* 4: 390-405. Holguín C., Rubio H., Olave M. E., Saucedo R., Gutiérrez M. y Bautista R. (2006). Calidad del agua del río Conchos en la región de Ojinaga, Chihuahua: Parámetros fisicoquímicos, metales y metaloides. *Universidad y Ciencia* 22, 51-63.
- Hostmann M., Boursuk., Reichert P. and Truffer B. 2005. Stakeholder values in decision support for river rehabilitation. *Larger rivers* 15(1-4) 491-505.
- Hopper, B., 2006. Key Performance Indicators of River Basin Organizations Institute for Water Resources, US Army Corps of Engineers, Southern Illinois University, Carbondale. 2006-VSP-01 pg. 87.
- IISD. 2004. Sustainable Development Report 2003-2004, Assessing our Economic, Environmental and Social Performance, International Institute for Sustainable Development, Winnipeg, Ottawa, Geneva and New York.
- Jantz P., Goetz S. and Jantz C. 2005. "Urbanization and the loss of resources lands in the Chesapeake Bay Watershed." *Environ. Manage.* (N. Y.), 36(6), 808-825.
- Jones R., Pullen E. and Graham S. 2001. *Water Quality Programme (Management of Streams). Henderson Creek South Catchment Management Zone. EcoWater Solution. Oratia and Waikumete Streams.* pp 1-83.
- Kaiser H.F. 1958. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *Psychometrika* 23, 187-200.
- Kelly S. 2010, Effects of stormwater on aquatic ecology in the Auckland region. Prepared by Coast and Catchment for Auckland Regional Council. Auckland Regional Council Document Type 2010/021. 61 pp.
- Kingett Michell., Enviro Ventures Associates Ltd and Diffuse Sources Ltd. 2005. *Project Twin Streams Catchment Monitoring Ecological Monitoring Report.* Waitakere City Council. September 2005.
- Kingett Mitchell and Associates Ltd. 2005a. *Project Twin Streams Sediment Quality Monitoring.* Report prepared for EcoWater Solutions, Waitakere City Council.

- Kingett Mitchell and Associates Ltd. 2005b. *Project Twin Streams. Water Quality Monitoring Summer 2003-2004*. Report prepared for EcoWater Solutions, Waitakere City Council.
- Kingett, Mitchell and Associates Ltd. 2006a. *Project Twin Streams Sediment Quality Monitoring*. Report prepared for EcoWater Solutions. Waitakere City Council.
- Kingett Mitchell and Associates Ltd. 2006b. *Project Twin Streams. Water Quality Monitoring Summer 2005-2006*. Report prepared for EcoWater Solutions, Waitakere City Council.
- Kundzewicz Z.W. 2002. Non-structural flood protection and sustainability. *Water Int.*, 27, 3–13.
- Landerma R., Salminen P. and Hokkanen J. 2000, Using Multicriteria methods in environmental planning and management. *Environ Manage.* 26 (6) 595-605.
- Ledesma C., Bonansea M., Rodríguez C., y Sánchez A. 2013. Determinación de indicadores de eutrofización en el embalse Río Tercero, Córdoba (Argentina)<sup>1</sup> *Revista Ciencia Agronómica*, v. 44, n. 3, p. 419-425. [www.ccarevista.ufc.br](http://www.ccarevista.ufc.br).
- Loague K., and Corwin D. L. 1998. Regional-Scale Assessment of Non-point Source Groundwater Contamination. *Hydrol. Process.* 12:957-965.
- Lockie S., and Neale, M. W. 2013. State of the environment monitoring: river water quality annual report 2012. Auckland Council technical report, TR2013/032, pg.54.
- Loska K., Wiechula, D. and Korus, I. 2004. Metal contamination of farming soils affected by industry. *Environ. Int.* 30, 159–165.
- Loukas A., Mylopoulos N. and Vasiliades, L. 2007. A Modeling System for the Brece Water Resources Manage 21 1673-1707.
- Matteo M., Randhir T. and Bloniarz D. 2006. Watershed-scale impacts of forest buffers on water quality and runoff in urbanizing environment. *Journal of the American Water Resources Association*, 132, 144-152.
- Marttunen M. and Soumelainen M. 2005. Participatory and multi objective development of water course regulation of regulation alternatives from stakeholders` preferences. *J. MultiCri. Dec. Anal.* 13(1) 29-49.
- May C. W. and Horner. R. R. 2002. "The Limitations of Mitigation-Based Stormwater Management in the Pacific Northwest and the Potential of a

Conservation Strategy based on Low-Impact Development Principles." Proceedings of the Ninth International Conference on Urban Drainage, Joint Committee on Urban Drainage of the Association for Hydraulic Research and the International Water Association and the American Society of Civil Engineers.

Miguel R. A., Torrecillas N. C. y Ravelo A. C. 2014. Participación con la Ponencia Integrater river basin management to prevent and mitigate drough in Northwest México. En el 17<sup>th</sup> International RIVERSYMPIOSIUM en Canberra, Australia en septiembre del 2014.

Miguel R. A., Torrecillas N. C. y Ravelo A. C. 2014. Participación con la Ponencia Strategic plan to prevent and mitigate drough in three large Mexican Catchments. En el 17<sup>th</sup> International RIVERSYMPIOSIUM en Canberra, Australia en septiembre del 2014.

Miguel R. A., Torrecillas N. C. y Ravelo A. C. 2015. Formulación del programa de medidas preventivas y de mitigación de la sequía para la ciudad de Mazatlán, Sinaloa, 1<sup>a</sup> versión 2015 y para la ciudad de Culiacán, Sinaloa y Durango, Durango, 2<sup>a</sup> versión 2015.

Memon P. A. and Skelton P.R. 2007, 'Institutional Arrangements & Planning Practices to Allocate Freshwater Resources in New Zealand: A Way Forward', NZ Journal of Environmental Law, vol. 11, pp. 241-277. Disponible en <http://search.informit.com.au/documentSummary;dn=257892676207777;res=IELHSS>.

Ministry for the Environment. 2014. National Policy Statement for Freshwater Management.

Ministry for the Environment y Statistics New Zealand. 2015. New Zealand's Environmental Reporting Series: Environment Aotearoa. Disponible en <http://mfe.govt.nz/sites/default/files/media/Environmental%20reporting/environment-aotearoa-final.pdf>.

MFE. 2008. Land use agriculture, urban development and fresh water. Disponible en <http://www.mfe.govt.nz/issues/water/prog-action/managing-effects-of-land-use.html>.

MFE. 2014. National Policy Statement for Freshwater Management 2014, 34 pp. new zealand. gobt.nz.

- Mironeko E. V. and Pachepsky Y. A. 1998. Estimating Transport of Chemicals form Soil to Ponding Water. *J Hydrol* 208:53-61.
- Molina J. L., García., Aróstegui J.L., Benevante J., Varela C., De La Hera A. and López-Geta J. A. 2009. Aquifers Overexplotation in SE Spain: a proposal for the Integrated Analysis of Water Managenment. *Water Resources Manage* DOI 10,1007/s 11269-009-9406-5.
- Morphum Environmental Ltd. 2006. Pilot Stream Survey and Asset Condition Assessment Lincoln Stream páginas 71.
- Nas S. S. , Bayram, A., Nas E. and Bulut, V.N. 2008. *Effects of some wáter quality parameters on the disolved oxygen balance of streams*. *Polish Journal of Environmental Studies*, vol. 17 Issue 4, p. 531-538.
- New Zealand Government, 2013. Land Transport Management Act 2003, Public Act 2003, No 118. Date of assent.
- New Zealand Government. 2014a. Resource Management Act 1991, Public Act 1991 No 69. .
- New Zealand Government. 2014b. Local Government Act 2002, Public Act 2002 No 84. .
- New Zealand Government. 2014c. Waitakere Ranges Heritage Area Act 2008, Local Act 2008 No 1.
- New Zealand Government. 2014d. Hauraki Gulf Marine Park Act 2000, Public Act 2000 No 1.
- New Zealand Gazette. 2010, New Zealand Coastal Policy Statement 2010, Department of Conservation.
- New Zealand Gazette. 2014. National Policy Statement for Freshwater Management 2014. Ministry for The Environment.
- NIWA. 2002. Marine Sedime.nt Monitoring Programme: Review of Results and Procedures.
- NIWA. 2010, Ecological evaluation and recommendations for restoration of urban streams in Waitakere City.
- NIWA. 2015. base de datos climatológicos nacional (NationalClimateDatabase).<http://cliflo.niwa.co.nz/>.
- OECD, 2012. Agriculture and Water Quality: Monetary Costs and Benefits across OECD Countries

- ONU. 2003. Informe sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo de las Naciones Unidas, agua para todos, agua para la vida.
- ONU-Hábitat. 2003. Water and Sanitation in the Words Cities Earthscan Publications.
- ONU.2012. El agua y el saneamiento en el Informe sobre los Objetivos de Desarrollo del Milenio 2012.
- ONU. 2014. Informe sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo de las Naciones Unidas, Los Objetivos de Desarrollo del Milenio han demostrado que podemos contribuir a mejorar profundamente la vida de la gente pp 59.
- OMCO. 2010, Estadísticas de enfermedades provocadas por el agua. *Consumer World Organization*. Obtenido desde:  
[www.omco.org/agua/estadisticas\\_enfermedades\\_por\\_agua.htm](http://www.omco.org/agua/estadisticas_enfermedades_por_agua.htm). (13/02/10).
- OMS (Organización Mundial de la Salud). 2009. Enfermedades diarreicas, una amenaza latente. Obtenido desde: <http://elmercuriodigital.es> - [elmercuriodigital.es](http://elmercuriodigital.es). (13/02/2010).
- OMS (Organización Mundial de la Salud). 2011. Agua, saneamiento y salud: Manejo ambiental para el control de vectores. Obtenido desde: <http://www.who>.
- OMS (Organización Mundial de la Salud). 2015. World Health Statistics. Obtenido desde: [www.who.int/gho/publications/world\\_health\\_statistics/2015/en/](http://www.who.int/gho/publications/world_health_statistics/2015/en/).
- Orengo H. A. y Miro´ C. 2013. Reconsidering the water system of Roman Barcino (Barcelona) from supply to discharge. This article is published with open access at [Springerlink.com](http://Springerlink.com) Water Hist (2013) 5:243–266.
- Otago Regional Council. 2011. Water quality and ecological health for rivers in the Catlins area, 48pp.
- Pacheco J. F y Contreras, E. 2008. Manual metodológico de evaluación multicriterio para programas y proyecto. Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social (ILPES). Santiago de Chile.
- Palaniappan M., Gleick P.H., Allen L., Cohen M.J., Christian-Smith J. and Smith C. 2010, Clearing the Waters: A focus on water quality solutions. UNEP, Nairobi.
- PCE. 2000, Ageing Pipes and Murky Waters - Urban water system issues for the 21st Century, Parliamentary Commissioner for the Environment, Wellington, NZ.
- Pearson K. 1986. Regression, heredity, panmixia. In *Mathematical contributions to the theory of evolution*. Philos. Trans. R. Soc. Lond, 187: 253-318.

- Pedone, C. 2000. El trabajo de campo y los métodos cualitativos. Necesidad de nuevas reflexiones desde las geografías latinoamericanas. *Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, 57.
- Philip, L. J. 1998. *Combining quantitative and qualitative approaches to social research in human geography—an impossible mixture?* Extraído el 5 de marzo de 2014 de <http://www.envplan.com/abstract.cgi?id=a300261>.
- Planchuelo, A.M. 2010. “Xerojardinería, Asesoramiento para Cultivar Plantas Resistentes a la Sequía”. COOPI. [www.coopi.com.ar/6\\_doc/plantas.pdf](http://www.coopi.com.ar/6_doc/plantas.pdf).
- Planchuelo, A. M. & Barbeito, A. 2010. Xerojardinería: Un proyecto de asesoramiento para cultivar plantas resistentes a las sequías en las sierras de Córdoba, V Congreso de Floricultura: E3-8, Concordia, 2-5.
- Planchuelo-Ravelo, A.M. & Ravelo, A.C. 1985. Drought/Crop Condition Assessment Methods for Northeast Brazil, Mexico, Paraguay and Uruguay. Edit. Univ. Missouri Press. Columbia, Missouri, U.S.A. 128 pp., ilustr. USA.
- Prochat V. 2008. Principios de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos. Bases para el desarrollo de planes nacionales. Global Water Paternship (GWP) Asociación Mundial para el Agua.
- Randhir T. 2003. Watershed-scale effects of urbanization on sediment export: assessment and policy, *Water Resources Research*, 39(6), 1-13.
- Rauch W. 1998. Problems of Decision Making for a Sustainable Development. *Wat. Sci. Tech.* 38:31-39.
- Ravelo, A.C., 2000. Caracterización Agroclimática de las sequías extremas en la región pampeana argentina. *Rev. Fac. Agronomía* 20(2):187-192.
- Ravelo, A.C. & Pascale, A.J. 1997. Identificación de ocurrencia de sequías mediante imágenes del satélite NOAA e información terrestre. *Rev. Fac. de Agronomía* 17(1):105-107.
- Ravelo, A.C. & Santa, J.A. 2000. Estimación de las precipitaciones utilizando información satelital y terrestre en Córdoba (Argentina). *AgriScientia* XVII, 21-27.
- Ravelo, A.C., Planchuelo, A.M. & Cherlet, M. 2005. Monitoring land cover and drought occurrence along an ecological gradient in Argentina. In Veroustraete, F., E. Bartholomé & W.W. Verstraeten. *Proceeding Second International VEGETATION Users Conference*: 255-259.

- Ravelo, A.C., Plachuelo, A.M. & Pietragalla, V. 2009. Spanish version of: Liniger, H. G. van Lynden, F. Nachtergaele & G. Schwilch 2009. "Un cuestionario para: Mapeo de la Degradación de la Tierra y del Manejo Sustentable de la Tierra" WOCAT Project. 42pp.
- Ravelo, A.C., Zanvettor, R.E. & Boletta, P.E. 2014. Atlas de Sequías de la República Argentina. Versión digital en [www.crean.unc.edu.ar](http://www.crean.unc.edu.ar). [ISBN 978-950-33-1195-0](https://doi.org/10.1007/978-950-33-1195-0).
- Ravelo A.C., Zanvettor, R. & Da Porta, W. 2001. Desarrollo de un sistema para la detección, seguimiento y evaluación de las sequías agrícolas en Argentina. *Rev. Argentina de Agrometeorología* 1(2):27-34.
- Reid H. E., Gregory C. E., Brierley G. J. and Trowsdale S. 2009. *Technical Synthesis of the Geomorphic River Styles Framework in the Project Twin Streams Catchment*. University of Auckland.
- Rein A. F. 1999. An Economic Analysis of Vegetative Buffer Strip Implementation Case Study: Elkhorn Slough, Monterey Bay, California. *Coastal Management* 27:377-390.
- Rivera-Vázquez R., Palacios-Vélez O. L., Chávez-Morales J., Belmont M. A., Nikolski-Gravilov I., De la Isla de Bauer M. L., Guzmán-Quintero A., Terrazas-Onofre L. y Carrillo-González R. 2007. Contaminación por coliformes y helmintos en los ríos Texcoco, Chapingo y San Bernardino tributarios de la parte oriental de la cuenca del Valle de México. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 23, 69-77.
- Robert K. H. 2000. "Tools and concepts for sustainable development, how do they relate to a general framework for sustainable development, and to each other?" *Journal of Cleaner Production* 8: 243-254.
- Robert K. H. and Schmidt-Bleek, B. 2002. "Strategic sustainable development - selection, design and synergies of applied tools." *Journal of Cleaner Production* 10: 197-214.
- Rubio B., Nombela M. A. y Vilas, F. 1998. Distribution and assessment of heavy metal pollution in surficial sediments in the Ria *Baixas gallegas: nuevos valores de fondo para la Ría de Vigo (NO de España)*. *Journal of Iberian Geology*, vol. 26, 121-149. ISSN: 0378-102X.
- Samboni N. E., Carvajal Y. y Escobar J. C. 2007. Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Ingeniería e Investigación* 27, 172-181.

- Sánchez A. 2009. *Antología curso: geodinámica y problemas ambientales. Tesis Doctoral en Ciencias Naturales para el desarrollo*, 3a. promoción 2009, Universidad de Chapingo, México. 262. p.p.
- Sedeño-Díaz J. E. and López-López E. 2007. Water Quality in the Rio Lerma, Mexico: An Overview of the Last Quarter of the Twentieth Century. *Water Resour Manage* 21,1797-1812.
- Sharma D., Gupta R., Karan S. R. and Kansal A. 2012. Characteristics of the event mean concentration (EMCs) from rainfall runoff on mixed agricultural land use in the shoreline zone of the Yamuna River in Delhi, India. *Short Research Communication. Appl Water Sci* 2:55–62.
- Sharma D. 2008. Sistema de Drenaje Sostenible (SuDs) para la Gestión de Aguas Pluviales: Una intervención tecnológica y política en la lucha contra la contaminación difusa 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland, UK.
- Simcock R., Morgan F. and Terezia V. E. Project Twin Streams: options for reducing sediment from rural subcatchments (AA edited & LB/MK reviewed). *Landcare Research* pp 31.
- Snedecor, G.W. y W.G. Cochran, 1973. *Statistical methods*. Iowa State University Press. 593 págs.
- Statistics New Zealand 2013<sup>a</sup>. Base de datos socioeconómicos, Censo 2013.
- Statistics New Zealand 2013<sup>b</sup>. Base de datos resumen estadístico regional y de Auckland, Censo 2013
- Statistics New Zealand, 2014. Gross domestic product by industry – June 2014 quarter.
- Storey, R., Moores, J., Pattinson, P. and Utting, M. 2007. *Waitakere City Stream Survey and Asset Assessment. Year 1*. Report prepared for Waitakere City Council by the National Institute of Water & Atmospheric Research, NIWA client report HAM2007-137, September 2007.
- SWITCH (2011). *Sustainable Water Management in the City of the Future*
- Sydney Coastal Councils Group. 2005. *Water Sensitive Urban Design in the Sydney Region*. Sydney, Australia, [www.wsud.org](http://www.wsud.org).
- Teich I., García C.L., Swinnen E., Tote C., Planchuelo A. & Balzarini M. 2011. Hydrological modeling to assess the link between water availability and vegetation

- growth. En Rocha Sampaio R., Mojardim Barbosa M., Iglesias Peralta A, Adaptative Water Management: looking to the future. Río de Janeiro, Brasil. pp 65-79.
- Terpestra P. M. J. 1999. Sustainable Water Usage Systems: Models for the Sustainable Utilization of Domestic Water in Urban Area. *Wat. Sci. Tech.* 39:65-72.
- Torrecillas, N. C. 2007. Ecological Restoration of the Mocorito River Sinaloa, México, pag 105 Memoria en extensor 10ht Internacional Riversymposium & Environmental Flowers Conference.
- Torrecillas, N. C. E., y Cárdenas C., 2007. Evaluación de la Contaminación de Pesticidas y Metales Pesados en la Bahía de Bacorehuis Campo Pesquero Bacorehuis, Ahome, Sinaloa. Coordinación Nacional de Áreas Protegidas (CONANP).
- Torrecillas N. C. and Cárdenas C. 2009b. Methodological Guide For An Integrated Catchment Management Plan. Response prepared for Autonomous University of Sinaloa. December 2009.
- Torrecillas N. C. and Cárdenas C. 2009a. *Twin Streams Catchment Assessment of Environmental Effects*: Waitakere City Council. December 2009.
- Torrecillas N. C. and Cárdenas C. 2009b. Methodological Guide For An Integrated Catchment Management Plan. Response prepared for Autonomous University of Sinaloa. December 2009.
- Torrecillas N. C. and Cárdenas C. 2009c, Environmental Education Model for Project Twin Streams. Waitakere City Council. 165 pp.
- Torrecillas N. C., Cárdenas C., Ley A. E., Melville B., Shamseldin A. Y., Wood A., and Pereira B. 2010. Henderson Creek South Stormwater Management Unit Action Plan. Waitakere City Council., pp 165.
- Torrecillas N. C., 2012. Elaboración y Desarrollo del Plan Estratégico de Educación Ambiental para el Estado de Sinaloa (PEEAES) 2011-2016.
- Torrecillas N. C., Ravelo A. C. y Miguel R. A. 2013. Formulación del programa de medidas preventivas y de mitigación de la sequía para los consejos de cuenca de los Ríos Presidio al San Pedro, Ríos Mocorito al Quelite y Ríos Fuerte y Sinaloa, 1ª y 2ª versión.
- Torrecillas N. C., 2013. Plan Estratégico para la Cultura del Agua en el Estado de Sinaloa 2013-2015.

- Torrecillas N. C., Miguel R. A. y Ravelo A. C. 2014. Participación con la Ponencia Integrater water plan for developing basins: identifying and mitigating impacts. En el 17<sup>th</sup> International RIVERSYMPIOSIUM en Canberra, Australia en septiembre del 2014.
- Torrecillas N. C., Ravelo A. C. y Miguel R. A. 2015. Participación con la ponencia Integrated Water Resources Management Strategy to Mitigate Drought Impacts in Mexico. International Conference on Drought: Research and Science-Police Interfacing 2015. Realizada del 10 al 13 de marzo de 2015 en la Universitat Politècnica de València, España.
- Torrecillas N. C., Ravelo A. C. y Miguel R. A. 2015. Formulación del programa de medidas preventivas y de mitigación de la sequía para los consejos de cuenca de los Ríos Presidio al San Pedro, Ríos Mocorito al Quelite y Ríos Fuerte y Sinaloa, 3<sup>a</sup> versión.
- Tucci C. E. M. (2009). Integrated Urban Water Management in Large Cities: A Practical Tool for Assessing Key Water Management Issues in the Large Cities of the Developing World. World Bank.
- Van der Steen, P. (2006). 'Integrated Urban Water Management: Towards Sustainability'. Paper presented at the first SWITCH Scientific Meeting, University of Birmingham, UK, 9-10 Jan 2006.
- UniServices. 2011. Catchment Wide Action Plan: Point Source and Non- Urban Diffuse Source Pollution. Project Twin Streams 2010,
- UniServices. 2010, Overview of Water Balances of the Project Twin Streams Catchments.
- UN-WWAP (United Nations World Water Assessment Programme). 2009. The United Nations World Water Development Report 3: Water in a Changing World. UNESCO, Paris and Earthscan, London.
- URS New Zealand Limited. 2001. *Roading Stormwater Pollution Strategy: Draft Technical Document*. Report prepared for EcoWater Solutions. August 2001.
- Waitakere City Council. 1999. Greenprint Waitakere.
- Ward S. W. 1989. The four- dimensional nature of lotic ecosystems. J. North Am. Benthol. Soc. 8(1):2-8.

- Ward J. V. 1998. Riverine landscapes: biodiversity patterns, disturbance regimes, and aquatic conservation. *Biological Conservation* 83, 3: 269-278.
- Ward J. V., Robinson C.T. and Tockner. 2002. Applicability of ecological theory to riverine ecosystems. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 28: 443-450.
- Watercare. 2011. Auckland Regional Water Demand Management Plan 2011.
- Watercare. 2012. Watercare Services Limited Asset Management Plan for the period: 1 July 2012 to 30 June 2022.
- Watercare. 2014. Watercare Services Limited Water and Wastewater Code of Practice for Land Development and Subdivision (Based on Section 5 of NZS 4404: 2010) Wastewater.
- WCED. 1987. World Commission on Environment and Development, Our Common Future, Oxford; New York: Oxford University Press.
- Werenitzky D., Hermosilla R. D., González G. C. y Ayuga T. E. 2009. Análisis Estadístico de la Variación Temporal y Espacial de la Calidad del Agua en la Cuenca del Río Sali-Dulce (ARGENTINA). Universidad de Santiago del Estero, Argentina. Universidad Politécnica de Madrid, España.
- World Vision. 2015. Manual de manejo de cuencas. 2015. Consultada en [http://biblioteca.catie.ac.cr/cursocuencas/documentos/Manual\\_de\\_Manejo\\_de\\_Cuencas\\_Vision\\_Mundial\\_mod.pdf](http://biblioteca.catie.ac.cr/cursocuencas/documentos/Manual_de_Manejo_de_Cuencas_Vision_Mundial_mod.pdf).
- Yung-Chang L., Chang-Chien G., Chiang P., Wei-Hsiang C. and Yuan-Chung L. 2013. Multivariate analysis of heavy metal contaminations in seawater and sediments from a heavily industrialized harbor in Southern Taiwan. Published by Elsevier Ltd *Marine Pollution Bulletin* 76 (2013) 266–275.
- Zader, P. Ravelo, A & Planchuelo A.M. 2011. Actividades conducentes al desarrollo de un sistema cartográfico operativo (mapserver) para mapas de uso del suelo (LUS) y degradación de la tierra. En: Evaluación de la desertificación en Argentina. Pp 437-448. FAO.
- Zahmatkesh Z., Burian S., Karamouz M., Tavakol-Davani H. and Goharian E. 2014. "Low-Impact Development Practices to Mitigate Climate Change Effects on Urban Stormwater Runoff: Case Study of New York City." *J. Irrig. Drain Eng.*, 10,1061/(ASCE) IR. 1943-4774.0000770, 04014043.  
[http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000770](http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000770).

Zanvettor R.E. & Ravelo, A.C. 2000. Using the SPI to monitor the 1999-2000 drought in Northeastern Argentina. *Drought Network News* 12(3):3-4.

# ANEXO A.

Table A-1 Water quality guideline values.

Parameter	Guideline Value*			Relevance to PTS and stream health	How to improve values
	Excellent	Moderate	Poor		
pH	7-8	6.5-7 or 8-9	<6.5 or>9	High acidity or alkalinity can be toxic to aquatic organisms. The pH can make certain contaminants more toxic.	Reduce pollutants in the water column by treating stormwater wastewater overflows.
Summer temperatures (°C)	<16	16-20	>20	Temperatures above 20°C are toxic to aquatic life. Temperatures above 25°C can be lethal. At high temperatures there is less oxygen in the water column and some chemicals are more harmful. A well oxygenated water column is essential to aquatic life. Low gradient streams such as for much of the PTS catchment generally have lower oxygen levels than high gradient rapid flowing streams. Pollutants in the water column deplete oxygen. This also occurs if there are excess aquatic plants which rot and die.	Reduce impervious surfaces catchment Planting the stream channel can reduce temperature by shading the water surface. (Requires 600-1,000m planting to reduce temp by 1°C).
Dissolved Oxygen (% saturation)	>90	80-90	<80	A well oxygenated water column is essential to aquatic life. Low gradient streams such as for much of the PTS catchment generally have lower oxygen levels than high gradient rapid flowing streams. Pollutants in the water column deplete oxygen. This also occurs if there are excess aquatic plants which rot and die.	Reduce pollutants in the water column by treating stormwater and preventing wastewater overflows. Increase flow heterogeneity by leaving and/or placing logs and rocks in the stream bed. Plant the stream channel to shade the water surface and reduce algae and macrophyte growths.
Turbidity (NTU)	<2	2-5	>5	Turbidity is the measure of the light scattering properties of water and depends on the amount, size and composition of suspended matter such as clay, silt, colloidal particles, and microscopic organisms in the water column. Sediment and other particles can clog the gills of fish and aquatic organisms, smother and change benthic habitat of streams, and fill up estuaries and harbours. Sediments are often associated with contaminants such as metals. Only tolerant aquatic organisms can survive in streams with high sediment loads. Existing data confirms high turbidity in the PTS SMU's.	Reduce impervious surfaces and/or build detention devices to reduce rapid flood flows to streams. Create stormwater ponds, wetlands, and other treatment devices which settle out particles before they enter streams. Retrofit stormwater outfalls to ensure that the discharge to the stream does not cause erosion of stream banks. Plant stream banks to improve stability and reduce erosion. Minimise vegetation clearance. (Note that trees can cause channel widening where previous land use has resulted in sedimentation and reduced channel width.) Fence off streams in rural areas.

Hall, 2009:14

Cont...Table A-1 Water quality guideline values.

Parameter	Guideline Value*			Relevance to PTS and stream health	How to improve values
	Excellent	Moderate	Poor		
E. coli from a one-off sample (N/100ml)	<55	55-550	>550	E. coli indicates recent faecal contamination from human and/or animal waste.	Improve the wastewater system to prevent wastewater overflows.
Median E. coli out of entire dataset – implies that the river is generally suitable to swim in (N/100ml)	<23	23-126	>126	Bacteria can survive for 4-6 weeks in fresh water. Faecal contamination can lead to excess nutrients, algae and aquatic plant growths, low dissolved oxygen levels, and may indicate the presence of disease-causing bacteria and viruses. Note: In estuarine or marine environments such as Henderson Creek, enterococci should also be measured.	Limit intensified development in unserviced parts of the catchment which rely on septic tanks. Fence off streams in rural areas. Conduct animal pest control in the catchment.
Ammonia (Ammoniacal Nitrogen NH4-N g/m3)	<0.1	0.1-0.88	>0.88	High levels ammonia are toxic to aquatic organisms, while at lower levels they can contribute to excess aquatic plant growth. High levels can indicate wastewater overflows, industrial pollution and/or nutrient enrichment from farm or urban run-off.	Improve the wastewater system prevent wastewater overflows. Fence off streams in rural areas.
Dissolved Heavy Metals (g/m3):**				Data for the PTS catchment confirm that zinc and copper are major urban contaminants. Both parameters are rising in urban areas and pose a risk to aquatic life. Dissolved metals are a better indicator of water quality and toxicity than total metals, which can include particulates. Guideline values have been adopted from ANZECC trigger values for 99%, 95%, 90% protection.	Create stormwater ponds, wetlands, and other treatment devices which settle out particles before they enter streams.
Zinc (Zn)	<0.0024	0.0024-0.008	0.008-0.015		
Copper (Cu)	<0.001	0.001-0.0014	0.0014-.0018		
Aquatic Insects:**				The MCI is a biotic index used to assess the ecological condition of streams and rivers. This involves collecting macroinvertebrates (aquatic insects) living in the stream. The presence of different macroinvertebrate species can indicate the quality of the water and physical habitat of the stream. EPT taxa are generally more sensitive to pollution and habitat degradation.	Reduce flood flows and contaminants by attenuating and treating stormwater. Plant the stream banks to provide shade, input of leaves and wood, and habitat for adult insects. Connect plantings with existing bush remnants to provide corridors for insects. Increase flow heterogeneity by leaving and/or placing logs and rocks in the stream bed.
Macroinvertebrate Community Index (MCI-sb)	>120	100-120	80-100	<80	
Number of Mayfly, Stonefly, Caddisfly taxa (EPT)	>6	4-5	2-3	0-1	

Hall, 2009:14

Cont....Table A-1 Water quality guideline values.

Parameter	Guideline Value*			Relevance to PTS and stream health	How to improve values
	Excellent	Moderate	Poor		
Copper (mg/kg)	<19	19-34	>34	Copper is a common urban stormwater contaminant. It accumulates in sediment. Refer to existing ARC and Kingett Mitchell data.	Reduce pollutants in the water column by treating stormwater wastewater overflows.
Zinc (mg/kg)	<125	125-150	>150	Zinc is a common urban stormwater contaminant. It accumulates in sediment. Refer to existing ARC and Kingett Mitchell data.	Reduce pollutants in the water column by treating stormwater wastewater overflows.
Lead (optional) (mg/kg)	<30	30-50	<50	Lead used to be a common urban stormwater contaminant. Refer to existing ARC and Kingett Mitchell data.	Declining values are expected due to removal of lead from petrol in the 1990s.
High molecular weight polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) (mg/kg)	<0.66	0.66-1.7	<1.7	PAHs are organic compounds associated with oil, petrol, and the burning of fuels. Refer to existing ARC and Kingett Mitchell data.	Reduce pollutants in the water column by treating stormwater (particularly from major intersections and roads).

Hall, 2009:14

Table A-2 Guidelines used to assess urban stream water quality.

Parameter	Guideline	Reference	Comments
Water clarity	1.6 m	MFE (1994)	Human recreational use
	0.8 m	ANZECC (2000)	Ecological health <sup>1</sup>
Turbidity	5.6 NTU	ANZECC (2000)	Ecological health <sup>1</sup>
Suspended solids	5 mg/L	MFE (1994)	Clarity and habitat smothering
Faecal indicator bacteria:	E. coli:	MFE/MoH (1999)	Human health for contact recreation <sup>2</sup>
Seasonal median	126 /100 mL		
Single sample limit	410 /100 MI		
Temperature	Approx. 20°C	Various <sup>3</sup>	Summer, low flows are critical periods for ecological impacts
<u>Plant nutrients:</u>			Excessive nuisance growths.
Dissolved phosphorus	0.010 mg/L P	ANZECC (2000)	Measured as DRP
Total phosphorus	0.033 mg/L P	ANZECC (2000)	Measured as TP
Oxidised nitrogen	0.444 mg/L N	ANZECC (2000)	Sum of nitrite + nitrate nitrogen
Total nitrogen	0.614 mg/L N	ANZECC (2000)	Sum of all nitrogen forms
Ammonia	0.021 mg/L N	ANZECC (2000)	As nutrient rather than toxicant Nutrient guidelines apply under low flow conditions.
Ammonia (total)	0.9 mg/L N	ANZECC (2000)	Ammonia as a toxicant. Toxicity varies with temperature and pH <sup>4</sup> .
Dissolved oxygen	80–100% saturation	ANZECC (1992) RMA (1991)	General indicator. ANZECC (2000) recommend 98–105% during daytime sampling, but note this is of little practical use due to diurnal variations
pH	6–9	ANZECC (1992)	General indicator. ANZECC (2000) recommend 7.2–7.8. This is overly restrictive for Auckland streams.
<u>Heavy metals:</u> <sup>5</sup>			
Copper (total)	1.4 mg/m <sup>3</sup>	ANZECC (2000)	95% of species protected
Copper (dissolved)	3.2 mg/m <sup>3</sup>	USEPA (1999)	Chronic toxicity
	4.3 mg/m <sup>3</sup>	USEPA (1999)	Acute toxicity
Lead (total)	3.4 mg/m <sup>3</sup>	ANZECC (2000)	95% of species protected
Lead (dissolved)	0.66 mg/m <sup>3</sup>	USEPA (1999)	Chronic toxicity
	17.0 mg/m <sup>3</sup>	USEPA (1999)	Acute toxicity
Zinc (total)	8.0 mg/m <sup>3</sup>	ANZECC (2000)	95% of species protected
Zinc (dissolved)	42 mg/m <sup>3</sup>	USEPA (1999)	Chronic toxicity
	42 mg/m <sup>3</sup>	USEPA (1999)	Acute toxicity

Enviro-Ventures Ltd, 2003a, b, c: 17.

Table A-3 Interim Sediment Quality Guidelines (ISQGs) for freshwater and marine sediments used in this report. Freshwater SQGs are from MacDonald et al. (2000). Marine SQGs are those proposed for the Auckland region (Diffuse Sources 2002). ANZECC (2000) guidelines are included for comparison.

Substance	ANZECC (2000)		Fresh water SQG <sub>s</sub>		Marine SQG	
	ISQG-low	ISQG-high	TEC	PEC	ISQG-low	ISQG-high
<b>Metals(mg/kg),ppm</b>						
Arsenic	20	70	9.79	33	20	70
Cadmium	1.5	10	0.99	4.98	1.5	10
Chromium	80	370	43.4	111	80	370
Copper	65	270	33.6	149	34	270
Lead	50	220	35.8	128	50	220
Mercury	0.15	1	0.18	3.06	0.15	1
Nickel	21	52	22.7	48.6	21	52
Zinc	200	410	121	259	150	410
<b>PAH(µg/kg,ppb)<sup>d</sup></b>						
Total PAH	4000	45000	1610	22800	4000	45000
HW PAH <sup>a</sup>	17000	9600			1700	9600
Substance	ISQG-low	ISQG-high	TEC	PEC	ISQG-low	ISQG-high
LW PAH <sup>b</sup>	552	3160			552	3160
<b>Organochlorines(µg/kg,ppb)<sup>d</sup></b>						
Chlordane	0.5	6	3.24	17.6	2.3	4.8
DDT, total	1.6	46	5.28	572	3.9	51.7
Dieldrin	0.02	8	3.9	63.8	0.71	4.3
Lindane	0.32	1	2.37	4.99	0.32	1
PC B <sub>8</sub> ,total	23		59.8	676	21.5	189

Enviro-VenturesLtd, 2003a, b, c: 18.

Table A-4 Trigger value guidelines.

Parameter	Trigger values				
	very good	good	moderate	poor	very poor
Dissolved oxygen (mg/L)	> 10	10 - 9	9 - 7	7 - 5	< 5
Dissolved oxygen (% sat)	100	80-95	60-80	40 - 60, 100 -110	>40, >110
pH	6.95 - 7.05	6.8 - 6.95, 7.05 - 7.2	6.0 - 6.8, 7.2 - 7.5	5.5 – 6.0, 7.5 – 8.0	< 5.5, > 8
Temperature (°C)MAL	< 10	10 - 14	14 - 18	18 - 21	> 21
Conductivity (µs/cm)MAL	< 80	80 - 140	140 - 200	200 - 260	> 260
Suspended solids (mg/L)	0 – 1	1 - 3	3 - 8	8 - 100	> 100
ARC habitat score	> 130	130 - 100	100 - 80	80 - 60	< 60
USHA “type 2”	> 0.4	0.4 - -0.2	-0.2 - -0.7	-0.7 - -1.4	< -1.4
USHA “type 3”	> 2.5	2.5 - 1	1 - -1	-1 - -2.5	< -2.5
MCI	> 120	120 - 90	90 - 60	60 - 30	30 - 0
UCI “type 2”	> 7	7 - 0	0 - -8	-8 - -12	< -12
UCI “type 3”	> 18	18 - 9	9 - 0	0 - -8	< -8

Jones *et al.*, 2002: 12

## **ANEXO B. ESTRATEGIAS E INDICADORES DEL SMISC.**

Para establecer la concepción de las estrategias, objetivos, líneas de acción y los indicadores aplicables a cualquier cuenca, se tienen que considerar los problemas identificados análisis del estado actual de la cuenca. Cabe aclarar que las estrategias pueden variar debido a la problemática de cada cuenca. Además a cada estrategia se le incluye una recomendación de las tecnologías de Diseño y Desarrollo de Bajo Impacto (DDBI) para lograr un Sistema de Manejo Integral para la Sustentabilidad de la Cuenca.

### **Metodología para el diseño de las estrategias e indicadores**

La investigación ha demostrado que no existe una metodología cuantificable única para predecir o medir la sostenibilidad del agua y la gestión integrada de los recursos. La mayoría de las herramientas disponibles, o bien no son apropiadas para las preguntas de toma de decisiones que plantea esta investigación y no es posible adaptarlas fácilmente para comparar las ventajas de sostenibilidad de la gestión integrada de las cuencas con opciones de infraestructura convencional. En consecuencia, se recomienda que se adopte la evaluación de multicriterio (EMC) para facilitar la inclusión de los interesados en un proceso de toma de decisiones transparente y estructurado fundamentado en los valores y los temas relevantes a la situación específica de la comunidad en la cuenca.

La metodología EMC utiliza un proceso de ocho pasos. El primer paso es definir los objetivos: el cumplimiento de los objetivos de la comunidad, la optimización de beneficios ambientales, y la maximización del valor económico. Posteriormente para cada uno de los objetivos primarios y sus atributos asociados se desarrollan en equipo con base al estudio de la información cualitativa y cuantitativa disponible, la revisión de la literatura y la experiencia colectiva.

La EMC requiere que los actores interesados predefinan la importancia relativa de los objetivos de su comunidad y luego evalúen los atributos asociados con cada objetivo para determinar las prioridades en la cuenca. El resultado es una puntuación final que indica la preferencia relativa de los involucrados en cuestión de los objetivos, estrategias, acciones,

indicadores y metas que se seleccionan para reflejar estas preferencias. Más importante aún, se proporciona una idea de los valores, los puntos de vista y las preferencias de la comunidad y proporciona un marco transparente para las diversas discusiones objetivas que se pueden esperar y que dan lugar a la resolución de conflictos.

A pesar de que la EMC no puede garantizar que todos lleguen a un consenso para un proyecto determinado, sirve para proporcionar la transparencia en relación con el juicio de cada individuo y ayudar en la identificación de aquellos atributos que son más importantes.

### Selección de criterios

El marco conceptual de la selección de los criterios de la sustentabilidad hídrica se basa a el desarrollo de los criterios elaborado por Ellis *et al.*, 2004, ver TablaC.1

Tabla C.1 Criterios para la sustentabilidad hídrica.

Categoría	Criterio
<b>Beneficios sociales</b>	Protección de la salud y seguridad pública
	Aceptación por los involucrados; su percepción y aceptación de los riesgos y beneficios
	Amenidad y acceso
	Valores estéticos
	Información, educación y concienciación del público
<b>Impacto ambiental</b>	Impacto en la disponibilidad de agua
	Impacto en la calidad de agua
	Impacto en el ambiente
	Uso de los recursos naturales
	Mantenimiento, provisión de servicios y responsabilidad
<b>Costos económicos</b>	Riesgos financieros
	Asequibilidad
	Costo del ciclo de vida
<b>Rendimiento técnico y científico</b>	Rendimiento del sistema (cantidad y calidad)
	Fiabilidad del sistema
	Durabilidad del sistema
	Flexibilidad y adaptabilidad del sistema

Fuente. Adaptado de Ellis *et al.*, 2004.

Por medio de consulta con los involucrados se deciden los criterios e indicadores específicos para la cuenca al igual que los pesos que se van a asignar para el análisis EMC. Por ejemplo, en una cuenca puede ser que la economía y la protección del ambiente tienen más importancia que los otros criterios y se le puede asignar un peso de 30% a cada uno; y el 20% al resto. Entonces los pesos relativos se podrían establecer de la manera que se muestra en el Tabla C.2 (cual es solo un supuesto concensado con los involucrados para demostrar la aplicación del EMC).

Tabla C.2. Ejemplo de pesos de los criterios para el EMC

Categoría	Peso	Peso Ponderado	Criterio	
<b>Beneficios sociales</b>	0,2	0,3	0,06	Protección de la salud y seguridad pública
		0,4	0,08	Aceptación por los involucrados; su percepción y aceptación de los riesgos y beneficios
		0,1	0,02	Amenidad y acceso
		0,1	0,02	Valores estéticos
		0,1	0,02	Información, educación y concienciación del público
<b>Impacto ambiental</b>	0,3	0,1	0,03	Impacto en la disponibilidad de agua
		0,3	0,09	Impacto en la calidad de agua
		0,3	0,09	Impacto en el ambiente
		0,1	0,03	Uso de los recursos naturales
		0,2	0,06	Mantenimiento, provisión de servicios y responsabilidad
<b>Costos económicos</b>	0,3	0,4	0,12	Riesgos financieros
		0,3	0,09	Asequibilidad
		0,3	0,09	Costo del ciclo de vida
<b>Rendimiento técnico y científico</b>	0,2	0,2	0,04	Rendimiento del sistema (cantidad y calidad)
		0,4	0,08	Fiabilidad del sistema
		0,3	0,06	Durabilidad del sistema
		0,1	0,02	Flexibilidad y adaptabilidad del sistema

Los resultados del EMC sirven para identificar las prioridades en la cuenca, en el ejemplo anterior los criterios prioritarios son: riesgos financieros (peso = 0,12), impacto en

la calidad de agua, impacto en el ambiente, asequibilidad y costo del ciclo de vida (todos estos con peso = 0,09).

### **Objetivos, estrategias, líneas de acción e indicadores para la cuenca Twin Streams.**

Evidentemente ciertos criterios pueden ser más relevantes o importantes según la problemática específica en la cuenca. Por eso se han ampliado y re-categorizado los criterios para ofrecer una gama más amplia que permita mayor flexibilidad a los involucrados en la asignación de pesos; por ejemplo, al comparar los resultados económicos frente a los criterios sociales y ambientales para las opciones de gestión de una cuenca en una zona urbana o agrícola.

También se han modificado para resolver la problemática actual diagnosticada en la cuenca y los requisitos normativos del RMA y el ALWP. Partiendo de los criterios modificados se han desarrollado los objetivos, las estrategias, las líneas de acción y los indicadores.

#### **Propósito**

La creación de un Sistema de Manejo Integral para la Sustentabilidad de la Cuenca.

#### **Objetivos**

1. Social. Cumplir con los objetivos de la comunidad:
  - 1.1 Salvaguardar la comunidad por medio de la reducción del riesgo para las personas, los bienes y la infraestructura.
  - 1.2 Gobernanza y gobernabilidad compartida con la comunidad para lograr los mejores resultados en la cuenca para las generaciones presentes y futuras.
  - 1.3 Reconocer y fortalecer el significado cultural y espiritual del agua para los habitantes y su rol de custodia de los recursos naturales.
  - 1.4 Proteger y mejorar el acceso de la comunidad para el gozo de los ambientes de agua dulce y marinos al igual que los valores estéticos del agua.
2. Económico. Realizar el valor económico máximo:

- 2.1 Apoyar el desarrollo económico a través de la implementación del plan de gestión de la cuenca por medio de la provisión de infraestructura de aguas pluvia y programas para prevenir y mitigar los impactos del cambio del uso del suelo.
  - 2.2 Impartir soluciones eficientes mediante la selección de la opción óptima.
  - 2.3 Contribuir al desarrollo económico ocasionado por la gestión de la cuenca y sus recursos para fomentar el empleo e impulsar actividades económicas nuevas.
3. Ambiental. Proteger el ambiente y optimizar los beneficios ambientales:
- 3.1 Asegurar arroyos sanos y conectados para abatir en lo posible la pérdida de la calidad y la cantidad del hábitat.
  - 3.2 Evitar, reducir y mitigar la contaminación de fuentes no puntuales y puntuales.
  - 3.3 Recuperar el balance natural del ciclo hidrológico.

### **Estrategias, líneas de acción e indicadores**

Las estrategias, líneas de acción e indicadores se describen a continuación.

### **Objetivo social**

**Objetivo 1.1.** Salvaguardar la comunidad por medio de la protección de la salud pública y la reducción del riesgo para las personas, los bienes y la infraestructura.

### **Estrategias**

- i. Asegurar la provisión de servicios de agua potable, alcantarillo y saneamiento de cantidad y calidad aceptable para las necesidades de la comunidad.
- ii. Actualizar y aplicar la normatividad por medio del Plan de Ordenamiento Territorial, Código de Construcción y políticas y recursos para la vigilancia y cumplimiento.
- iii. Al abordar los problemas de inundación, se dará prioridad a las soluciones que también impulsan los objetivos de calidad del agua y hábitat, en particular las tecnologías de DDBI.
- iv. Las subdivisiones deben estar diseñadas de manera que no se pueda construir en la llanura de inundación para un periodo de retorno de 100 años.

- v. No se permitirán edificaciones cuando el nivel del suelo es inferior a 0,5 m por encima del nivel de inundación para un periodo de retorno de 100 años.
- vi. No se plantaran plantas que exacerban las inundaciones en las orillas de arroyos o cerca de los humedales.
- vii. Prohibir cualquier desarrollo que pueda causar o acelerar la inundación de otra propiedad.
- viii. Prohibir el llenado dentro la llanura de inundación con un periodo de retorno de 100 años, salvo en circunstancias excepcionales en las que se pueda demostrar que los efectos adversos pueden ser corregidos o mitigados.
- ix. Asegurar que el uso del suelo actual y futuro incluya medidas para evitar o controlar los deslaves de la tierra para proteger a la sociedad y evitar las descargas de sedimento a los arroyos.

#### **Líneas de acción**

- i. Promover el uso eficiente del agua potable por medio de programas para la reducción del consumo, reúso y reciclaje del agua a través de la reducción de fugas, dispositivos ahorradores y tecnologías de DDBI.
- ii. Evitar en lo posible el desbordamiento de las redes de las aguas residuales y los sistemas de tratamiento, incluyendo las fosas sépticas, lo cual también contribuye a la disminución de la contaminación fecal.
- iii. Limitar los flujos de agua pluvial generados por cualquier desarrollo nuevo o construcción para que no excedan los flujos existentes.
- iv. Considerar la reubicación o protección de las casas en la llanura de inundación en preferencia las grandes obras de ingeniería.
- v. Realizar campañas de educación y concienciación de riesgos para que la comunidad conozca cómo responder a las emergencias e impulsar la auto-protección.
- vi. Requerir DDBI como parte de las condiciones de autorización para el cambio del uso del suelo y los permisos de construcción para cualquier desarrollo nuevo o construcción.
- vii. Determinar los requisitos de francobordo en relación al nivel de inundación como parte de la planificación del uso del suelo.

- viii. Desarrollar y publicar mapas de las zonas de inundación en la cuenca para un evento con un período de retorno de 100 años.
- ix. Mantener un registro de riesgo actual de todos los problemas de inundación conocidos o potenciales dentro de la cuenca.
- x. Al aprobar los planos de subdivisión o permisos de construcción, confirmar las rutas secundarias de los flujos de agua pluvial para asegurar que no se impidan, pues su desvío puede causar inundación en otras partes.
- xi. Construir obras de estabilización o retención del suelo y las laderas de los arroyos y vialidades.

### **Indicadores**

- i. Consumo de agua potable per cápita menor a 120 litros por persona por día.
- ii. El mantenimiento efectivo de las redes de las aguas residuales y los sistemas de tratamiento.
- iii. Reducción en el número de personas en situaciones de riesgo por inundación.
- iv. Número de viviendas y edificios protegidos.
- v. Número de sistemas de DDBI implantados en los desarrollos nuevos y edificaciones para disminuir la escorrentía.
- vi. La evaluación de la eficiencia y efectividad de los sistemas de DDBI para la reducción de los flujos picos.
- vii. Las condiciones de los permisos para el cambio del uso del suelo y la construcción promueven los objetivos para la gestión de las inundaciones y el control de los deslaves.
- viii. Sondeos de los involucrados y la comunidad muestren el conocimiento de las normas y las medidas para la protección contra la inundación.

**Objetivo 1.2.** Gobernanza y gobernabilidad compartida con la comunidad para lograr los mejores resultados en la cuenca para las generaciones presentes y futuras.

## **Estrategias**

- i. Asegurar el liderazgo local, la gobernabilidad y la colaboración con las comunidades y los habitantes para el desarrollo de soluciones creativas a los desafíos locales y globales.
- ii. Impulsar un enfoque multidisciplinario y coordinado en todos los aspectos de la gestión de cuencas.
- iii. Implementar el Programa Cultura del Agua para resaltar los problemas de gestión integrada del agua y promover una mejor comprensión en la comunidad de los problemas y soluciones, se recomienda utilizar la metodología de la investigación acción de Kurt Lewin, 1940,
- iv. Involucrar a la comunidad en la ejecución del programa de trabajo.
- v. Impartir programas de educación ambiental como parte curricular.

## **Líneas de acción**

- i. Implementar programas de monitoreo realizados por la comunidad para evaluar los resultados sociales, económicos y ambientales (encuestas), y utilizar los resultados para evaluar el SMISC.
- ii. Asegurar de que las personas responsables de los diferentes departamentos gubernamentales tanto estatales como municipales tengan la capacitación y actualización necesaria para desarrollar y implementar su plan con base al SMISC.
- iii. Formar asociaciones con las escuelas y los grupos comunitarios para involucramiento con el SMISC.
- iv. Llevar a cabo eventos culturales del buen manejo de los recursos naturales y promover proyectos demostrativos de buenas prácticas y de DDBI para promover el entendimiento de estas técnicas y tecnologías.
- v. Llevar a cabo estudios de la comunidad para comprender sus actitudes y obtener sus sugerencias acerca de la gestión de las aguas pluviales y la cuenca.
- vi. Realizar talleres regulares con todos los actores en temas de SMISC.
- vii. Promover y facilitar la participación comunitaria en los procesos de planificación y la ejecución del plan de trabajo para lograr SMISC.
- viii. Monitorear el progreso de los objetivos del SMISC e informar a la comunidad de los resultados.

### **Indicadores**

- i. Realizar una base de datos por departamento de las actividades, número de acciones por actividad y de personas que participa en todos los aspectos de planificación e implementación del SMISC.
- ii. Evaluación de cambio de actitud en los habitantes, el aumento en el conocimiento de la problemática y las medidas para su resolución.
- iii. El número y resultado de los proyectos demostrativos.
- iv. El número de personas, viviendas, edificios, comercios, industrias y agricultores que han tomado medidas para reducir su huella hídrica y su impacto.
- v. Los resultados de la evaluación de los programas de educación formal e informal.
- vi. El valor, la cantidad y la calidad de obras o proyectos realizados por los habitantes u organizaciones comunitarias.

**Objetivo 1.3.** Reconocer y fortalecer el significado cultural y espiritual del agua para los habitantes y su rol de custodia de los recursos naturales.

### **Estrategias**

- i. Diseñar conjunto con los habitantes los procesos para el diálogo, establecer sus valores y su participación en la toma de decisiones.
- ii. Trabajar con los habitantes para desarrollar soluciones integradas para la gestión de las aguas pluviales que garanticen la protección de sus valores para el agua dulce y los recursos marinos.

### **Líneas de acción**

- i. Desarrollar un plan de trabajo compartido.

### **Indicadores**

- i. Encuestas muestran que los habitantes consideran que el SMISC cumple con sus valores y expectativas.

*Nota aclaratoria. Se requiere un proceso consultativo con los habitantes o involucrados para que las estrategias, líneas de acción e indicadores reflejen sus derechos y aspiraciones.*

**Objetivo 1.4.** Proteger y mejorar el acceso de la comunidad a los ambientes de agua dulce y marinos para su gozo y la apreciación de los valores estéticos del agua.

### **Estrategias**

- i. Asegurar que los cuerpos de agua permanezcan en un estado óptimo para fortalecer el paisaje y la amenidad visual.
- ii. Asegurar de que la calidad del agua es de un nivel adecuado para la recreación de contacto (baño) en los lugares donde es una actividad apropiada.
- iii. Asegurar que los cuerpos de agua no se degradan en la medida que los hace inadecuados para la recreación sin contacto (p.ej. piragüismo).
- iv. Asegurar que los estándares de calidad del agua se cumplen en las zonas de pesca y acuícolas.

### **Líneas de acción**

- i. Impartir las medidas en el objetivo 3 para la protección y restauración del medio ambiente.
- ii. Diseñar y construir ciclo-vías, andaderos, senderos ecológicos y parques a la ladera de los arroyos, y involucrar a la comunidad en estas actividades.
- iii. Promover el uso de los ríos, arroyos, lagos etc., para el bienestar, el recreo y fomentar el ecoturismo.
- iv. Organizar eventos y actividades comunitarias en asociación con la comunidad, ONG`s entre otros.
- v. Todas las obras relacionadas con el SMISC deben ser diseñadas, instaladas y mantenidas a fin de incorporar mejoras de esparcimiento y de la calidad de vida de la población.
- vi. Involucrar la comunidad en los programas de restauración y reforestación en la cuenca.

### **Indicadores**

- i. Sondeos muestran que la comunidad considera que se está logrando sus valores estéticos y sus necesidades recreativas.
- ii. Número de usuarios de las facilidades construidas.

- iii. Número de personas que han participado en proyectos y los resultados obtenidos.

### **Objetivo económico**

**Objetivo 2.1.** Apoyar el desarrollo económico a través de la implementación del plan de gestión de la cuenca por medio de la provisión de infraestructura de agua pluvial y programas para prevenir y mitigar los impactos del cambio del uso del suelo.

### **Estrategias**

- i. Impulsar la preparación de un plan de desarrollo económico para las localidades en la cuenca.
- ii. Elaborar un plan maestro del desarrollo potencial futuro del uso del suelo en colaboración con el gobierno municipal y las entidades responsables por la provisión de servicios públicos y parques. Dicho plan debe tomar en cuenta las limitaciones y los impactos identificados en el plan de gestión de la cuenca, también debe fundamentarse en las proyecciones del Departamento de Estadística para el crecimiento poblacional futuro y la demanda para viviendas.
- iii. Asegurar que el cambio del uso del suelo no tenga impacto negativo en los otros objetivos, estrategias y líneas de acción, por ejemplo en la inundación, la calidad del agua y el hábitat.
- iv. Agilizar el cambio del uso del suelo al impartir el plan de gestión integral de la cuenca. Prohibir el cambio de uso del suelo en el caso de que no exista infraestructura, o insuficiente capacidad en la infraestructura existente, o cuando no se han mitigado los impactos actuales o futuros en la cuenca.
- v. Controlar la generación de sedimentos, cobre y zinc en todas las actividades de desarrollo y construcción.

### **Líneas de acción**

- i. Colaborar con otras entidades para llevar a cabo estudios socio-económicos de las necesidades de los habitantes en la cuenca, identificar las brechas y desarrollar estrategias para impulsar el crecimiento económico.

- ii. Planificación y diseño de un Plan Director en colaboración con el gobierno municipal y las entidades responsables por la provisión de servicios de comunicación y transporte, agua potable, alcantarillado, saneamiento, parques servicios sociales.
- iii. Diagnosticar la capacidad de servicio y la condición de la infraestructura existente para satisfacer la demanda futura por medio de modelos e información procedente del SIG, de la gestión de activos, y trabajo de campo para la calibración de los modelos. Con base a ésta información evaluar la capacidad necesaria para satisfacer la demanda.
- iv. Asegurar el terreno o espacio para la instalación de los sistemas de DDBI, los cuales según las características de su función y tamaño se construirán en parques, zonas recreativas o en propiedad privada.
- v. Asegurar la utilización máxima de los sistemas existentes de recolección y tratamiento de agua pluvial y agua residual.
- vi. Diseñar un plan de trabajo para la implementación coordinada del Plan Director, favoreciendo la implementación progresiva para asegurar la provisión de servicios “justo a tiempo” y de esa manera minimizar el costo de capital.
- vii. Requerir que todas las autorizaciones para el cambio del uso del suelo y los permisos de construcción incluyan requisitos para la remoción del 90% del sedimento, cobre y zinc generados.

### **Indicadores**

- i. Los planes son aprobados e implementados por las entidades y su ejecución es de manera coordinada.
- ii. La superficie autorizada para el cambio del uso del suelo.
- iii. El número de medidas y tecnologías de DDBI implementadas en el desarrollo, las vialidades y las viviendas.
- iv. Los programas de monitoreo y evaluación muestran que el desarrollo económico ha tenido un cambio positivo en el ambiente.
- v. El aumento en el Producto Interno Bruto.
- vi. El valor agregado a las propiedades debido a la posibilidad de su desarrollo y por la mejora de su entorno.

**Objetivo 2.2.** Impartir soluciones eficientes mediante la selección de la solución óptima.

### **Estrategias**

- i. Evaluar el costo de ciclo de vida por medio del análisis de alternativas, incluyendo la infraestructura convencional (o gris) y las soluciones de DDBI (o infraestructura verde).
- ii. Minimizar la inversión de capital.
- iii. Asegurar los recursos para la implementación del SMISC.
- iv. Aplicar los principios de ‘que el contamina paga’.

### **Líneas de acción**

- i. Diseñar metodologías para el análisis y la captura de datos para los elementos para calcular el costo del ciclo de vida: planificación y diseño, permisos, terreno, construcción, operación y mantenimiento (mano de obra, consumo energético, insumos p.ej. químicos o refacciones, residuos beneficios, residuos desechables o sólidos), remplazo o remoción (al final de la vida útil), monitoreo y costo de capital e interés.
- ii. Evaluar alternativas para el financiamiento, p.ej. impuestos, cobro por área impermeable, cargos específicos a los desarrolladores, o asociaciones públicas-privadas.
- iii. Análisis de riesgo de las alternativas. En este sentido se define el riesgo como el efecto de la incertidumbre sobre los objetivos.
- iv. Desarrollar un plan de inversión a corto, medio y largo plazo
- v. Reconocer y responder a las limitantes económicas de la comunidad.
- vi. Aplicar una gama de instrumentos económicos; subsidios e incentivos

### **Indicadores**

- i. Costo promedio de los elementos del ciclo de vida para cada tipo de solución infraestructura convencional y de DDBI.
- ii. Costo/ beneficio o valor presente neto de las soluciones seleccionadas.
- iii. La disponibilidad de capital para implementar el SMISC.
- iv. Comprobación de la minimización de riesgo.

**Objetivo 2.3.** Contribuir al desarrollo económico ocasionado por la gestión de la cuenca y sus recursos para fomentar el empleo e impulsar actividades económicas nuevas.

### **Estrategias**

- i. Promover el ecoturismo para utilizar las amenidades construidas y disfrutar las actividades recreativas y de esparcimiento.
- ii. Impulsar programas de investigación tecnológica de los dispositivos de DDBI, eficiencia energética, gestión de residuos sólidos y agricultura de bajo impacto.
- iii. Fomentar la creación de industrias especializadas en tecnologías de vanguardia en la gestión del agua, energía, residuos sólidos y agricultura.
- iv. Impulsar la creación de industrias con grupos comunitarios para el empleo de personas marginadas, p. ej. en viveros para la propagación de plantas autóctonas y en programas de reforestación y plantación en la cuenca.

### **Líneas de acción**

- i. Desarrollar un plan para atraer el turismo a la cuenca en colaboración con el gobierno municipal y los operadores en el ramo turístico. Informarles de las iniciativas que se están implementando y sus beneficios.
- ii. En conjunto con las universidades, los institutos politécnicos entre otros y los centros de investigación desarrollar un programa de investigación y asistir en la búsqueda de recursos para su financiamiento. Promover el concepto de que una cuenca es un laboratorio vivo cambiante en el tiempo y el espacio donde interactúan las personas, el ambiente y la tecnología.
- iii. Impulsar la creación de un parque de innovación tecnología en cooperación con el gobierno municipal, la cámara de comercio y las asociaciones de agricultores e industrialistas.
- iv. Establecer alianzas estratégicas con los grupos comunitarios y ofrecerles contratos para reforestación y plantación en la cuenca.
- v. Promover proyectos demostrativos.

## **Indicadores**

- i. Los costos de la implantación del SMISC son aceptables para la comunidad; existe una política para la remisión de cargos a las personas desventajadas.
- ii. Número de turistas que visitan la cuenca anualmente.
- iii. Resultados de la evaluación de los programas de investigación.
- iv. Número de industrias nueva establecidas, catálogo de productos o servicios y sus beneficios.
- v. El incremento en la población económicamente activa en la cuenca.

## **Objetivo ambiental**

**Objetivo 3.1.** Asegurar arroyos sanos y conectados para abatir en lo posible la pérdida de la calidad y la cantidad del hábitat.

## **Estrategias**

- i. Identificar y proteger los tramos de los arroyos con valores ecológicos altos.
- ii. Como mínimo mantener los valores actuales de los arroyos y aprovechar las oportunidades para mejorarlos donde estén degradados.
- iii. Prohibir el entubamiento y la canalización de los arroyos.
- iv. Estabilizar y proteger las laderas de los arroyos contra la erosión
- v. Restaurar la hidrología pre-desarrollo de la manera más efectiva posible.
- vi. Reducir las temperaturas de los caudales y mejorar la conectividad de los tramos mediante la plantación o la mejora de la vegetación de ribera.
- vii. La gestión de los arroyos (incluyendo los tramos de cabecera y márgenes de ribera) a través de la normatividad.
- viii. Orientar los esfuerzos de restauración de los arroyos degradados, entubados y o canalizados a aquellos arroyos que tienen un valor alto de su ecosistema.
- ix. Evitar, dar mantenimiento o remoción a las barreras físicas que se encuentran en ríos y arroyos, los cuales impiden la migración de especies acuáticas autóctonas. Proteger y mejorar las zonas de desove de los mismos.
- x. Reducir al mínimo las obras en los cauces de los arroyos, incluyendo la eliminación de obstrucciones, donde es probable que la alteración cause inundación.

## **Líneas de acción**

- i. Implementar las reglas, normas etc., establecidas en cada región para el desarrollo SMISC y el Plan de Ordenamiento Territorial para impulsar una variedad de objetivos (por ejemplo, la remoción de la vegetación, el movimiento de las tierras, el control de los sedimentos, los límites de superficie impermeables, evitar la construcción en las zonas inundables, evitar el entubamiento y relleno de los arroyos y humedales, minimizar las alcantarillas y diseñar pasos para los peces).
- ii. Remover las obras de canalización y entubamiento.
- iii. Identificar y minimizar las descargas de las aguas pluviales y otras fuentes no-puntuales.
- iv. Mantener y aumentar la variedad de la profundidad de canal (por ejemplo, estanques, saltos, entre otras) y sustratos (por ejemplo, rocas, madera y otros materiales orgánicos).
- v. Restaurar o mantener el patrón natural del canal (es decir, el patrón de meandro); evitar/minimizar el enderezamiento del canal.
- vi. Estabilizar las laderas erosionadas con medidas de vegetación o de bioingeniería.
- vii. Remover obras artificiales de estabilización de las laderas y lechos (gaviones vegetativos, cárcavas, entre otros), cuando sea posible.
- viii. Mantener o restaurar la cubierta vegetal (preferiblemente con plantas nativas) en la cuenca; interceptar las precipitaciones y lograr un patrón hidrológico más natural.
- ix. Re vegetación de las márgenes ribereñas - establecer vegetación leñosa en los lechos de los arroyos para reducir las temperaturas de flujo y fomentar la materia orgánica a los arroyos.
- x. Retirar las especies exóticas invasoras en la cuenca que amenazan la supervivencia y la regeneración de la vegetación nativa, incluso en las márgenes ribereñas. Controlar las plantas acuáticas exóticas (macrófitas) a través de la sombra en lugar de la eliminación física o el uso de herbicidas.
- xi. Proteger y mantener los márgenes ribereñas de 5, 10, 20 y 50 metros según su función. Prohibir los edificios, la agricultura o el desarrollo dentro de estas márgenes ribereñas
- xii. Identificar, mapear, proteger y mejorar las zonas de desove y las barreras físicas para los peces autóctonos.

- xiii. Priorizar todas las barreras y eliminar o modificar en orden de prioridad.
- xiv. Construir pasajes de peces / escaleras.
- xv. Remover los bloqueos del flujo de los arroyos que puedan aumentar las inundaciones aguas abajo.

### **Indicadores**

- i. Cumplimiento con las prioridades normativas para la gestión de los tramos de los arroyos.
- ii. Cumplimiento con los valores normativos para el MCI y EPT.
- iii. Ninguna pérdida de arroyos por entubamiento o debido a las obras.
- iv. Restauración de la zona riverena de 180 kilómetros de arroyos en 20 años.
- v. Remoción de las barreras prioritarias para el pasaje de peces en 10 años.
- vi. La evaluación de la ecología terrestre y acuática muestra un incremento en la diversidad y calidad de especies nativas; disminución de especies invasoras o exóticas.

**Objetivo 3.2.** Evitar, reducir y mitigar la contaminación de fuentes no puntuales y puntuales.

### **Estrategias**

- i. Promover la industria limpia para eliminar los vertidos, donde debe el agua residual industrial debe ser tratada antes de entrar en los cuerpos de agua naturales y su tratamiento debe de ser el adecuado a la contaminación generada.
- ii. Minimizar los derrames de las aguas residuales en los alcantarillados públicos.
- iii. Asegurar que el diseño y mantenimiento de los sistemas de aguas residuales in situ (incluye las fosas sépticas) evite o minimice la descarga de contaminantes a los cuerpos de agua naturales y al suelo.
- iv. Asegurar que los sitios en los que se almacenen o utilicen sustancias peligrosas están diseñados y operados de manera que contenga cualquier derrame.
- v. Promover programas de producción más limpia y otras iniciativas de control de origen.

- vi. Proporcionar el tratamiento de 50% de la escorrentía de las vialidades con un tráfico mayor a 5.000 vehículos por día.
- vii. Implementar el DDBI en las cuencas priorizadas para eliminar, como mínimo, el 75% de SST y 50% de zinc y cobre.
- viii. Asegurar de que se lleve a cabo el control de sedimentos para todos los movimientos de tierra.
- ix. Abogar con el gobierno federal la sustitución y la eliminación gradual de la construcción con materiales que contienen sustancias con potencial de contaminar las aguas pluviales.
- x. Promover la utilización ambientalmente segura de agroquímicos.
- xi. Fomentar el cercado del ganado para impedir el acceso a los cuerpos de agua naturales y sus márgenes.
- xii. Sensibilizar a la comunidad de los efectos ecológicos de los derrames y vertimientos de desechos.

### **Líneas de acción**

- i. Promover y ejecutar medidas de limpieza después de derrames de aguas residuales.
- ii. Eliminar los desbordamientos de las estaciones de bombeo o del alcantarillado que causan efectos adversos en el medio ambiente o la salud pública.
- iii. Implementar las mejores prácticas de gestión para la reducción de derrames de aguas residuales.
- iv. Llevar a cabo un programa para mitigar los efectos de la contaminación de los antiguos vertederos.
- v. Hacer cumplir los reglamentos para las sustancias peligrosas y los nuevos organismos.
- vi. Garantizar la limpieza periódica y el mantenimiento de fosas sépticas.
- vii. En las zonas sin alcantarillado, promover el uso de sistemas de tratamiento de aguas residuales de alta tecnología.
- viii. En las zonas donde la contaminación de las aguas residuales indica que presentan un riesgo para la salud pública, llevar a cabo programas, incluyendo inspección de propiedades, si es necesario, para asegurar que todos los predios tienen sistemas de tratamiento de aguas residuales adecuados.

- ix. Aplicar normas para controlar los sitios contaminados.
- x. Desarrollar un programa para reducir la contaminación a través de la educación, el control de la fuente e impulsar los sistemas de tratamiento de DDBI.
- xi. Llevar a cabo programas de rehabilitación o modernización industrial en las principales zonas industriales.
- xii. Llevar a cabo un programa para instalar sistemas de tratamiento de aguas pluviales de DDBI que mejoran la calidad de las aguas pluviales en las cuencas prioritarias o en áreas de inundación.
- xiii. Instalar drenaje para el control de la escorrentía en las calzadas en zonas que no disponen de redes de aguas pluviales.
- xiv. Promover el uso de los productos agroquímicos menos tóxicos y métodos de aplicación que minimizan las cantidades aplicadas.
- xv. Fomentar el uso de zanjas, tiras de filtro vegetativas y otras técnicas DDBI para el tratamiento de las aguas pluviales de las carreteras y calles.
- xvi. Construir dispositivos de DDBI en las carreteras y calles en las cuencas prioritarias para proporcionar tratamiento de las aguas pluviales.
- xvii. Proporcionar asistencia para impedir el acceso del ganado a los cuerpos de agua a través de un programa de incentivos económicos y concienciación de los agricultores.

### **Indicadores**

- i. Cumplimiento con los valores normativos para *E.coli*, SST, Zinc y cobre.
- ii. Reducción en los desbordamientos de los alcantarillados.
- iii. Programas de monitoreo de las fosas sépticas muestran una reducción de descargas al ambiente debido a mantenimiento adecuado.
- iv. Número de proyectos que incorporan DDBI.
- v. Longitud de las vialidades con tratamiento de tecnologías de DDBI.
- vi. La evaluación de la eficiencia y efectividad de los sistemas de DDBI para la reducción de los contaminantes.
- vii. Longitud de arroyos encercados para impedir el acceso para el ganado.
- viii. Resultados de los sondeos de las campañas de concienciación.

### **Objetivo 3.3.** Recuperar el balance natural del ciclo hidrológico.

#### **Estrategias**

- i. Promover el desarrollo hidrológicamente neutral que mantiene el equilibrio natural del ciclo hidrológico tanto como sea posible.
- ii. Mantener los flujos perennes, o caudal ecológico, en los arroyos.
- iii. Promover el uso de métodos que reduzcan al mínimo las aguas pluviales, conservan y tratan las aguas pluviales, y recargan los acuíferos.
- iv. Limitar las superficies impermeables.

#### **Líneas de acción**

- i. Impulsar el desarrollo y métodos de gestión de las aguas pluviales que imitan los patrones naturales de escurrimiento.
- ii. Fomentar el uso del DDBI, especialmente las zanjas de infiltración, las cunetas biológicas y otras medidas para promover la recarga de aguas subterráneas.
- iii. Promover la reutilización de las aguas pluviales.
- iv. Evaluar los costos económicos y ambientales y los beneficios de opciones para la reutilización de las aguas pluviales y aguas residuales en las nuevas zonas de desarrollo y las viviendas.
- v. Impulsar la cosecha de la lluvia para su aplicación en usos domésticos, comerciales, industriales y agrícolas.

#### **Indicadores**

- i. La medición en las estaciones pluviométricas muestra la restauración del caudal ecológico.
- ii. Monitoreo de los niveles en los acuíferos muestra que se han estabilizado.
- iii. Número de proyectos donde se cosecha de lluvia, o se reusa el agua pluvial o el agua residual.
- iv. Evaluación de la cantidad y calidad de agua que se suministra que no es procedente de la red de agua potable.
- v. La evaluación de la eficiencia y efectividad de los sistemas de DDBI para recuperar el caudal ecológico.

## **Diseño y Desarrollo de Bajo Impacto.**

### **Introducción**

El Diseño y Desarrollo de Bajo Impacto (DDBI) para la gestión de las aguas pluviales (la recolección, la transmisión, el almacenamiento y el tratamiento) emplea una gama de dispositivos que controlan la escorrentía y la contaminación en la fuente.

Ningún sistema de DDBI puede lograr los objetivos para SMISC por sí solo, pues se necesita utilizar una combinación de medidas no-estructurales y estructurales en el ámbito del Tren de Tratamiento. Además la selección de los dispositivos DDBI debe de tomar en cuenta lo siguiente:

- El propósito del tratamiento:-
  - o Mantener el caudal ecológico
  - o Disminuir los flujos picos y las inundaciones
  - o Restaurar los valores ecológicos de los arroyos/ríos
  - o Reducir la contaminación difusa
  - o Reducir el riesgo para la salud humana debido a la contaminación bacteriológica (fecal).
  
- La eficiencia del sistema DDBI para disminuir los contaminantes o modificar los flujos.
- Limitaciones por razón del tipo de suelo, la pendiente o la disponibilidad de espacio en una cuenca
- Se necesitan sistemas diferentes según la causa de la contaminación, o sea el uso del suelo urbano, el uso del suelo agrícola o debido a las descargas de las aguas residuales.

Las medidas y dispositivos que se pueden aplicar incluyen:

- Laguna seca
- Laguna húmeda
- Laguna húmeda con retención extendida

- Humedal artificial/ construido
- Cuneta biológica
- Laguna húmeda con floculación
- Jardín pluvial
- Filtro Storm-filter
- Filtro de arena
- Pintar los techos
- Filtración con bio-media
- Tiras vegetativas de filtración (por ejemplo de 20 metros en la zona riverena)
- Filtración en los registros
- Pavimento permeable
- Limpieza de los registros (en las vialidades) una vez por año
- Limpieza de los registros dos veces por año
- Limpieza de los registros tres veces por año
- Limpieza de los registros cuatro veces por año

**Eficiencia de tratamiento.**

En el Tabla C.3 se muestra la eficiencia de tratamiento de contaminantes de los techos, en el Tabla C.4 se muestra la eficiencia de tratamiento de contaminantes de las vialidades, y en el Tabla C.5 se muestra la eficiencia de tratamiento de superficies pavimentadas (excluyendo vialidades).

Tabla C.3.Eficiencia de tratamiento de contaminantes de los techos.

Dispositivo de tratamiento	Reducción de contaminantes de los techos %		
	SST	Zn	Cu
Laguna seca	63	10	15
Laguna húmeda	77	10	15
Laguna húmeda con retención extendida	80	10	15
Humedal artificial/ construido	77	20	25
Cuneta biológica	75	15	20
Laguna húmeda con floculación	80	25	30
Jardín pluvial	75	70	75
Filtro Storm-filter	75	30	40
Filtro de arena	75	10	10
Pintar los techos	0	90	95
Filtración con bio-media	75	70	75
Tiras vegetativas de filtración	40	15	20

Fuente. ARC, 2006.

Tabla C.4. Eficiencia de tratamiento de contaminantes de las vialidades

Dispositivo de tratamiento	Reducción de contaminantes de las vialidades %			
	SST	Zn	Cu	HAP
Laguna seca	63	27	41	10
Laguna húmeda	77	36	51	10
Laguna húmeda con retención extendida	80	41	54	10
Humedal artificial/ construido	77	54	69	10
Cuneta biológica	75	47	57	47
Laguna húmeda con floculación	80	70	75	75
Jardín pluvial	80	70	75	80
Filtro Storm-filter	75	55	65	75
Filtro de arena	75	40	50	65
Filtración en los registros	40	15	25	30
Pavimento permeable	30	10	20	20
Filtración con bio-media	75	60	65	70
Tiras vegetativas de filtración	40	25	30	30
Limpieza de los registros una vez por año	50	30	40	20
Limpieza de los registros dos veces por año	60	40	50	20
Limpieza de los registros tres veces por año	65	50	60	20
Limpieza de los registros cuatro veces por año	70	55	70	20

Fuente. ARC, 2006.

Tabla C.5. Eficiencia de tratamiento de superficies pavimentadas (excluyendo vialidades).

Dispositivo de tratamiento	Reducción de contaminantes de superficies pavimentadas %		
	SST	Zn	Cu
Laguna seca	63	27	41
Laguna húmeda	77	36	51
Laguna húmeda con retención extendida	80	41	54
Humedal artificial/ construido	77	54	69
Cuneta biológica	75	47	57
Laguna húmeda con floculación	80	70	75
Jardín pluvial	80	70	75
Filtro Storm-filter	75	55	65
Filtro de arena	75	40	50
Filtración en los registros	40	15	25
Pavimento permeable	30	10	20
Filtración con bio-media	75	60	65
Tiras vegetativas de filtración	40	25	30
Limpieza de los registros una vez por año	50	30	40
Limpieza de los registros dos veces por año	60	40	50
Limpieza de los registros tres veces por año	65	50	60
Limpieza de los registros cuatro veces por año	70	55	70

Fuente. ARC, 2006.