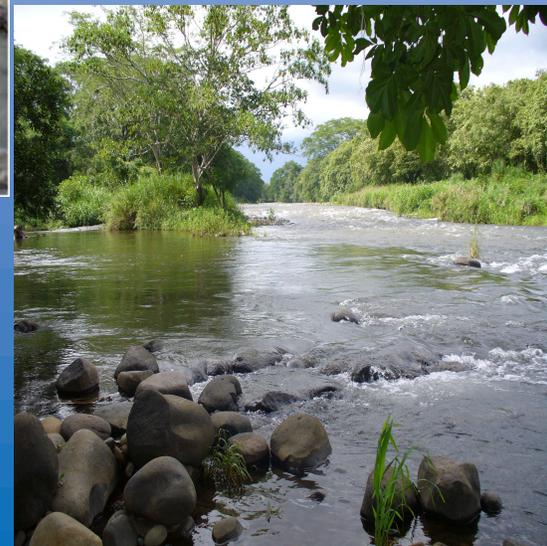


Herramientas para la implementación de un Sistema de Gestión de Cuencas tomando como base de respuesta, la unidad ecosistémica del Río David



Programa de Fomento a la Investigación y Desarrollo (I+D)

ÍNDICE

Contenido	Página
EQUIPO DE INVESTIGADORES	xiii
PRESENTACIÓN	xiv
ABREVIATURAS	xvi
CAPÍTULO 1. EL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y DESCRIPCIÓN DEL MEDIO FÍSICO	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Objetivos	5
1.3. Metodología	5
1.3.1. Elaboración de los mapas y base de ArcView	5
1.3.2. Utilización de resultados previos obtenidos en la investigación	5
1.4. Resultados y Discusión	6
1.4.1. Área de la Cuenca	6
1.4.2. Curvas de Nivel	6
1.4.3. Red Hídrica	9
1.4.4. Uso de Suelo	10
1.4.5. Tipo de Suelo	13
1.5. Conclusión	23
1.6. Recomendaciones	23
1.7. Bibliografía	24
CAPÍTULO 2. MODELACIÓN HIDROLÓGICA COMO INSTRUMENTO EN LA DETERMINACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DIFUSA	26
2.1. Antecedentes	26
2.2. Objetivos	30
2.3. Metodología	30
2.3.1. Ajuste de datos faltantes y análisis de los registros de ETESA	30
2.3.2. Simulación y calibración del modelo hidrológico de la cuenca del río David	30
2.4. Resultados y Discusión	37
2.4.1. Análisis de Sensibilidad Combinado 2 ^k	37
2.4.2. Calibración de Modelo SWAT	42
2.5. Conclusiones	57
2.6. Recomendaciones	57
2.7. Bibliografía	58
CAPÍTULO 3. DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS CLORADOS UTILIZANDO LA METODOLOGÍA DE CROMATOGRAFÍA DE GASES	60
3.1. Antecedentes	60
3.2. Objetivos	60
3.3. Metodología	61
3.3.1. Visitas preliminares a campo con el objeto de identificar los	61

Contenido	Página
plaguicidas que se aplican en la cuenca	
3.3.2. Selección de los plaguicidas a monitorear	61
3.3.3. Obtención de las muestras	86
3.3.4. Técnica de análisis por Cromatografía de Gases	87
3.3.4.1. Método EPA 1656 para determinar plaguicidas organoclorados en agua	88
3.3.4.1.1. Alcance y aplicación	88
3.3.4.1.2. Resumen del método	89
3.3.4.1.3. Contaminación e interferencias	90
3.3.4.1.4. Seguridad	91
3.3.4.1.5. Equipos y materiales	91
3.3.4.1.6. Reactivos y estándares	94
3.3.5. Análisis de las muestras	95
3.3.5.1. Tratamiento de las muestras	95
3.3.5.2. Curvas de calibración	96
3.3.5.3. Condiciones de operación del análisis	100
3.4. Resultados y Discusión	101
3.5. Conclusiones	105
3.6. Recomendaciones	106
3.7. Bibliografía	106
CAPÍTULO 4. MAPAS Y BIOINDICADORES DE CALIDAD DEL AGUA	108
4.1. Antecedentes	108
4.2. Objetivos	115
4.3. Metodología	115
4.3.1. Etapas de la Investigación	115
4.3.2. Parámetros Analizados	117
4.3.2.1. Toma de Muestras	117
4.3.2.2. Medición de Parámetros In Situ	118
4.3.3. Análisis de Laboratorio	119
4.3.4. Clases de calidad asociadas a la protección de Aguas Continentales Superficiales	119
4.3.5. Representación Gráfica de las clases de Calidad	119
4.3.6. Cronologías de Muestreo	120
4.3.6.1. Campaña 1 (Diciembre 2006)	120
4.3.6.2. Campaña 2 (Mayo 2007)	121
4.3.6.3. Campaña 3 (Octubre 2007)	121
4.4. Resultados y Discusión	121
4.4.1. Tablas y gráficas de calidad de agua utilizando la Norma de Lombardía	121
4.4.2. Estadísticas y análisis de la calidad del agua del río David	122
4.4.2.1. Parámetros	122
4.4.2.2. Mapas de calidad de agua en el curso principal del río	142
4.4.2.3. Mapas de calidad de agua en afluentes	158
4.4.2.4. Discusión general por campaña de monitoreo	165
4.4.3. Insectos Acuáticos	166
4.5. Conclusiones	186

Contenido	Página
4.6. Recomendaciones	187
4.7. Bibliografía	188
CAPÍTULO 5. ESCENARIOS DE CONTAMINACIÓN DIFUSA	192
5.1. Antecedentes	192
5.2. Objetivos	196
5.3. Metodología	196
5.4. Resultados y Discusión	197
5.4.1. Escenario de Endosulfán	200
5.4.2. Escenarios de Propanil	202
5.4.3. Escenario de Pendimetalina	204
5.4.4. Escenario de Dieldrin	205
5.4.5. Escenario de Lindano	207
5.4.6. Escenario de 2,4 D	208
5.5. Conclusiones	209
5.6. Recomendación	209
5.7. Bibliografía	210
CAPITULO 6. ANÁLISIS SOCIOECONÓMICO Y AMBIENTAL	212
6.1. Antecedentes	212
6.2. Objetivos	214
6.3. Metodología	214
6.3.1 Metodología para la ubicación y conteo total de casas que conforman la cuenca del río David	214
6.3.2. Procedimiento de muestreo	216
6.3.3. Procedimiento para la confección de la encuesta socioeconómica	217
6.3.4. Procedimiento para la elaboración de la encuesta en campo	218
6.3.4.1. Determinación de longitudes, tiempos, personas y viviendas a encuestar	218
6.4. Resultados y Discusión	219
6.4.1. Información de ubicación y conteo total de viviendas	219
6.4.2. Información de muestreo	224
6.4.3. Información de longitudes, tiempos, personas y viviendas en el desarrollo de las encuestas	226
6.4.4. Información socioeconómica y ambiental	229
6.5. Conclusión	243
6.6. Recomendaciones	244
6.7. Bibliografía	245
GLOSARIO GENERAL	246
Glosario Capítulo 1	246
Glosario Capítulo 2	247
Glosario Capítulo 3	249
Glosario Capítulo 4	250
Glosario Capítulo 5	252
Glosario Capítulo 6	253

Contenido	Página
ANEXOS	255
Anexos Capítulo 1	255
Anexos Capítulo 3	264
Anexos Capítulo 4	288
Anexos Capítulo 5	302
Anexos Capítulo 6	328

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
CAPÍTULO 1	
Tabla 1.1. Áreas y sus respectivas descripciones de Uso de Suelo.	2
Tabla 1.2. Tipos de roca parental presentes en la cuenca del río David y sus superficies.	14
Tabla 1.3. Porcentaje de humedad.	17
Tabla 1.4. Determinación de pH.	17
Tabla 1.5. Determinación de Sales Solubles.	18
Tabla 1.6. Determinación de Materia Orgánica y Carbón Orgánico.	19
Tabla 1.7. Análisis Granulométrico.	20
Tabla 1.8. Área del tipo de suelo.	21
Tabla 1.9. Densidad.	22
Tabla 1.10. Cálculo de Propiedades.	22
CAPÍTULO 2	
Tabla 2.1. Modelos para evaluar la contaminación de fuentes agrícolas no localizadas.	27
Tabla 2.2. Parámetros sensibles para el modelo SWAT, aplicado en la cuenca del río David (a).	39
Tabla 2.3. Parámetros sensibles para el modelo SWAT, aplicado en la cuenca del río David (b).	40
Tabla 2.4. Parámetros sensibles en transporte de agua en el suelo.	41
Tabla 2.5. Combinación de los valores de los parámetros para el análisis de sensibilidad 2^2 para tiempo de concentración en suelo.	41
Tabla 2.6. Parámetros sensibles en transporte de agua en canales naturales o ríos.	42
Tabla 2.7. Combinación de los valores de los parámetros para el análisis de sensibilidad 2^2 para tiempo de concentración en ríos o canales.	42
Tabla 2.8. Estaciones de captación de datos para el modelo SWAT.	43
Tabla 2.9. Sensibilidad del modelo con respecto al parámetro CN (Qsimulación91).	46
Tabla 2.10. Sensibilidad del modelo con respecto al parámetro n (Qsimulación105).	47
Tabla 2.11. Sensibilidad del modelo con respecto al parámetro slp (Qsimulación105).	48
Tabla 2.12. Sensibilidad del modelo con respecto al parámetro CN con respecto a la textura de suelo (Qsimulado Final).	49
Tabla 2.13. Sensibilidad del modelo con respecto al parámetro GWQMN (Qsimulado Final).	50
Tabla 2.14. Sensibilidad del modelo con respecto al parámetro SURLAG y ESCO (Qsimulado Final).	52
CAPÍTULO 3	
Tabla 3.1. Propiedades físico-Químicas de los plaguicidas que son utilizados en los sembradíos del río David.	62

Tabla	Página
Tabla 3.2. Resumen de resultados del muestreo preliminar.	102
CAPÍTULO 4	
Tabla 4.1. Descripción de las estaciones de muestreo.	112
Tabla 4.2. Métodos de almacenamiento, preservación, análisis y límite de detección de las muestras.	118
Tabla 4.3. Cronograma de actividades para campaña 1.	121
Tabla 4.4 Cronograma de actividades para campaña 2.	121
Tabla 4.5. Cronograma de actividades para campaña 3.	121
Tabla 4.6. Resultados de campañas de monitoreos para el parámetro temperatura en el río David.	122
Tabla 4.7. Resultados de las campañas de monitoreo para el parámetro pH en el río David (PD), afluentes (PM, PQO, PQS) y descarga de la ciudad de David (PD7du).	124
Tabla 4.8. Resultados de campañas de monitoreo para el parámetro conductividad en el río David (PD), afluentes (PM, PQO, PQS) y descarga de la ciudad de David (PD7du).	125
Tabla 4.9. Resultados de campañas de monitoreo para el parámetro sólidos suspendidos en el río David (PD), afluentes (PM, PQO, PQS) y descarga de la ciudad de David (PD7du).	127
Tabla 4.10. Resultados de campañas de monitoreo para el parámetro oxígeno disuelto en el río David (PD), afluentes (PM, PQO, PQS) y descarga de la ciudad de David (PD7du).	129
Tabla 4.11. Resultados de campañas de monitoreo para el parámetro DBO ₅ en el río David (PD), afluentes (PM, PQO, PQS) y descarga de la ciudad de David (PD7du).	130
Tabla 4.12. Resultados de campañas de monitoreo para el parámetro DQO en el río David (PD), afluentes (PM, PQO, PQS) y descarga de la ciudad de David (PD7du).	132
Tabla 4.13. Resultados de campañas de monitoreos para el parámetro DBO ₅ /DQO en el río David (PD), afluentes (PM, PQO, PQS) y descarga de la ciudad de David (PD7du).	134
Tabla 4.14. Resultados de campañas de monitoreos del parámetro coliformes fecales en el río David (PD), afluentes (PM, PQO, PQS) y descarga de la ciudad de David (PD7du).	137
Tabla 4.15. Resultados de campañas de monitoreo para el parámetro nitrógeno en el río David (PD), afluentes (PM, PQO, PQS) y descarga de la ciudad de David (PD7du).	140
Tabla 4.16. Resultados de campañas de monitoreos para el parámetro fósforo en el río David (PD), afluentes (PM, PQO, PQS) y descarga de la ciudad de David (PD7du).	142
Tabla 4.17. Matriz de distribución y número total de insectos acuáticos por orden y familia. Los colores representan el índice de calidad cualitativo según BMWP Colombia.	168
Tabla 4.18. Matriz de distribución y número total de insectos acuáticos por orden y familia. Los colores representan el índice de calidad cualitativo según BMWP Costa Rica.	172

Tabla	Página
CAPÍTULO 5	
Tabla 5.1. Clasificación de los plaguicidas de acuerdo a su presión de vapor.	193
Tabla 5.2. Clasificación de los plaguicidas de acuerdo a su persistencia.	194
Tabla 5.3. Clasificación de los plaguicidas de acuerdo a su solubilidad en agua.	194
Tabla 5.4. Clasificación de los plaguicidas de acuerdo a su K_{oc} en agua.	195
Tabla 5.5. Clasificación de los plaguicidas de acuerdo a su K_{ow} en agua.	196
Tabla 5.6. (a) Propiedades físico-químicas para los plaguicidas encontrados en la cuenca del río David.	198
Tabla 5.6. (b) Propiedades físico-químicas aplicadas por el modelo SWAT.	198
Tabla 5.6. (c) Afectaciones y vías de exposición a los plaguicidas estudiados.	199
Tabla 5.7. Características físico-químicas del suelo de la cuenca del río David.	200
CAPÍTULO 6	
Tabla 6.1. Definiciones del método de muestreo aleatorio simple.	217
Tabla 6.2. Nombre de las comunidades y tamaño de la muestra.	225
Tabla 6.3. Valores de longitudes de cada comunidad, tiempos y personas para el desarrollo de la encuesta.	227
Tabla 6.4. Continuidad en el servicio de abastecimiento de agua potable.	231
Tabla 6.5. Distribución de la población afectada por enfermedades gastrointestinales.	235

ÍNDICE DE FIGURAS

Figuras	Página
CAPÍTULO 1	
Figura 1.1. Área de la cuenca	6
Figura 1.2. Curvas de Nivel de la cuenca del río David.	7
Figura 1.3. Modelo de Elevación Digital por rango de elevación en la cuenca del río David.	8
Figura 1.4. Modelo de Elevación Digital en Pendientes en la Cuenca del río David.	9
Figura 1.5. Red hídrica de la cuenca del río David.	10
Figura 1.6. Uso de Suelo de la cuenca del río David.	11
Figura 1.7. Mapa Edafológico de la cuenca del río David.	14
Figura 1.8. Vías de acceso y puntos de muestreo de suelo en la cuenca del río David.	16
Figura 1.9. Tipo de Suelo.	21
CAPÍTULO 2	
Diagrama de Flujo 2.1. Requerimientos de la Interfase SWAT – ArcView.	36
Figura 2.1. Unidades de Respuesta Hidrológicas en la cuenca del Río David	44
Figura 2.2. Precipitación y Caudal, año 1996.	44
Figura 2.3. Correlación para los años 1994 – 1997.	45
Figura 2.4. Escenarios para la calibración.	53
Figura 2.5. Evento del 23 al 27 de septiembre de 1996.	53
Figura 2.6. Línea de Tendencia y Correlación por Simulación para el evento del 23 al 27 de septiembre de 1996.	54
Figura 2.7. Evento del 1 al 5 de octubre de 1996.	55
Figura 2.8. Línea de Tendencia y Correlación por Simulación para el evento del 1 al 5 de octubre de 1996.	56
CAPÍTULO 3	
Figura 3.1. Estructura química del propanil.	84
Figura 3.2. Estructura química del butacloro.	84
Figura 3.3. Estructura química de la pendimetalina.	85
Figura 3.4. Estructura química del endosulfán.	86
Figura 3.5. Estructura química del 2,4D.	86
Figura 3.6. Esquema del equipo Kuderna Danish.	96
Figura 3.7. Cromatograma de los estándares utilizados.	97
Figura 3.8. Curvas de calibración del método para propanil, pendimetalina y butacloro.	98
Figura 3.9. Curvas de calibración del método para endosulfán I	99
Figura 3.10. Resumen de Resultados del Primer y Segundo Muestreo.	103
CAPÍTULO 4	
Figura 4.1. Estaciones de muestreo e industrias que descargan sus aguas al río David.	114
Figura 4.2. Variación (promedio y desviación estándar) del parámetro	123

temperatura a lo largo del eje del río David	
Figura 4.3. Variación (promedio y desviación estandar) del parámetro pH a lo largo del río David.	124
Figura 4.4. Variación (promedio y desviación estandarte) del parámetro conductividad a lo largo del eje del río David.	126
Figura 4.5. Variación (promedio y desviación estándar) a lo largo del eje del río David para el parámetro sólidos suspendidos.	127
Figura 4.6. Variación (promedio y desviación estándar) a lo largo de la cuenca del eje del río David para el parámetro Oxígeno Disuelto.	129
Figura 4.7. Variación (promedio y desviación estándar) a lo largo del eje del río David para la Demanda Bioquímica de Oxígeno (Lineal).	131
Figura 4.8. Variación (promedio y desviación estándar) a lo largo del eje del río David para la Demanda Bioquímica de Oxígeno (Logarítmica).	131
Figura 4.9. Variación (promedio y desviación estándar) a lo largo del eje del río David para la Demanda Química de Oxígeno (Lineal).	133
Figura 4.10. Variación (promedio y desviación estándar) a lo largo del eje del río David para la demanda química de oxígeno (logarítmico).	133
Figura 4.11. Variación (promedio y desviación estándar) a lo largo de la cuenca del río David para el parámetro DBO ₅ /DQO	135
Figura 4.12. Variación (promedio y desviación estándar) a lo largo de la cuenca del río David para el parámetro coliformes fecales (comportamiento lineal)	138
Figura 4.13. Variación (promedio y desviación estándar) a lo largo de la cuenca del río David para el parámetro coliformes fecales (comportamiento logarítmico)	138
Figura 4.14. Variación (promedio y estándar) a lo largo del eje del río David para el parámetro Nitrógeno.	140
Figura 4.15. Variación (promedio y estándar) a lo largo de la cuenca del río David para el parámetro Fósforo	142
Figura 4.16. Calidad de agua por estación, en el eje principal. Estaciones PD1, PD2, PD3 y PD4. Campaña 1.	144
Figura 4.17. Calidad de agua por estación, en el eje principal. Estaciones PD5, PD6 y PD7. Campaña 1	145
Figura 4.18. Calidad de agua por estación, el eje principal. Estaciones PR, PD1, PD2 y PD3. Campaña 2	148
Figura 4.19. Calidad de agua por estación, el eje principal. Estaciones PD4, PD5, PD6 y PD7. Campaña 2.	149
Figura 4.20. Calidad de agua por estación, en el eje principal. Estaciones PR, PD1, PD2 y PD3. Campaña 3.	153
Figura 4.21. Calidad de agua por estación, en el eje principal. Estaciones PD4, PD5 y PD6. Campaña 3.	154
Figura 4.22. Calidad de agua por estación, en el eje principal. Estación PD7. Campaña 3.	155
Figura 4.23. Calidad de agua por estación, efluentes y afluentes. Estaciones PM, PQS y PQQ. Campaña 1.	159
Figura 4.24. Calidad de agua por estación y afluentes, efluentes. Estaciones PM, PQS Y PQQ. Campaña 2.	161
Figura 4.25. Calidad de agua por estación y afluentes, efluentes. Estaciones	163

PM, PQS y PQQ. Campaña 3.	
Figura 4.26a. Cuadro de Distribución de Insectos por Orden (Gira 1).	174
Figura 4.26b. Cuadro de Distribución de Insectos por Orden (Gira 2).	174
Figura 4.26c. Cuadro de Distribución de Insectos por Orden (Gira 3).	174
Figura 4.27. Número de Insectos Acuáticos por Estación de Colecta.	175
Figura 4.28a. Número de Insectos Acuáticos (orden) por estación de Colecta (Gira 1).	176
Figura 4.28b. Número de Insectos Acuáticos (orden) por estación de Colecta (Gira 2).	176
Figura 4.29a. Ephe vs O ₂ (Gira 1).	178
Figura 4.29b. Ephe vs O ₂ (Gira 2).	178
Figura 4.29c. Ephe vs pH (Gira 1).	179
Figura 4.29d. Ephe vs pH (Gira 2).	179
Figura 4.30a. EPT vs O ₂ (Gira 1).	180
Figura 4.30b. EPT vs O ₂ (Gira 2).	180
Figura 30c. EPT vs pH (Gira 1).	181
Figura 4.30d. EPT vs pH (Gira 2).	181
Figura 4.31. pH vs EPT, cuadro de correlación.	182
Figura 4.32a. Díptera (familia) Gira 1.	183
Figura 4.32b. Díptera (familia) Gira 2.	183
Figura 4.33. Número total de individuos – Heteroptera.	184
Figura 4.34. Similitud Taxonómica (Insectos Acuáticos).	185
 CAPÍTULO 5	
Figura 5.1. Escenario de transporte del Endosulfán en la cuenca del río David.	201
Figura 5.2. Escenario 1 de transporte de Propanil en la cuenca del río David.	202
Figura 5.3. Escenario 2 de transporte de Propanil en la cuenca del río David.	203
Figura 5.4. Escenarios de transporte de Pendimetalina en la cuenca del río David.	204
Figura 5.5. Escenarios de transporte de Dieldrin en la cuenca del río David.	205
Figura 5.6. Escenarios de transporte de Lindano en la cuenca del río David.	207
Figura 5.7. Escenarios de transporte de 2,4 D en la cuenca del río David.	208
 CAPÍTULO 6	
Figura 6.1. Información obtenida y sus fuentes.	215
Figura 6.2. Puntos de Referencia por Comunidad.	219
Figura 6.3. Total de Viviendas por Comunidad	220
Figura 6.4. Rutas de acceso	221
Figura 6.5. Viviendas a Encuestar	222
Figura 6.6. Comunidades Seccionadas	223
Figura 6.7. Puntos de Referencia para Encuesta	224
Figura 6.8. Distribución de trabajos formales.	230
Figura 6.9. Distribución de ingresos familiares en balboas (B/.)	231
Figura 6.10. Distribución de los medios de disposición de heces fecales.	232
Figura 6.11. Distribución de los mecanismos de disposición de aguas servidas producto del lavado (baño, fregadero etc.).	233
Figura 6.12. Enfermedades relacionadas con la falta de saneamiento	234

ambiental, mencionadas por los habitantes encuestados.	
Figura 6.13. Distribución etaria de las enfermedades gastrointestinales en la cuenca del Río David.	235
Figura 6.14. Conocimiento sobre plaguicidas de los habitantes de la cuenca.	236
Figura 6.15. Uso de plaguicida en la cuenca	237
Figura 6.16. Plaguicidas utilizados en la cuenca	238
Figura 6.17. Tiempo de aplicación de plaguicidas	239
Figura 6.18. Cultivos artesanales presentes en la cuenca, según la opinión de sus habitantes.	240
Figura 6.19. Enfermedades teratogénicas y genotóxicas en los habitantes de la cuenca.	241
Figura 6.20. Factores a los cuales se deben este tipo de enfermedad	241
Figura 6.21. Causas (de cáncer, malformaciones etc.) mencionadas por la población encuestada.	242

EQUIPO DE INVESTIGADORES

Responsable global del Proyecto ID147: Dra. Viccelda María Domínguez de Franco

A. Expertos del equipo de investigación:

Mgter. Noriel Franco: Encargado del Sistema de Información Geográfico y Modelación Hidrológica con Escenarios de Contaminación Difusa.

Dra. Viccelda Domínguez: Encargada de la Determinación de los Compuestos Orgánicos Clorados, Mapas de Calidad del Agua y Análisis Socioeconómico y Ambiental.

Dra. Yolanda Águila: Apoyo en el estudio de macroinvertebrados.

B. Estudiantes del equipo de investigación:

Ingeniera Forestal Masiel Caballero, Práctica profesional de Técnico en Ingeniería con Especialización en Saneamiento y Medio Ambiente (Universidad Tecnológica de Panamá): Sistema de Información Geográfico y Mapas de calidad del agua (contaminación puntual). Capítulos 1 y 4.

Estudiante Lic. en Ingeniería Ambiental Xavier Rodríguez, Tesis (Universidad Tecnológica de Panamá): Modelación de la contaminación difusa en la Cuenca del Río David, utilizando el Modelo Soil and Water Assesment Tool (SWAT) (contaminación no puntual). Capítulos 1, 2, 5 y 6.

Estudiante Lic. en Ingeniería Ambiental Vianeth Mojica, Tesis (Universidad Tecnológica de Panamá): Análisis socioeconómico de la cuenca y apoyo en la modelación de la contaminación difusa en la Cuenca del Río David, utilizando el Modelo Soil and Water Assesment Tool (SWAT) (contaminación no puntual). Capítulos 1, 2, 5 y 6.

Estudiante Lic. en Ingeniería Ambiental Mirthia Gonzáles, Tesis (Universidad Tecnológica de Panamá). Identificación de bioindicadores, indicadores físicos-químicos, para el diagnóstico ambiental de la cuenca del río David (contaminación puntual). Capítulos 1 y 4.

Estudiante de Maestría en Ingeniería Ambiental, Licenciado en Química, Jorge Olmos. Tesina (Universidad Tecnológica de Panamá). Determinación analítica por cromatografía de gases de, compuestos orgánicos clorados en agua, tomando como caso de estudio la cuenca del río David (estudio de caso a ser aplicado en los cursos de Química Ambiental de la Maestría en Ingeniería Ambiental). Capítulo 3.

PRESENTACIÓN

El enfoque de manejo integral de una cuenca, es un concepto que involucra el estudio de todos aquellos elementos ambientales que pueden verse afectados en esta región. Por esto es necesario tomar en cuenta, en la planificación del manejo de una cuenca todas aquellas acciones que inciden en su calidad ambiental. Por lo tanto se hace necesario, el conocimiento de cómo se puede dar el proceso de contaminación en la misma, tomando en cuenta dos principales factores: el monitoreo de la calidad del agua y la proyección del destino del agua que escurre en la cuenca. Sin embargo, existe otra información que es necesaria para poder conocer como se da el proceso de contaminación, las costumbres y actividades que realizan los habitantes de las cuencas y el tipo de actividades industriales, agropecuarias y de servicio, con las que se cuenta.

En el ámbito de distintos proyectos relacionados al manejo de cuencas hidrográficas, la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Tecnológica de Panamá, cuenta con un Laboratorio de Ingeniería Sanitaria, que se ha dedicado a brindar el servicio de monitoreo de calidad del agua de diferentes cuerpos acuáticos, incluyendo también el monitoreo de agua potable y aguas residuales; el cual también ha sido el laboratorio de referencia para la realización de investigaciones I+D, tesis, consultorías y proyectos en el tema. Por otra parte la Dirección de Cuencas Hidrográficas de la Autoridad Nacional del Ambiente cuenta con los Planes de Manejo Ambiental de los Ríos: Pacora, Indio, Cirí Grande y Trinidad; monitoreos de calidad del agua de 30 cuencas a nivel nacional; balances hídricos mensuales de los ríos Chiriquí Viejo, Chiriquí, Chico, Tonosí y La Villa, Santa María, Grande, Pacora, Bayano; Diseño de la red de monitoreo de la calidad del agua en las cuencas hidrográficas del río Caimito y el río Chiriquí. En estos informes ha sido relevante la información de las características biofísicas, aspectos socioeconómicos, diagnóstico participativo, aspectos a considerar en el manejo de subcuencas, planes y seguimientos, entre otros.

El río David es uno de los principales cuerpos de agua a nivel nacional, debido a que abastece a la Planta Potabilizadora del Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales (IDAAN) en David Chiriquí, suministrando el vital líquido a los distritos de David, Dolega y otras comunidades circunvecinas con aproximadamente un total de población servida de 122 087 habitantes para el año 2000. Entre los usos de agua de la cuenca destacan: uso de agua para consumo humano y uso agroindustrial. Además de ser el sostén principal de los ecosistemas acuáticos, sirve como cuerpo receptor, de una parte de las descargas de aguas residuales de la ciudad de David.

El presente documento, Herramientas para la Implementación de un Sistema de Gestión de Cuencas utilizando como base de respuesta la Unidad Ecosistémica del Río David, representa el producto del trabajo de investigación, Proyecto I+D-147 del año 2005, realizado durante el período 2006-2009 en la Cuenca del Río David, a través del apoyo financiero de la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología en su Convocatoria al Fomento a la Investigación y Desarrollo. Este proyecto ha sido ejecutado por un grupo de investigadores, docentes y estudiantes, de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Tecnológica de Panamá. Se recibió el apoyo de una docente y un egresado de la Facultad Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional; por lo cual se les

agradece a la Dra. Yolanda Águila y el Lic. Eduardo Santa María, su participación en la investigación de insectos acuáticos (bioindicadores).

Entre los objetivos más importantes del presente documento se encuentran:

- Establecer e iniciar un programa de monitoreo puntual de calidad de agua a lo largo de río David
- Levantar un mapa de calidad del agua del río David (para contaminantes específicos).
- Levantar un mapa de uso de suelo para la cuenca del río David e incorporarlo al SIG (Sistema de Información Geográfico)
- Crear una base de datos espaciales para la cuenca del río David
- Levantar un diagnóstico de fuentes de contaminación tanto de tipo puntual como no puntual.

En este estudio, se han obtenido nuevas herramientas que permiten implementar un Sistema de Gestión de Cuencas, como lo son el uso de Mapas de Calidad del Agua, utilización del software SWAT (Herramienta para la Evaluación de Suelo y Agua, por sus siglas en inglés), bioindicadores, monitoreo de plaguicidas en la cuenca y el análisis socioeconómico-sanitario y ambiental de la cuenca, utilizando como instrumento el Sistema de Información Geográfico.

Por último, se agradece a la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología por financiar esta investigación; también a la Facultad de Ingeniería Civil, al Centro Experimental de Ingeniería y al Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas de la UTP y a la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de Panamá por su aporte en la realización del presente estudio.

Vicelda M. Domínguez de Franco
Investigadora Responsable
Proyecto 1+D-147-2005
Facultad de Ingeniería Civil

ABREVIATURAS GENERALES

CAPÍTULO 1

ASTM:	American Standard Test Methods (Pruebas y Métodos de Estándares Americanos).
CO:	Carbón Orgánico.
FAO:	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura.
GPS:	Global Positions Systems (Sistema de Posición Global).
Km:	Kilómetro.
Km ² :	Kilómetro Cuadrado.
MIDA:	Ministerio de Desarrollo Agropecuario.
MICI:	Ministerio de Comercio e Industria.
MED:	Modelo de Elevación Digital.
MO:	Material Orgánico.
pH:	Potencial de Hidrógeno.
SIG:	Sistema de Información Geográfica.
SS:	Sales Solubles.
TDS:	Sólidos Totales Disueltos.
UHRs:	Unidad de Respuesta Hidrológica.
USDA:	United States Department of Agriculture (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos).

CAPÍTULO 2

BRIB:	Bosque Ribereño.
BPRI:	Bosque Primario.
BSIN:	Bosque Secundario Intervenido.
CDN:	Cultivo de Naranja.
CFE:	Café.
CN:	Curva Número.
CORN:	Maíz.
ESCO:	Factor de Compensación de Evaporación en Suelo.
ETESA:	Empresa de Transmisión Eléctrica S.A.
GWQMN:	Profundidad Umbral en el Acuífero Somero.
Ia:	Infiltración.
mm:	Milímetros.
n:	Coefficiente de rugosidad de Manning en el suelo.
PAST:	Pastoreo.
Qreal:	Caudal Real.
Qsimulado:	Caudal Simulado.
Qsimulado Final:	Caudal Simulado Final.
Qsurf:	Escorrentía Superficial.
R ² :	Coefficiente de Correlación.
Rday:	Precipitación.
RICE:	Arroz.
RST:	Rastrojo.
S:	Coefficiente de Almacenamiento.
SLPOV:	Promedio de pendiente en el suelo.
SUGC:	Caña de Azúcar.

SURLAG:	Coeficiente de Retraso de Escorrentía Superficial.
SWAT:	Soil and Water Assesment Tool (Herramienta para el Manejo de Suelo y Agua).
URHD:	Área Urbana de Alta Densidad.
URLD:	Área Urbana de Baja Densidad.
URMD:	Área Urbana de Mediana Densidad.
URML:	Área Urbana de Media a Baja Densidad.

CAPÍTULO 3

BED_PST:	Pesticida en el sedimento de la cama del río durante el paso del tiempo (mg de ingrediente activo).
CICOPLAFESTI:	Catálogo Oficial de Plaguicidas.
EPA:	Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental).
Koc:	Coeficiente de Carbono orgánico.
Kow:	Coeficiente de Partición Octanol-Agua.
pH:	Potencial de Hidrógeno.
QUAL 2E:	Modelo de Calidad de Agua Fluvial
SWAT:	Soil and Water Assesment Tool (Herramienta para el Manejo de Suelo y Agua).

CAPÍTULO 4

ACP:	Autoridad del Canal de Panamá.
ANAM:	Autoridad Nacional del Ambiente.
API's:	Asociaciones Potencialmente Indicadoras.
°C:	Grados Celsius.
CONAMA:	Departamento de Control de la Contaminación de la Comisión Nacional del Ambiente de Chile.
DGNTI-COPANIT:	Dirección General de Normas y Tecnología Industrial - Comisión Panameña de Normas Industriales y Técnicas.
DBO ₅ :	Demanda Bioquímica de Oxígeno.
DQO:	Demanda Química de Oxígeno.
EIA	Evaluación de Impacto Ambiental.
EPT:	Ephemeroptera-Plecoptera-Trichoptera.
Ephe:	Ephemeroptera.
GTZ:	Cooperación Técnica de la República Federal de Alemania.
IBI, BMWP, BMWP:	Indicadores Biológicos.
ICA.	Índice de Calidad de Agua.
MICI:	Ministerios de Comercio e Industrias.
NAS:	Normas Secundarias de Calidad Ambiental.
O ₂ :	Oxígeno Disuelto.
Pb:	Elemento Plomo.
pH:	Potencial de Hidrógeno.
PD:	Puntos de Control.
PD7du:	Punto Descarga de la Ciudad de David.
PM:	Punto Majagua.
PQS:	Punto Quebrada el Sapo.
PQO:	Punto Quebrada Obaldía.

PR: Punto de referencia.
SST: Sólidos Suspendedos Totales.
UTM: Universal Transverse Mercator (Transversales Universales de Mercator).

CAPÍTULO 5

ANAM: Autoridad Nacional del Ambiente.
Atm: Atmósfera.
ATSDR: Agency for Toxic Substances and Diseases Registry (Agencia de Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades).
AWWA: American Water Works Association (Asociación Americana de Obras de Agua).
°C: Grados Celsius.
CEPIS: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
EPA: Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental).
EXTOXNET: Extension Toxicology Network (Red de Extensión Toxicológica de la Biblioteca Nacional de los Estados Unidos).
GC: Cromatografía de Gases.
H₀: Hipótesis Nula.
H₁: Hipótesis Alternativa.
i.a.: Ingrediente Activo.
IDAAN: Instituto Nacional de Acueductos y Alcantarillados Nacionales.
IDIAP: Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
INDICASAT: Instituto de Investigaciones Científicas Avanzadas y Servicios de Alta Tecnología.
k: Constante.
K_{ow}: Constante de Reparto Octanol – Agua.
L: Litro.
L.D.: Límite de detección
LD₅₀: Dosis Mortal para el 50 por Ciento de los Animales Probados.
m: Metro.
mg: Miligramo.
MGD: Millones de Galones Diarios.
MIDA: Ministerio de Desarrollo Agropecuario.
min: Minuto.
ml: Mililitro.
mm Hg: Milímetros de Mercurio.
ng: Nanogramo.
NLM: Nacional Library of Medicine (Biblioteca Nacional de medicina).
NOEL: No Observable Effect Level (Ningún Nivel de Efecto Observable).
OPS: Organización Panamericana de la Salud.
Pa: Pascal.
PCB's: Bifenilos Policlorinados.
pH: Potencial de Hidrógeno.
pKa: Logaritmo de la Constante de Acidez.
PM: Peso Molecular.
PNUMA: Programa de las Naciones Unidas para el Medioambiente.
ppb: Partes por Billón.

ppm:	Partes por Millón.
SENACYT:	Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología.
TD:	Dosis Tóxica.
TD ₅₀ :	Dosis Tóxica para el 50 por Ciento de los Animales Probados.
TLV:	Threshold Limit Value (Valor de Límite de Umbral).
2,4 D:	Acido 2,4 Diclorofenoxiacético.
µm:	Micrómetro.

CAPÍTULO 6

BID:	Banco Interamericano de Desarrollo.
CONADES:	Consejo Nacional para el Desarrollo Sostenible.
FAO:	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura.
HSDB:	Hazardous Substances Data Bank (Banco de Datos de Sustancias Peligrosas).
IDAAN:	Instituto Nacional de Acueductos y Alcantarillados Nacionales.
INCAP:	Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá.
MINSA:	Ministerio de Salud.
OIT:	Organización Interamericana del Trabajo.
OMS:	Organización Mundial de la salud.
OPS:	Organización Panamericana de la Salud.
SWAT:	Soil and Water Assesment Tool (Herramienta para el Manejo de Suelo y Agua).
UTM:	Universal Transverse Mercator (Transversales Universales de Mercator).

HERRAMIENTAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE CUENCAS UTILIZANDO COMO BASE DE RESPUESTA LA UNIDAD ECOSISTÉMICA DEL RÍO DAVID

CAPÍTULO 1 EL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y DESCRIPCIÓN DEL MEDIO FÍSICO

1.1. Antecedentes

Un Sistema de Información Geográfica (SIG o GIS) es una colección organizada de hardware, software, datos geográficos y personales, diseñado para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión (Environmental System Research Intitute-ESRI, 1997).

Un Sistema de Información Geográfica puede mostrar la información en capas temáticas para realizar análisis multicriterios complejos. El pionero de la epidemiología, el Dr. John Snow proporcionaría, alrededor del año 1854, el clásico ejemplo de este concepto cuando cartografió la incidencia de los casos de cólera en un mapa del distrito de SoHo en Londres. Este *protoSIG* permitió a Snow localizar con precisión un pozo de agua contaminado como fuente causante del brote (Wikimedia Fundation Inc., 2007).

La función de un Sistema de Información Geográfica (SIG) es mejorar la capacidad para la toma de decisiones. Un sistema de información es la cadena de operaciones que conduce desde la planificación de la observación y recolección de los datos, hasta su almacenamiento y análisis. Y luego la utilización de la información obtenida en algún proceso de toma de decisiones.

Un mapa es una colección de datos almacenados y analizados; y la información derivada de este proceso se utiliza en la toma de decisiones (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura-FAO, 2006).

Hay cinco elementos esenciales que debe contener un SIG: adquisición de datos, pre procesamiento, manejo, manipulación y análisis; y generación de productos.

El SIG funciona como una base de datos con información geográfica (datos alfanuméricos) que se encuentra asociada por un identificador común a los objetos gráficos de un mapa digital. De esta forma, señalando un objeto, se conocen sus atributos e inversamente, consultando el registro de la base de datos; se puede saber su localización en la cartografía.

El Sistema de Información Geográfica separa la información en diferentes capas temáticas y las almacena independientemente, permitiendo trabajar con ellas de manera rápida y sencilla; facilitando al profesional la posibilidad de relacionar la información existente a través de la tipología de los objetos; con el fin de generar otra nueva, que no podríamos obtener de otra forma (Wikimedia Foundation Inc., 2007).

Los SIG pueden ser de dos tipos principales según el método usado para modelar la realidad geográfica. Es decir, cómo los aspectos del medio o territorio (vegetación, curvas de nivel, geología, edafología, temperatura, precipitación, altitud, carreteras, ciudades, ríos, divisiones administrativas, etc.) quedan representados gráficamente (Quintana, 2005). Por ejemplo un mapa topográfico en papel; el equivalente digital consta de un conjunto de capas (o temas o coberturas) y de un conjunto de gráficos (textos, leyendas, marcos, etc.). Cada capa de información de un mapa presenta información sobre un elemento del medio.

Según la forma en que estas capas se transforman en información digital, se tienen los tipos de SIG (aquí sólo se describen los dos más importantes actualmente):

- **SIG ráster:** Utiliza una malla rectangular de celdillas cuadradas. En cada celdilla hay un número. Este número porta la información necesaria para modelar un aspecto del medio. Son convenientes para modelar aspectos del medio, muy variables, que generalmente son cuantitativos. Así los factores fisiográficos (altitud, pendiente, orientación), atmosféricos (temperatura, precipitación, contaminación) y otros se deben modelar siguiendo esta estructura de datos. Esto no significa que no pueda modelarse cualquier tipo de aspecto del medio.
- **SIG vectorial:** Utiliza un conjunto de puntos, líneas o polígonos que modelan un aspecto del medio. Estos puntos, líneas o polígonos se conocen, de manera genérica, como objetos o características o entidades. Constan de una información gráfica o, más bien, geográfica, la localización, y de información alfanumérica; que describe determinadas características de las entidades. La información alfanumérica o atributos se encuentran en una base de datos. Cada entidad corresponde a un registro y cada campo describe un aspecto de dicha entidad.
 - Los puntos se reducen a pares de coordenadas de latitud-longitud o x-y, que marcan la posición de lo modelado sobre la superficie de la tierra. Así, los pozos, fuentes, manantiales, puntos contaminados y otros; pueden quedar representados con esta estructura vectorial.
 - Las líneas son una serie ordenada de posiciones unidas por segmentos rectos. Permiten modelar carreteras, ríos, curvas de nivel.
 - Los polígonos son líneas cerradas que delimitan superficies; modelan vegetaciones, suelos, geologías, montes, provincias, países, etc.

De acuerdo a Quintana (2005) el SIG vectorial es utilizado para modelar aspectos poco variables, generalmente cualitativos. Véanse los ejemplos citados para los puntos, líneas y polígonos. Esto no significa que no pueda modelarse cualquier tipo de aspecto del medio. Los polígonos funcionan si se han realizado clases (intervalos) de cualquier aspecto cuantitativo.

Por otra parte las líneas también pueden representar aspectos cuantitativos en la forma de isolíneas (curvas de nivel o isohipsas, isotermas, isoyetas, etc.) (Quintana, 2005).

ArcView es la herramienta SIG más extendida en todo el mundo dadas sus avanzadas capacidades de visualización, consulta y análisis de información geográfica, además de las numerosas herramientas de integración de datos desde todo tipo de fuentes y herramientas de edición.

Por sí solo, ArcView permite la explotación de toda la información tanto en sistemas monousuario como en sistemas departamentales; pero, es al integrarse en la arquitectura **ArcGIS**, donde se consigue una solución global en el manejo de información geográfica y a escala según las necesidades del usuario.

ArcView con sus tres aplicaciones, permite acceder a una gran variedad de funcionalidades en todos los campos de estudio que se deseen realizar; estas aplicaciones son:

- **ArcMap:** Permite visualizar, consultar, editar y realizar análisis sobre los datos.
- **ArcCatalog:** Constituye un avanzado explorador de datos geográficos y alfanuméricos, pensado para la visualización, administración y documentación de la información.
- **ArcToolbox:** Es una herramienta integrada en ArcMap y ArcCatalog que permite la realización de numerosas operaciones de análisis, manipulación, transformación, ajuste e interpretación de los datos.

Las citadas aplicaciones, permiten realizar de manera intuitiva tareas que van desde una simple consulta, hasta análisis complejos. De esta forma ArcView contiene muchas funciones entre las que se pueden mencionar:

- La Exploración y administración de la información geográfica y alfanumérica en múltiples formatos.
- Visualización de la información geográfica y alfanumérica.
- Creación y mantenimiento de los metadatos de la información catalogada.
- Creación del modelo de datos apropiados a las necesidades de cada usuario.
- Realización de todo tipo de edición gráfica y alfanumérica gracias a su potente y avanzado entorno de edición, con una vasta funcionalidad de representación gráfica.
- Realización de tareas de análisis avanzado tanto de datos geográficos como alfanuméricos.
- Producción de cartografía de alta calidad.
- Ver un mismo mapa con diferentes representaciones cartográficas.
- Permite una personalización rápida y sencilla del entorno de trabajo.
- Permite acceder a funciones de geoprocésamiento mediante distintos entornos (ModelBuilder, Cuadros de diálogo, Línea de comandos y Entorno de scripts).
- Gestiona las propiedades de etiquetado de un mapa desde un entorno centralizado.
- Crea informes, gráficos y animaciones.

La aplicación del SIG en este estudio se realizará en la subcuenca del río David (de ahora en adelante cuenca del río David) la cual es una de las más importantes de la cuenca del río

Chiriquí, posee una extensión territorial aproximada de 316 km²; 153, 838 habitantes y se encuentra ubicada geográficamente, entre las coordenadas UTM 320000 y 380000 E, 900000 y 965000 N, en la Provincia de Chiriquí, República de Panamá. Las condiciones climatológicas de la región muestran una precipitación media anual de 3000 mm, distribuida durante todo el año; sin embargo, la mayor actividad pluviométrica se registra entre los meses de mayo a noviembre, los registros muestran una evaporación que alcanza el 60% de la precipitación, y temperatura promedio de 26 ° C (Dominguez *et al.* 2005).

La situación actual y futura, implican una creciente presión sobre el río David, que sirve de fuente de abastecimiento de agua potable para una población de aproximadamente 124, 280 habitantes el 81.1 % del total de la población de la cuenca (Estadística y Censo, 2000). Por otra parte de los 872.73 km² del área utilizada para la actividad agropecuaria en la provincia de Chiriquí, para el año 2000 se registró, un consumo promedio de: 3,671 kilos y 13,628 litros de insecticidas; 3,583 kilos y 54,286 litros de herbicidas, 4,709 kilos y 18,244 litros de fungicidas. De forma similar el mismo estudio muestra que 588.2 km², son sometidos a la aplicación de fertilizantes para diferentes cultivos (Dominguez *et al.* 2005).

El río David como eje principal de la cuenca posee una longitud aproximada de 93.775 kilómetros, el cual muestra en su región ritral una pendiente promedio de 0.025 m/m y en su región potamal 0.002 m/m. El máximo caudal mensual promedio en 35 años es de 91.8 m³/s y ocurre en el mes de octubre, mientras que el mínimo es de 3.44 m³/s, se registra en el mes de marzo y el promedio corresponde a 27.5 m³/s. Por lo antes visto para un período de 35 años es de esperar que se registre un caudal mínimo crítico disponible de 3.44 m³/s. Este río además de tener el uso como fuente de abastecimiento de agua, es utilizado como cuerpo receptor de las descargas de aguas residuales (doméstica, industrial y comercial) de la ciudad de David con 77,734 habitantes (Estadística y Censo, 2000).

Debido a los antecedentes expuestos se considera que las actividades desarrolladas en el río David brindan la justificación que lo sustentan como un interesante caso de estudio, para el desarrollo de la presente investigación.

1.2.Objetivos

- Determinar y digitalizar las curvas de nivel y la red hídrica de la cuenca.
- Determinar el uso y tipo de suelo en la cuenca.

1.3.Metodología

Implementación del ArcView 3.2 en el Diagnóstico Físico de la Cuenca utilizando la metodología del Instituto de Investigación del Sistema Ambiental por sus siglas en inglés ESRI (1997).

1.3.1. Elaboración de los mapas y base de datos en ArcView

De acuerdo a ESRI (1997), el procedimiento para implementar los Sistemas de Información Geográfica se dividen en cuatro etapas, las cuales se definen como sigue:

- Se referencian geográficamente mapas o cartas en ArcView 3.2 para así digitalizar y obtener el uso de suelo (agrícola, ganadería de pastoreo) y tipo de suelo.
- Se crea una base de datos con los atributos de uso de suelo en base a fotografías aéreas e imágenes satelitales, conocidas como landsat.
- Se establece una base de datos de tipo de suelo y sus atributos, por medio de mapas de rocas parentales. Y luego se diagnostica el tipo de suelo por análisis granulométricos y análisis de laboratorio fisicoquímico (Mora, 2006).
- Se levanta esta información en base a datos obtenidos de la Dirección de Catastro, Reforma Agraria, Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA), Ministerio de Comercio e Industria (MICI), Contraloría e Instituto Geodésico Tommy Guardia.
- La información obtenida de estas fuentes se corrobora con visitas a terreno para así lograr ajustar la información (atributos) de cada Unidad de Respuesta Hidrológica (UHR).

1.3.2. Utilización de resultados previos obtenidos en la investigación

Se realiza la digitalización de las cartas de redes hidrológicas (quebradas, ríos, lagos) y topográficas (curvas de nivel, 20 m), esto permite crear un Modelo de Elevación Digital (MED), que junto con las cartas de uso de suelo, tipo de suelo, permite crear los escenarios tanto espaciales como temporales para la modelación hidrológica en la cuenca, así como las corridas del modelo para distintos escenarios de contaminación no puntual en la cuenca.

1.4. Resultados y Discusión

1.4.1. Área de la cuenca

El área de la cuenca se modificó a través de un modelo hidrológico, obteniendo como resultado la Figura 1.1.

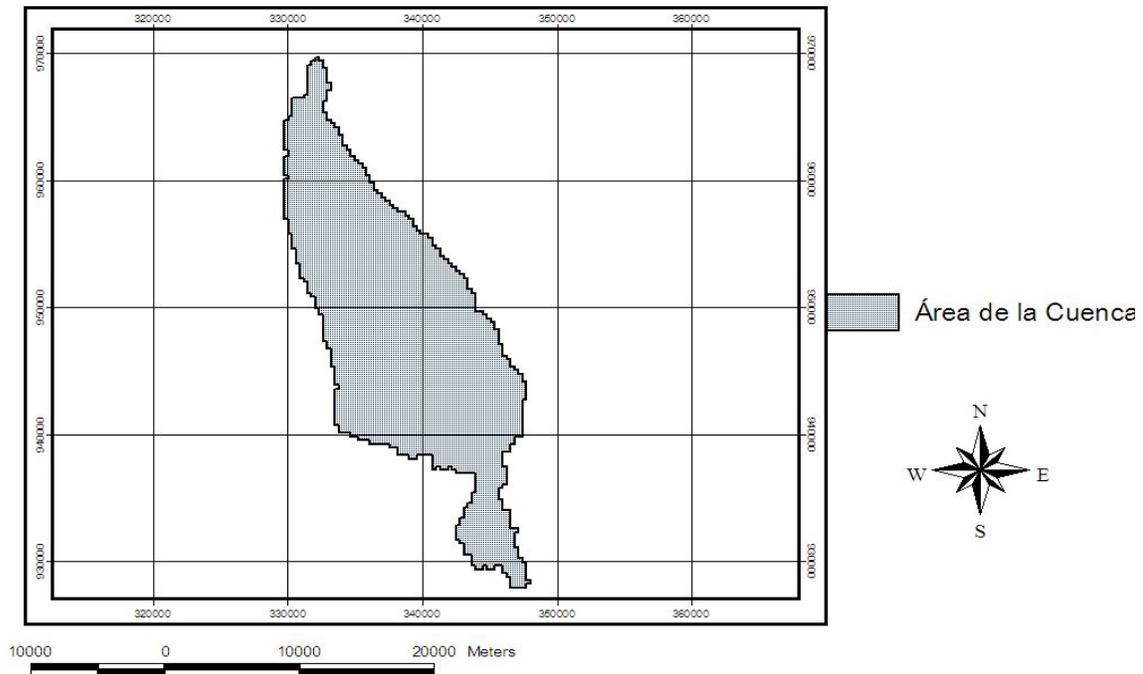


Figura 1.1. Área de la cuenca.

La Figura 1.1 indica el área total de la cuenca a estudiar (río David); la cual cuenta con una superficie territorial de 315.56 Km².

1.4.2. Curvas de Nivel

A través de las cartas topográficas obtenidas en el Instituto Tommy Guardia; y su posterior digitalización se procede a la georeferenciación de los mapas y luego a la digitalización de las curvas de nivel a intervalos de veinte metros (20 m) obtenidas a partir de cartas topográficas. Se obtiene la Figura 1.2.

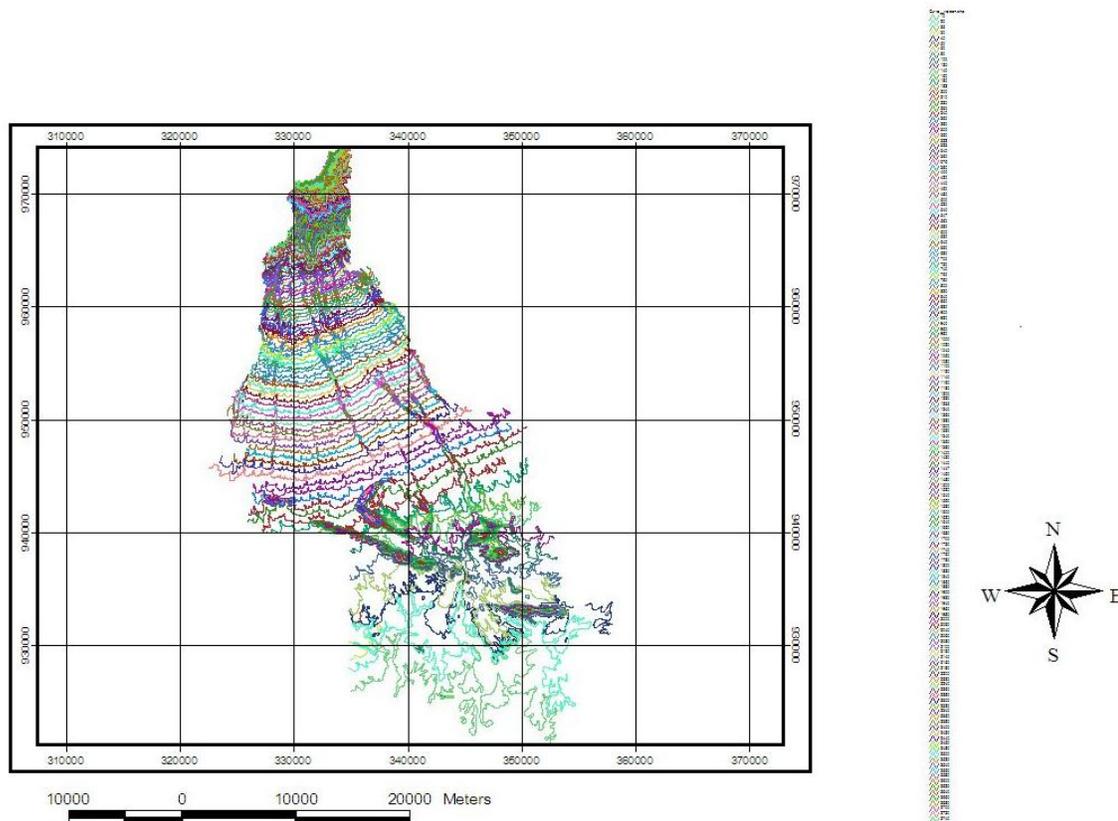


Figura 1.2. Curvas de Nivel de la cuenca del río David.

En la Figura 1.2 concerniente a las curvas de nivel, se observan las mayores elevaciones en la parte alta de la cuenca, entre los valores de 2200 a 2220 msnm. Esto es indicativo de la influencia del Volcán Barú sobre la zona, puesto que la cuenca inicia en las faldas del volcán; lo que brinda al río David y a la cuenca las características de río de montaña.

De acuerdo a Domínguez *et al.* (2005) las curvas de nivel deben cubrir un área mayor que el área de la cuenca; por la necesidad de mayor precisión en el cálculo del movimiento hídrico de la cuenca.

Según Batista (2003) la cuenca del río David se divide en tres secciones, que a continuación se describen de acuerdo a su elevación:

- Cuenca Alta (2400 – 1000 msnm)
- Cuenca Media (1000 – 300 msnm)
- Cuenca Baja (300 – 6 msnm).

Los datos que se obtienen difieren en la máxima altura de la cuenca alta, de acuerdo a este estudio las máximas elevaciones son 2200 – 2220 msnm, menores a las reportadas por Batista (2003). Esta diferencia de elevación se debe a que los valores calculados corresponden a la digitalización de la cuenca por medio de un modelo hidrológico, como se explicará

posteriormente (Capítulo 2), que utiliza la distribución e influencia en el flujo de los afluentes y ríos principales de la cuenca, movimiento de escorrentía proyectado y diversos aportes y salidas, esta situación se atribuye a la parte más alta de la cuenca, de las elevaciones 2740 – 2220 msnm, a otras cuencas que nacen a mayor altitud en el Volcán Barú; como es el caso del río principal Chiriquí y su respectiva cuenca.

Los Modelos de Elevación Digital son la base de la modelación hidrológica, puesto que brindan al programa la presencia de elevaciones en su lenguaje de programación y una rápida visualización y observación al alimentador del modelo (Arnold *et al.*, 2002).

Del MED se obtiene información gráfica y de datos de elevaciones y pendientes diferenciadas por rangos de colores; además elevaciones en casos de alturas; y en el caso de pendientes, por rango de colores y numéricos; y pendientes en grados.

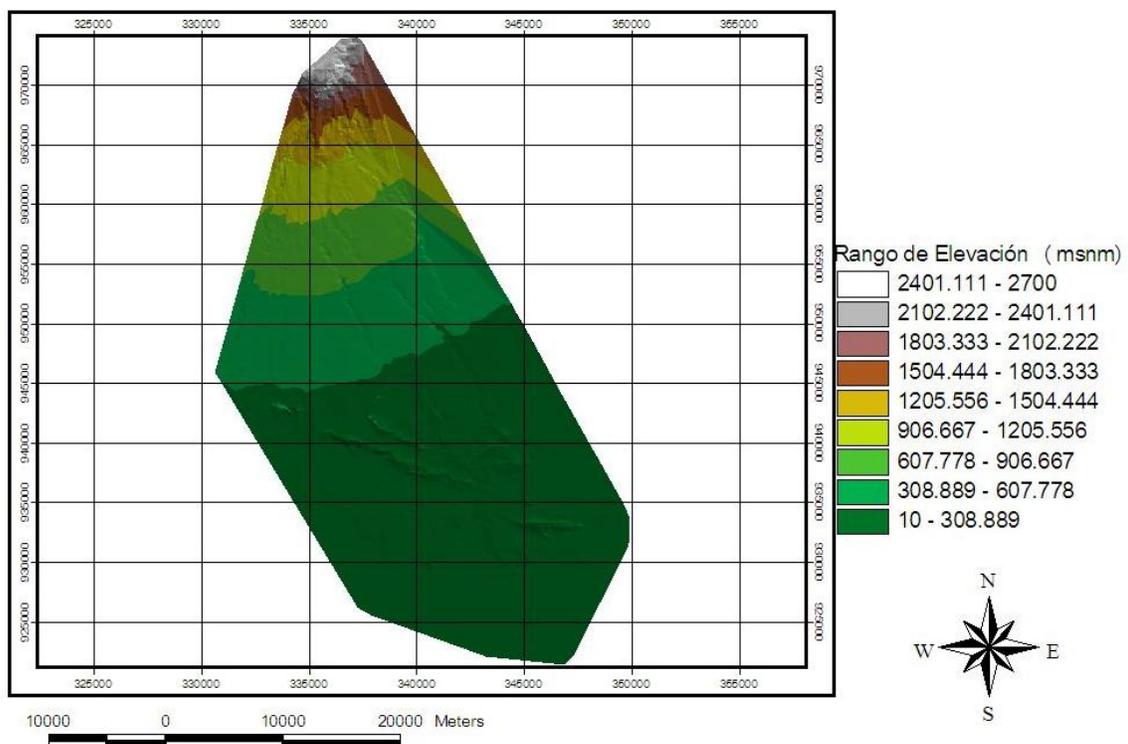


Figura 1.3. Modelo de Elevación Digital por rango de elevación en la cuenca del río David.

En la Figura 1.3 se observan los diversos rangos de elevación que se obtienen en la corrida del MED, de acuerdo a los colores presentes en el mapa, se observa la mayor elevación en el área de color gris, elevaciones entre 2133.33 – 2436.67 msnm, y la parte baja de la cuenca en el área de color verde oscura, con elevaciones entre 10 – 313.33 msnm.

A su vez se observan los diferentes valores en cuanto a pendientes obtenidas en grados como se muestra en la Figura 1.4.

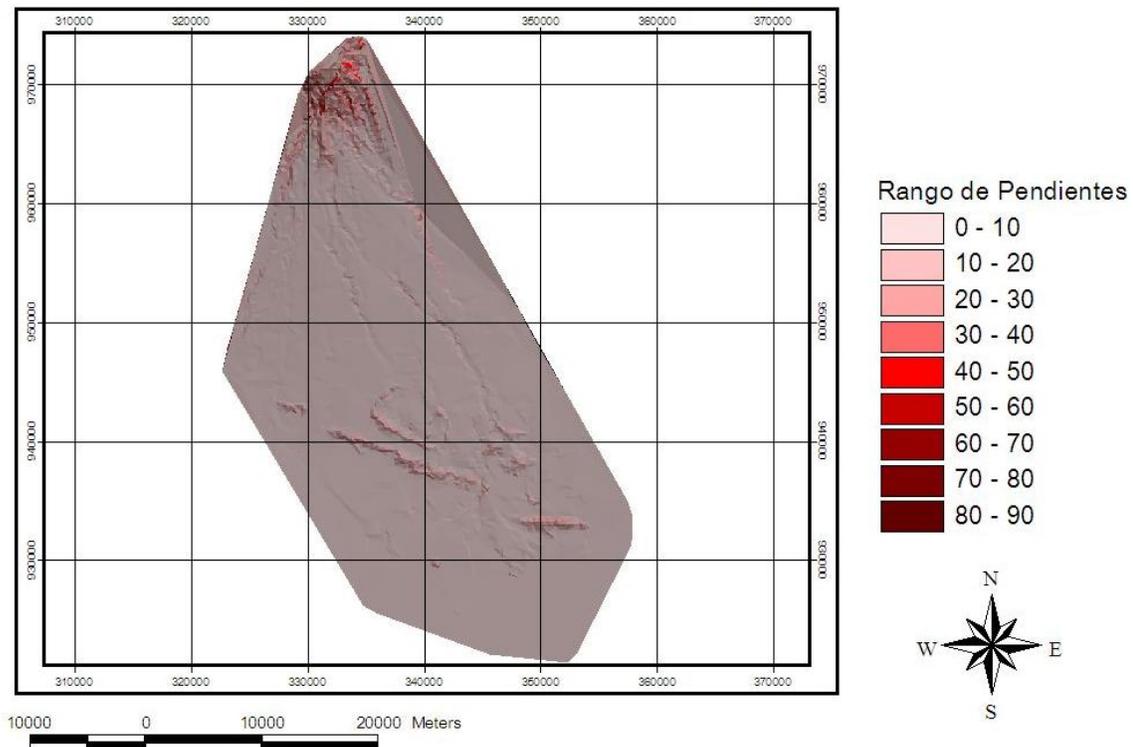


Figura 1.4. Modelo de Elevación Digital en Pendientes en la Cuenca del río David.

En la Figura 1.4 se obtienen rangos de pendientes en la cuenca entre 45 – 67.5 grados, parte alta de la cuenca marcada de color rojo contrastando la parte baja de la cuenca; específicamente en el centro de la ciudad de David, donde las pendientes se observan en el área de color gris entre 0 – 22.5 grados.

1.4.3. Red Hídrica

Se elaboró utilizando como base fotografías aéreas, imágenes satelitales proporcionadas por el programa Google Earth y cartas topográficas de la región, siendo esta última la base del levantamiento de la información hídrica.

La red hídrica de la cuenca es uno de los aspectos fundamentales, previo a la modelación, y responsable de los principales resultados que se obtienen. La presencia y digitalización de la red hídrica le indica al programa el sitio donde hay presencia de aguas superficiales o afloramientos, ya sean quebradas, ríos o lagos de la cuenca (Figura 1.5).

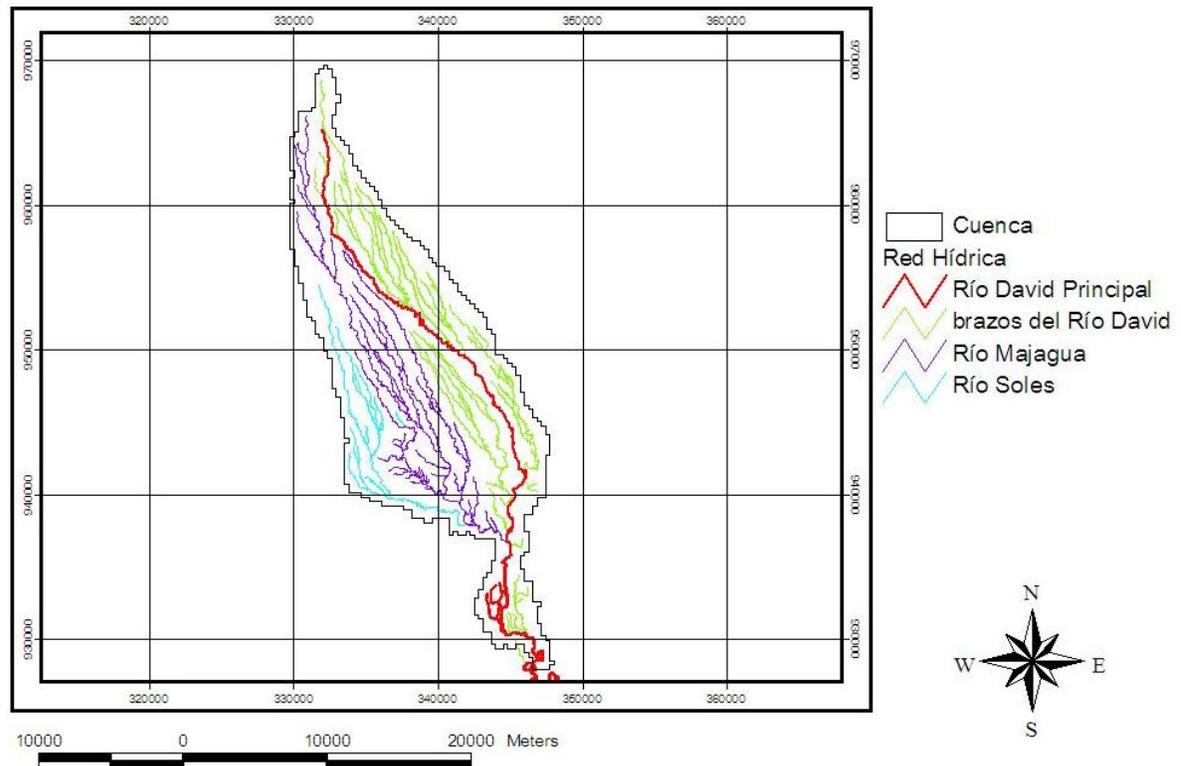


Figura 1.5. Red hídrica de la cuenca del río David.

En la Figura 1.5 se observa, que en la cuenca del río David no existe presencia de lagos a pesar de ser un sitio de gran cantidad de afluentes, quebradas temporales y permanentes. La cuenca del río David difiere así con cuencas tales como; la del Canal de Panamá, que contiene en sus áreas grandes superficies de lagos ya sean artificiales o naturales.

La red hídrica se compara con los indicativos de cursos de agua encontrados en las elevaciones o curvas de nivel y los cursos de agua observados en la carta topográfica, donde se observa similitud en los sitios donde las curvas de nivel tenían picos hacia el norte del mapa; fenómeno identificado como sitios donde nace algún curso de agua.

1.4.4. Uso de suelo

Paralelo a esta etapa se procede a la localización por medio de fotografías aéreas y comprobación más reciente de uso de suelo por medio de la herramienta de vistas satelitales y fotografías aéreas, conjuntamente con imágenes del programa Google Earth. Luego los resultados que se obtienen de las vistas de las fotografías aéreas y del programa Google Earth se comprueba con visitas en campo realizadas los días 18, 19 y 20 de agosto de 2006 utilizando un GPS de marca Trimble Navigator 3, con un porcentaje de error entre 3 a 5 m con respecto a la horizontal; margen de error aceptable para el tipo de trabajo que se realiza. Con los datos adquiridos se procede en oficina a localizar los puntos obtenidos, comparar y en caso de que no se tuviera vista del sitio georeferenciado, agregarle en la base de datos presente en el programa ArcView 3.2.

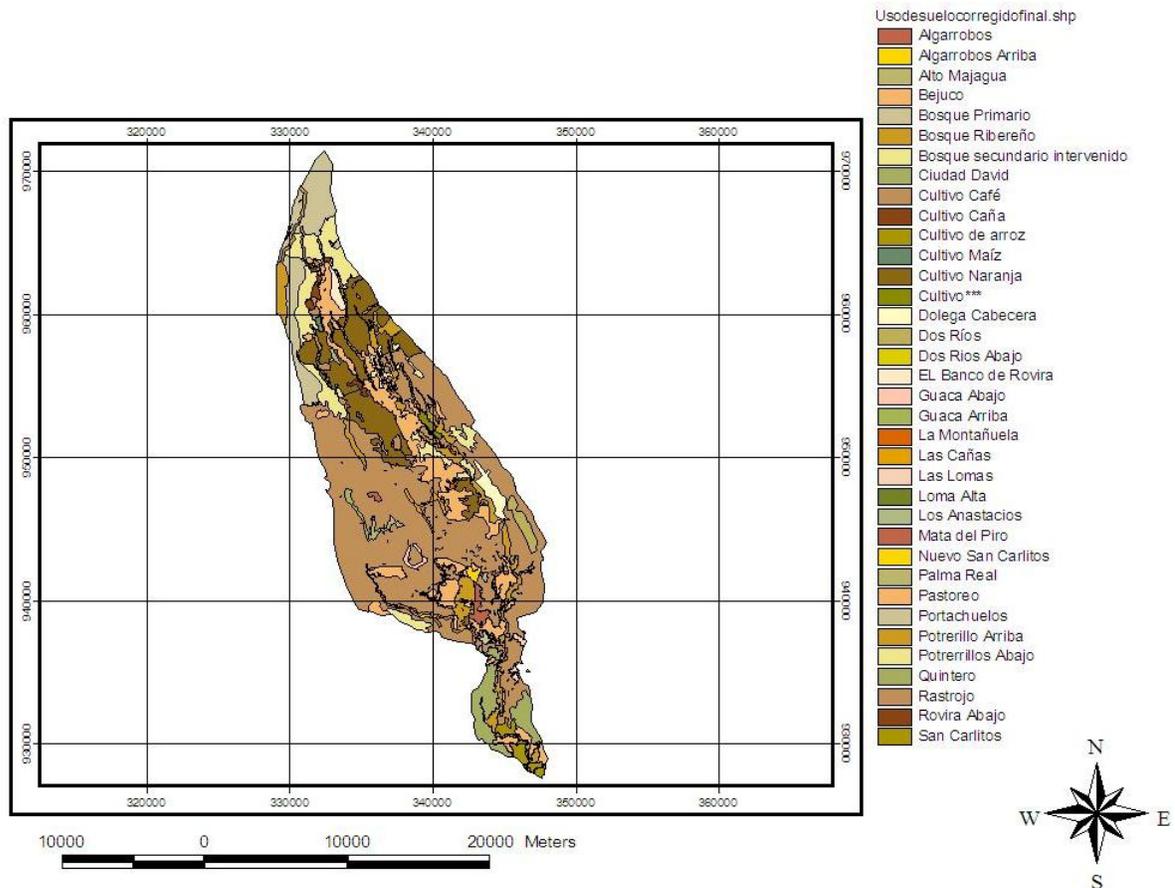


Figura 1.6. Uso de Suelo de la cuenca del Río David.

Como muestra la Figura 1.6, el uso de suelo predominante en la cuenca del río David es la destinada a rastrojo, ocupando 148.15 km², seguido por las áreas utilizadas para pastoreo ocupando 39.45 km². Los demás valores son presentados en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1. Áreas y sus respectivas descripciones de Uso de Suelo.

Uso de Suelo	Uso de suelo (siglas)	Área (m ²)	Área (km ²)
Cermeño	URLD	66103.25	6.61x10 ⁻²
Los Anastacios	URHD	234122.12	2.34x10 ⁻¹
Dos Ríos Abajo	URLD	103930.35	1.04x10 ⁻¹
Las Lomas	URLD	412565.20	4.13x10 ⁻¹
Cultivo Café	CFF	652417.55	6.52x10 ⁻¹
Cultivo Caña	SUGC	1431613.38	1.431
Cultivo Maíz	CORN	377027.62	3.77x10 ⁻¹
Dolega Cabecera	URHD	3182329.33	3.18
Dos Ríos	URMD	2652434.28	2.65
Cultivo de arroz	RICE	3481905.64	3.48
Ciudad David	URHD	11809329.31	11.81
Cultivo***	SUGC	1019886.75	1.019
Bosque Primario	BPRIM	21511865.01	21.51
Las Lomas	URLD	407704.33	4.08x10 ⁻¹
EL Banco de Rovira	URLD	1630186.18	1.630
Rastrojo	RST	341563.02	3.42x10 ⁻¹
Potreros Abajo	URHD	249499.88	2.49x10 ⁻¹
Potreros Abajo	URHD	591537.45	5.91x10 ⁻¹
Potreros Abajo	URHD	303095.84	3.03x10 ⁻¹
Potreros Abajo	URHD	135355.01	1.35x10 ⁻¹
Potreros Abajo	URHD	92491.96	9.25x10 ⁻²
Bosque Ribereño	BRIB	30392877.69	30.39
Potreros Arriba	URML	58160.63	5.82x10 ⁻²
Potreros Arriba	URML	48348.99	4.83x10 ⁻²
Potreros Arriba	URML	107094.22	1.07x10 ⁻¹
Potreros Arriba	URML	1460799.93	1.461
Palma Real	URMD	425560.21	4.26x10 ⁻¹
Bosque secundario intervenido	BSIN	23185654.64	23.19
Bosque secundario intervenido	BSIN	687.64	6.88x10 ⁻⁴
Rovira Abajo	URMD	560882.55	5.61x10 ⁻¹
Loma Alta	URLD	135554.91	1.36x10 ⁻¹
Bejuco	URLD	194309.60	1.94x10 ⁻¹
Cultivo Naranja	CDN	37508692.78	37.51
Las Cañas	URML	1319292.64	1.319
Mata del Piro	URML	387665.82	3.88x10 ⁻¹
Potreros Abajo	URHD	11862.68	1.19x10 ⁻²
Alto Majagua	URMD	1161878.61	1.162
Rastrojo	RAST	145922.31	1.46x10 ⁻¹
Potreros Abajo	URHD	402713.35	4.03x10 ⁻¹
Guaca Arriba	URML	968564.20	9.69x10 ⁻¹

Uso de Suelo	Uso de suelo (siglas)	Área (m ²)	Área (km ²)
Guaca Abajo	URML	915248.52	9.15x10 ⁻¹
La Montañuela	URLD	585013.11	5.85x10 ⁻¹
San Carlitos	URML	188347.31	1.88x10 ⁻¹
Nuevo San Carlitos	URML	245122.91	2.45x10 ⁻¹
Portachuelos	URMD	409568.03	4.09x10 ⁻¹
Rastrojo	RST	148148395.36	148.15
Algarrobos	URHD	1819944.97	1.819
Algarrobos Arriba	URHD	721161.93	7.21x10 ⁻¹
Pastoreo	PAST	39445614.69	39.45
Área total		341641903.7	341.64

 Sitios poblados.

 Área total de uso de suelo en la cuenca.

*** Cultivo del cual no se obtiene información o distinción, se asume Caña.

La Tabla 1.1. muestra un valor superior que el área de la cuenca, causado por la digitalización extra de áreas para la modelación hidrológica.

1.4.5. Tipo de Suelo

La elaboración del mapa de Tipo de Suelo trajo complicaciones al momento de levantar la información, utilizando los datos suministrados por los mapas de roca parental del Departamento de Recursos Minerales del MICI (1996) e información presente en (Batista, 2003). Se obtienen nombres para suelos con características que ya han sido estudiadas y se procedió a introducirlas en la vista de ArcView, dichos valores de tipo de suelo fueron comprobados en campo.

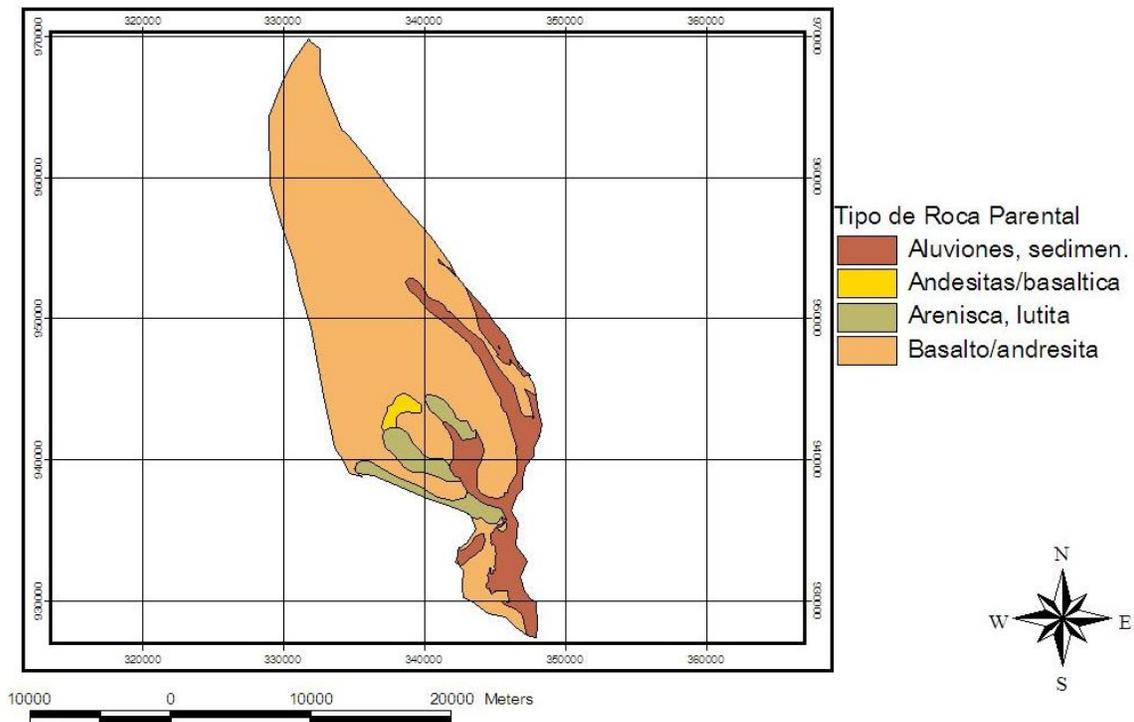


Figura 1.7. Mapa Edafológico de la cuenca del río David.

La Figura 1.7 define la presencia predominante en el área de la cuenca de la roca parental de origen basalto/andesita, en un área de 280.17 km², seguido de roca parental de origen aluviones, sedimentaria en un área de 50.45 km². El resto de las áreas y tipo de roca parental de la cuenca del río David se muestra en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2. Tipos de roca parental presentes en la Cuenca del río David y su superficie.

Tipo de Roca Parental	Siglas de Tipo de Suelo SWAT	Área (m ²)	Área (km ²)
Andesitas/basalto	DEWEY	3437088.25	3.44
Arenisca, lutita	LOBELVILLE	20621880.97	20.62
Aluviones, sedimentarias	LEE	50452618.41	50.45
Basalto/andesita	BODINE	280167647.01	280.17
	Total	354679234.64	354.68

Área total.

El área total es mayor en el mapa de tipo de suelo (Tabla 1.2), que en el mapa de uso de suelo (Tabla 1.1), esto se debe a la necesidad de mayor área del modelo para determinar el área de drenaje de la cuenca.

Descripción de suelo en la cuenca, dividida por elevaciones de acuerdo a Batista (2003):

Parte alta de la cuenca (2400-1000 msnm):

Suelo Joven, poca presencia de arcilla.

Por la zona volcánica en la que está situada, los suelos son de alta conductividad hidráulica y de poca retención de agua; lo que implicaría un fácil transporte de contaminantes tanto en sedimentos como en fase líquida, aumentando la probabilidad de contaminación de cuerpos de agua superficiales y subterráneos.

Parte media de la cuenca (1000-300 msnm):

Franco Arcilloso Fase Escarpada, Franco Pedregoso, Pedregoso, Arcilloso, Arcillosos Pedregoso.

Basado en Maidment (1993) se concluye, que los suelos Arcillosos poseen una porosidad total promedio de $4.75 \times 10^{-1} \text{ m}^3/\text{m}^3$, contenido de agua residual promedio de $9.0 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{m}^3$, porosidad efectiva de $3.85 \times 10^{-1} \text{ m}^3/\text{m}^3$, distribución de poros promedio de $1.65 \times 10^{-1} \text{ m}^3/\text{m}^3$, retención de agua a $33 \times 10^3 \text{ Pa}$ de $0.396 \text{ m}^3/\text{m}^3$, retención de agua a $1500 \times 10^3 \text{ Pa}$ de $2.72 \times 10^{-1} \text{ m}^3/\text{m}^3$ y una conductividad hidráulica de $6 \times 10^{-4} \text{ m/hr}$.

Los valores obtenidos de retención de agua y conductividad hidráulica son indicativos de poco movimiento de contaminantes en el suelo; posee mayor retención de agua que los suelos de la parte baja de la cuenca, lo que aumentaría el tiempo o presencia de contaminantes en la parte superficial de estos suelos. Esto sería perjudicial a los distintos cuerpos de agua y sistemas ambientales cautivos, por el transporte de sedimentos contaminados debido a la retención de contaminantes del suelo. Los valores mencionados llevarían a sugerir el posible transporte de químicos por medio de sedimentos transportados a su vez por la escorrentía superficial.

Parte baja de la cuenca (300-6.0 msnm):

Suelo Ciró Franco Arcilloso Fase Escarpada, Arcilloso muy pedregoso y Arcilloso Pedregoso Fase Escarpada.

Concluyendo en base a la clasificación propuesta por Maidment (1993), los suelos Franco Arcilloso Fase Escarpada son suelos de porosidad promedio de $3.98 \times 10^{-1} \text{ m}^3/\text{m}^3$, con un contenido residual de agua promedio de $6.8 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{m}^3$, porosidad efectiva promedio de $3.30 \times 10^{-1} \text{ m}^3/\text{m}^3$, con una distribución de la porosidad de $3.19 \times 10^{-1} \text{ m}^3/\text{m}^3$, retención del agua a $33 \times 10^3 \text{ Pa}$ de $2.55 \times 10^{-1} \text{ m}^3/\text{m}^3$ y una retención del agua a $1500 \times 10^3 \text{ Pa}$ de $1.48 \times 10^{-1} \text{ m}^3/\text{m}^3$. La conductividad hidráulica en este tipo de suelo es de $3.0 \times 10^{-3} \text{ m/hr}$.

Los suelos Franco Arcillosos son de porosidad pequeña, lo que implica una menor adsorción de contaminantes y una conductividad baja, dado el origen arcilloso de estas tierras, implica que el movimiento a aguas subterráneas de contaminantes sería bajo, aumentando la probabilidad del transporte de contaminantes por escorrentía.

Luego de la revisión de las características mencionadas por Batista (2003) y su comparación con Maidment (1993); es posible realizar análisis de suelo a lo largo de la cuenca, con el objetivo de calibrar el modelo hidrológico; de modo que el modelo pueda ser representativo del proceso precipitación-escorrentía y transporte de contaminantes en la cuenca del río David.

El trabajo de campo que se realizó en la presente investigación, radicó en la extracción de muestras representativas de suelos en el área (un total de 100 submuestras para obtener de estas, una muestra en cada uno de los cinco puntos de extracción; resultando en total cinco muestras representativas) como se logra observar en la Figura 1.8, en este caso la cuenca del río David, para luego su caracterización en el laboratorio y obtención de valores por el Método de Bouyoucos avalado por la USDA (Mora, 2006^{a y b}).

El método de Bouyoucos es generalmente usado cuando no se cuenta con las facilidades de obtención de datos de laboratorios especializados en el área de suelos. Se utiliza cuando se requieren análisis de suelo en los primeros 30 cm o menos (como es el caso que nos ocupa) en el estudio de la modelación hidrológica de una cuenca (Mora, 2006^{a y b}).

Sus ventajas se basan en la rapidez en la que se obtienen resultados confiables. En suelos en donde no se tienen partículas de tamaño muy variables y los resultados obtenidos pueden ser considerados precisos.

En la Figura 1.8 se observan las cinco muestras representativas para las áreas escogidas en la cuenca, los puntos de muestreo y sus vías de acceso. Utilizando el método antes mencionado según Mora (2006^b).

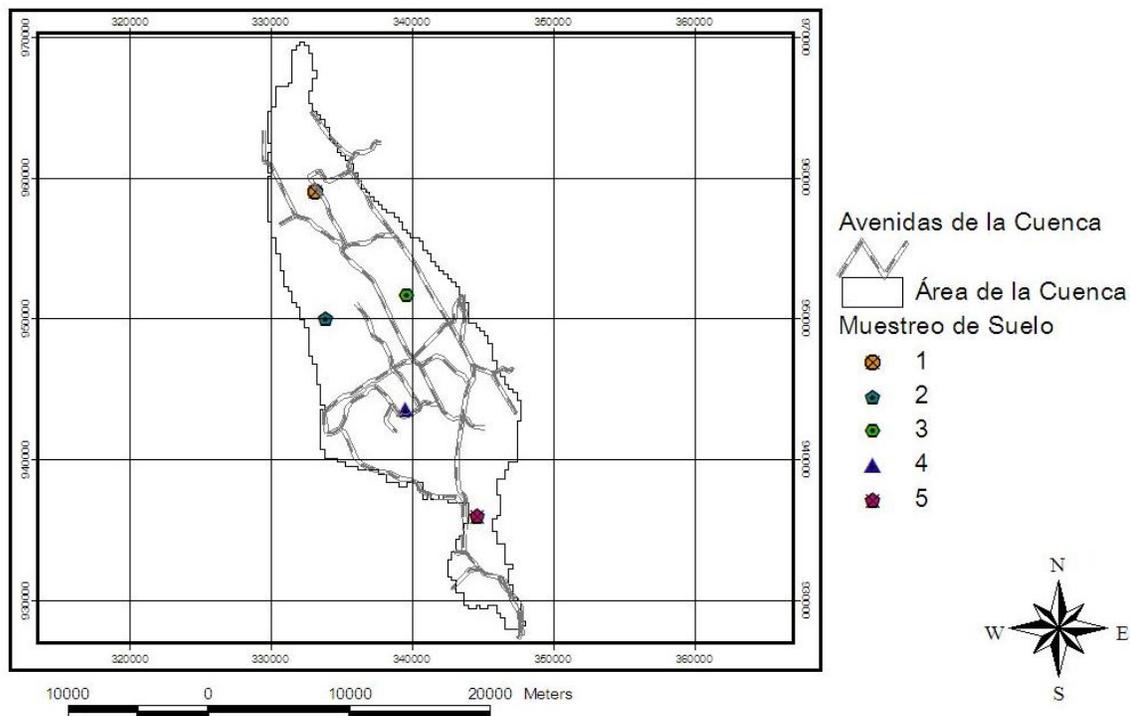


Figura 1.8. Vías de acceso y puntos de muestreo de suelo en la cuenca del río David.

Como se observa en la Figura 1.8, los sitios escogidos para el muestreo se encuentran cercanos a las diferentes vías de acceso en la cuenca, con la excepción de los puntos situados en la parte media de la cuenca; en los cuales se encuentran poblados con avenidas de acceso que facilitan la movilidad en el lugar, pero que no se encuentran digitalizadas. Especificando cinco muestras, distribuidas en las partes alta, media y baja de la cuenca.

Los análisis de suelos ayudan a comprender, el comportamiento del agua y plaguicidas dentro de la cuenca. Son sus características las que los hacen diferentes, y específicamente el modelo hidrológico necesita en su base de datos, además de la parte hidrológica, parámetros que definan las características de los suelos.

Después del análisis de los distintos puntos de muestreo se obtienen las siguientes características en los suelos de la cuenca del río David (Tabla 1.3-1.10).

Tabla 1.3. Porcentaje de humedad.

Muestras	Peso de la Cápsula	Peso de la Muestra	Peso de la Cápsula + Muestra Seca	Peso de Muestra Seca	% H = A-B/A * 100
Pto 1 M1	122.79	50.22	149.38	26.59	47.05
Pto 1 M2	104.34	50.07	133.04	22.18	55.70
Pto 2 M1	110.86	50.63	139.53	28.67	43.36
Pto 3 M1	117.72	50.59	148.82	31.09	38.54
Pto 4 M1	114.51	50.69	152.02	37.51	25.99
Pto 5 M1	122.48	50.39	161.52	39.04	22.53
Pto 5 M2	109.91	50.01	146.63	36.71	26.59

La Tabla 1.3 especifica el porcentaje de humedad en las diversas muestras tomadas en la cuenca. Es decir el contenido de agua que puede absorber el suelo; donde la muestra Pto 1 M2 tiene una capacidad de humedad de 55.70%; y la muestra Pto5 M1 tiene el menor porcentaje de humedad, y están ubicados en la parte baja de la cuenca. Este análisis fue desarrollado según la norma ASTM (2002).

Tabla 1.4. Determinación de pH.

Muestras	Valor
Pto 1 M1	5.37
Pto 1 M2	5.67
Pto 2 M1	5.37
Pto 3 M1	5.27
Pto 4 M1	5.94
Pto 5 M1	6.30
Pto 5 M2	6.15

En la Tabla 1.4 se presenta el nivel de pH de las diferentes muestras de suelo; es decir el nivel de acidez o basicidad que tiene un suelo.

Un suelo menor de 7 es considerado ácido, mayor de 7 es básico, ya que el 7 es el valor neutro en la escala de pH.

Se puede observar (Tabla 1.4), que el suelo en toda la cuenca se mantiene ácido; lo que es característico de cuencas con orígenes volcánicos debido a la cantidad de sales, nutrientes etc. que tienen estos suelos (ASTM, 2002).

Tabla 1.5. Determinación de Sales Solubles.

Muestra	Peso de la Muestra (g)	Volumen de Agua (140 ml)	Concentración de Sólidos Disueltos Totales (TDS) (mg/l)	Porcentaje de Salinidad (%)	Concentración de Sales Solubles (SS) (mg/Kg)
Pto 1 M1	26.59	140	45	< 0.1	236.93
Pto 1 M2	22.18	140	60	0.1	378.72
Pto 2 M1	28.40	140	106	0.1	522.53
Pto 3 M1	28.06	140	100	0.1	498.93
Pto 4 M1	28.07	140	75	0.1	374.06
Pto 5 M1	28.10	140	62	0.1	308.89
Pto 5 M2	28.07	140	55	0.1	274.31

La Tabla 1.5 presenta la determinación de las sales solubles contenido en el suelo, las sales solubles tratan sobre la salinidad del suelo, ya sea en forma de cloruros o sulfatos.

Para llegar a obtener estos valores, se utilizó la fórmula (1.1):

$$SS = \frac{(TDS \times 0.140L \times 1000)}{\text{Peso de la muestra}} \quad (1.1)$$

En donde los porcentajes presentaron valores menores o iguales a 0.1. La muestra con la concentración mayor de sales solubles es la Pto 2 M1 (ASTM, 2002).

Tabla 1.6. Determinación de Materia Orgánica y Carbón Orgánico.

Muestras	Peso de las Muestra (mg)	Contenido de Materia Orgánica (%)	Carbón Orgánico (%)
Pto 1 M1	0.52	28.2	3.93
Pto 1 M2	0.51	14.3	1.99
Pto 2 M1	0.51	6.7	0.93
Pto 3 M1	0.50	0.5	6.9×10^{-2}
Pto 4 M1	0.50	17.9	2.49
Pto 5 M1	0.51	19.3	2.69
Pto 5 M2	0.50	35.9	4.99
Blanco		42.1	5.86

La Tabla 1.6 muestra los valores de materia orgánica y carbón orgánico, observando que se obtuvieron valores variables en los distintos puntos de la cuenca.

El carbón orgánico se analiza para comprender el comportamiento de plaguicidas orgánicos utilizados sobre el suelo de la cuenca y su reacción cuando hay contacto con el agua. Cuando el suelo contiene partículas finas y el carbón orgánico es bajo, el plaguicida es persistente en el suelo y la reacción es irreversible; cuando el carbón orgánico es elevado en el suelo la reacción del plaguicida es reversible (Gao *et al.*, 1998; Domínguez *et al.*, 2004).

Los valores de carbón orgánico fueron obtenidos a través de la ecuación (1.2):

$$CO = 0.4 \left(\frac{12}{4000} \right) \left(\frac{MO}{1.724} \right) \left(\frac{100}{0.5} \right) \quad (1.2)$$

Fuente: ASTM (2002).

Luego de calcular todos los valores de las muestras se logró observar la presencia de carbón orgánico en la muestra Pto 5 M2; extraída de la parte baja de la cuenca.

La Tabla 1.7 proporciona la textura del suelo que tiene la cuenca del Río David. La textura del suelo indica el contenido relativo de partículas de diferentes tamaños, como la arena, el limo y la arcilla; tiene que ver con la facilidad con que se puede trabajar el suelo, la cantidad de agua y aire que retiene y la velocidad con que el agua penetra en el suelo y lo atraviesa.

Tabla 1.7. Análisis Granulométrico.

Muestra	Valores (%)	Textura
Pto 1 M1	Arena 67	Franco Arenosa
	Limo 30	
	Arcilla 3	
Pto 1 M2	Arena 72	Franco Arenosa
	Limo 25	
	Arcilla 3	
Pto 2 M1	Arena 51	Franco Arenosa
	Limo 38	
	Arcilla 11	
Pto 3 M1	Arena 60	Franco Arenosa
	Limo 29	
	Arcilla 11	
Pto 4 M1	Arena 57	Franco Arenosa
	Limo 27	
	Arcilla 16	
Pto 5 M1	Arena 59	Franco Arenosa
	Limo 22	
	Arcilla 19	
Pto 5 M2	Arena 33	Franco Arcilloso
	Limo 33	
	Arcilla 34	

La Tabla 1.7 proporciona los porcentajes de arcilla, limo y arena presentes en las diferentes muestras de suelos, haciendo una clasificación de los suelos según lo establecido por el Método de Bouyoucos avalado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos – USDA- (Mora, 2006). Como se logra observar la cuenca aproximadamente en un 95% está constituida por suelo franco arenoso. Un suelo franco arenoso contiene un mayor porcentaje de arena, se caracteriza por retener muy poca cantidad de agua y es de drenaje rápido. La parte baja de la cuenca posee una característica de suelo franco arcilloso. Un suelo franco arcilloso indica una proporción mayor de arcilla, es poco permeable y retiene en mayor proporción el agua.

La Figura 1.9 detalla la textura de los suelos en la cuenca.

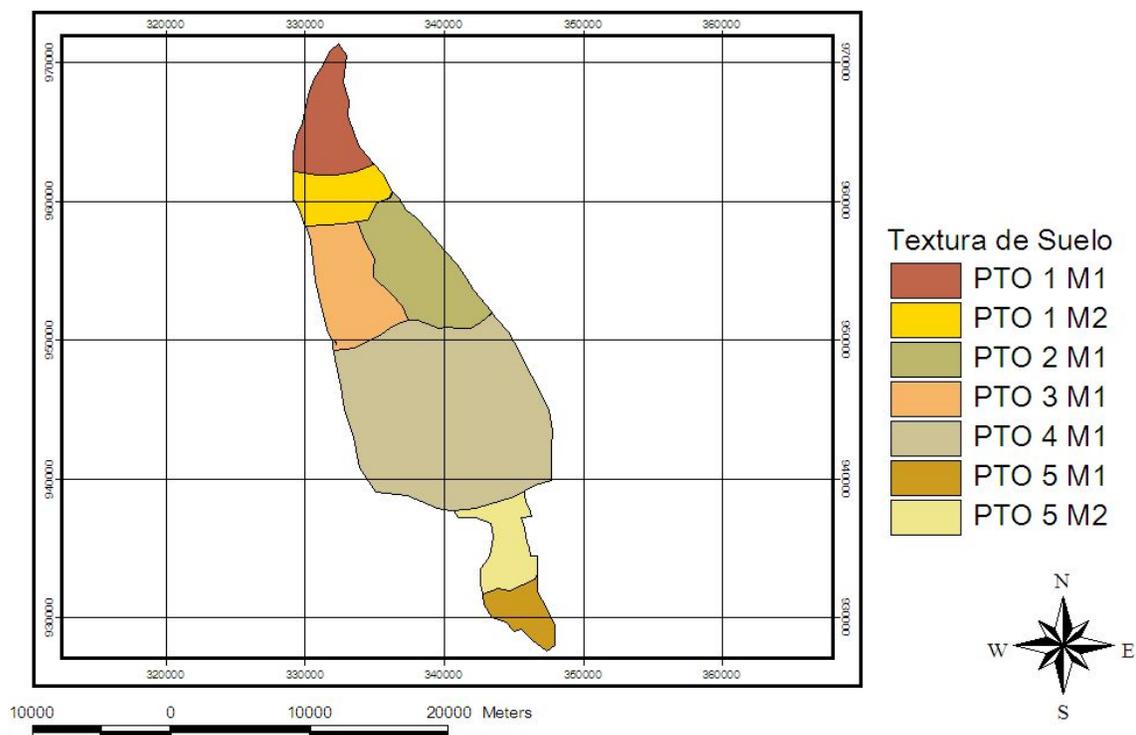


Figura 1.9. Tipo de Suelo.

La Figura 1.9 establece la textura o tipo de suelo en las partes alta, media y baja de la cuenca, manifestando el desarrollo del plan de muestreo de suelo en campo. La Tabla 1.8 contiene el valor de las áreas de tipo de suelo.

Tabla 1.8. Área del tipo de suelo.

Muestra Representativa	Textura de suelo	Área (m ²)	Área (km ²)
PTO 3 M1	Franco Arenoso	39811869.32	39.81
PTO 2 M1	Franco Arenoso	47161139.04	47.16
PTO 4 M1	Franco Arenoso	168541817.47	168.54
PTO 1 M2	Franco Arenoso	23000343.58	23.00
PTO 1 M1	Franco Arenoso	29486175.04	29.48
PTO 5 M1	Franco Arenoso	14504747.59	14.50
PTO 5 M2	Franco Arcilloso	21651166.27	21.65
	Área total	344157258.3	344.15

Área de mayor extensión para tipo de suelo (Franco arenoso).

Área total para tipo de suelo en la cuenca

La Tabla 1.8 señala que la textura de mayor presencia en la cuenca es la Franco arenosa; ubicada en toda la extensión territorial de la cuenca; excepto en el área donde se obtuvo la muestra Pto 5 M2, ubicada en la parte baja de la cuenca (distrito de David).

Tabla 1.9. Densidad.

Muestra	Densidad Real (g/m³)
Pto 1 M1	1.81x10 ⁶
Pto 1 M2	1.53 x10 ⁶
Pto 2 M1	1.75 x10 ⁶
Pto 3 M1	1.81 x10 ⁶
Pto 4 M1	2.08 x10 ⁶
Pto 5 M1	2.47 x10 ⁶
Pto 5 M2	2.14 x10 ⁶

La Tabla 1.9 establece la densidad del suelo con respecto a la masa y el volumen de la muestra. Reflejándose en los resultados la muestra Pto 5 M1 como la más densa de la cuenca con valor de 2.47 x10⁶ g/m³.

Tabla 1.10. Cálculo de Propiedades.

Parámetros	Pto 1 M1	Pto 1 M2	Pto 2 M1	Pto 3 M1	Pto 4 M1	Pto 5 M1	Pto 5 M2
C.C. (g/m ³)	1.8x10 ⁵	1.6 x10 ⁵	2.2 x10 ⁵	2.1 x10 ⁵	2.2 x10 ⁵	2.3 x10 ⁵	3.3 x10 ⁵
C.H. (m/hr)	6.34x10 ⁻²	7.05 x10 ⁻²	2.33 x10 ⁻²	2.31 x10 ⁻²	1.2 x10 ⁻²	8.2x10 ⁻³	2.92x10 ⁻³

C.C.: Capacidad de Campo

C.H.: Conductividad Hidráulica

La Tabla 1.10 muestra algunas variables que también son caracterizaciones de los suelos. Estos parámetros fueron obtenidos a través de un triángulo textural (Anexo 1.1) que cuenta con una calculadora de propiedades hidráulicas; la cual es avalada igual que en el análisis granulométrico por la USDA.

La capacidad de campo es la cantidad de agua retenida por un suelo previamente saturado al cesar la infiltración libre (Arnold *et al.*, 2002). Donde el Pto 5 M2 es el que contiene una mayor capacidad de campo.

La conductividad es un parámetro de gran importancia, ya que se emplea para determinar la infiltración y la escorrentía del agua en el suelo (Arnold *et al.*, 2002). Se observa en la Tabla 1.10 que los tipos de suelo Pto1 M1 y M2 son los que tienen mayor conductividad hidráulica; ya que el tipo presente en ese punto es franco arenoso.

Con los datos obtenidos de uso de suelo, tipo de suelo, red hídrica y curvas de nivel se procedió a la revisión y a la lectura de los manuales del Modelo y extensión de ArcView, el programa y modelo hidrológico Soil and Water Assessment Tool (SWAT).

1.5. Conclusión

Se logra obtener a través de los resultados, la digitalización de la cuenca; tomando como herramientas las cartas topográficas y el programa ArcView; adquiriendo un intervalo de 20 metros para el diseño de las curvas de nivel.

Es la parte alta de la cuenca en donde se ubican las pendientes más elevadas, donde los valores están entre 2200 msnm a 2220 msnm; indicativo de que la cuenca del río David es de características de montaña, ya que nace en las faldas del volcán Barú.

El Modelo de Elevación Digital que proviene de las curvas de nivel, señala que las elevaciones máximas de la cuenca están entre 2133.33 - 2436.67 msnm. Mientras que en la parte baja encontramos elevaciones de 10 – 313.33 msnm.

La red hídrica de la cuenca se obtiene a través de imágenes satélites, fotografías aéreas; pero la base del levantamiento de esta red se da a través de las cartas topográficas; donde se observa que en la cuenca del Río David no se encuentran lagos; aunque existe presencia de un número considerable de afluentes, quebradas y riachuelos.

A través de la digitalización de las fotografías aéreas y satelitales se logra obtener el mapa de uso de suelo, y la actualización se realizó a través de las visitas a campo; donde el uso predominante fue el de rastrojo con una superficie de 150.90 km².

A través de los mapas de roca parental del Departamento de Recursos Minerales del MICI (1996) se obtuvo la capa temática de roca parental de la cuenca; predominando la de origen basalto/andesita en un área de 280.17 km².

Esta investigación permitió levantar información de textura, conductividad hidráulica de suelos, entre otros e incluirla en el Sistema de Información Geográfica. Esta información es necesaria para el próximo paso, Calibración del Modelo Soil and Water Assessment Tool (SWAT) y los escenarios de contaminación difusa.

A partir de este análisis se deduce que para la parte alta y media de la cuenca el tipo de suelo es franco arenoso y la parte baja franco arcilloso, los cuales indican que el comportamiento del flujo en la cuenca es diferente por la discrepancia que existe en sus características.

1.6.Recomendaciones

Se recomienda:

El levantamiento de mapas de tipo y uso de suelo; así como la actualización de este último, en las diversas cuencas a nivel nacional, lo que facilitará la ejecución de estudios que se planeen realizar en el futuro.

Digitalización de la red hídrica nacional.

Digitalización de la cartografía del país para futuras investigaciones semejantes o con fines parecidos al tema en discusión.

Convenio con universidades que faciliten el uso de programas de Sistemas de Información Geográficos (SIG), con la intención de actualizar el estudiantado y profesionales en el ámbito tecnológico.

Mejorar la disponibilidad de datos a nivel de las instituciones públicas y privadas con el fin de optimizar el desarrollo de estudios científicos en nuestro país.

Colocar toda la información generada de mapas del SIG, a disposición de la comunidad en general, a través de la página web de los Centros de Educación Superior e Investigación, Autoridad Nacional del Ambiente y miembros del Sistema Nacional de Información Ambiental.

1.7. Bibliografía

- Arnold, J.G., Williams, J.R., Srinivasan, R., Neitsch, J.G., Kiniry, J.R. (2002). Soil and Water Assessment Tool User's Manual. Texas Water Resources Institute College Station. Texas, U.S.A.
- American Standard Test Methods. (ASTM). (2002).
- Batista, J. R. (2003). Estudios Básicos para el Diagnostico de la Subcuenca Hidrográfica del Río David. Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Chiriquí, Panamá
- Domínguez, V.M., Correa, J., Vidal, V., Lopez, A., Martinez, M. (2002). 2, 4, 6-Trichlorofenol Degradation by River Sediment Exposed to Bleached Kraft Mill Discharge. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 69: 463-470.
- Domínguez, V.M., Martínez, M., Vidal, G. (2004). Sorptive Behavior of Chlorophenols on River Volcanic Sediment. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 74: 519-526.
- Domínguez, V.M., Franco, N., Mojica, V., Caballero, M., Santamaría, E., Rodríguez, X. (2005). Avance de Informe (1,2) proyecto Implementación de un Sistema de Gestión de Cuencas tomando como base de respuesta, la unidad ecosistémica del Río David. Proyecto presentado a la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología (SENACYT). Panamá.
- Environmental System Research Institute (ESRI-1997). Understanding GIS. The ARC/INFO Method. John Wiley & Sons, Inc., New York, U.S.A.
- Gao, J.P., Maguhn, J., Spitzauer, P., Kettrup, A. (1998^a). Sorption of pesticides in the sediment of the Teufelsweiher pond (southern Germany). I: Equilibrium assessments, effect of organic carbon content and pH. Water Research 32:1662-1672.
- Maidment, D. (1993). Handbook of hydrology. The McGraw-Hill Companies, Inc., New York, U.S.A.
- Ministerio de Comercio e Industrias (MICI-1996). Mapa de Roca Parental. Departamento de Recursos Minerales. Panamá.
- Mora, F. (2006a). Análisis Granulométrico del suelo. Departamento de Suelos y Aguas de la Universidad de Panamá.

- Mora, F. (2006b). Muestreo del Suelo y Preparación de las Muestras. Departamento de Suelos y Aguas de la Universidad de Panamá.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura (FAO-2006). Sistema de Información Geográfica conexión con los modelos de simulación y aplicación a las materias relacionadas con la erosión. Pág. 1-6.
- Quintana, S. (2005). Manual del Sig ArcView Desarrollado por ESRI.
- Wikimedia Foundation, Inc. (2007). Sistema de Información Geográfica.

CAPÍTULO 2

MODELACIÓN HIDROLÓGICA COMO INSTRUMENTO EN LA DETERMINACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DIFUSA

2.1. Antecedentes

Las fuentes de contaminación de agua han ido aumentando paulatinamente desde los puntos de origen tradicionales; tales como las ciudades, las fábricas, y las descargas de las plantas de tratamiento de aguas servidas a fuentes no puntuales; tales como el escurrimiento urbano y agrícola. Las fuentes no puntuales son responsables de al menos la mitad de toda la contaminación del agua y son los contribuyentes más importantes de materiales; tales como sedimentos, nutrientes, bacterias patógenas, plaguicidas, lluvia ácida y bifenilos policlorinados. De todas las fuentes no puntuales de contaminación, el sedimento representa el mayor volumen por peso de material transportado. Otros contaminantes pueden ser transportados en asociación con el sedimento (contaminantes absorbidos) o en solución (contaminantes solubles) (FAO, 1993).

El manejo de la contaminación de fuente no puntual depende en gran medida de los modelos de simulación. La contaminación de fuente no puntual posee una generación específica; sin embargo, determinarla cuando ya ha ocurrido, constituye un problema a largo plazo. Generalmente, no es factible la evaluación de un manejo alternativo a través de experimentos, consecuentemente con frecuencia un estudio basado en un modelo es el único medio viable para proporcionar los insumos hasta las decisiones de manejo. La selección de medidas para reducir la erosión y prevenir la degradación de la calidad del agua es determinada por el uso de la tierra, la topografía y las propiedades del suelo, así como por factores socio-económicos.

Sin embargo, en muchos casos la falta de experiencia, tiempo y dinero no permiten llevar a cabo una planificación apropiada para la conservación. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y los modelos de predicción de erosión y movimiento químico basados en procesos detallados constituyen herramientas que pueden ayudar en el proceso de toma de decisiones, en la planificación ambiental y de recursos naturales.

La cuantificación de los efectos sobre la calidad del agua es extremadamente difícil a nivel de cuenca; sin embargo, es de gran importancia para los responsables de la elaboración de políticas para el manejo de los recursos de agua y para sus usuarios. Los modelos de simulación son las mejores herramientas, hasta la fecha, en lo que respecta a la cuantificación de las cargas y concentraciones de contaminantes a escala de cuenca (FAO, 2006).

Los modelos de simulación de fuentes de contaminación no puntuales o difusas más reconocidos a nivel mundial se presentan en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Modelos para evaluar la contaminación de fuentes agrícolas no localizadas.

NOMBRE	APLICACIÓN	ESCALA DE TIEMPO	ESCALA ESPACIAL
a. Nivel medio-bajo de necesidad de datos			
Cargas por superficie unitaria (predicción estadística)	Pérdida de sedimentos; Pérdida de nutrientes	Promedios a largo plazo	Decenas a centenares de km ²
<i>NOTA: Los modelos estadísticos utilizan datos agregados para situaciones comparables. La capacidad de predicción es baja, pero puede ser útil como medio de detección o en los casos en que no se dispone de datos sobre los campos de cultivo o la escala espacial es tan grande que resulta antieconómico obtenerlos.</i>			
USLE (Ecuación universal de pérdida de suelo)	Pérdida media de suelo en relación con cultivos específicos, etc.	Anual	Parcela/finca
RUSLE/MUSLE (USLE revisada/modificada)	Pérdida media de suelo en relación con cultivos específicos, etc.	Anual	Parcela/finca
<i>NOTA: Los modelos empíricos semejantes al USLE se han aplicado en el análisis de grandes superficies, utilizando, por ejemplo, datos obtenidos con sistemas de teledetección, para elaborar estimaciones regionales de las pérdidas de suelos (por ejemplo, en Brasil). Estos modelos se incorporan muchas veces en los modelos hidrológicos más detallados que se indican a continuación.</i>			
B. Modelos que requieren gran disponibilidad de datos (orientados hacia el proceso)			
ACTMO (modelo de transporte de productos químicos agrícolas)	Procesos hidrológicos, Calidad del agua	Suceso aislado, continuada	Finca
AGNPS (contaminación de fuentes agrícolas no localizadas)	Hidrología, erosión, N, P y plaguicidas	Suceso aislado, diariamente, continuada	Cuadrícula, finca
ANSWERS (simulación de respuestas ambientales en cuencas hidrográficas de fuentes zonales no localizadas)	Hidrología, erosión, N, P y plaguicidas	Una tormenta	Cuadrícula
CREAMS (erosión química y escorrentía de los sistemas de ordenación agrícola)	Hidrología, erosión, N, P y plaguicidas	Diaria, continuada	Finca

EPIC (calculador del efecto erosión-productividad)	Hidrología, erosión, ciclo de los nutrientes, ordenación de cosechas, suelos y economía	Suceso aislado, diaria, continuada	Finca
HPSF (Programa Fortran de simulación hidrológica)	Hidrología, calidad del agua en relación con contaminantes orgánicos tóxicos y convencionales	Suceso aislado, diaria, continuada	Cuenca hidrográfica
SHE (Sistema hidrológico europeo)	Hidrología, con módulos de calidad del agua	Suceso aislado, diaria, continuada	Cuenca hidrográfica
SWAM (modelo de cuencas hidrográficas pequeñas)	Procesos hidrológicos, sedimentos, nutrientes y plaguicidas	Diaria, continuada	Cuenca hidrográfica
SWAT (instrumento de evaluación de suelos y aguas)	Procesos hidrológicos, sedimentos, nutrientes y plaguicidas	Suceso aislado, diaria, continuada	Simulación simultánea para centenares de subcuencas
SWRRB (simulador para recursos hídricos en cuencas rurales)	Balance hídrico y procesos hidrológicos y sedimentación	Suceso aislado, diaria, continuada	Cuenca hidrográfica
WEPP (proyecto de predicción de la erosión hídrica)	Procesos hidrológicos, procesos de sedimentación	Tormenta, diaria, continuada	Ladera, cuenca hidrográfica, cuadrícula

Modelo escogido para la elaboración de esta investigación

Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura (FAO, 1997)

Por sus siglas en inglés el SWAT (Soil and Water Assessment Tool), Herramienta de Evaluación de Suelo y Agua, es un modelo integral de cuenca desarrollado en Texas por el Dr. Jeff Arnold en el año 1999, del Servicio de Investigaciones Agrícolas de la USDA (Arnold *et al.* 2002).

El SWAT es un modelo avalado por su amplia aplicación a cuencas de todo el mundo con las más diversas características, que contempla e integra un número muy considerable de submodelos.

La Herramienta de Evaluación de Suelo y Agua, surge como una evolución de los programas CREAMS (Knisel, 1980) y EPIC (Skimore y Williams, 1991), entre otros, con más de 25 años de experiencia en el cálculo hidrológico, de calidad de aguas y sedimentos. Básicamente, los submodelos (módulos) que forman parte de SWAT se pueden agrupar en climatológicos, hidrológicos, de erosión, de nutrientes, agrícolas y urbanos. El módulo principal, que sirve de sustento a todos los demás, es el hidrológico, lo que significa que cualquier error en su calibración puede invalidar todos los resultados posteriores obtenidos con el resto de módulos.

Es un modelo básicamente unidimensional, de base fuertemente empírica, cuyos procesos espaciales en planta están promediados según tramos homogéneos de tamaño no condicionado a priori, conocido también como Unidades de Respuesta Hidrológica (UHR).

Cada UHR está definida por un punto en un cauce y lo componen todas las áreas cuya escorrentía superficial alcanza el cauce entre ese punto y las inmediatamente aguas arriba del mismo (una subcuenca).

Su puesta en marcha requiere una inherente recopilación de datos físicos, hidrológicos y meteorológicos, que se facilita desde el entorno de los Sistemas de Información Geográfica.

Para realizar su análisis, el SWAT calcula el balance hídrico utilizando información cartográfica, temática y climática debidamente organizada. El trabajar con un modelo para simulación hídrica, y la posibilidad de reproducir todos los componentes del ciclo hidrológico mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG), permite a los investigadores crear escenarios para condiciones presentes, pasadas y/o futuras, determinando cómo afectará el cambio de una u otra variable en la producción de caudales y sedimentos.

Actualmente el modelo SWAT es utilizado en diferentes estudios, ya que este tipo de herramienta permite conocer una cuenca y determinar posibles formas de manejo como por ejemplo: implementación de estaciones hidrológicas y climatológicas a nivel de microcuencas; mayormente investigaciones relacionadas con la escorrentía; y los impactos que produce la erosión y la degradación de suelos respecto a la vegetación y al recurso agua, entre otros.

Como una herramienta de apoyo a la gestión de la cuenca del río David, en la provincia de Chiriquí, se propone realizar distintas simulaciones de su comportamiento hidrológico a través de la calibración y validación del programa SWAT.

El modelo SWAT ha sido utilizado en diferentes regiones del mundo, en sitios con características similares al clima y topografía de las regiones presentes en Chiriquí. Entre algunas aplicaciones del modelo que se han realizado, se pueden mencionar:

- Montaje y aplicación del modelo hidrológico SWAT en la cuenca del río NIZAO en la República Dominicana para evaluación de alternativas de manejo de cuencas. (Proyecto PROMATREC-INDRHI).
- Aplicación del modelo SWAT en la cuenca del río “EL TEJOCOTE”, Atlacomulco, Estado de MEXICO (Instituto de Recursos Naturales, México).
- Estimación de caudales y sedimentos en la cuenca del río GUADALAJARA, mediante el modelo SWAT (Universidad del Valle, México).

- Calibración del modelo SWAT para la importación de nutrientes del suelo herboso para las cuencas suburbanas (Texas A&M University).
- Modelación hidrológica y estimación de pérdida de suelo aplicando el modelo SWAT en la cuenca del río CLARO, ANTIOQUIA (Universidad Nacional, Medellín. Colombia).
- Evaluación del modelo SWAT sobre las llanuras costeras en las cuencas agrícolas (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos).

2.2. Objetivos

- Analizar los datos hidrológicos y meteorológicos proporcionados por la Empresa de Transmisión Eléctrica S.A. (ETESA), para su calibración y adaptación al modelo.
- Ejecutar y calibrar el modelo hidrológico de la cuenca del río David utilizando como herramienta el modelo SWAT.

2.3. Metodología

2.3.1. Ajuste de datos faltantes y análisis de los registros de ETESA (datos hidrológicos y meteorológicos) mediante fórmulas requeridas por el modelo SWAT y utilizando métodos hidrológicos (Media Móvil y Método Pearson) para datos faltantes (Mays, 1996; Sáenz, 1999).

2.3.2. Simulación y calibración del modelo hidrológico de la cuenca del río David

El modelo corre sobre una base de datos de meteorología e hidrología de periodicidad diaria.

Los datos meteorológicos para la simulación del modelo fueron obtenidos de la empresa ETESA de un intervalo de 10 años periódicos registrados por día y datos de caudal diario del Río David, de por lo menos 5 años. También, con fines de utilizar los datos en el modelo se instaló una estación meteorológica Tipo A en el punto de calibración y validación en Rovira.

La presente investigación se basó en Maidment (1993) y Legates and McCabe (1999) y dividió la cuenca del Río David en UHR; y modeló cada una de las UHR, permitiendo conocer su respuesta al final de cada UHR, al igual que la respuesta al final de la cuenca total.

El SWAT está basado en un balance hídrico para determinar la entrada, salida y almacenamiento de agua en la cuenca, este balance se calcula con la ecuación (2.1):

$$SW_t = sw + \sum (R_i - Q_i - ET_i - P_i - QR_i) \quad (2.1)$$

Donde: SW_t es el contenido de agua en el suelo en el día t , sw es el agua aprovechable por las plantas o el contenido de agua en el suelo a 0.1-bar menos el contenido de agua a 15-bar, t es el tiempo en días, R es la precipitación diaria, Q la cantidad de escorrentía diaria, Et la evapotranspiración diaria, P la percolación diaria y QR el flujo de retorno o flujo base; todas las unidades en mm.

Para el cálculo de la escorrentía, SWAT ha basado el análisis en el método de la Curva Número o Curva Numérica, el cual fue desarrollado en 1972 por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos-Servicio de Conservación de Suelos (USDA-SCS). El cual es considerado un método preciso en el cálculo de caudales máximos y escorrentía (Belmonte *et al.*, 2006).

El método utiliza las siguientes ecuaciones (2.2 - 2.17):

$$\frac{F}{S'} = \frac{Q}{P} \quad (2.2)$$

F : es la retención actual

Q : es corriente o escorrentía actual

P : Potencial máximo de escorrentía ($Q \leq P$)

S' : Potencial máximo de retención ($F \leq S'$)

La ecuación plasmada puede ser sobrescrita sabiendo que la retención es la diferencia entre el potencial máximo de escorrentía y la escorrentía actual de la siguiente manera:

$$F = P - Q \quad (2.3)$$

Usando y reordenando la primera ecuación la siguiente relación entre la lluvia y la escorrentía se puede determinar así:

$$Q = \frac{P^2}{P + S'} \quad (2.4)$$

Siendo la escorrentía lo que se desea determinar, los demás parámetros, se podrán calcular, mediante las siguientes ecuaciones proporcionadas por SWAT:

Media de la Temperatura Máxima:

$$\mu mx_{mon} = \frac{\sum_{d=1}^N T_{mx,mon}}{N} \quad (2.5)$$

Donde:

μmx_{mon} : es la media diaria de Temperatura máxima para el mes en °C

$T_{mx, mon}$: es la Temperatura máxima en el registro del mes en °C

N : es el número total de Temperatura máxima por día de registro en un mes.

Media de la Temperatura Mínima:

$$\mu mn_{mon} = \frac{\sum_{d=1}^N T_{mn,mon}}{N} \quad (2.6)$$

Donde:

μmn_{mon} : es la media diaria de Temperatura mínima para el mes en °C

$T_{mn,mon}$: es la Temperatura mínima en el registro del mes en °C

N : es el número total de Temperatura mínima por día de registro en un mes.

Desviación Estándar para la Temperatura máxima del Aire por día en un mes:

$$\sigma mx_{mon} = \sqrt{\frac{\sum_{d=1}^N (T_{mx,mon} - \mu mx_{mon})^2}{N-1}} \quad (2.7)$$

Donde:

σmx_{mon} : es la desviación estándar para la Temperatura máxima del Aire por día en un mes
en °C

$T_{mx,mon}$: es la Temperatura máxima en el registro del mes en °C

μmx_{mon} : es la media diaria de Temperatura máxima para el mes en °C

N : es el número total de Temperatura máxima por día de registro en un mes.

Desviación Estándar para la Temperatura mínima del Aire por día en un mes:

$$\sigma mn_{mon} = \sqrt{\frac{\sum_{d=1}^N (T_{mn,mon} - \mu mn_{mon})^2}{N-1}} \quad (2.8)$$

Donde:

σmn_{mon} : es la desviación estándar para la Temperatura mínima del Aire diaria en un mes en
°C

$T_{mn,mon}$: es la Temperatura mínima en el registro del mes en °C

μmn_{mon} : es la media diaria de Temperatura mínima para el mes en °C

N : es el número total de Temperatura mínima por día de registro en un mes.

Media Promedio de la Precipitación mensual total:

$$\bar{R}_{mon} = \frac{\sum_{d=1}^N R_{day,mon}}{yrs} \quad (2.9)$$

Donde:

\bar{R}_{mon} : es la Media de la Precipitación en (mm H₂O)

$R_{day,mon}$: es la Precipitación diaria para el registro de un mes en (mm H₂O)

N : es el número total de precipitación en un registro de un mes utilizado al calcular el promedio.

yrs : es el número de años de registro de precipitación diaria utilizados en el cálculo.

Desviación Estándar para la Precipitación Diaria en el mes:

$$\sigma_{mon} = \sqrt{\frac{\sum_{d=1}^N (R_{day,mon} - \bar{R}_{mon})^2}{N-1}} \quad (2.10)$$

Donde:

σ_{mon} : es la desviación estándar para la Precipitación diaria en un mes en (mm H₂O)

$R_{day,mon}$: es la cantidad de Precipitaciones diarias para el registro de un mes en (mm H₂O)

\bar{R}_{mon} : es la Promedio de la Media de la Precipitación en (mm H₂O)

N : es el número total en un registro de un mes.

(Nota: las precipitaciones con valores de 0 mm deben ser incluidos en el cálculo de la desviación estándar).

Coefficiente de Sesgo para la Precipitación en el mes:

$$g_{mon} = \frac{N \cdot \sum_{d=1}^N (R_{day,mon} - \bar{R}_{mon})^3}{(N-1) \cdot (N-2) \cdot (\sigma_{mon})^3} \quad (2.11)$$

Donde:

g_{mon} : es el Coeficiente de Sesgo para la Precipitación en el mes

N : es el número total en un registro de un mes

$R_{\text{day, mon}}$: es la cantidad de Precipitaciones diarias para el registro de un mes en (mm H₂O)

\bar{R}_{mon} : es la Promedio de la Media de la Precipitación en (mm H₂O)

σ_{mon} : es la desviación estándar para la Precipitación diaria en un mes en (mm H₂O).

(Nota: las precipitaciones con valores de 0 mm deben ser incluidos en el cálculo del coeficiente de sesgo).

Probabilidad de que un día Húmedo sea seguido de un día Seco en un mes:

$$P_i(W / D) = \frac{\text{days}_{W/D,i}}{\text{days}_{\text{dry},i}} \quad (2.12)$$

Donde:

$P_i(W / D)$: es la probabilidad de que un día húmedo sea seguido de un día seco en un mes

i

$\text{days}_{W/D,i}$: es el número de veces que un día húmedo es seguido por un día seco en un mes

i

$\text{days}_{\text{dry},i}$: es el número de duración que tiene un día seco en un mes i .

(Nota: un día seco es aquel que tiene una precipitación de 0 mm, en cambio un día húmedo es aquel que tiene una precipitación > 0 mm)

Probabilidad de que un día Húmedo sea seguido de un día Húmedo en un mes:

$$P_i(W / W) = \frac{\text{days}_{W/W,i}}{\text{days}_{\text{wet},i}} \quad (2.13)$$

Donde:

$P_i(W / W)$: es la probabilidad de que un día húmedo sea seguido de un día húmedo en un

mes i

$\text{days}_{W/W,i}$: es el número de veces que un día húmedo es seguido por un día húmedo en un

mes i

$\text{days}_{\text{wet},i}$: es el número de duración que tiene un día húmedo en un mes i .

(Nota: un día seco es aquel que tiene una precipitación de 0 mm, en cambio un día húmedo es aquel que tiene una precipitación > 0 mm)

Promedio del Número de Precipitaciones en un mes:

$$\bar{d}_{wet,i} = \frac{days_{wet,i}}{yrs} \quad (2.14)$$

Donde:

$\bar{d}_{wet,i}$: es el promedio del número de precipitaciones diarias en un mes i

$days_{wet,i}$: es el número de duración que tiene un día húmedo en un mes i

yrs : es el número de años de registro.

Promedio de la Radiación Solar diaria en un mes:

$$\mu rad_{mon} = \frac{\sum_{d=1}^N H_{day,mon}}{N} \quad (2.15)$$

Donde:

μrad_{mon} : es la media de radiación solar diaria para un mes en (MJ/m²/día)

$H_{day,mon}$: es el total de radiación solar llegada a la superficie de la tierra por día en un mes
en (MJ/m²/día)

N : es el número total de radiación solar en un registro de un mes.

Promedio diario de Punto de Rocío o Temperatura de Rocío:

$$\mu dew_{mon} = \frac{\sum_{d=1}^N T_{dew,mon}}{N} \quad (2.16)$$

Donde:

μdew_{mon} : es la media diaria de Temperatura de rocío en el mes en °C

$T_{dew,mon}$: es el punto de rocío por día en el mes en °C

N : es el número total de días de registro de puntos de registro para el mes.

Promedio diario de Velocidad del Viento en un mes:

$$\mu_{wnd}_{mon} = \frac{\sum_{d=1}^N \mu_{wnd,mon}}{N} \quad (2.17)$$

Donde:

μ_{wnd}_{mon} : es la media diaria de velocidad del viento para el mes en (m/s)

$\mu_{wnd,mon}$: es el promedio de la velocidad del viento para un día d en el mes en (m/s)

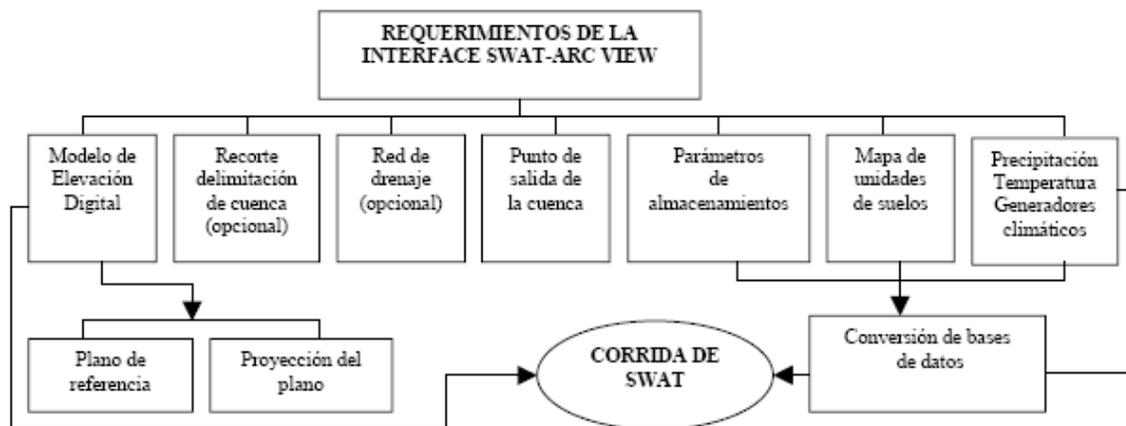
N : es el número total diaria de velocidad del viento en el registro para el mes.

El análisis de estas fórmulas facilita la introducción de los datos exigidos por el modelo para sus corridas y puesta a punto.

La ejecución del modelo SWAT se realiza en base a los datos hidrológicos, datos levantados en campo de uso de suelo y tipo de suelo, curvas de nivel, red hídrica y la fusión de todos estos mapas y datos para la creación del modelo de elevación digital.

Los requerimientos del modelo SWAT en conjunto con los datos levantados en ArcView se explica de una mejor manera en el Diagrama de Flujo 2.1.

Diagrama de Flujo 2.1. Requerimientos de la Interfase SWAT – ArcView.



Claves de control de entrada de la interfase SWAT-ArcView.

En el Diagrama de Flujo 2.1 se observa como los datos mencionados de la red de drenaje o red hídrica, modelo de elevación digital, mapas de unidades de suelo, corresponden a los analizados en el Capítulo 1; además de los datos meteorológicos mencionados con anterioridad en este capítulo.

2.4. Resultados y Discusión

2.4.1. Análisis de Sensibilidad Combinado 2^k

Para facilitar el trabajo de calibración de los distintos parámetros del modelo, se utilizan métodos estadísticos, como los análisis de sensibilidad. Existen dos principales enfoques, el simple y el combinado. El primero se refiere a la variación de un parámetro a la vez, y el segundo a la variación de todos los parámetros del modelo (Domínguez, 2004; Vicente *et al.*, 2005).

Para el estudio de la cuenca del río David, se utilizó el análisis de sensibilidad combinado. Se escogió esta metodología dado a que los procedimientos de análisis de sensibilidad que implican la variación de un parámetro a la vez resultan irrealistas, pues se interpreta que no existe interacción entre parámetros (Domínguez, 2004). Como se mencionó anteriormente el método combinado implica la interacción simultánea de todos los parámetros. Este análisis permite conocer la variabilidad de los parámetros que intervienen en el modelo hidrológico (SWAT) dentro de la cuenca, que facilita obtener la correlación con respecto a los datos de descarga al final de la cuenca. Para esta última se utilizaron series de datos hidrológicos pluviométricos y limnimétricos tomados de la estación de ETESA (serie de años a partir de 1994 a 2004).

El modelo hidrológico calibrado para el fenómeno precipitación escorrentía superficial (ecuaciones 2.18 – 2.20), permite crear escenarios de contaminación puntual y no puntual para eventos de transporte tales como sedimento y plaguicida.

$$Q_{surf} = \frac{(Rday - I_a)^2}{(Rday - I_a - S)} \quad (2.18)$$

Se Reemplaza en la fórmula: $I_a \approx 0.2S$

$$Q_{surf} = \frac{(Rday - 0.2S)^2}{(Rday + 0.8S)} \quad (2.19)$$

$$S = 25.4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

Siendo, entonces:

$$Q_{surf} = \frac{\left(Rday - 0.2 \cdot 25.4 \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \right)^2}{\left(Rday + 0.8 \cdot 25.4 \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \right)} \quad (2.20)$$

Donde:

<i>Q_{surf}</i> :	Escorrentía Superficial
<i>CN</i> :	Curva Número
<i>S</i> :	Coefficiente de Almacenamiento
<i>I_a</i> :	Infiltración
<i>R_{day}</i> :	Precipitación

La interacción entre sí de dichos parámetros en la fórmula de escorrentía superficial, indica la importancia e influencia en el modelo hidrológico.

Del análisis de sensibilidad al evaluar la ecuación de escorrentía se observa la importancia de la variable curva número, como interactúa y predomina sobre la descarga a la salida de la cuenca.

Tabla 2.2. Escenarios del análisis de sensibilidad para el modelo SWAT, aplicado en la cuenca del río David.

Simulación	Curva Número (<i>CN</i>)	Precipitación (<i>R_{day}</i>)	Coeficiente de Almacenamiento (<i>S</i>)	Infiltración (<i>Ia</i>)	Interacción
1	+	-	-	-	<i>CN</i>
2	-	+	-	-	<i>R_{day}</i>
3	-	-	+	-	<i>S</i>
4	-	-	-	+	<i>Ia</i>
5	+	+	-	-	<i>CN_{R_{day}}</i>
6	+	-	+	-	<i>CNS</i>
7	+	-	-	+	<i>CNIa</i>
8	-	+	+	-	<i>R_{day}S</i>
9	-	+	-	+	<i>R_{day}Ia</i>
10	-	-	+	+	<i>SIa</i>
11	+	+	+	-	<i>R_{day}S</i>
12	+	+	-	+	<i>CN_{R_{day}}Ia</i>
13	+	-	+	+	<i>CNSIa</i>
14	-	+	+	+	<i>R_{day}SIa</i>
15	+	+	+	+	<i>CN_{R_{day}}SIa</i>
16	-	-	-	-	

La Tabla 2.2 muestra la interacción de los parámetros contenidos en la ecuación de escorrentía (ecuación 2.20). Se observa que el parámetro CN interviene directamente con parámetros Ia , y S . Siendo la R_{day} dato de entrada, el cual no puede ser modificado, se considera CN es el parámetro más influyente en la escorrentía, basado en la ecuación 2.18.

Otros parámetros utilizados por el modelo para el cálculo de caudal se muestran en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Parámetros sensibles para el modelo SWAT, aplicado en la cuenca del río David.

Parámetro Modificado	Significado	Parámetro que modifica	Respuesta en caudal simulado (% de cambio)
ESCO	Factor de compensación de evaporación en suelo	Escorrentía superficial	28.03
GWQMN	Profundidad umbral en el acuífero superficial	Flujo base, flujo pico o de caudal	73.11
SURLAG	Coefficiente de retraso de escorrentía superficial	Escorrentía superficial	6.85
CN	Curva número	Escorrentía superficial, Escorrentía subterránea, flujo temporal	35.91

Entre los parámetros mencionados en la Tabla 2.3, se observa que variables como SURLAG y GWQMN, tienen un impacto en la manifestación de los caudales pico en el hidrograma de salida, en relación al parámetros ESCO (Ecuación 2.22) se observa que tiene una gran influencia sobre el tiempo de concentración de la cuenca y por ende, en la distribución de la descarga a la salida de la cuenca. Es importante resaltar que el análisis de sensibilidad arroja resultados obtenidos semejantes a los encontrados en otros autores como (Torres *et al.*, 2000) en cuanto a que los parámetros más sensibles son ESCO, GWQMN y CN .

Entre otros parámetros estudiados a partir de sus respectivas ecuaciones se observa:

$$t_{ov} = \frac{L^{0.6} \cdot n^{0.6}}{18 \cdot slp^{0.3}} \quad (2.21)$$

Donde:

t_{ov} : tiempo de concentración del agua en el suelo

L : longitud de pendiente en cada subcuenca

n : coeficiente de rugosidad de Manning en el suelo

slp : promedio de pendiente en el suelo

A través del análisis de sensibilidad se observa que los parámetros más sensibles al cambio de tiempo de concentración, y por ende de permanencia del agua en el suelo antes de llegar a los puntos de descarga de las UHRs, son los dados en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4. Parámetros sensibles en transporte de agua en el suelo.

Parámetro sensibles	Significado	Parámetro que modifica
n	Coeficiente de rugosidad de Manning en el suelo	Esorrentía superficial, Caudal o flujo pico
slp_{ov}	Promedio de pendiente en el suelo	Caudal o flujo pico

De lo que se observa en la Tabla 2.4 se obtiene lo siguiente:

Siendo n y slp los parámetros sensibles e implementando el análisis de sensibilidad 2^k donde k es el número de parámetros sensibles se obtiene que $2^k = 2^2$, el resultado es un total de 4 simulaciones e interacciones entre los parámetros mostrados en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5. Combinación de los valores de los parámetros para el análisis de sensibilidad 2^2 para tiempo de concentración en suelo.

Simulación	n	slp	Interacciones	Respuesta de t_c (%)
1	+	+	$nslp$	94.83
2	+	-	n	97.59
3	-	-	-	94.46
4	-	+	slp	95.50

Del análisis de sensibilidad se observa que los valores de mayor influencia a los resultados de descarga diaria se obtienen cuando el tiempo de concentración es ajustado para valores de n mayores y valores de slp menores (Tabla 2.5), aunque vale la pena resaltar que la influencia del cambio de n y slp es mínima, ya que los resultado de t_c son muy similares entre una corrida y otra. Esto se debe a una mayor permanencia del agua en el suelo, la infiltración; además de un incremento en la evaporación.

Cuando se analiza el tiempo de concentración para el canal, dado por la Ecuación 2.22.

$$t_{ch} = \frac{0.62 \cdot L \cdot n^{0.75}}{Area^{0.125} \cdot slp_{ch}^{0.375}} \quad (2.22)$$

Donde:

t_{ch} : tiempo de concentración del agua en el canal

L : longitud de pendiente del río o brazo del río

n : coeficiente de rugosidad de Manning en el ríos

slp_{ch} : promedio de pendiente del río (base o lecho del río)

Área: área de la subcuenca.

Al analizar la Ecuación 2.22 se observa que al incrementar la n y al disminuir slp en canales, se logra un mejor ajuste en el histograma de descarga de las UHRs.

En las Tabla 2.6 y 2.7 se muestra el análisis.

Tabla 2.6. Parámetros sensibles en transporte de agua en canales naturales o ríos.

Parámetro sensibles	Significado	Parámetro que modifica
n	Coefficiente de rugosidad de Manning en el río	Escorrentía superficial, Pico de flujo o de caudal
slp	Promedio de pendiente en el río	Pico de flujo o de caudal

Tabla 2.7. Combinación de los valores de los parámetros para el análisis de sensibilidad 2^2 para tiempo de concentración en ríos o canales.

Simulación	n	slp	Interacciones	Respuesta en tc (%)
1	+	+	$nslp$	80.12
2	+	-	n	84.67
3	-	-	-	56.65
4	-	+	slp	66.57

El análisis de sensibilidad para la ecuación 2.22 muestra para el caso de la cuenca del río David la descarga diaria en las UHRs, disminuye cuando la slp es menor y n se incrementa; esto puede deberse a un incremento de pérdidas de caudal por medio de infiltración en el lecho del río.

Las Tablas 2.3, 2.4 y 2.6 muestran los parámetros aplicables a la calibración del modelo hidrológico de la cuenca del río David los cuales han permitido una correlación entre los valores de R^2 de 0.7981 y 0.8005 (Figura 2.4). De acuerdo a otros autores como por ejemplo Torres *et al.* (2000), estas correlaciones son aceptables.

2.4.2. Calibración del Modelo SWAT

El modelo es calibrado utilizando datos de entrada de la estación Rovira ubicada en la parte alta de la cuenca ($x = 332744.00$, $y = 959549.00$, estación Tipo A, elevación 954 msnm) y ETESA ubicada en la parte baja de la cuenca ($x = 344036.64$, $y = 932428.03$, estación Tipo A, número 108-03-02, elevación 8 msnm), esto permite establecer una distribución espacial de la precipitación en la cuenca. Como punto de referencia para calibrar la descarga se utilizó la estación número 108-03-02.

La Tabla 2.8 muestra los parámetros utilizados como datos de entrada para la calibración del modelo. Dado que, tanto las estaciones utilizadas para calibrar y correr el modelo poseen datos faltantes se utilizan herramientas estadísticas como el método de la media

móvil y Pearson (Mays, 1996) para rellenar los datos faltantes utilizando el programa computacional Excel versión XP.

Tabla 2.8. Estaciones de captación de datos para el modelo SWAT.

Estaciones						
Estaciones:	Precipitación	Humedad	Vel. Viento	Radiación solar	Temperatura	Estación Base
ETESA	x	x	x		x	x
Rovira	x	x	x	x	x	x

En la Tabla 2.8 se observan los valores de entrada para el modelo tomado de dos estaciones ubicadas en el área de la cuenca, los espacios marcados con (x) muestran los parámetros obtenidos de las estaciones.

Es de resaltar que en los registros de datos de la estación de ETESA, se encontró ausencia de datos en los parámetros de precipitación, temperatura, humedad y velocidad del viento, siendo este un agente importante que puede influenciar en el factor de correlación entre los datos reales, y los resultados obtenidos por el modelo. De igual forma los datos obtenidos de la estación de Rovira presentan pérdida de datos de meses completos, además de registrar datos de precipitación de forma acumulativa, lo que dificulta la utilización en el modelo dado que el mismo utiliza una frecuencia diaria. Esto incrementa el porcentaje de error de las simulaciones; aunado a esto los datos de evaporación tomados de forma acumulativa no permiten establecer con certeza los valores de precipitación diarios registrados en la cuenca. Lo encontrado en la estación de Rovira limita la utilización para un estudio en los años 2005 y 2006.

A pesar que se cuenta con la estación de ETESA número 108-03-02 que tiene un recuento de datos desde 1955 a 1998, su consistencia en la obtención específicamente en los meses de precipitación, limita la utilización para la calibración de caudales. Dado que para el año 1996 se obtuvo una serie de datos continuos para los meses de septiembre y octubre; el modelo fue calibrado para este periodo (Figura 2.2 – 2.8).

Los factores e inconvenientes mencionados dificultan de gran manera una calibración cuyo manejo es delicado y minucioso. Tomando en cuenta dichos factores y las dificultades que estos acarrearán como limitantes del área de estudio o margen de calibración.

El análisis hidrológico de la cuenca se basó en lo establecido por Maidment (1993) y Legates and McCabe (1999); los cuales sugieren dividir la cuenca en Unidades de Respuesta Hidrológica (UHR) y modelar para cada una de las UHR, permitiendo conocer una distribución espacial por cada UHR, y de esta forma la sumatoria permite entonces conocer la descarga total a la salida de la cuenca.

Para el caso de estudio de la cuenca del río David se divide la cuenca en 46 UHR (Figura 2.1).

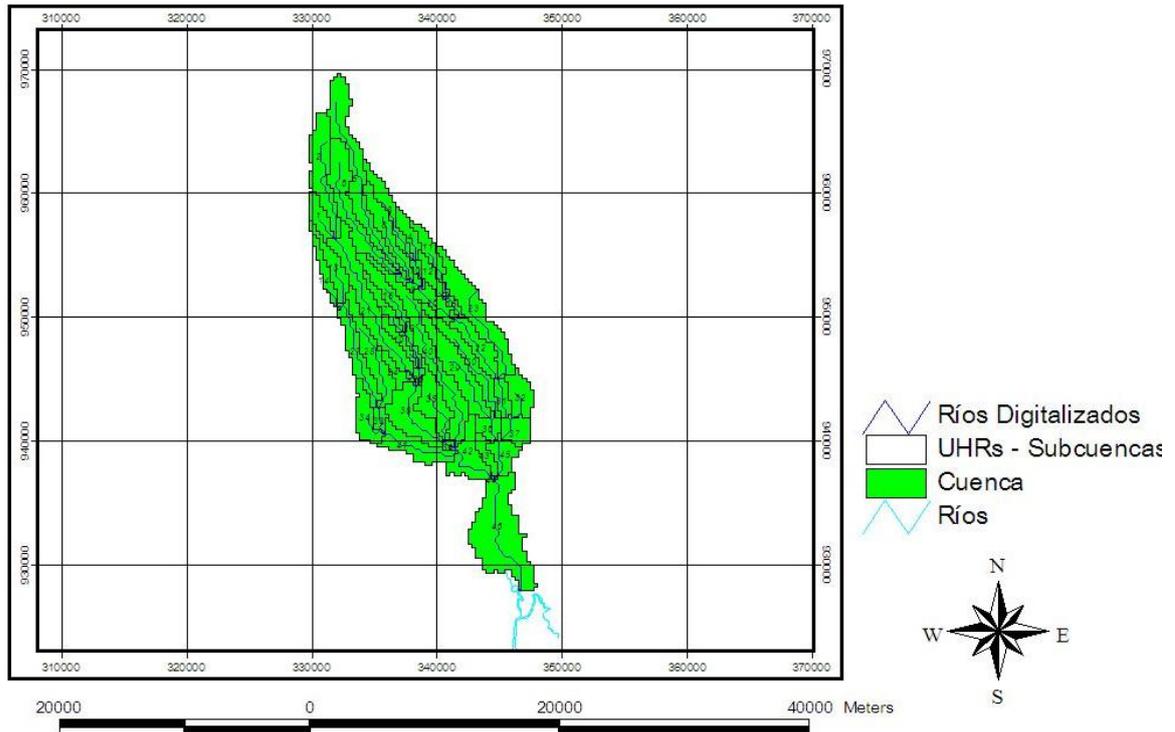


Figura 2.1. Unidades de Respuesta Hidrológicas en la cuenca del río David.

Una vez captados todos los datos de entrada para el modelo SWAT, se obtuvo un histograma de la distribución hidrológica de la cuenca; el cual permite seleccionar dos eventos que coinciden con los picos en el histograma con eventos dados entre septiembre y octubre (Figura 2.2). Se selecciona la serie de datos del año 1996, dado que muestra una mayor consistencia en los registros diarios de datos.

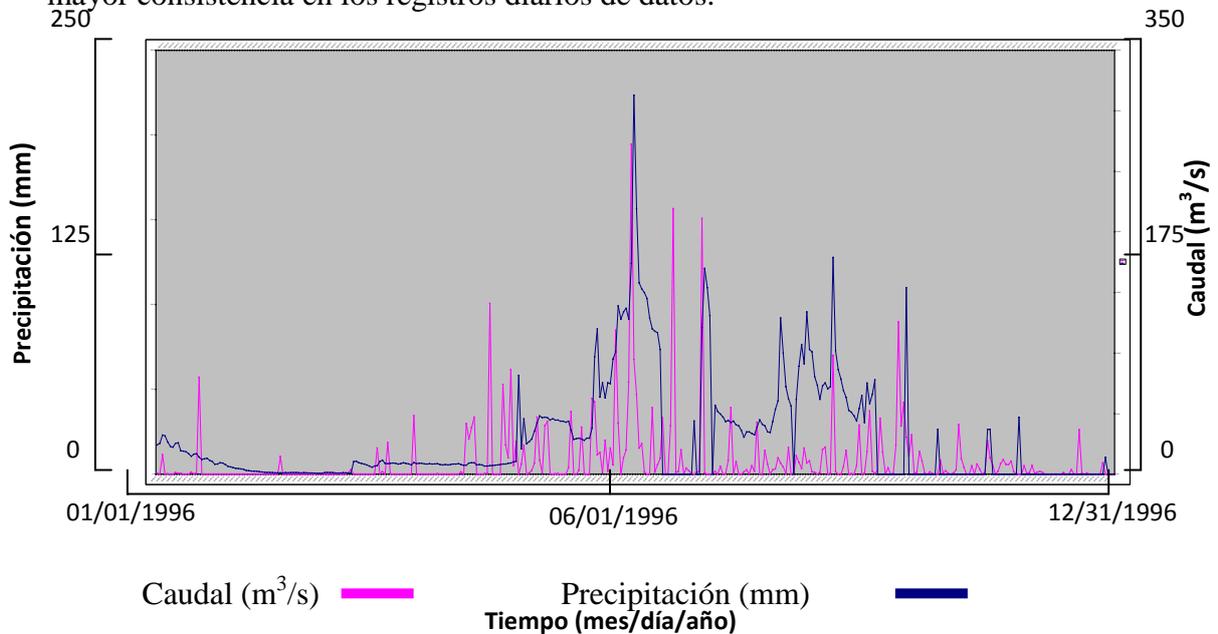


Figura 2.2. Precipitación y Caudal año 1996.

La selección de los eventos a modelar se escoge al analizar el hidrograma de descarga de la cuenca, seleccionando aquellos eventos de precipitación que coinciden o eventos sucesores a picos en el hidrograma de descarga (Figura 2.2). Se escogen los eventos de precipitación y caudal del 23 al 27 de septiembre de 1996, y el evento del 1 al 5 de octubre de 1996.

Una vez seleccionados los eventos a modelar, se ejecuta la primera simulación llamada Qsimulación1 en la cual se mantiene los valores de datos iniciales generados por el modelo (CN, SURLAG, *slp* y *n* para canales y suelo).

A partir de la primera corrida con datos generados por el modelo se continúa con corridas sucesivas (288) ajustando valores de los parámetros sensibles determinados en el análisis de sensibilidad. De las 288 simulaciones es importante resaltar que a partir de la simulación 15, dada la inconsistencia de los datos de Rovira solo se decide utilizar los datos registrados en la estación de ETESA para la base estadística del modelo.

De la calibración que se realiza específicamente para el año 1996 se obtiene la Figura 2.3, la cual muestra la correlación para distintos eventos contenidos entre los años 1994 – 1997. Se recuerda que los eventos mostrados son aquellos que contienen en su mayoría los datos hidrológicos y meteorológicos; dado que los datos rellenos por el método de Pearson no son simulados con certeza debido a que generan un caudal diferente al real.

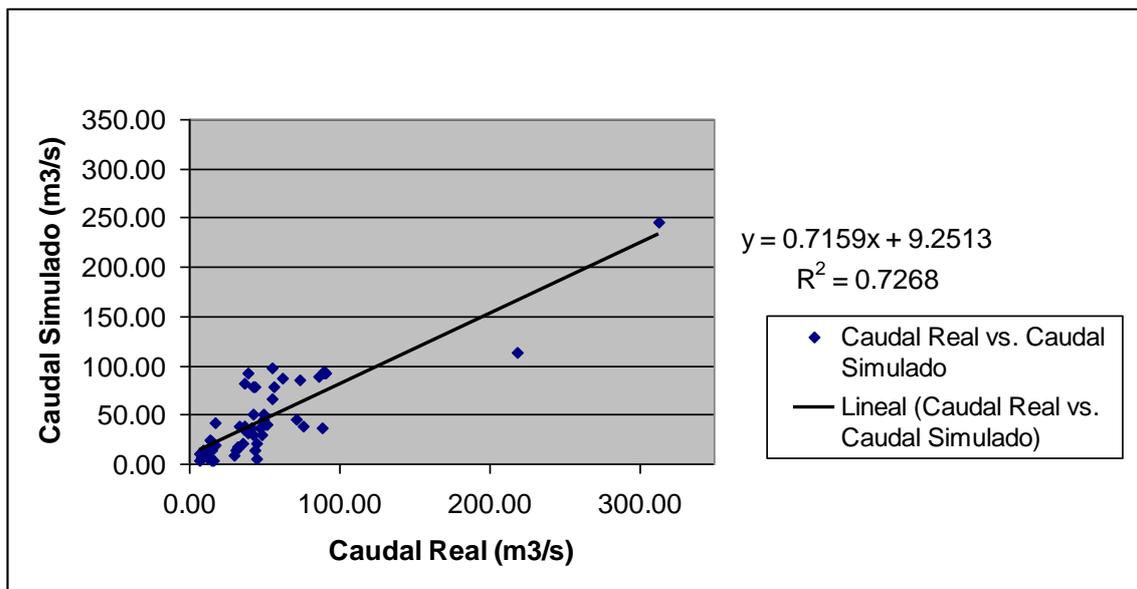


Figura 2.3. Correlación para los años 1994 – 1997.

Como muestra la Figura 2.3 la correlación para estos distintos años, es un valor cercano a 0.8, el deseado para considerar calibrado el modelo con fortaleza. A partir de estos resultados se trabaja en base al año 1996, el cual tiene menor intervención en cuanto a relleno de datos faltantes y menor falta de caudal.

La Tabla 2.9 muestra los ajustes realizados a las condiciones iniciales generadas por el modelo SWAT.

Tabla 2.9. Sensibilidad del modelo con respecto al parámetro CN (Qsimulación91).

Simulación 91: Qsimulado 91						
Textura del Suelo	Uso de Suelo	Uso de Suelo (siglas)	CN inicial	CN en simulación 91	GWQMN	SURLAG
Franco Arenoso	Bosque Primario	BPRI	73	53	0	4
Franco Arenoso	Bosque Secundario Intervenido	BSIN	73	53	0	4
Franco Arenoso	Bosque Ribereño	BRIB	73	53	0	4
Franco Arenoso	Pastoreo	PAST	79	59	0	4
Franco Arenoso	Rastrojo	RST	77	57	0	4
Franco Arenoso	Café	CFE	25	45	0	4
Franco Arenoso	Caña de azúcar	SUGC	83	58	0	4
Franco Arenoso	Maíz	CORN	83	58	0	4
Franco Arenoso	Cultivo de Naranja	CDN	25	45	0	4
Franco Arenoso	Arroz	RICE	81	61	0	4
Franco Arenoso	Área urbana de alta densidad	URHD	83	77	0	4
Franco Arenoso	Área urbana de mediana densidad	URMD	85	72	0	4
Franco Arenoso	Área urbana de baja densidad	URML	81	71	0	4

Simulación 91: Qsimulado 91						
Textura del Suelo	Uso de Suelo	Uso de Suelo (siglas)	CN inicial	CN en simulación 91	GWQMN	SURLAG
Franco Arenoso	Área urbana de baja densidad	URLD	77	70	0	4
Franco Arcilloso	Bosque Ribereño	BRIB	79	59	0	4
Franco Arcilloso	Pastoreo	PAST	84	59	0	4
Franco Arcilloso	Rastrojo	RST	83	57	0	4
Franco Arcilloso	Área urbana de alta densidad	URHD	87	77	0	4
Franco Arcilloso	Área urbana de mediana densidad	URMD	89	72	0	4
Franco Arcilloso	Área urbana de baja densidad	URLD	83	70	0	4

La Tabla 2.9 muestra los ajustes realizados a la *CN* (simulación 91) manteniendo los valores generados por el modelo para los parámetros GWQMN, SURLAG, uso de suelo, tipo de suelo y textura del suelo. De la corrida se desprende que la descarga de la cuenca disminuye al disminuir el valor de la *CN* para diversos usos de suelos. El cual al compararlo con la corrida 15 muestra una disminución en la descarga de la cuenca (Figura 2.4).

Tabla 2.10. Sensibilidad del modelo con respecto al parámetro *n* (Qsimulación105).

Simulación 105: Qsimulado105					
Uso de Suelo	Uso de Suelo (siglas)	<i>n</i> inicial en suelo y canales	<i>n</i> en suelo	<i>n</i> en canales	SURLAG
Bosque Primario	BPRI	0.014	0.48	0.15	4
Bosque Secundario	BSIN	0.014	0.48	0.15	4

Simulación 105: Qsimulado105					
Uso de Suelo	Uso de Suelo (siglas)	<i>n</i> inicial en suelo y canales	<i>n</i> en suelo	<i>n</i> en canales	SURLAG
Intervenido					
Bosque Ribereño	BRIB	0.014	0.48	0.15	4
Pastoreo	PAST	0.014	0.48	0.15	4
Rastrojo	RST	0.014	0.47	0.15	4
Café	CFF	0.014	0.48	0.15	4
Caña de azúcar	SUGC	0.014	0.48	0.15	4
Maíz	CORN	0.014	0.48	0.15	4
Cultivo de Naranja	CDN	0.014	0.48	0.15	4
Arroz	RICE	0.014	0.48	0.15	4
Área urbana de alta densidad	URHD	0.014	0.014	0.15	4
Área urbana de mediana densidad	URMD	0.014	0.013	0.15	4
Área urbana de media a baja densidad	URML	0.014	0.012	0.15	4
Área urbana de baja densidad	URLD	0.014	0.011	0.15	4

Tabla 2.11. Sensibilidad del modelo con respecto al parámetro *slp* (Qsimulación105).

Simulación: Qsimulado105		
UHRs por Grupos	<i>slp</i> en suelos	<i>slp</i> en canales
1,2, 17-21, 24-26, 35, 38, 39, 40, 42	0.001	0.02
5	0.001	0.035
3, 4, 6-16, 22, 23, 27-34, 36, 37, 41, 43-46	0.001	0.01

En las Tablas 2.10 y 2.11 se observan los cambios relacionados al coeficiente de rugosidad de Manning para suelo y canales de forma ascendente, mientras que se disminuyen los valores de pendiente. Los resultados obtenidos por la simulación muestran que la combinación de estos valores resulta en la disminución de los flujos picos y aumenta la permanencia de la escorrentía en la cuenca; achatando la forma del hidrograma (Figura 2.4).

Tabla 2.12. Sensibilidad del modelo con respecto al parámetro *CN* y textura de suelo (Qsimulado Final).

Simulación 288: Qsimulado Final				
Textura del Suelo	Uso de Suelo	Uso de Suelo (siglas)	CN inicial	CN final
Franco Arenoso	Bosque Primario	BPRI	73	48
Franco Arenoso	Bosque Secundario Intervenido	BSIN	73	48
Franco Arenoso	Bosque Ribereño	BRIB	73	48
Franco Arenoso	Pastoreo	PAST	79	54
Franco Arenoso	Rastrojo	RST	77	52
Franco Arenoso	Café	CFF	25	25
Franco Arenoso	Caña de azúcar	SUGC	83	58
Franco Arenoso	Maíz	CORN	83	58
Franco Arenoso	Cultivo de Naranja	CDN	25	25
Franco Arenoso	Arroz	RICE	81	56
Franco Arenoso	Área urbana de alta densidad	URHD	83	58
Franco Arenoso	Área urbana de mediana densidad	URMD	85	60
Franco Arenoso	Área urbana de media a baja densidad	URML	81	56
Franco Arenoso	Área urbana de baja densidad	URLD	77	52
Franco Arcilloso	Bosque Ribereño	BRIB	79	84

Simulación 288: Qsimulado Final				
Textura del Suelo	Uso de Suelo	Uso de Suelo (siglas)	CN inicial	CN final
Franco Arcilloso	Pastoreo	PAST	84	89
Franco Arcilloso	Rastrojo	RST	83	88
Franco Arcilloso	Área urbana de alta densidad	URHD	87	92
Franco Arcilloso	Área urbana de mediana densidad	URMD	89	94
Franco Arcilloso	Área urbana de baja densidad	URLD	83	88

Dado que la *CN* es influenciada por la textura del suelo para la simulación 288 se ajusto la *CN* al parámetro textura de suelo como se visualiza en la Tabla 2.12. De ella se desprende que para la cuenca el coeficiente de *CN* con respecto a la textura de suelo se aproxima a los valores dados en la columna *CN* final.

Tabla 2.13. Sensibilidad del modelo con respecto al parámetro GWQMN (Qsimulado Final).

Simulación 288: Qsimulado Final				
Textura del Suelo	Uso de Suelo	Uso de Suelo (siglas)	GWQMN inicial	GWQMN en simulación 288
Franco Arenoso	Bosque Primario	BPRI	0	500
Franco Arenoso	Bosque Secundario Intervenido	BSIN	0	500
Franco Arenoso	Bosque Ribereño	BRIB	0	500
Franco Arenoso	Pastoreo	PAST	0	500
Franco Arenoso	Rastrojo	RST	0	500
Franco Arenoso	Café	CFE	0	500
Franco Arenoso	Caña de azúcar	SUGC	0	500

Simulación 288: Qsimulado Final				
Textura del Suelo	Uso de Suelo	Uso de Suelo (siglas)	GWQMN inicial	GWQMN en simulación 288
Franco Arenoso	Maíz	CORN	0	500
Franco Arenoso	Cultivo de Naranja	CDN	0	500
Franco Arenoso	Arroz	RICE	0	500
Franco Arenoso	Área urbana de alta densidad	URHD	0	500
Franco Arenoso	Área urbana de mediana densidad	URMD	0	500
Franco Arenoso	Área urbana de media a baja densidad	URML	0	500
Franco Arenoso	Área urbana de baja densidad	URLD	0	500
Franco Arcilloso	Bosque Ribereño	BRIB	0	500
Franco Arcilloso	Pastoreo	PAST	0	500
Franco Arcilloso	Rastrojo	RST	0	500
Franco Arcilloso	Área urbana de alta densidad	URHD	0	500
Franco Arcilloso	Área urbana de mediana densidad	URMD	0	500
Franco Arcilloso	Área urbana de baja densidad	URLD	0	500

Ajustado el valor de la *CN* en función de la textura de suelo, tipo de suelo y uso de suelo se somete el modelo a las variaciones con respecto al GWQMN (Tabla 2.13), el cual es asumido por SWAT entre 0 - 5000 mm, para este caso de estudio, ajustado a un valor de 500 mm en el cual se mantiene la variabilidad; los resultados se muestra en la Figura 2.4.

Por otra parte se realizan cambios a otros parámetros sensibles del modelo como lo muestra la Tabla 2.14.

Tabla 2.14. Sensibilidad del modelo con respecto al parámetro SURLAG y ESCO (Qsimulado Final).

Simulación 288: Qsimulado Final				
Cobertura	SURLAG inicial	SURLAG en simulación 288	ESCO inicial	ESCO en simulación 288
Bosques Primarios, secundarios y ribereños	4	12	0.9	0.95
Bosques secundarios pastoreo	4	12	0.9	0.95
Áreas urbanas y agrícolas	4	12	0.9	0.95

Otro ajuste sometido al modelo es el realizado a ESCO el cual está vinculado al factor de evaporación y que es asumido por el modelo SWAT entre los valores 0 – 1, para este caso dado que la cuenca está distribuida en la parte alta por área boscosa, parte media por área boscosa y pastoril y la parte baja de tipo urbana y agrícola el coeficiente fue ajustado (Tabla 2.14). Este ajuste incrementa la correlación entre lo observado y lo modelado.

De los cambios mostrados (Tabla 2.8 – 2.14) para los parámetros obtenidos del análisis de sensibilidad en el año 1996 y los meses de mayor precipitación, se obtiene la Figura 2.4.

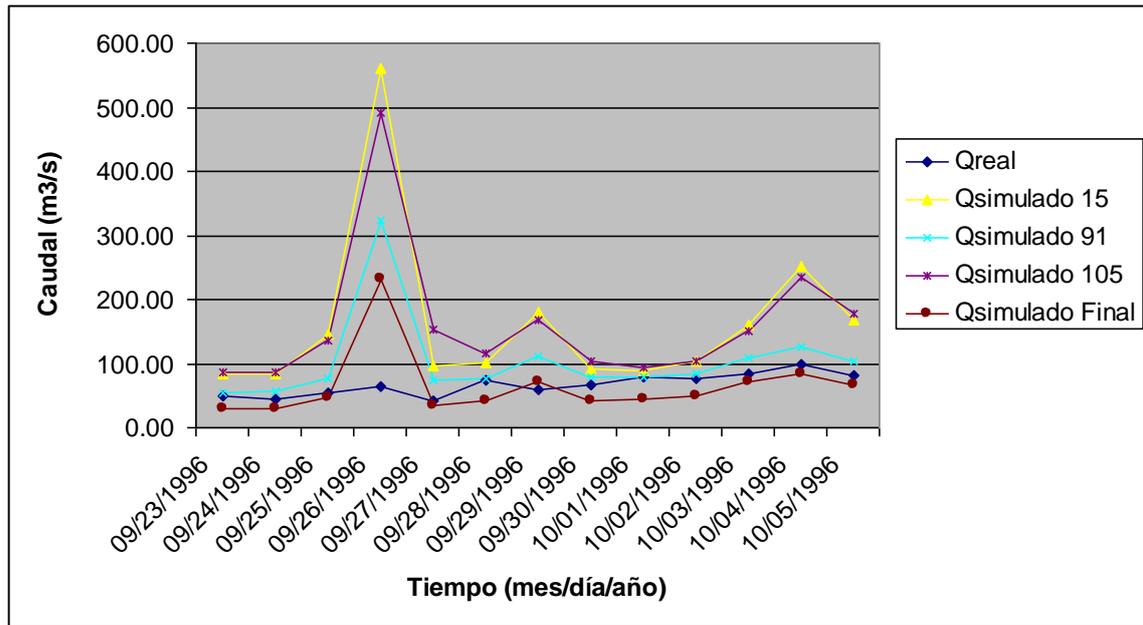


Figura 2.4. Escenarios para la calibración.

La Figura 2.4 muestra los cuatro escenarios más representativos de la calibración que permite ir ajustando los parámetros de entrada del modelo SWAT para la cuenca del Río David la cual muestra una similitud entre Qreal (caudal real) y los diferentes simulaciones (Qsimulado) hasta alcanzar una correlación R^2 entre 0.7981 a 0.8005, los cuales se mantiene dentro de los sugeridos por (Torres *et al.*, 2000).

Al segregar dos eventos representativos mostrados en la Figura 2.4, el primero para un evento de cinco días de lluvia entre el 23 y 27 de septiembre (Figura 2.5) se muestra que el modelo permite obtener una correlación de 0.7981 (Figura 2.6) con respecto a la descarga medida en el punto limnimétrico de la estación ETESA para la misma fecha.

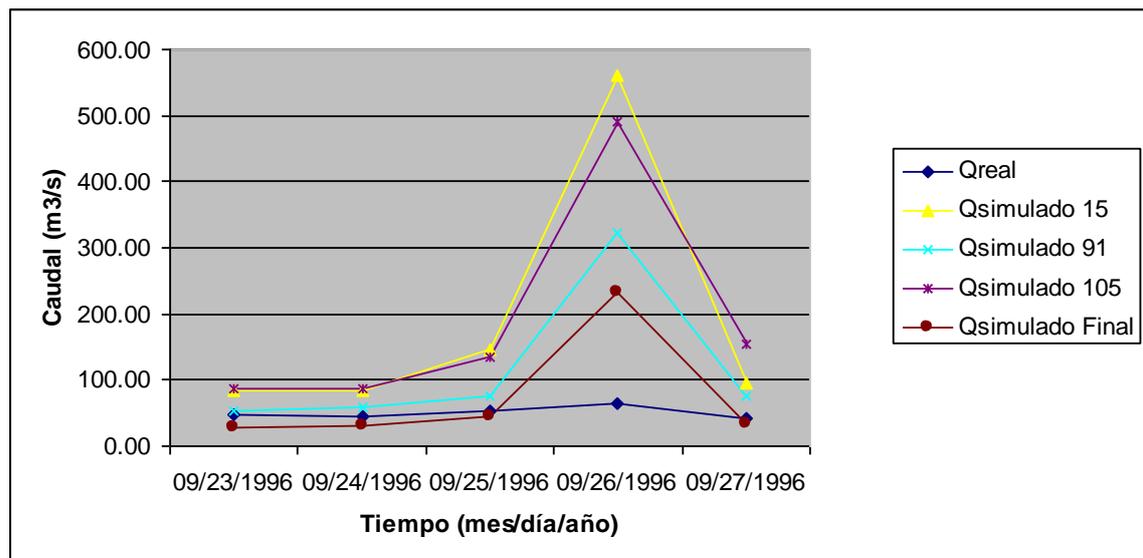


Figura 2.5. Evento del 23 al 27 de septiembre de 1996.

En la Figura 2.5 se observan las diversas simulaciones realizadas para el evento de precipitación y posterior flujo de los días 23 al 27 de septiembre del año 1996.

Para el día 26 se obtiene el mayor registro de caudal del valor simulado, el cual coincide con el registro para el mismo día del valor real. Se visualiza que los primeros días del evento se mantienen cercano a los valores reales; sin embargo el flujo de los valores pico del 26 de septiembre de 1996 para las simulaciones no puede ser disminuido de mejor manera sin pérdida en la correlación. Esta interpretación del modelo en cuanto a la diferencia del flujo pico o su cantidad puede ser causada por la implementación de usos de suelo actuales (año 2005 – 2006), mientras se trabaja en base a comparaciones de caudales del año 1996. Lo planteado sugiere una diferencia de 10 años de desarrollo económico y social, lo cual se refleja como mayor área pavimentada, crecimiento urbanístico, usos pecuarios en la región, entre otros; que inciden en una menor permeabilidad del suelo, aumento en la escorrentía y subsiguiente aumento de caudal en la región. Lo que coincide con autores como Corbitt (2003), Henry y Heinke (1999), Garmendia *et al.* (2005), Mays, (1996), Kiely (1999), Zaror (1998).

También es importante mencionar la inconsistencia de los valores de precipitación obtenidos de los datos de ETESA, lo cual disminuye el factor de correlación del modelo, lo cual a su vez coincide con los resultados obtenidos por Oñate (2003), sobre calibración del Modelo SWAT en la cuenca binacional del río Catamayo entre Ecuador y Perú.

En la Figura 2.6 se pueden observar las diferentes líneas de tendencia para las cuatro simulaciones realizadas en la Figura 2.5.

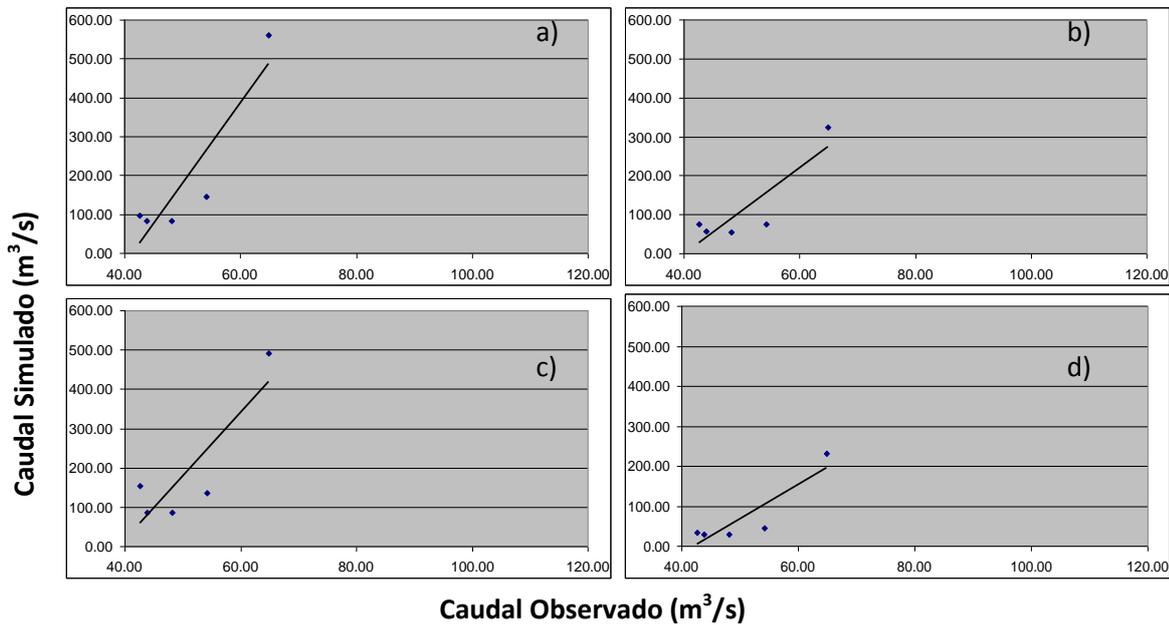


Figura 2.6. Línea de Tendencia y Correlación por Simulación para el evento del 23 al 27 de septiembre de 1996. a) $R^2 = 0.8286$ para $Q_{simulado15}$ muestra la simulación 15 en donde se ajusta la utilización de las dos estaciones segregando Rovira y utilizando como base de datos la estación de ETESA; b) $R^2 = 0.7647$ para $Q_{simulado91}$ muestra la simulación 91 donde se realiza ajuste a la CN disminuyendo el flujo de la cuenca; c) $R^2 = 0.7371$ para $Q_{simulado105}$ muestra la simulación 105 en donde se ajusta n y slp

obteniendo una disminución del flujo pico; d) $R^2 = 0.7981$ para $Q_{\text{simuladoFinal}}$ se obtiene mayor similitud con los datos reales presentados en la Figura 2.5.

Donde el último evento de calibración en la Figura 2.6 es la gráfica d). En la cual se observa una correlación cercana a 0.8, valor considerado como tolerable en la calibración del modelo hidrológico. (Torres *et al.*, 2000).

En la Figura 2.6 se observa que para a) se tiene un valor de correlación de 0.8286; sin embargo, existe un flujo pico superior al flujo real u observado. En cambio la d) de la misma figura tiene una correlación de $0.7981 \approx 0.8$, con un valor pico de flujo de mayor similitud con el valor real de caudal.

Un segundo escenario es segregado de la Figura 2.4 para un evento de lluvia de cinco días entre el 1 al 5 de octubre de 1996 (Figura 2.7) para el cual con el modelo se obtiene una correlación de 0.8001 (Figura 2.8) con respecto a lo medido en la estación limnimétrica de ETESA.

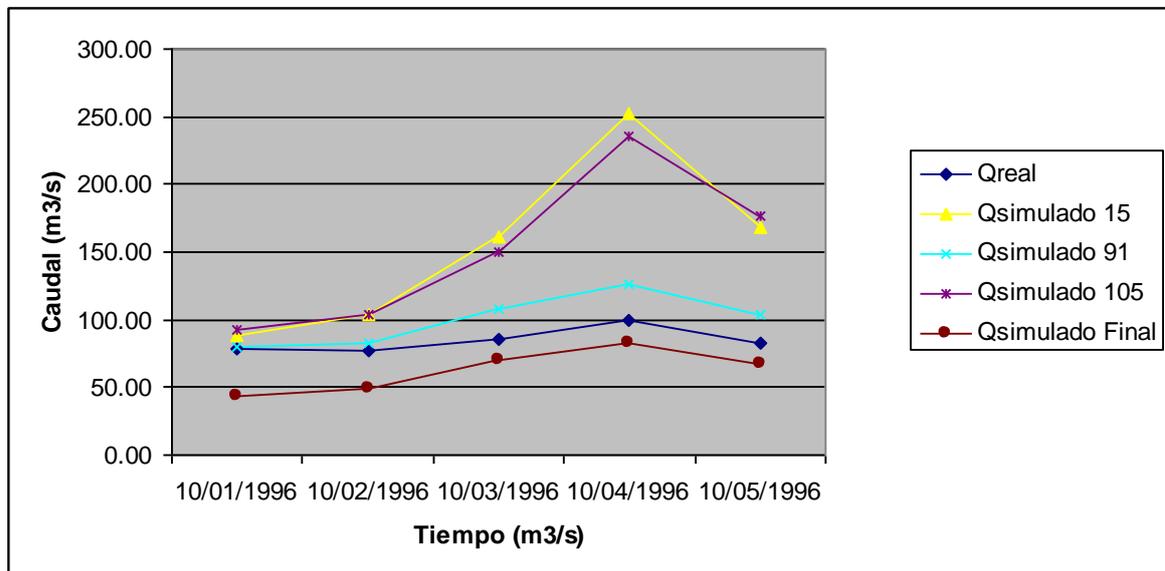


Figura 2.7. Evento del 1 al 5 de octubre de 1996.

En la Figura 2.7 se observa que el flujo pico ocurre para el día 4 de octubre de 2006.

Es a partir del cambio de la utilización en la base de datos de la estación de Rovira como estación base donde se obtiene una tendencia en los datos simulados apeándose a los valores reales presentes en la cuenca.

En la Figura 2.8 se observan las diferentes líneas de tendencia para las cinco simulaciones realizadas en la Figura 2.7.

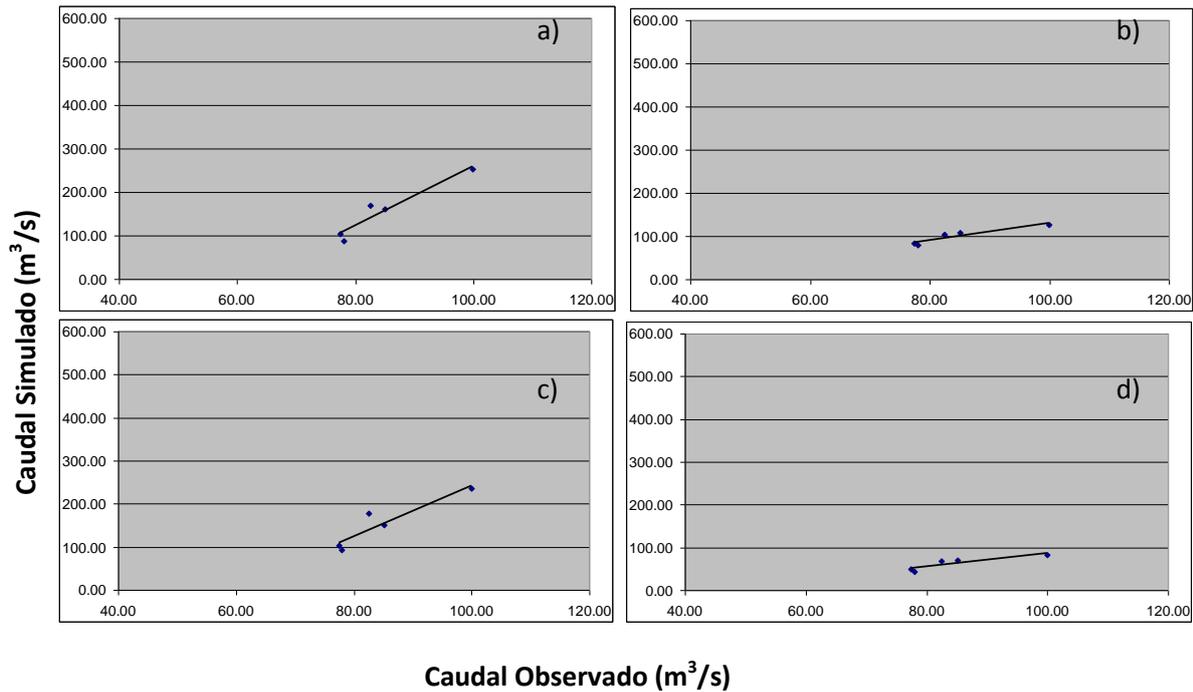


Figura 2.8. Línea de Tendencia y Correlación por Simulación para el evento del 1 al 5 de octubre de 1996. a) $R^2 = 0.9210$ para Qsimulado15 para el segundo evento; b) $R^2 = 0.8573$ para Qsimulado91 para el segundo evento; c) $R^2 = 0.8558$ para Qsimulado105 para el segundo evento; d) $R^2 = 0.8005$ para QsimuladoFinal para el segundo evento.

El último evento de calibración (QsimuladoFinal) en la Figura 2.7 se encuentra representado en la correlación mostrada en la Figura 2.8 d). Observándose una correlación mayor a 0.8, valor considerado como aceptable en la calibración de un modelo hidrológico, como lo confirman Aitken (1973), Angulo (1993), Garrick *et al.* (1978), Faulkerbung (1999), Karvonen *et al.* (1999), Mingelgrin *et al.* (1983), Peterson & Hamlett (1998) y Torres *et al.* (2000).

Se observa en la Figura 2.8 que para a) se tiene un valor de correlación de 0.9210; sin embargo, existe un flujo pico superior al flujo real u observado. En cambio la d) de la misma figura tiene una correlación de 0.8005, con un valor pico de flujo de mayor ajuste al valor real de caudal. Los valores de caudal para la gráfica d) QsimuladoFinal son menores a los caudales reales presentes en la Figura 2.7.

El modelo SWAT muestra una correlación para ambos eventos escogidos para la calibración de $R^2 \approx 0.8$, esto sugiere que el modelo se ajusta a las condiciones de estudio y su calibración para el periodo elegido se da por concluida.

Los fenómenos de flujo pico para valores simulados no se apegan a valores para caudal real, en similitud a lo mostrado por Ndomba y Mitalo (2005).

A partir de los resultados de flujo en la cuenca, producto de la calibración, el próximo paso es generar escenarios de plaguicidas, utilizando el valor de QsimuladoFinal, los cuales sugirieren la llegada o no al río de plaguicidas utilizados en la cuenca en una situación similar.

2.5. Conclusiones

La calibración lograda corresponde a eventos de precipitación de más de un día, factor considerado para obtener la saturación del suelo y posible escorrentía en la cuenca.

Mediante la calibración se logra simular eventos de precipitación y flujo del río adquiriendo su balance hídrico.

Como resultado se obtiene una correlación (R^2) de 0.8 para el año 1996, año con el mejor registro de datos y menor cantidad de datos faltantes; lo que hace posible que la simulación de escenarios sea lo más adaptada a la realidad en la cuenca del río David, bajo condiciones de precipitación, clima, velocidad del viento y temperatura similares.

La calibración del modelo obtiene los resultados esperados; sin embargo, los valores mostrados pueden ser mejorados y calibrados, siempre y cuando se cuente con una base de datos de los parámetros climatológicos e hidrológicos.

El comportamiento del modelo en caudales o flujos extremos cumplió con los valores de correlación propuestos, pero denotó una falencia en los resultados en comparación a valores reales del caudal pico. Estos resultados se fundamentan en la implementación de mapas de tipo y uso de suelo de los años 2005- 2006, presencia de datos faltantes en la base de datos de las estaciones meteorológicas e hidrológicas, en similitud a otros estudios realizados a cuencas con bajo o no representativo registro de datos hidrológicos y meteorológicos, y la influencia del tipo de suelo y uso de suelo en los flujos extremos.

La calibración del modelo SWAT para la cuenca del río David sienta las bases para la aplicación de esta herramienta para periodos diarios y a su vez para análisis de comportamiento de flujo y transporte de plaguicidas para periodos de tiempo de mayor duración e intensidades de lluvia en la cuenca.

2.6. Recomendaciones

La base de un estudio hidrológico fundada en la modelación hidrológica tiene como principal sustento el registro de características hidrológicas y meteorológicas de la cuenca, por lo que debe existir un minucioso cuidado en el manejo y recolección de datos históricos y recientes.

Se recomienda implementar las fórmulas de tiempo de concentración para canales y suelos para otros eventos presentes en periodos de lluvia mayores a un día, dado el cambio que puede ocasionar en caso de desfase de las gráficas de caudal real vs. caudal simulado; así como otros parámetros relacionados con el tiempo de concentración como la longitud de pendiente y pendientes de las unidades de respuesta hidrológica.

La implementación de estudios científicos concernientes al campo hidrológico y de cuencas, al igual que la creación general de mapas y tablas de tipo de suelo, al igual que su tipo hidrológico aumenta la certeza encontrada en los modelos de simulación hidrológica además de facilitar la ejecución y calibración de modelos.

Se recomienda dar a conocer este estudio a la población de la región de manera adecuada y lenguaje sencillo para su mayor comprensión y concienciación por parte del productor,

agricultor y demás personas que habitan en ella y que se vean beneficiados del agua como fuente de captación para uso potable, agrícola y recreativo principalmente.

2.7. Bibliografía

- Aitken, A. (1973). Assessing Systematic Errors In Rainfall-Runoff Models. *Journal of Hydrology* 20:121-136.
- Angulo, M. (1993). Estimación de la capacidad de Autodepuración del Río Biobío, a través de la Validación del Modelo QUAL 2 E. Tesis para optar al grado de Doctor en Ciencias Ambientales. Universidad de Concepción. Chile.
- Arnold, J.G., Williams, J.R., Srinivasan, R., Neitsch, J.G., Kiniry, J.R. (2002). *Soil and Water Assessment Tool User's Manual*. Texas Water Resources Institute College Station. Texas, U.S.A.
- Belmonte, S., Núñez, V. (2006). Desarrollo de modelos hidrológicos con herramientas SIG. *GeoFocus (Informes y comentarios)*. n° 6, p.15 -27. ISSN: 1578-5157.
- Corbitt, R. (2003). *Manual de Referencia de la Ingeniería Medioambiental*. Mc Graw Hill. Madrid, España.
- Domínguez, V.M., Vidal, G., Martínez, M. (2004). Sorptive behavior of chlorophenols on river volcanic sediment. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 73:519-526.
- Domínguez, V.M. (2004). Mecanismos de autodepuración de 2, 4,6-TCP y PCP en el tramo de Negrete a Laja, del río Biobío. Tesis para optar al grado de Doctor en Ciencias Ambientales, Universidad de Concepción, Chile.
- Domínguez, V.M., Franco, N., Mojica, V., Caballero, M., Santamaría, E., Rodríguez, X. (2005). Avance de Informe (1,2) proyecto Implementación de un Sistema de Gestión de Cuencas tomando como base de respuesta, la unidad ecosistémica del Río David. Proyecto presentado a la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología (SENACYT). Panamá.
- Faulkenburg, A. (1999). Evaluation of the SWAT Model on an Indiana Watershed. ABE 591 W Project.
- Garmendia, A., Salvador, A., Crespo, C., Garmendia, L. (2005). *Evaluación de Impacto Ambiental*. Pearson-Prentice Hall. España.
- Garrick, M., Cunnane, C. (1978). A Criterion of Efficiency for Rainfall – Runoff Models. *Journal of Hydrology* 36:375-381.
- Henry, J.G., Heinke, G.W. (1999). *Ingeniería Ambiental*. Segunda Edición en Español. Prentice Hall. Méjico, D.F.
- Karvonen, T., Koivusalo, H., Jauhiainen, Palko, J., Weppling, K. (1999). A hydrological model for predicting runoff from different land use areas. *Journal of Hydrology* 217: 253 – 265.
- Kiely, G. (1999). *Ingeniería Ambiental*. Fundamentos, entornos, tecnología y sistemas de gestión. Primera Edición en Español. McGraw-Hill/Interamericana de España. Madrid, España.
- Knisel, W. (1980). CREAMS: A Field Scale Model for Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems. United States Department of Agriculture Conservation Research Report No.26, 643 p.
- Legates, D., McCabe, G. (1999). Evaluating the use of “Goodness-of-Fit” measures in Hydrologic and Hydroclimatic Model Validation. *Water Resources Research* 35:233-241.

- Maidment, D. (1993). Handbook of hydrology. The McGraw-Hill Companies, Inc., New York, U.S.A.
- Mays, L.W. (1996). Water Resources Handbook. McGraw-Hill. New York, U.S.A.
- Mingelgrin, U., Gerstl, Z. (1983). Reevaluation of partitioning as a Mechanism of Nonionic Chemicals Adsorption in Soil. Journal Environmental Quality.
- Ndomba, P., Mtaló, F. (2005). The Suitability of SWAT in Sediment Yield Modeling for Ungauged Catchments: A Case of Simiyu River Subcatchment, Tanzania. 3rd International SWAT Conference.
- Oñate, F., Aguilar, G., (2003). Aplicación del Modelo SWAT para la Estimación de Caudales y Sedimentos en la Cuenca Alta del Río Catamayo. Perú.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura (FAO-1993). Programa de Análisis Socioeconómico (ASEG).
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura. (FAO-2006). Sistema de Información Geográfica conexión con los modelos de simulación y aplicación a las materias relacionadas con la erosión Pág. 1-6
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura (FAO -1997). Lucha Contra la Contaminación Agrícola de los Recursos Hídricos.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura. (FAO-1993). Erosión de suelos en América Latina
- Peterson, J., Hamlett, J. (1998). Hydrologic Calibration of the SWAT Model in a Watershed Containing Fragipan Soils, Vol. 34, (3): 531-537.
- Sáenz, G. M. (1999). Hidrología en la Ingeniería. Alfaomega S.A. México DF.
- Skimore, E., Williams, J.R. (1991). Modelo EPIC erosión modal del viento. Pp 457-469. In Modeling Plant and Soil Systems. Agronomy Monograph No. 31 American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.
- Torres, E., Oropeza, J., Fernandez, D. (2000). Aplicación del Modelo SWAT en la Cuenca el Tejocote Altacamulco. México.
- Vicente, M.L., Girón, P., Nieto, C., Pérez, T. (2005). Diseño de Experimentos. Pearson-Prentice Hall. Madrid, España.
- Zaror, C. (1998). Introducción a la Ingeniería Ambiental. Universidad de Concepción. Concepción, Chile.

CAPÍTULO 3

DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS CLORADOS UTILIZANDO LA METODOLOGÍA DE CROMATOGRAFÍA DE GASES

3.1. Antecedentes

Panamá se caracteriza por tener una actividad agrícola en áreas definidas y organizadas, mayormente en el interior de la República; sin embargo, hasta la fecha no se cuenta con una política de desarrollo agrícola cónsona con la necesidad de mantener un equilibrio con los ecosistemas alrededor de las áreas de cultivo (Contraloría General de la República, 2001). Es así que la aplicación de diversos insumos agrícolas como plaguicidas y fertilizantes químicos se ha convertido en una actividad necesaria para el control de las plagas que puedan incidir negativamente sobre la calidad o el rendimiento de las cosechas (Hassall, 1990). Estudios científicos han demostrado que muchos de estos productos causan efectos adversos sobre la salud humana y sobre la biota debido a su efecto residual en el suelo y a su paso a los acuíferos superficiales y subterráneos, los que después también son utilizados para uso y consumo humano (National Library of Medicine-NLM, 2005).

Panamá no escapa a la necesidad de mantener un sistema de monitoreo de la calidad de los recursos hídricos, y de hecho, se han realizado diversos programas de muestreo de calidad de agua entre los que se pueden mencionar el de Requena (2005), en la cuenca del Río David provincia de Chiriquí; en la cuenca del Canal de Panamá (Meneses, 2003), y los diversos estudios llevados a cabo por la Autoridad Nacional del Ambiente como el monitoreo de calidad de agua en las cuencas del río Caimito y del río Chiriquí (ANAM, 2007). No obstante, pocas veces se ha intentado caracterizar el comportamiento de los productos usados como plaguicidas, debido principalmente a lo costoso que resulta el monitoreo y análisis de estos productos y a la poca disponibilidad de equipo (*i.e.* cromatógrafo de gases), con los niveles técnicos de sensibilidad necesarios para dar un resultado confiable sobre los niveles de estas sustancias en los cauces circundantes. Este problema, al igual que el poco uso de herramientas como los modelos de gestión de cuenca, ha incidido sobre la falta de control de las cantidades de insumos agrícolas aplicados a los sembradíos.

3.2. Objetivos

- Identificar los plaguicidas utilizados en las actividades agrícolas de la cuenca del Río David, en especial los utilizados en el cultivo de arroz.
- Determinar las propiedades físico-químicas de los plaguicidas utilizados, su comportamiento y sus efectos sobre la salud humana y el ambiente.
- Implementar la metodología adecuada, por Cromatografía de Gases de compuestos orgánicos clorados, para el muestreo y el análisis de las sustancias seleccionadas para el estudio, en agua.
- Analizar los resultados de concentración de estos plaguicidas en el río y compararla con la información sobre su uso en la cuenca del río David.

3.3. Metodología

3.3.1. Visitas preliminares a campo con el objeto de identificar los plaguicidas que se aplican en la cuenca

La primera visita de reconocimiento en la cuenca del río David para recopilación de información se realizó el 17 de junio de 2005. En dicha visita se recibió información del Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA) en David, sobre los plaguicidas aprobados y mayormente utilizados en las áreas de sembradíos. Se realizaron inspecciones de campo a lo largo del curso del río David y de sus afluentes principales para identificar algunas fuentes de contaminación puntual (descargas residuales industriales y domésticas), así como de la contaminación difusa (relacionada a plaguicidas).

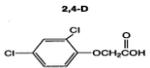
La visita a las áreas de sembradío permitió conocer los ingredientes activos de plaguicidas organoclorados hacia los cuales se debía dirigir la investigación, la cual inició con una revisión bibliográfica para determinar las propiedades físicas y químicas de los principales plaguicidas a ser monitoreados en el estudio.

Durante esta etapa de exploración del área de estudio se determinaron y georeferenciaron los puntos para los muestreos de calidad de agua, escogidos en función de su ubicación con referencia a las actividades agrícolas, descargas de aguas residuales y accesibilidad para la toma de muestras. El procedimiento utilizado para seleccionar los puntos de muestreo se presenta en el Capítulo 4.

3.3.2. Selección de los plaguicidas a monitorear

La información recabada en campo durante las reuniones con el personal del MIDA en David, y con los trabajadores y productores de la zona permitió elaborar una lista amplia de los nombres comerciales de los productos utilizados frecuentemente en los cultivos del área. Con esta lista se inició la revisión bibliográfica para encontrar los componentes, principios activos, nomenclatura química y las propiedades químicas y físicas de cada una de estas sustancias (Tabla 3.1). A partir de estos resultados se seleccionaron aquellos productos que clasificaran como plaguicidas organoclorados (compuestos orgánicos cuya estructura molecular tiene átomos de cloro), debido a su mayor persistencia en el ambiente (Exttoxnet, 2007).

Tabla. 3.1. Propiedades físico-químicas de los plaguicidas que son utilizados en los sembradíos del río David

INGREDIENTE ACTIVO	NOMBRES COMERCIALES	FÓRMULA	PM (g/mol)	S (mg/l)	Log K _{ow} ¹	Peb ² (°C)	P _{vapor} ³ (mmHg)	TOXICIDAD	VIDA MEDIA EN AGUA	VIDA MEDIA EN SUELO
<p>1. Ácido 2,4-diclorofenoxi acético</p> <p>Es un herbicida selectivo postemergente.</p> <p>Aplicado en cultivos de: arroz, caña de azúcar, maíz, café, cítricos, cacao</p>	2,4-D	<p>C₈H₆Cl₂O₃</p> 	221,04	677	2,81	160	8,25e-8	Es fácilmente absorbido por la piel y los pulmones. Posiblemente carcinogénico Ligeramente tóxico para las aves. Moderado a altamente tóxico para los peces.	10 a >50 días	7 días
2-Metil-4-ácido clorofenoxiacético	MCPA, Agritox, Agroxone, Agrozone, Agsco MXL, Banlene, Blesal	C ₉ H ₉ ClO ₃	200,60	630	3,25	93.3	5,90e-6	Ligeramente tóxico por ingestión. Intoxicaciones agudas en	19-20 d por fotólisis. Hasta 96	<7 a 41 días

¹ Log K_{ow}: Logaritmo del coeficiente de reparto octanol/agua

² Peb: Punto de ebullición

³ P_{vapor}: Presión de vapor

Tabla. 3.1. Propiedades físico-químicas de los plaguicidas que son utilizados en los sembradíos del río David

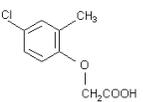
INGREDIENTE ACTIVO	NOMBRES COMERCIALES	FÓRMULA	PM (g/mol)	S (mg/l)	Log Kow ¹	Peb ² (°C)	P _{vapor} ³ (mmHg)	TOXICIDAD	VIDA MEDIA EN AGUA	VIDA MEDIA EN SUELO
Herbicida sistémico postemergente. Aplicado en cultivos de: cereales, arroz, viñedos, frijoles, papas	MC, Bordermaster, Cambilene, Cheyenne, Chimax Oxy, Chiptox, Class MCPA, Cornox Plus, Dakota, Ded-Weed, Empal, Envoy, Gordon's Amine, Kilsem, Legumex, Malerbane, Mayclene, MCP, Mephanac, Midox, Phenoxyline, Rhomene, Rhonox, Sanaphen-M, Shamrox, Selectyl, Tiller,							humanos pueden causar espasmos, baja presión e inconciencia. Es moderadamente tóxico para las aves y ligeramente tóxico para peces.	semanas	

Tabla. 3.1. Propiedades físico-químicas de los plaguicidas que son utilizados en los sembradíos del río David

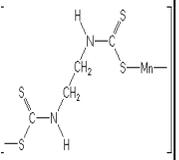
INGREDIENTE ACTIVO	NOMBRES COMERCIALES	FÓRMULA	PM (g/mol)	S (mg/l)	Log Kow ¹	Peb ² (°C)	P _{vapor} ³ (mmHg)	TOXICIDAD	VIDA MEDIA EN AGUA	VIDA MEDIA EN SUELO
	U 46 M-Fluid, Vacate, Weed-Rhap, y Zhelan									
Manganeso etilenbis(ditiocarbamato) (polimerico) Fungicida sistémico Aplicado en cultivos de: frutas, vegetales, nueces, algodón, papas, maíz, girasol, sorgo, maní, tomates y cereales	Mancozeb, Dithane, Dithane-Ultra, Fore, Green-Daisen M, Karamate, Mancofol, Mancozin, Manzate 200, Manzeb, Manzin Nemispor, Nemispot, Policar, Riozeb, y Zimaneb.		266.31	6 mg/L		Se descompone sin fusión a 192 °C	Insignificante a 20 °C	Ataca la glándula tiroides. Absorbido a través del tracto gastrointestinal y excretado casi completamente después de 96 horas por los humanos. Ligeramente tóxico para las aves.	1 a 2 días en condiciones ligeramente ácidas a ligeramente alcalinas	1 a 7 días

Tabla. 3.1. Propiedades físico-químicas de los plaguicidas que son utilizados en los sembradíos del río David

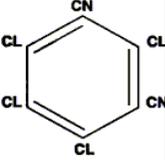
INGREDIENTE ACTIVO	NOMBRES COMERCIALES	FÓRMULA	PM (g/mol)	S (mg/l)	Log Kow ¹	Peb ² (°C)	P _{vapor} ³ (mmHg)	TOXICIDAD	VIDA MEDIA EN AGUA	VIDA MEDIA EN SUELO
								Moderadamente a altamente tóxico para los organismos acuáticos.		
<p>Tetracloroisofaloni- trilo 2,4,5,6-Tetracloro-1,3-bencenodicarbonitri-lo</p> <p>Fungicida preventivo de contacto</p> <p>Aplicado en cultivos de: arroz</p>	Clorotalonil		265.9	g/100 ml a 25°C Nin-guna	4.38	350	<1.3 Pa a 40°C			

Tabla. 3.1. Propiedades físico-químicas de los plaguicidas que son utilizados en los sembradíos del río David

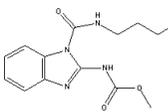
INGREDIENTE ACTIVO	NOMBRES COMERCIALES	FÓRMULA	PM (g/mol)	S (mg/l)	Log Kow ¹	Peb ² (°C)	P _{vapor} ³ (mmHg)	TOXICIDAD	VIDA MEDIA EN AGUA	VIDA MEDIA EN SUELO
metil-1-[(butilamino)carbonil]-H-benzimidazol-2-ylcarbamate Fungicida sistémico Aplicado en cultivos de: frutas, nueces, plantas ornamentales	Benomil		290.62	2 mg/L		Se descompone sin fusionarse arriba de 300 °C	Insignificante (<1 mPa a 20 °C)	Baja toxicidad aguda para los mamíferos. Posiblemente carcinogénico. Muy tóxico para los peces. Moderadamente tóxico para las aves.	No soluble en agua. Se degrada a carbendazim en varias horas en aguas ácidas o neutras. Vida media del carbendazim: 2 meses	Se liga fuertemente al suelo. Vida media: 6 a 12 meses

Tabla. 3.1. Propiedades físico-químicas de los plaguicidas que son utilizados en los sembradíos del río David

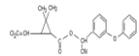
INGREDIENTE ACTIVO	NOMBRES COMERCIALES	FÓRMULA	PM (g/mol)	S (mg/l)	Log Kow ¹	Peb ² (°C)	P _{vapor} ³ (mmHg)	TOXICIDAD	VIDA MEDIA EN AGUA	VIDA MEDIA EN SUELO
(R,S)-alpha-ciano-3-fenoxibenzil (1RS)-cis,trans-3-(2,2-diclorovinil)-2,2-dimetilciclopropano-carboxilato Insecticida piretroide sintético Aplicado en cultivos de: algodón, frutas y vegetales	Cipermetrina		416.30	0.01 mg/L a 20 °C; insoluble en agua		60-80 (isómeros puros)	5.1e-7 nPa a 70 °C	En intoxicación aguda causa descoordinación, sensación de quemado. Moderadamente tóxico por absorción dérmica o ingestión. Afecta el sistema nervioso central, vómitos, convulsiones, inconciencia, coma y hasta la muerte. Altamente tóxico para	Se hidroliza lentamente en solución acuosa neutra y ácida. Se hidroliza más rápido a pH 9. Bajo condiciones ambientales de temperatura y pH normales es estable a la hidrólisis con una vida media de 50 días y fotodegradación con	Moderadamente persistente en suelos. Con tendencia de absorberse fuertemente en las partículas del suelo. Vida Media en condiciones aerobias de 4 días a 8 semanas, en suelo arenoso 2.5 semanas

Tabla. 3.1. Propiedades físico-químicas de los plaguicidas que son utilizados en los sembradíos del río David

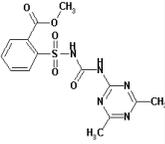
INGREDIENTE ACTIVO	NOMBRES COMERCIALES	FÓRMULA	PM (g/mol)	S (mg/l)	Log Kow ¹	Peb ² (°C)	P _{vapor} ³ (mmHg)	TOXICIDAD	VIDA MEDIA EN AGUA	VIDA MEDIA EN SUELO
								los peces e invertebrados acuáticos.	una vida media de más de 100 días. No soluble en agua	
Metil 2-[[[(4-metoxi-6-metil-1,3,5-triazin-2-il)amino]carbonil]amino]sulfonil]benzoato (CA) Metil 2-[3-(4-metoxi-6-metil-1,3,5-triazin-2-yl)ureidosulfonil]benzoato (IUPAC)	Metsulfuron-Metilo, Ally, Allie, Gropper, Escort, Combo		381.4	Agua a 25 °C, pH 4.6 270 mg/l; Agua a 25 °C, pH 5.4 1,750 mg/l; Agua a 25		158	2.5e-12 mm Hg a 25 °C	Baja toxicidad en mamíferos. Muy baja toxicidad para organismos acuáticos.	> 3 semanas	14 a 180 días
Herbicida portemergente sintémico no hormonal										
Aplicado en cultivos de:										

Tabla. 3.1. Propiedades físico-químicas de los plaguicidas que son utilizados en los sembradíos del río David

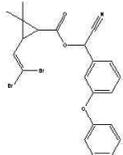
INGREDIENTE ACTIVO	NOMBRES COMERCIALES	FÓRMULA	PM (g/mol)	S (mg/l)	Log Kow ¹	Peb ² (°C)	P _{vapor} ³ (mmHg)	TOXICIDAD	VIDA MEDIA EN AGUA	VIDA MEDIA EN SUELO
arroz, caña y café				°C, pH 7.0 2,790 mg/l; Agua a 25 C°, pH 9.0 213, 000 mg/l						
Ciano(3-fenoxifenil)metil;2-(2,2dibromoetenil)-2,2-dimetilciclopropanocarboxilato (CA); alpha-cianom-fenoxibenzil,(1R,3R)-3-(2,2-dibromovinil)-2,2-dimetil-ciclopropanl-carboxilato, (S)-alfa-ciano-3-fenoxibenzil	Deltametrina, Butoflin, Butoss, Butox, Cislín, Crackdown, Cresus, Decis, Decis-Prime, K-Othrin y K-Otek		505.24	Me- nos que 0.1 mg/l Inso- luble: < 1 ppm a		98- 101	2e-8 mbar a 25 °C	Ingestión oral causa daños gástricos, náusea, vómitos y coma. Efectos crónicos en humanos: hipotensión, irritación	Se adsorbe rápidamente al sedimento y es consumido rápidamente	1 a 2 semanas

Tabla. 3.1. Propiedades físico-químicas de los plaguicidas que son utilizados en los sembradíos del río David

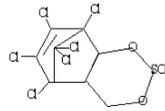
INGREDIENTE ACTIVO	NOMBRES COMERCIALES	FÓRMULA	PM (g/mol)	S (mg/l)	Log Kow ¹	Peb ² (°C)	P _{vapor} ³ (mmHg)	TOXICIDAD	VIDA MEDIA EN AGUA	VIDA MEDIA EN SUELO
(1R)-cis-3-(2,2-dibromovinil)-2,2-dimetilciclopropano-carboxilato (IUPAC) Insecticida piretroide Aplicado en cultivos de: tomates, pimentones, plantas ornamentales				temperatura ambiente. 0.002 mg/l a 20 °C. ≈insoluble				cutánea y mucosa y shock. Es altamente tóxico para los peces.	por las plantas y por la evaporación	
6,7,8,9,10,10-hexacloro-1,5,5a,6,9,9a-hexahidro-6,9-metano-2,4,3-benzodioxatienin 3-oxido Insecticida y acaricida hidrocarbonado y	Endosulfan, Afidan, Beosit, Cyclodan, Devisulfan, Endocel, Endocide, Endosol, FMC 5462, Hexasulfan,		406.96	0.32 mg/L a 22 °C		70-100	1.2e3 mPa a 80 °C	Es altamente tóxico vía oral. Puede causar efectos mutagénicos en humanos. Afecta riñones, hígado,	4 semanas. Bajo condiciones fuertemente alcalinas se reduce	35 a 150 días (Tiene dos isómeros)

Tabla. 3.1. Propiedades físico-químicas de los plaguicidas que son utilizados en los sembradíos del río David

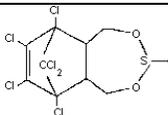
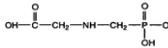
INGREDIENTE ACTIVO	NOMBRES COMERCIALES	FÓRMULA	PM (g/mol)	S (mg/l)	Log Kow ¹	Peb ² (°C)	P _{vapor} ³ (mmHg)	TOXICIDAD	VIDA MEDIA EN AGUA	VIDA MEDIA EN SUELO
clorinado Aplicado en cultivos de: té, café, frutas y vegetales, arroz, cereales, maíz, sorgo	Hildan, Hoe 2671, Insectophene, Malix, Phaser, Thiodan, Thimul, Thifor y Thionex.							sangre y glándula paratiroides. Es muy altamente tóxico para los peces.	a 1 días	
N-(fosfonometil) glicina Herbicida sistémico no selectivo. Puede usarse en formulaciones con otros herbicidas Aplicado en cultivos de: maíz, arroz, caña de azúcar, papas y plátanos	Glifosato, Gallup, Landmaster, Pondmaster, Ranger, Roundup, Rodeo y Touchdown.		169.08	12,000 mg/L a 25 °C		200	Insignificante	Ligeramente tóxico para las aves. No tóxico para los peces. Ligeramente tóxico para invertebrados acuáticos.	12 días a 10 semanas	47 días

Tabla. 3.1. Propiedades físico-químicas de los plaguicidas que son utilizados en los sembradíos del río David

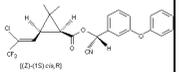
INGREDIENTE ACTIVO	NOMBRES COMERCIALES	FÓRMULA	PM (g/mol)	S (mg/l)	Log Kow ¹	Peb ² (°C)	P _{vapor} ³ (mmHg)	TOXICIDAD	VIDA MEDIA EN AGUA	VIDA MEDIA EN SUELO
(RS)-alfa-ciano-3-fenoxibenzyl 3-(2-cloro-3,3,3-trifluoropropenil)-2,2,-dimetilciclopropanecarboxilato Insecticida y acaricida piretroide sintético Aplicado en cultivos de: algodón, cereales, plantas ornamentales, papas, vegetales	Lambda Cyhalothrin, Charge, Excaliber, Grenade, Hallmark, Icon, Karate, Matador, OMS 0321, PP321, Saber, Samurai y Sentinel		449.9	0.005 mg/L a pH 6.5 y 20 °C		49.2	Insignificante a 20 °C	Altamente tóxico en la formulación karate. Modera a altamente tóxico vía inhalación. Causa irritación de piel y ojos y puede causar neuropatías. Ligeramente tóxico para aves. Extremadamente tóxico para invertebrados, acuáticos y peces.	Baja solubilidad en agua. No se espera que prevalezca en aguas superficiales.	4 a 12 semanas

Tabla. 3.1. Propiedades físico-químicas de los plaguicidas que son utilizados en los sembradíos del río David

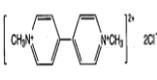
INGREDIENTE ACTIVO	NOMBRES COMERCIALES	FÓRMULA	PM (g/mol)	S (mg/l)	Log Kow ¹	Peb ² (°C)	P _{vapor} ³ (mmHg)	TOXICIDAD	VIDA MEDIA EN AGUA	VIDA MEDIA EN SUELO
<p>1,1'-dimetil-4,4'-bipiridinium</p> <p>Herbicida de contacto no selectivo. Puede encontrarse en formulaciones con otros herbicidas como: simazine y diquat dibromide</p> <p>Aplicado en cultivos de: banano, cítricos, cacao, coco, café, caña de azúcar, maíz, papas, cebolla, yuca, piña</p>	<p>Paraquat, Crisquat, Cyclone, Dextrone, Dexuron, Gramoxone Extra, Herbaxone.</p>		257.20	700 mil mg/L a 20 °C		Se descomponen a 300 °C	Insignificante a temperatura ambiente	Altamente tóxico mediante ingestión: congestión pulmonar, falla respiratorio, convulsiones y muerte, quemaduras gastrointestinales, vómitos, diarreas, falla renal. Toxicidad crónica: causa irritación de la piel, pérdida de las uñas, ulceraciones,	13 horas a 23 semanas	> 1000 días

Tabla. 3.1. Propiedades físico-químicas de los plaguicidas que son utilizados en los sembradíos del río David

INGREDIENTE ACTIVO	NOMBRES COMERCIALES	FÓRMULA	PM (g/mol)	S (mg/l)	Log Kow ¹	Peb ² (°C)	P _{vapor} ³ (mmHg)	TOXICIDAD	VIDA MEDIA EN AGUA	VIDA MEDIA EN SUELO
								afecta los pulmones, el corazón, hígado, riñones, piel, cornea, glándulas adrenales y sistema digestivo. Es altamente tóxico para las aves y ligera a moderadamente tóxico para muchas especies de vida acuática.		

Tabla. 3.1. Propiedades físico-químicas de los plaguicidas que son utilizados en los sembradíos del río David

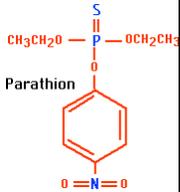
INGREDIENTE ACTIVO	NOMBRES COMERCIALES	FÓRMULA	PM (g/mol)	S (mg/l)	Log Kow ¹	Peb ² (°C)	P _{vapor} ³ (mmHg)	TOXICIDAD	VIDA MEDIA EN AGUA	VIDA MEDIA EN SUELO
O,O-dietil O-4-nitrofenil fosforotioato Plaguicida organofosforado Aplicado en cultivos de: alfalfa, maíz, algodón, frijoles, sorgo, girasol, trigo	Paration, AC 3422, Alkron, Alleron, Aphamite, Corothion, E-605, ENT 15108, Ethyl parathion, Etilon, Fosferno 50, Niran, Orthophos, Panthion, Paramar, Paraphos, Parathene, Parawet, Phoskil, Rhodiatox, Soprathion, Stathion y Thiophos.		291.3	12.4 mg/l a 25 °C; 24 ppm		6	8.9e1 a 6 mm Hg y 20 °C; 4e1 a 5 mm Hg y 20 °C	Altamente tóxico por todas las rutas de exposición. La intoxicación aguda causa hipersensibilización de la piel, dificultades de respiración, náuseas, afectaciones del sistema nervioso central, fatiga, parálisis, coma y hasta la muerte. Los efectos crónicos son	1 a 10 días	> 1 semana

Tabla. 3.1. Propiedades físico-químicas de los plaguicidas que son utilizados en los sembradíos del río David

INGREDIENTE ACTIVO	NOMBRES COMERCIALES	FÓRMULA	PM (g/mol)	S (mg/l)	Log Kow ¹	Peb ² (°C)	P _{vapor} ³ (mmHg)	TOXICIDAD	VIDA MEDIA EN AGUA	VIDA MEDIA EN SUELO
								los mismos que los agudos, además de pérdida de la memoria y de la concentración, desorientación, depresión severa, irritabilidad, confusión, jaquecas, dificultades del lenguaje, insomnio. Es extremadamente tóxico para las aves y moderadamente tóxico para los peces e invertebrados		

Tabla. 3.1. Propiedades físico-químicas de los plaguicidas que son utilizados en los sembradíos del río David

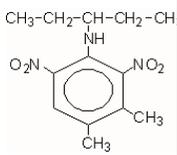
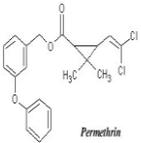
INGREDIENTE ACTIVO	NOMBRES COMERCIALES	FÓRMULA	PM (g/mol)	S (mg/l)	Log Kow ¹	Peb ² (°C)	P _{vapor} ³ (mmHg)	TOXICIDAD	VIDA MEDIA EN AGUA	VIDA MEDIA EN SUELO
								acuáticos.		
N-(1-etilpropil)-2,6-dinitro-3,4-xilidina Herbicida selectivo Aplicado en cultivos de: maíz, papas, arroz, frijol, tabaco, algodón, maní, girasol	Pendimetalina, AC 92553, Accotab, Go-Go-San, Herbadox, Penoxalin, Prowl, Sipaxol, Sovereign, Stomp y Way-Up		281.31	0.3 mg/L a 20 °C		54-58	4 mPa a 25 °C	Ligeramente tóxico por ingestión, por inhalación y puede causar irritación de la piel. Ligeramente tóxico para las aves, altamente tóxico para los peces e invertebrados acuáticos.	Es degradado rápidamente por la luz o se adhiere al sedimento	40 días
3-fenoxibenzil(1RS)-cis,trans-3-(2,2-diclorovinil)-2,2-dimetilcyclopropan carboxilato	Permetrina, Ambush, BW-21-Z, Cellutec, Dragnet, Ectiban, Eksmin, Exmin,		391.30	ca. 0.2 mg/L a 20 °C, insol		34-35	0.045 mPa a 25 °C	Irritación dérmica, afecta el sistema inmunológico. Tóxico para	2.6 a 4.6 días	30 a 38 días

Tabla. 3.1. Propiedades físico-químicas de los plaguicidas que son utilizados en los sembradíos del río David

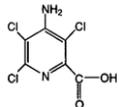
INGREDIENTE ACTIVO	NOMBRES COMERCIALES	FÓRMULA	PM (g/mol)	S (mg/l)	Log Kow ¹	Peb ² (°C)	P _{vapor} ³ (mmHg)	TOXICIDAD	VIDA MEDIA EN AGUA	VIDA MEDIA EN SUELO
Insecticida piretroide sintético Aplicado en cultivos de: nueces, vegetales, frutas, vegetales, algodón, plantas ornamentales, papas, hongos, cereales	FMC 33297, Indothrin, Kafil, Kestrel, NRDC 143, Pounce, PP 557, Pramex, Qamlin y Torpedo			uble en agua				especies acuáticas.		
4-amino-3,5,6-tricloropiridina-2-ácido carboxílico Herbicida sistémico. Es compatible con fertilizantes. Puede ser usado en formulaciones con otros herbicidas como: bromoxynil,	Picloram, Access, Grazon, Pathway, y Tordon.		241.48	430 mg/L a 25 °C		Se descompone a 215 °C	0.082 mPa a 35 °C	No tóxico por vía oral. Irritación moderada de los ojos. Ligeramente tóxico para las aves y moderadamente tóxico para invertebrados,	2.6 días	20 a 300 días

Tabla. 3.1. Propiedades físico-químicas de los plaguicidas que son utilizados en los sembradíos del río David

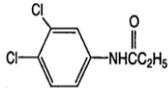
INGREDIENTE ACTIVO	NOMBRES COMERCIALES	FÓRMULA	PM (g/mol)	S (mg/l)	Log Kow ¹	Peb ² (°C)	P _{vapor} ³ (mmHg)	TOXICIDAD	VIDA MEDIA EN AGUA	VIDA MEDIA EN SUELO
diuron, 2,4-D, MCPA, triclopyr, y atrazine. Aplicado en cultivos de plantas madereras								acuáticos y peces.		
3',4'-dicloropropionanilida Herbicida selectivo postemergente Aplicado en cultivos de arroz, papas y trigo	Propanil, Arrosol, Bay 30130, Cekupropanil, Chem-Rice, DPA, DCPA, Dropaven, Erban, FW-734, Herbax, Prop-Job, Propanex, Propanilo, Riselect, S 10145, Stam, Stam 80 EDF, Stam M-4, Stampede, Strel,		218.08	225 mg/L a 25 °C		81-91	12 mPa a 60 °C	Moderadamente tóxico vía oral y respiratoria. Los órganos más afectados son el hígado y el riñón. Es moderadamente tóxico para aves y moderada a altamente tóxico para especies	2 a 3 días	1 a 3 días

Tabla. 3.1. Propiedades físico-químicas de los plaguicidas que son utilizados en los sembradíos del río David

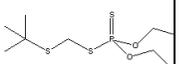
INGREDIENTE ACTIVO	NOMBRES COMERCIALES	FÓRMULA	PM (g/mol)	S (mg/l)	Log Kow ¹	Peb ² (°C)	P _{vapor} ³ (mmHg)	TOXICIDAD	VIDA MEDIA EN AGUA	VIDA MEDIA EN SUELO
	Supernox, Surcopur, Surpur, Vertac, Wham DF y Wham EZ							acuáticas.		
S-tert-butiltiometil O,O-dietil fosforoditioato Insecticida sistémico de contacto Aplicado en cultivos de: maíz, café	Terbufos, AC 92100, Aragan, Contraven, Counter y Plydox		288.43	5 mg/L		-29.2	34.6 mPa a 25 °C	Es altamente tóxico vía dérmica y oral. Causa náuseas, vómitos, diarrea y desórdenes del sistema nervioso. Efectos crónicos: pérdida de memoria, irritabilidad, ansiedad. Puede afectar los ojos,	4.5 días a 2.2 semanas a pH de 5, 7, 9	5 a 30 días

Tabla. 3.1. Propiedades físico-químicas de los plaguicidas que son utilizados en los sembradíos del río David

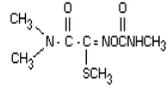
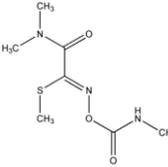
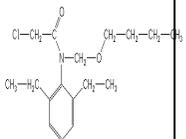
INGREDIENTE ACTIVO	NOMBRES COMERCIALES	FÓRMULA	PM (g/mol)	S (mg/l)	Log Kow ¹	Peb ² (°C)	P _{vapor} ³ (mmHg)	TOXICIDAD	VIDA MEDIA EN AGUA	VIDA MEDIA EN SUELO
								pulmones, piel y sistema nervioso central. Es extremadamente tóxico para las aves, peces e invertebrados acuáticos.		
N,N-dimetil-2-metilcarbamioloximino-2-(metiltio)-acetamida Insecticida y nematicida organofosforado Aplicado en cultivos de: maíz, caña de azúcar,	Oxamil, Blade, DPX 1410, Oxamil, Oxamimidic Acid, Pratt, Thioxamil y Vydate	 	219.36	280 g/L a 25 °C		100-102 °C, punto en el cual cambia a una estructura cristalina	31 mPa a 25 °C	Altamente tóxico vía oral. Toxicidad aguda: causa jaquecas, náuseas. Los síntomas crónicos son iguales a los agudos. Es altamente tóxico para	1 a 2 días	4 a 20 días

Tabla. 3.1. Propiedades físico-químicas de los plaguicidas que son utilizados en los sembradíos del río David

INGREDIENTE ACTIVO	NOMBRES COMERCIALES	FÓRMULA	PM (g/mol)	S (mg/l)	Log Kow ¹	Peb ² (°C)	P _{vapor} ³ (mmHg)	TOXICIDAD	VIDA MEDIA EN AGUA	VIDA MEDIA EN SUELO
sorgo						diferente que se fusiona a 108-110 °C		las aves y ligera a moderadamente tóxico para los peces.		
N-butoximetil-2-cloro-2',6'-dietilacetanilida	Butacloro, machete		311.85	20 mg/L	4.5	157	0.60 mPa a 25 °C	Tóxico por absorción en la piel, inhalación e ingestión, irritante de ojos	14 días	42 a 70 días

Fuentes: Edifarm (2001), NLM (2005), Exttoxnet (2007), Espinosa, (2003)

De este grupo de sustancias organocloradas, se realizó una nueva selección para determinar las sustancias a monitorear mediante la técnica de análisis por cromatografía de gases.

El criterio utilizado para la elección se basó en que dichas sustancias organocloradas fueran usadas ampliamente como plaguicidas en la cuenca del río David, principalmente en los cultivos de arroz, pero preferiblemente con un espectro amplio de aplicación en otros tipos de cultivo; que tuvieran una vida media moderada, y que la toxicidad de sus residuos para los ecosistemas y el hombre justificara la importancia de su monitoreo en el agua de la cuenca.

Aunque la investigación estaba orientada a sustancias organocloradas, debido a que se encontró el uso extendido de algunas otras (específicamente la pendimetalina) cuya importancia, disponibilidad de patrones y coincidencia con la metodología analítica utilizada hacia su determinación, se decidió su inclusión en el monitoreo de las muestras de agua.

Bajo los criterios anteriormente mencionados, de la Tabla 3.1, se seleccionaron cinco principios activos de plaguicidas: Propanil, Butacloro, Pendimetalina, Endosulfán y el 2,4D

A continuación se presentan algunas características o propiedades de los plaguicidas seleccionados.

- Propanil

El propanil (3',4'-dicloropropionanilina), es un herbicida selectivo postemergente aplicado en cultivos de arroz, papas y trigo, y es el ingrediente activo de herbicidas con nombres comerciales como Propanil, Arrosol, Bay 30130, Cekupropanil, Chem-Rice, DPA, DCPA, Dropaven, Erban, FW-734, Herbax, Prop-Job, Propanex, Propanilo, Riselect, S 10145, Stam, Stam 80 EDF, Stam M-4, Stampede, Strel, Supernox, Surcopur, Surpur, Vertac, Wham DF, y Wham EZ. (EIC, 2001)

Entre sus propiedades físicas (Tabla 3.1) se puede mencionar su punto de fusión de 81 a 91 °C, peso molecular de 218,08, solubilidad en agua de 225 mg/L, olor ácido, soluble en benceno, etanol, acetona, xileno, presión de vapor de 12 mPa a 60 °C, coeficiente de partición de 2.2856 y coeficiente de adsorción de 149 (NLM, 2005).

El propanil se considera moderadamente tóxico; se puede introducir al organismo vía ingestión e inhalación, y es irritante para la piel y ojos. No hay evidencia de su potencial carcinógeno ni mutagénico, pero al ser lipofílico, sus órganos blancos son el hígado, riñones, bazo y sensibiliza e irrita la piel. En dosis elevada puede conducir al desarrollo de anemia. Esta sustancia es moderadamente tóxica para aves, y de moderada a altamente tóxica para una amplia variedad de especies acuáticas (NLM, 2005). En la Figura 3.1 se encuentra la estructura química del propanil.

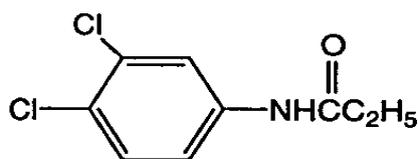


Figura 3.1. Estructura química del propanil

- Butacloro

El butacloro es un herbicida sistémico selectivo utilizado de manera generalizada en Panamá en cultivos de arroz, bajo el nombre comercial de machete. Sus propiedades físicas (Tabla 3.1) relevantes son: su peso molecular de 311,85 g/mol, solubilidad en agua de 20 mg/L (ligeramente soluble), solubilidad en gran variedad de solventes orgánicos, coeficiente de partición octanol- agua de 4,5, punto de ebullición de 157 °C, y persistencia en agua de 14 días, y en suelo de 42 a 70 días. Es resistente a la luz ultravioleta y su principal vía de degradación es la acción bacteriana (Palm, 2007).

El butacloro puede ser causante de irritación en la piel, puede absorberse a través de ella; es irritante de los ojos, y es perjudicial también por inhalación. Causa irritación de las membranas mucosas y el tracto respiratorio superior. Es tóxico también por ingestión y se le atribuye potencial carcinógeno (NLM, 2005). En la Figura 3.2 se muestra la estructura química del butacloro.

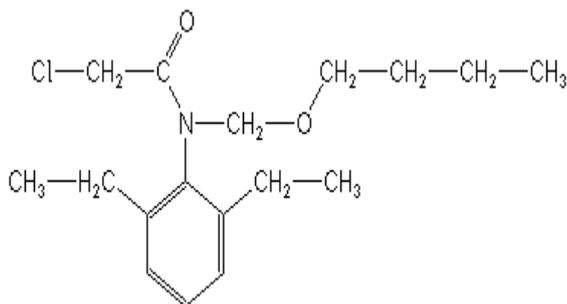


Figura 3.2. Estructura Química del Butacloro

- Pendimetalina

El N-(1-etilpropil)-2,6-dinitro-3,4-xilidina) es un herbicida selectivo preemergente o postemergente aplicado en cultivos de: maíz, papas, arroz, frijol, tabaco, algodón, maní, girasol. Los nombres comerciales de sus formulaciones son AC 92553, Accotab, Go-Go-San, Herbadox, Penoxalin, Prowl, Sipaxol, Sovereign, Stomp and Way-Up. En el área de la cuenca del Río David es usado ampliamente como Prowl (EIC, 2001).

Las propiedades físicas (Tabla 3.1) más relevantes de la pendimetalina son su peso molecular de 281,31, solubilidad en agua de 0,3 mg/L a 20 °C, punto de fusión entre 54 a 58 °C, presión de vapor de 4 mPa a 25°C, coeficiente de partición octanol / agua de

5,1818, y coeficiente de adsorción de 5000, y su vida media puede alcanzar los 40 días (NLM, 2005).

La pendimetalina no tiene reporte como sustancia carcinogénica o mutagénica, pero es ligeramente tóxica para las aves, y altamente tóxica para los peces y organismos acuáticos invertebrados, y puede acumularse en ellos y luego pasar a otros organismos en la cadena alimenticia (NLM, 2005). En la Figura 3.3 se muestra la estructura química de la pendimetalina.

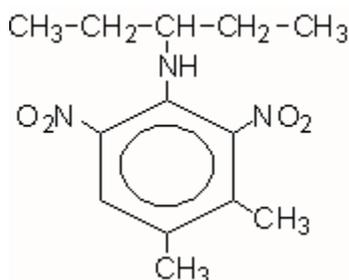


Figura 3.3. Estructura química de la pendimetalina

- Endosulfán

El endosulfán (6,7,8,9,10,10-hexachloro-1,5,5a,6,9,9a-hexahidro-6,9-metano-2,4,3-benzadioxathiepin 3-oxide) es un insecticida y acaricida hidrocarbonado y clorinado aplicado en cultivos de: té, café, frutas y vegetales, arroz, cereales, maíz, sorgo. Sus nombres comerciales son Endosulfan, Afidan, Beosit, Cyclodan, Devisulfan, Endocel, Endocide, Endosol, FMC 5462, Hexasulfan, Hildan, Hoe 2671, Insectophene, Malix, Phaser, Thiodan, Thimul, Thifor, y Thionex (EIC, 2001).

Sus propiedades físicas (Tabla 3.1) relevantes son su peso molecular de 406,96, solubilidad en agua de 0,32 mg/L a 22 °C, soluble en tolueno y hexano, punto de fusión de 70 a 100 °C, presión de vapor de 1200 mPa a 80 °C, y coeficiente de adsorción de 12400 (NLM, 2005).

No hay evidencias que apoyen que el endosulfán es carcinogénico; sin embargo, si produce efectos mutagénicos y tiene la capacidad para dañar el hígado, riñones, sangre, sistema nerviosos central, sistema reproductivo y glándulas paratiroides. Es de moderado a altamente tóxico para aves, y sumamente tóxico para peces e invertebrados acuáticos, con un importante efecto de bioacumulación. Su vida media en suelo puede llegar hasta 50 días, y cuatro semanas en el agua (NLM, 2005). En la Figura 3.4 se presenta la estructura química del endosulfán.

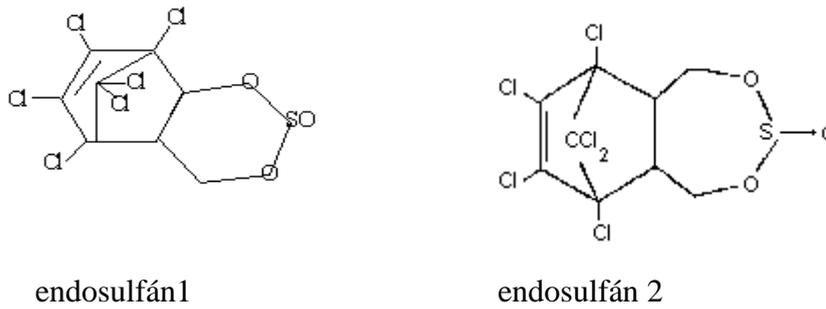


Figura 3.4. Estructura química del endosulfán

- 2,4D

El ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4D), es un herbicida selectivo postemergente aplicado en cultivos de: arroz, caña de azúcar, maíz, café, cítricos, cacao. Sus formulaciones comerciales son 2,4D, Aqua-Kleen, Barrage, Lawn-Keep, Malerbane, Planotox, Plantgard, Savage, Salvo, Weedone, y Weedtrine-II (EIC, 2001).

Las propiedades físicas más importantes del 2,4D son su peso molecular de 221,04, solubilidad en agua de 677 mg/L (Tabla 3.1), Coeficiente de partición Octanol/Agua $\text{Log } K_{ow}$ de 2,81, punto de ebullición de 160 °C, pKa de 2,73, presión de vapor de $8,25 \cdot 10^{-8}$ mmHg, vida media en agua de 10 a 50 días y en suelo de 7 días (NLM, 2005).

El 2,4D es altamente tóxico por ingestión o inhalación, y es absorbido con rapidez a través de la piel. Es una sustancia potencialmente carcinogénica. Es ligeramente tóxico para aves y de moderada a alta toxicidad para peces (NLM, 2005). En la Figura 3.5 se muestra la estructura química del 2,4D.

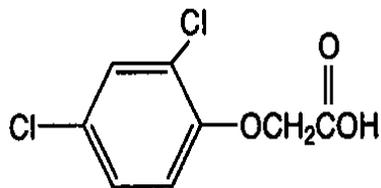


Figura 3.5. Estructura química del 2,4D

3.3.3. Obtención de las muestras

Las labores de muestreo de agua en la cuenca del río David para la determinación de contenido de los residuos de plaguicidas seleccionados, iniciaron con una etapa de exploración en la cual se tomaron algunas muestras con el fin de ir implementando la técnica de análisis cromatográfico. Luego se realizaron dos campañas de muestreo formal cuyos resultados se encuentran descritos en la sección de análisis y resultados obtenidos.

Las muestras fueron colectadas de manera manual, lo más cercano al centro de los cuerpos de agua, evitando sitios de turbulencia para que la pérdida potencial por volatilización de compuestos orgánicos volátiles fuera mínima. En el caso de los plaguicidas a monitorear,

no fue necesario el uso de preservantes adicionales para las muestras, ni el uso de ácido ascórbico como declorinador ya que se trataba de aguas naturales superficiales (AWWA, 2001).

Los envases utilizados para el muestreo fueron frascos de vidrio ámbar con tapa rosca de boca ancha, los cuales fueron preparados y lavados previamente en el laboratorio según el método EPA 1656 (EPA, 2003), teniendo cuidado de dejar vacío aproximadamente 10% del volumen total del envase de vidrio para evitar su fractura por la expansión térmica de la muestra de agua.

Una vez colectadas las muestras, se rotularon según la nomenclatura ya establecida para los puntos de muestreo predeterminados, o según su localización detallada. Los envases de muestra ya rotulados fueron guardados en hieleras enfriadas a temperatura inferior a 4 grados Celsius, según el protocolo de muestreo, para ser entregadas al laboratorio (AWWA, 2001).

3.3.4. Técnica de análisis por Cromatografía de Gases

Para la realización de los análisis químicos se utilizó la técnica analítica de cromatografía de gases. Por tanto, antes de exponer los resultados obtenidos, se procede a introducir una breve reseña a cerca de los principios fundamentales que rigen esta técnica.

La cromatografía es un método químico analítico de separación muy utilizado en diversas ramas de la ciencia. La palabra cromatografía proviene de los vocablos griegos *chroma* que significa “color” y *graphein* que significa “escribir” (Skoog y Leary, 1994). Fue Mikhail Tswett, un botánico ruso, quien le dio este nombre, al utilizar por primera vez la cromatografía en columna a principios del siglo XX. Él relleno con carbonato de calcio finamente dividido una columna de vidrio e hizo pasar a través de ella disoluciones que contenían varios pigmentos vegetales, entre estos las clorofilas y xantofilas, que aparecieron como bandas coloreadas en la columna, es decir separados de la disolución (Chang, 2007).

La cromatografía consiste en disolver la muestra en una fase móvil, que puede ser un gas, un líquido o un fluido supercrítico. Luego esta fase móvil, se hace pasar a través de una fase estacionaria inmisible, que se mantiene fija en una columna o sobre una superficie sólida. La fase móvil y la fase estacionaria se eligen de tal forma que los componentes de la muestra se distribuyen de forma distinta entre ambas fases. Los componentes que se retengan con mayor fuerza a la fase estacionaria se moverán lentamente a través de la columna y por lo tanto serán los últimos componentes en separarse. Al contrario, aquellos componentes que se unen débilmente a la fase estacionaria se mueven con rapidez con el flujo de la fase móvil. Así, a diferencia de la diferente movilidad, los componentes de la muestra se separan en bandas discriminadas que pueden analizarse cualitativa y/o cuantitativamente (Skoog *et al.*, 2005).

La cromatografía se ha convertido en el principal método utilizado para la separación de especies químicas estrechamente relacionadas entre sí (Bellama y Umland, 2000). Es una herramienta que se utiliza ampliamente para reconocer la presencia o ausencia de componentes en mezclas que contengan un número limitado de posibles especies de las que se conozca su identidad y también puede proporcionar información cuantitativa de las especies separadas (Sánchez *et al.*, 1991).

En cromatografía de gas, la muestra se volatiliza y se inyecta en la cabeza de una columna cromatográfica. La elución o recorrido de la muestra a través de la columna se produce por el flujo de una fase móvil de un gas inerte que no interacciona con las moléculas del analito, pues su única función es transportar al analito a través de la columna. Una vez que los componentes de la muestra llegan al final de la columna, se genera una señal analítica que es captada por un detector y luego un procesador de señales la envía a un dispositivo que convierte esa señal analítica en una lectura, utilizando para ello un medidor o escala, un registrador o una unidad digital, obteniéndose al final, si se utiliza un registrador, lo que se conoce como un cromatograma y del que se puede obtener información valiosa sobre los componentes de la muestra como la presencia o ausencia de un componente en particular o las cantidades en concentración de los componentes presentes en la muestra por comparación de la altura o del área de los picos que corresponden a cada componente de la muestra con la de uno o más estándares, siendo éste último un compuesto inyectado o introducido intencionalmente al cromatógrafo de gas, cuya identidad y concentración se conoce de antemano, precisamente con el objeto de que sirva como referencia en la comparación (Skoog *et al.*, 2005).

A continuación se presenta el Método EPA1656 adaptado a las condiciones de la corrida cromatográfica a las características del equipo de laboratorio disponible. Se presenta la metodología que debe ser utilizada para determinación de plaguicidas organoclorados en agua. Es importante resaltar que también se explica la metodología para ajustar las condiciones requeridas de acuerdo al equipo de laboratorio disponible (cromatógrafo de gases Agilent 6890 con detector de microcaptura de electrones), reduciendo el tiempo de implementación de la metodología, mejorando la señal captada por el detector y optimizando la resolución del cromatograma.

3.3.4.1 Método EPA 1656 para determinar plaguicidas organoclorados en Agua

Para el análisis de las muestras con el fin de cuantificar el nivel de concentración de los plaguicidas seleccionados, se escogió el método EPA 1656 debido a que es un método estandarizado para la determinación de este tipo de sustancias, además se podía acceder a los instrumentos y equipamientos necesarios para su ejecución. A continuación se presenta un procedimiento detallado para su implementación y ejecución, adaptado directamente de los métodos de análisis EPA, versión 2003.

3.3.4.1.1. Alcance y aplicación

Este método está diseñado para cumplir con los requerimientos exigidos por la Agencia Estadounidense para la Protección del Medioambiente (EPA). Es utilizado para determinar plaguicidas organoclorados y bifenilos policlorados (PCB's), además de otros compuestos que pueden extraerse y analizarse por Cromatografía de Gases (GC) de columna capilar con detector específico de halógenos.

Los compuestos enlistados pueden determinarse por este método en matrices como agua, suelo, sedimento y lodos. Este método es una consolidación de varios métodos de la EPA para aguas residuales. Para aguas, la extracción de la muestra y los pasos de concentración son esencialmente los mismos que en estos métodos. Sin embargo, la extracción y los pasos de concentración han sido extendidos a otras matrices de muestras. El método también puede aplicarse a otros plaguicidas. Los requerimientos de control de calidad en este método dan los pasos necesarios para determinar esta aplicabilidad.

Este método es aplicable a gran número de compuestos. Calibrar un sistema GC para todos los compuestos consume mucho tiempo. Si solo un compuesto o un número pequeño de compuestos van a ser probado es necesario calibrar el sistema GC y encontrar las mejores especificaciones en este método para ese único compuesto. Además, las condiciones del GC pueden ser optimizadas para estos compuestos previendo que todas las especificaciones en este método sean satisfechas.

Cuando este método es aplicado al análisis de muestras desconocidas, la identificación de compuestos debe ser soportada por al menos una técnica cualitativa adicional. Este método describe las condiciones analíticas para una segunda columna cromatográfica de gas que puede ser usada para confirmar las medidas hechas con la columna primaria. La Cromatografía de Gas acoplada a Espectrometría de Masas (GC/MS) puede utilizarse para confirmar compuestos en extractos producidos por este método cuando los niveles del analito son suficientes.

Los límites de detección de este método dependen usualmente del nivel de interferencias más que de las limitaciones instrumentales.

Este método es para usar por o bajo la supervisión de un analista experimentado en el uso del cromatógrafo de gas y en la interpretación de datos de Cromatografía de Gas. Cada laboratorio que utilice este método debe demostrar la habilidad para generar resultados aceptables usando procedimientos de aseguramiento de calidad adecuados.

3.3.4.1.2. Resumen del método

- Extracción

Se determina el contenido de sólidos en porcentaje de la siguiente manera:

Para muestras con bajo contenido de sólidos: si el contenido de sólidos es 1% o menos, se extrae 1 L de la muestra con cloruro de metileno utilizando la técnica de extracción continúa.

Para muestras con contenido de sólidos mayor a 1%, se ejecuta el siguiente procedimiento:

- Para muestras sin lodo: si el contenido de sólidos es de 1 a 30% la muestra se diluye a 1% de sólidos con agua reactiva, homogenizando ultrasónicamente y extrayendo con cloruro de metileno utilizando la técnica de extracción continúa. Si el contenido de sólidos es más que el 30%, la muestra se extrae con cloruro de metileno: acetona utilizando técnicas ultrasónicas.
- Para las muestras de lodo municipal y otros tipos de muestras intratables: si el contenido de sólidos es menos que el 30% la muestra se diluye a 1% en sólidos y se extrae con cloruro de metileno utilizando técnicas de extracción continua. Si el contenido de sólidos es más que el 30% la muestra se extrae con acetonitrilo y luego con cloruro de metileno utilizando técnicas ultrasónicas. El extracto es reextraído con sulfato de sodio al 2% (w/v) en agua reactiva para remover las interferencias solubles en agua y el acetonitrilo residual.

Una vez determinado el contenido de sólidos en la muestra mediante alguna de las técnicas descritas arriba, se procede a la extracción de muestras de agua, utilizando el siguiente procedimiento:

- Agitar bien la muestra y medir el volumen exacto de la misma.
- Colocar la muestra en un embudo separador de dos litros de capacidad.
- Lavar la botella vacía con 60 ml de eter dietílico al 15% o cloruro de metileno en hexano. Adicione este extracto al embudo y agite por dos minutos, dejando luego separar las fases.
- Drenar la fase acuosa hacia la botella y ponga la fase orgánica en un aparato Kuderna Danish con un tubo concentrador de 10 ml de capacidad.
- Se repite la extracción dos veces más con 60 ml de solvente.
- Drenar la fase orgánica a través de un filtro con fibra de vidrio grado plaguicida y sulfato de sodio anhidro, hacia un balón Kuderna Danish de dos litros adaptado a una columna Zinder de tres bolas y un tubo concentrador graduado de 10 ml. Lavar el sulfato de sodio con porciones adicionales de solvente.
- Destilar el solvente, concentrando la muestra hasta 10 ml, utilizando un baño de agua a temperatura de 95 °C.
- Enfriar el concentrado, aforarlo a 10 ml en el tubo concentrador.
- Guardar el extracto en un vial para cromatografía de gases.
- Inyectar el extracto en un cromatógrafo de gases con detector de captura de electrones con las condiciones y tipo de columna ya descritos para el método.
- Corrida cromatográfica
 - Cromatografía de gas: una alícuota de 1- μ L del extracto se inyecta en el cromatógrafo de gas (GC). Los compuestos se separan sobre una columna capilar; los analitos se detectan por un detector de captura de electrones, microcoulométrica, o un detector de conductividad electrolítica.
 - La identificación de un contaminante (análisis cualitativo): es ejecutado comparando los tiempos de retención del compuesto en dos columnas disímiles con el tiempo de retención de un estándar auténtico. El compuesto idéntico se confirma cuando el tiempo de retención coincide dentro de su ventana respectiva.
 - El análisis cuantitativo se ejecuta utilizando un estándar auténtico para producir un factor de calibración o curva de calibración y utilizando la data de calibración para determinar la concentración de un contaminante en el extracto. La concentración en la muestra se calcula utilizando el peso o el volumen de la muestra y el volumen del extracto.
 - La calidad es asegurada a través de la reproducción de la calibración y de la prueba de extracción y del sistema GC.

3.3.4.1.3. Contaminación e interferencias

Los solventes, reactivos, cristalería y otros equipos de procesamiento de muestras pueden producir artefactos y/o líneas base elevadas que causan la mala interpretación de los cromatogramas. Se tiene que demostrar que todos los materiales usados en el análisis están libres de interferencias bajo las condiciones del análisis corriendo blancos en el método.

La cristalería y cuando es posible los reactivos, se limpian con enjuagues de solvente y horneando a 450°C por un mínimo de 1 hora en un horno mufla u horno. Algunos materiales termalmente estables, tales como los Bifenilos Policlorados (PCB's), pueden que no sean eliminados por este tratamiento y por lo tanto se requiere un enjuague con acetona y hexano de calidad plaguicida.

Puede requerirse la selección específica de reactivos y la purificación de solventes por destilación en sistemas totalmente de vidrio.

La interferencia por esteres de ftalato pueden representar un problema mayor en el análisis de plaguicidas cuando se usa el detector de captura de electrones. Los ftalatos usualmente aparecen en el cromatograma como picos largos y de elusión tardía. Los ftalatos pueden ser lixiviados desde tubos de plástico flexible común y otros materiales plásticos durante procesos de extracción y limpieza. La contaminación cruzada de cristalería limpia ocurre rutinariamente cuando se manejan plásticos durante la extracción, específicamente cuando se manipulan con sus superficies mojadas de solvente. La mejor forma de minimizar las interferencias de ftalatos es evitar el uso de plásticos en el laboratorio o utilizando un detector microcoulométrico o un detector de conductividad electrolítica.

Las interferencias coextraídas con las muestras variarán considerablemente con la fuente de origen, dependiendo de la diversidad del sitio que ha sido muestreado. Los procedimientos de limpieza dados en este método pueden utilizarse para superar muchas de estas interferencias, pero una sola muestra puede requerir de una limpieza adicional para lograr el mínimo nivel.

3.3.4.1.4. Seguridad

La toxicidad o la carcinogenicidad de cada compuesto o reactivo utilizado en este método no ha sido determinado precisamente; sin embargo, cada compuesto químico debe tratarse como un peligro potencial para la salud.

Los siguientes compuestos pueden analizarse por este método y han sido clasificados tentativamente como conocidos o sospechosos de causar cáncer en humanos y mamíferos: 4,4'-DDD, 4,4'-DDT, los BHCs y los PCBs. Los estándares primarios de estos compuestos deben prepararse en la cámara utilizando una máscara o respirador de gases tóxico aprobado por la NIOSH-MESA.

El vapor de mercurio es altamente tóxico. Si se utiliza para remover el azufre, todas las operaciones que envuelvan el uso de mercurio deben ejecutarse en la cámara de extracción de gases.

Las muestras desconocidas pueden contener altas concentraciones de compuestos tóxicos volátiles. Los contenedores de la muestra deben abrirse en la cámara de extracción de gases y manejarse con guantes para prevenir la exposición. El horno utilizado para secar las muestras en la determinación del porcentaje de humedad debe estar localizado en una cámara para que los vapores de las muestras no creen un peligro a la salud en el laboratorio.

3.3.4.1.5. Equipos y materiales

- Equipo para muestreo
 - Botellas y tapas para muestras:

Para muestras líquidas deben utilizarse botellas de vidrio ámbar con tapas de rosca (1/4 a 1 L de capacidad). Si no hay disponibilidad de botellas ámbar, las botellas deben protegerse de la luz. Las botellas deben lavarse con agua y detergente, luego enjuagarlas con solvente o secarlas a 450°C por un mínimo de 1 hora antes de usarlas. Los sellos de PTFE se lavan

con agua y detergente, luego se enjuagan con agua reactiva y solvente y se secan a aproximadamente 200°C por un mínimo de una (1) hora antes de usarse.

Las tapas de las botellas deben estar cubiertas con PTFE o con sellos de este material.

Puede usarse un equipo automático para obtener muestras compuestas o manuales al que se incorporan contenedores de vidrio limpiados como indica el procedimiento de arriba. Los contenedores para muestras deben mantenerse de 0°C a 4°C durante el muestreo. Sólo deberán usarse tubos de vidrio o PTFE. Si el muestreador usa una bomba peristáltica, sólo puede usarse en la bomba un tubo de silicón-caucho comprimible de una mínima longitud.

- Equipo para determinar el porcentaje de humedad
 - Horno capaz de mantener una temperatura de 110°C (\pm 5°C).
 - Desecador.
 - Crisoles de porcelana.
 - Platos para pesaje de aluminio.
- Equipo de extracción
 - Equipo para extracción ultrasónica:
 - Interruptor sónico: de 375 Watt con capacidad de pulsación y bocina interruptora de 1/2" o 3/4" (ultrasónico).
 - Sonificador ultrasónico.
 - Equipo para extracción líquido-líquido:
 - Extractor continuo líquido-líquido: de PTFE o vidrios conectados juntos y llaves de paso sin lubricación, de capacidad de 1.5-2 L.
 - Frascos de fondo redondo, 500mL, con manta de calentamiento.
 - Condensador, Graham, que encaje con el extractor.
 - Medidor de pH, con electrodo de vidrio combinado.
 - Papel pH de amplio rango.
 - Embudos de separación: 250-, 500-, 1000- y 2000- mL con llaves de paso de PTFE.
 - Aparato de filtración.
 - Embudos de polvo de vidrio: 125- a 250- mL.
 - Papel filtro (Whatman 41 o equivalente).
 - Vasos químicos.
 - 1.5- a 2- L, calibrados hasta 1 L.
 - 400- a 500- mL.
 - Espátulas: de acero inoxidable o PTFE.
 - Columna para secado: columna cromatográfica de Pirex de 400mm de longitud x 15 a 20mm de diámetro, equipada con vidrio fritado granular o tapón de lana de vidrio.
 - Lana de vidrio Pirex: extraída con solvente o secada a 450°C por un mínimo de una (1) hora.
 - Aparato de concentración / evaporación (Aparato Kuderma-Danish)
 - Frasco de evaporación: 500 mL adherido a un tubo concentrador con resorte.
 - Tubo concentrador: 10mL, graduado con calibración verificada. Se utiliza tapa de vidrio (junta de tamaño 19/22) para prevenir la evaporación del extracto.
 - Columna Snyder: macro de tres bolas.

- Columna Snyder: micro de dos bolas.
- Perlas de ebullición de vidrio o carburo de silicio: tamaño de malla aproximada 10/40, extraídas con cloruro de metileno y horneada a 450°C por un mínimo de una (1) hora.
- Baño de agua: para calentar con cubierta en forma de anillo concéntrico, capaz de controlar la temperatura ($\pm 2^\circ\text{C}$), instalado en una cámara de gases.
- Aparato de evaporación de nitrógeno: equipado con baño calentador que pueda mantenerse a 35-40°C.
- Viales para muestras: vidrio ámbar, 1-5mL con tapas de rosca que tengan sello de PTFE o tapas plegables para colocar en el auto-sampler del GC.
- Balanzas:
 - Analítica: capaz de pesar 0.1mg.
 - Carga máxima: capaz de pesar 10mg.
- Aparato para limpiado de la muestra:
 - Cromatógrafo de permeación en gel automático.
 - Columna: 600 a 700 mm de longitud x 25 mm de diámetro, empacada con 70g de bio-esferas SX-3.
 - Jeringas de 10mL.
 - Jeringas con sostenedor de filtro, acero inoxidable y filtros de fibra de vidrio o PTFE.
 - Detector Ultravioleta: 254 nm, con flujo de celda preparativo o semipreparativo.
- Sistema de vacío y cartuchos para la extracción en fase sólida (spe)
 - Sistema de vacío: capaz de llevar 0.1 bar (bomba de vacío o aspirador de agua) con calibrador de vacío.
 - Colector Vac Elute.
 - Trampa de vacío: hecha de un frasco de 500-mL con tapones de caucho de hollo simple y un tubo de vidrio.
 - Percha para sujetar frascos volumétricos de 50-mL en el colector.
 - Columna: Mega Bond Elut para eluir enlaces grandes, no polar, C-18 octadecil, 10 g/60 mL.
 - Columna cromatográfica: de 400 mm de longitud x 22 mm de diámetro, con llave de paso de PTFE y fondo fritado granular o áspero.
 - Tubos para remoción de azufre: botellas de 40- a 50- mL o tubos para prueba con tapa de rosca cubiertas de PTFE.
- Equipo centrífuga
 - Centrífuga: capaz de rotar botellas centrífugas de 500-mL o tubos centrífugos de 15-mL a 5000 rpm como mínimo.
 - Botellas centrífugas: de 500-mL, con tapas de rosca, para colocar en la centrífuga.
 - Tubos centrífugos: de 12- a 15-mL, con tapas rosca, para colocar en la centrífuga.
- Embudo, Buchner, de 15cm
 - Frasco, filtro, para usar con el embudo Buchner.
 - Papel filtro, de 15 cm (Whatman # 41 o equivalente).
- Material de vidrio misceláneo

- Pipetas, vasos, volumétricos, de 1.00-, 5.00 y 10.0- mL.
- Jeringas, vasos, con puntas de Luerlok de 0.1-, 1.0- y 5.0- mL. Agujas para jeringas de 2", tamaño 22.
- Frascos volumétricos de 10.0-, 25.0- y 50.0- mL.
- Viales de vidrio de 20- a 50- mL con tapas de rosca recubiertas por PTFE.
- Cromatógrafo de gases:

Con columna capilar de separación con un detector específico para haluros al final de cada columna, un programa de temperatura con isoterma, un sistema de datos capaz de registrar señales simultáneas a partir de dos detectores y debe reunir todas las condiciones especificadas.

 - Columna GC: fase enlazada, fundida a sílice capilar.
 - Primaria: 30 m (± 3 m) de largo x 0.5 mm (± 0.05 mm) de diametro DB-608 (o equivalente)
 - Confirmatoria: DB-1701 o equivalente con las mismas dimensiones que la columna primaria.
 - Detector específico de haluro: de captura de electrones o conductividad electrolítica capaz de detectar 8pg de aldrin bajo las condiciones de análisis propuestas.
- Sistema de datos:

Debe coleccionar y registrar datos GC, almacenar corridas GC sobre discos o cintas magnéticas, datos de procesos GC, computar áreas de picos, almacenar datos de calibración incluyendo tiempos de retención y factores de retención, identificar picos GC a través de tiempos de retención, computar concentraciones y generar reportes.

 - Adquisición de datos: los datos GC deben coleccionarse continuamente por medio del análisis y almacenado sobre un equipo de almacenamiento de masas.
 - Factores de calibración y curvas de calibración: el sistema de datos debe ser usado para registrar y mantener listas de factores de calibración y curvas de calibración multipuntos. Computar la desviación estándar relativa (coeficiente de variación) que es usada para probar la linealidad de la calibración. La estadística del funcionamiento al inicio y actual tiene que computarse y mantenerse.
 - Procesamiento de datos: el sistema de datos debe ser usado para registrar o buscar, localizar, identificar y cuantificar el compuesto de interés en cada análisis GC. Tiene que emplearse el software de rutina para computar y registrar tiempos de retención y áreas de picos. Son requeridas las comparaciones en pantalla de cromatogramas y la librería para verificar los resultados.

3.3.4.1.6. Reactivos y estándares

- Preservación de las muestras: tiosulfato de sodio (ACS), granular.
- Ajuste de pH
 - Hidróxido de sodio: grado reactivo.
 - Solución concentrada (10N): disuelva 40 g de NaOH en 100 mL de agua reactiva destilada.

- Solución diluida (0.1 M): disuelva 4 g de NaOH en 1 L de agua reactiva destilada.
- Ácido sulfúrico (1+1): grado reactivo, 6N en agua reactiva. Agregue lentamente 5 mL de H₂SO₄ (gravedad específica 1.84) a 50 mL de agua reactiva.
- Hidróxido de potasio: 37% (W/V). Disuelva 37 g de KOH en 100 mL de agua reactiva.
- Solución de secado:
 - Sulfato de sodio, grado reactivo, anhidro granular, enjuagado con cloruro de metileno (20 mL/g), calentado a 450°C por un mínimo de 1 hora, enfriado en un desecador y almacenado en una botella de vidrio previamente limpiada y con tapa rosca para prevenir que entre la humedad.
 - Solución de sulfato de sodio: al 2% (w/v) en agua reactiva, con pH ajustado entre 8.5 a 9.0 con KOH o H₂SO₄.
- Solventes: cloruro de metileno, hexano, éter etílico, acetona, acetonitrilo, isooctano y metano; plaguicida de calidad; lote certificado libre de interferencias. Se debe demostrar que el éter etílico está libre de peróxidos antes de ser utilizado. Para trabajar con estos solventes se requiere una campana o cámara de extracción de gases (Figura 5.10).
- Solución de calibración del GPC: solución que contiene 300 mg/mL de aceite vegetal, 15 mg/mL de bis (2-etilhexil) ftalato, 1.4 mg/mL de pentaclorofenol, 0.1 mg/mL de perileno y 0.5 mg/mL de azufre.

3.3.5. Análisis de las muestras

Las muestras fueron analizadas según el protocolo de análisis 1656 de las normas EPA (EPA, 2003). El tratamiento y preparación de las muestras se realizó en el Laboratorio de Análisis Industriales y Ciencias Ambientales de la Universidad Tecnológica de Panamá (LABAICA), y las corridas cromatográficas en las instalaciones de los laboratorios del Instituto de Investigaciones Científicas y Servicios de Alta Tecnología (INDICASAT), en la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología (SENACYT), Ciudad del Saber, mediante el uso de un cromatógrafo de gases con detector de microcaptura de electrones, necesario para la detección de las sustancias organocloradas elegidas para ser monitoreadas en la cuenca del río David.

3.3.5.1. Tratamiento de las muestras

Las muestras de agua tomadas en la cuenca del río David contenían menos de uno por ciento (1%) de sólidos y carecían de interferencias apreciables; por tanto, se procedió directamente a realizar la extracción líquido-líquido con los solventes necesarios (en este caso, cloruro de metileno y n-hexano) tanto para las muestras como para los blancos, dentro de una cámara de extracción como medida de seguridad dada la volatilidad y toxicidad de los vapores de estos solventes. Se procedió a secar el extracto utilizando sulfato de sodio para eliminar los restos de humedad y utilizar el equipo Kuderna Danish (Figura 3.6), el cual está compuesto por tres piezas de vidrio: en su parte superior tiene una columna de fraccionamiento tipo Snider de tres bolas; en su parte central está el matraz contenedor de la muestra y en el extremo inferior tiene un tubo con graduación calibrada

en 10 ml. La función del Kuderna Danish es concentrar el extracto obtenido y reducir el volumen hasta 10 ml.

En todos los casos, el extracto estuvo listo para ser inyectado, al no ser necesaria la realización de clean up o limpieza de los mismos mediante las técnicas sugeridas. Estos extractos fueron sometidos a análisis cromatográficos utilizando el cromatógrafo de gases con detector de microcaptura de electrones, previa preparación de la curva de calibración.

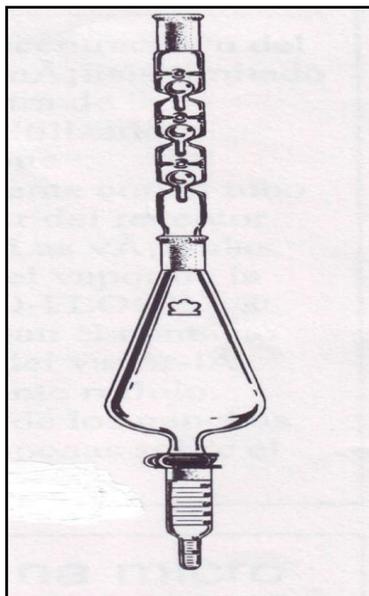


Figura 3.6. Esquema del equipo Kuderna Danish.

3.3.5.2. Curvas de calibración

Para la preparación de las curvas de calibración se utilizaron mezclas de estándares de los patrones seleccionados (propanil, butacloro, endosulfán I y II, pendimetalina, y 2,4D), en concentraciones recomendadas por el método EPA 1656. Se prepararon las mezclas de los estándares en cinco concentraciones: 10, 50, 100, 250, 500 ng/mL (nanogramos por mililitro).

Las concentraciones de los patrones de curva de calibración recomendadas por el método suelen variar en rango para cada una de estas sustancias; por esa razón se eligió este rango de concentraciones debido a que envuelve las concentraciones recomendadas por el método EPA 1656 para cada uno de las sustancias analizadas. Estas mezclas de estándares, cuyo cromatograma se muestra en la Figura 5.9, y los blancos respectivos se utilizaron para optimizar las condiciones de operación del cromatógrafo de gases, elaborar las diferentes curvas de calibración para el análisis cuantitativo (Figuras 5.10 y 5.11) y determinar los tiempos de retención de cada una de las sustancias a identificar.

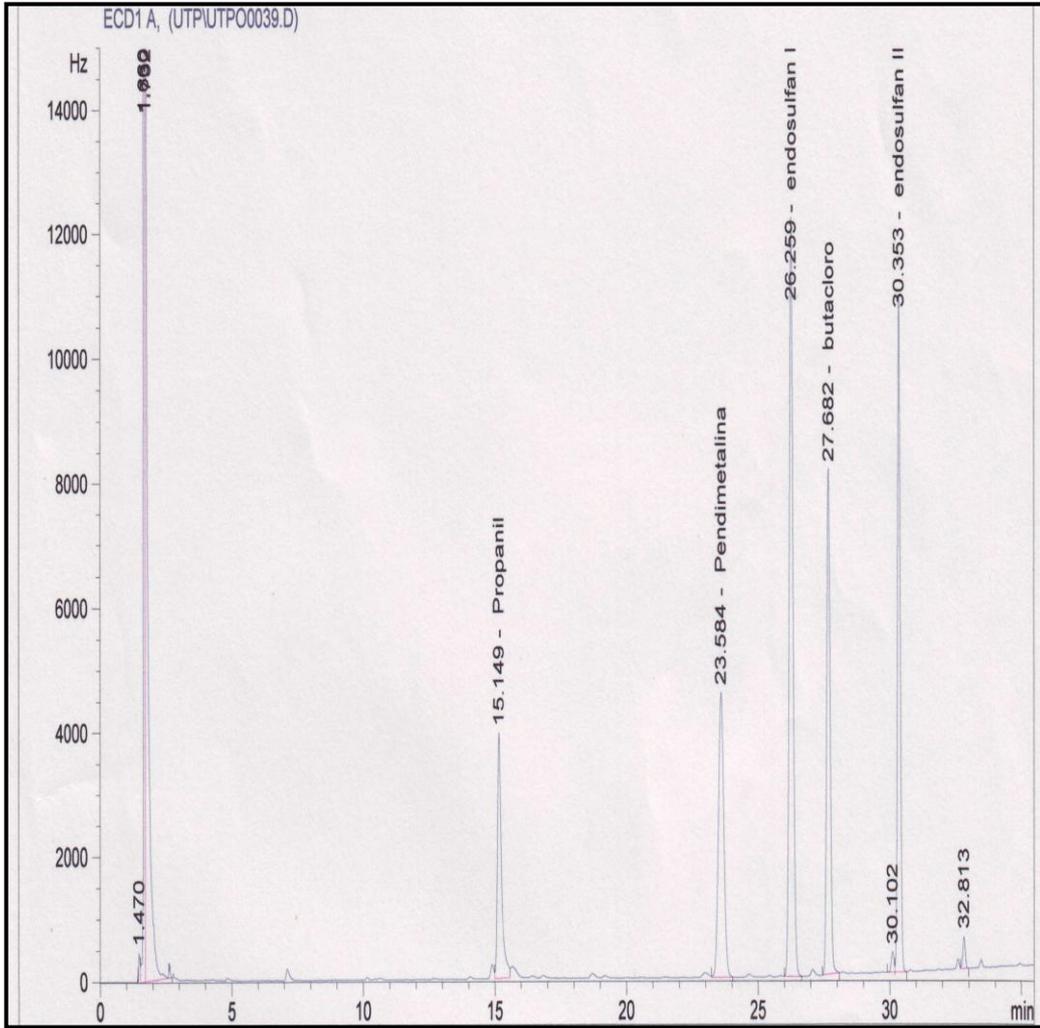


Figura 3.7. Cromatograma de los estándares utilizados.

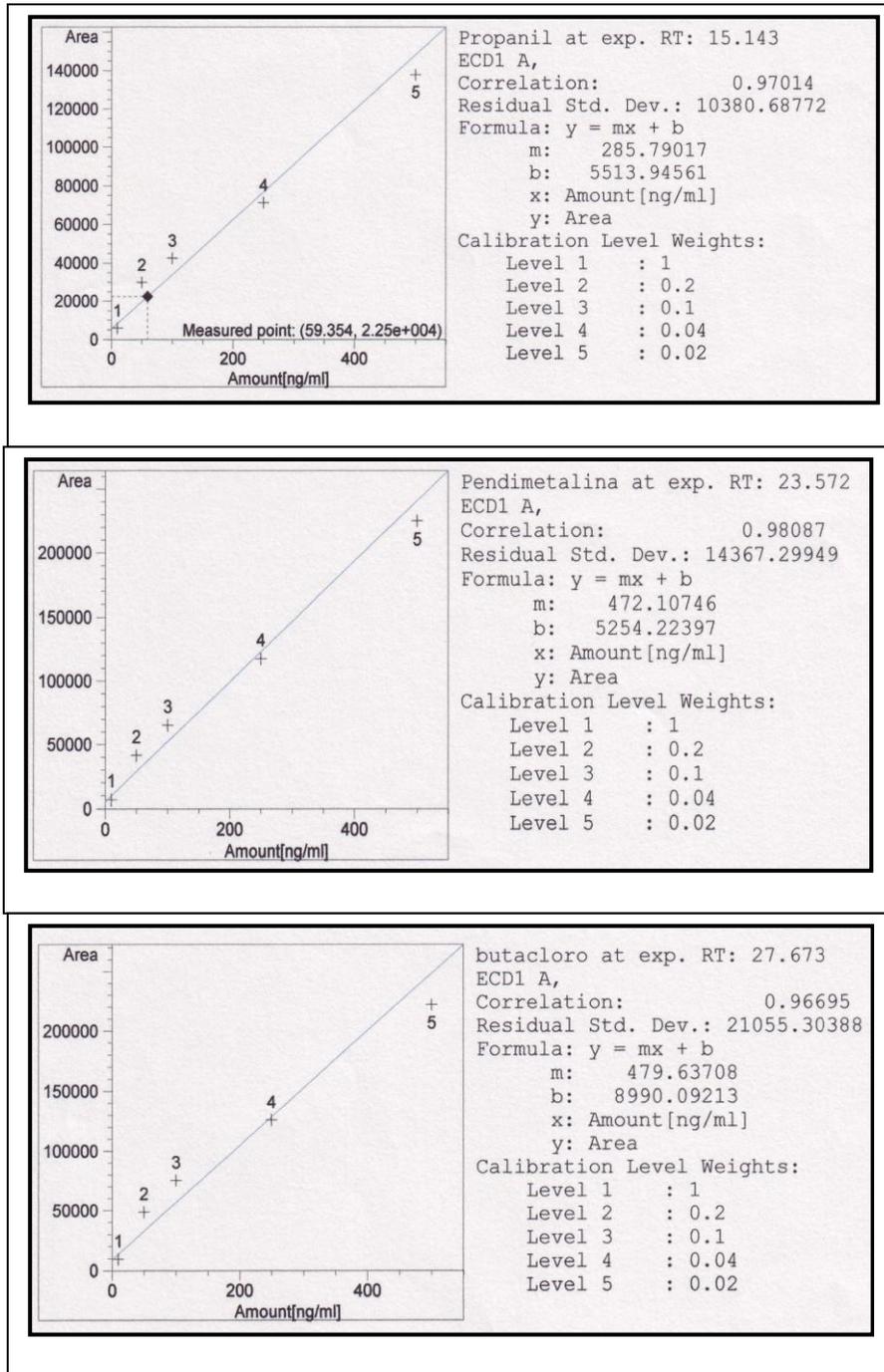


Figura 3.8. Curvas de calibración del método para propanil, pendimetalina y butacloro.

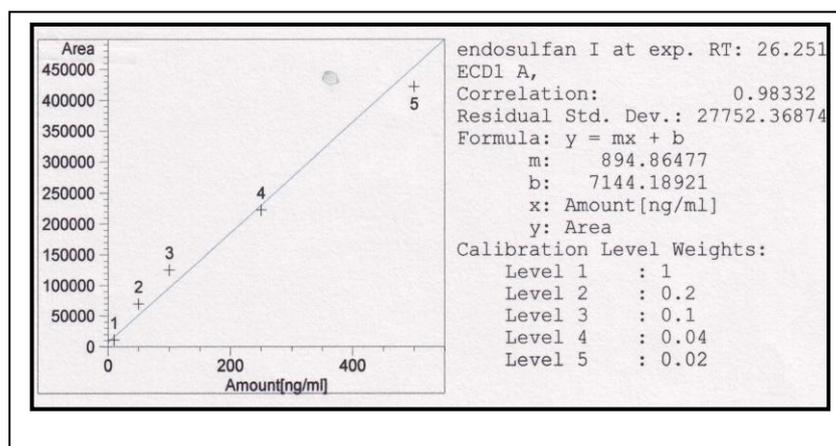


Figura 3.9. Curvas de calibración del método para endosulfán I

3.3.5.3. Condiciones de operación del análisis

El cromatógrafo de gases (Anexos 3.3) utilizado para realizar las pruebas (marca Agilent 6890) fue programado experimentalmente para obtener la mejor señal de respuesta para este método bajo las siguientes condiciones:

- Columna capilar Agilent 19091 J-413 HP-5% fenilmetilsiloxano de 30.0 m x 320 micrómetros x 0.2 micrómetros.
- Detector de microcaptura de electrones.
- Rampa de temperatura: inicia la corrida a temperatura de 150 °C (por 3 minutos), luego asciende a razón de 2 °C/min hasta 175 °C (donde permanece la temperatura por 8 minutos); sigue elevándose a razón de 5 °C/min hasta alcanzar los 230 °C y permanece a esa temperatura por un minuto más.
- Temperatura del horno a 150 °C
- Temperatura del inyector a 200 °C
- Temperatura del detector a 300 °C
- Flujo de columna de 2.0 ml/min
- Modo split a razón de 0.5
- Volumen de inyección de 1 microlitro, efectuada con una microjeringuilla calibrada (Anexo 3.3).

Todas estas condiciones de corrida fueron reguladas mediante el programa VECTRA (Anexo 3.3), que es el software de control del equipo de cromatografía de gases utilizado.

Nota: Entre cada inyección, la microjeringuilla fue secada y purgada en un sistema de limpieza acoplado a bomba de succión (Anexo 3.3) para garantizar la limpieza de la misma, antes de cada inyección y evitar de esta manera la aparición de señales provenientes de contaminación de la microjeringuilla por las inyecciones realizadas previamente.

Los límites de detección establecidos por esta técnica son los siguientes: 10 ng/L para propanil, endosulfán y 2,4 D; 30 ng/L para pendimetalina y butacloro. De manera que cuando no se detecte alguno de estos analitos en una muestra, el reporte estará dado como menor del límite de detección, que indicará que no se determinó concentración apreciable arriba de ese límite de concentración inferior para esa sustancia analizada con esta técnica.

En cuanto a las adaptaciones realizadas al método EPA 1656, las más relevantes son la utilización de un detector de microcaptura de electrones (micro ECD), que supera en sensibilidad al mínimo requerido por la metodología, que es de conductividad eléctrica. Un detector de captura de electrones (ECD) es un detector de respuesta selectiva, siendo muy sensible a las moléculas que contienen grupos funcionales electronegativos tales como halógenos, peróxidos, quinonas, y grupos nitro; en cambio no es sensible a grupos funcionales como aminas, alcoholes e hidrocarburos. Es altamente sensible y no altera las muestras de manera significativa (Skoog y Leary, 1994).

Se utilizaron patrones de referencia con una pureza mayor al 96% para todas las sustancias determinadas. Utilizando diluciones independientes de cada patrón se realizaron corridas cromatográficas con las condiciones sugeridas por el método para determinar la secuencia de elusión o aparición de cada patrón. Luego, con una mezcla de los estándares preparados, se procedió a ajustar experimentalmente las condiciones para la corrida cromatográfica.

Al término de múltiples ensayos, empezando con las condiciones sugeridas en el método, y ajustándolas de manera paulatina, se determinó que las mejores respuestas y resoluciones del equipo para este ensayo se obtienen ajustando el flujo del gas acarreador a 2,0 ml/minuto (el método sugería 7 ml/min), y manteniendo una corrida isotérmica a 150 °C (el método sugería una rampa elevándose a razón de 5 °C/minuto desde 150 °C hasta 270 °C). Estos cambios fueron necesarios para mejorar la resolución (separar adecuadamente los tiempos de retención), pero manteniendo un tiempo de corrida total no extenso. Este tiempo total quedó ajustado de esta forma a corridas de 35 minutos y tiempos de retención promedio de 15,14 minutos para el propanil, 23,58 minutos para la pendimetalina, 26,26 minutos para el endosulfán I, 27,68 minutos para el endosulfán II, y 30,35 minutos para el butacloro.

3.4. Resultados y discusión

Los resultados mostrados involucran el análisis de muestras de agua colectadas durante tres visitas al área de la cuenca del río David. La primera de las visitas corresponde a la giras de inspección preliminar. Las dos últimas visitas corresponden a dos muestreos formales en los puntos elegidos para ser monitoreados en calidad de agua y contaminación por plaguicidas organoclorados.

- Muestreo Preliminar

Durante las visitas de inspección realizadas el 17 y 18 de junio de 2006, se seleccionaron cinco puntos en los cuales se tomaron muestras de agua de cinco sitios distintos, las cuales sirvieron como base para la implementación y estandarización de la metodología de análisis por Cromatografía de Gases para los compuestos seleccionados. En la Tabla 3.2 se presentan los resultados del muestreo preliminar. A continuación se presentan los detalles de los puntos de muestreo preliminares y sus resultados.

La muestra A corresponde a una quebrada de riego canalizado en la parte baja de la cuenca del río David, dentro de un sembradío de arroz. El análisis de esta muestra reveló una concentración de 593,5 ng/L de propanil. El butacloro, pendimetalina, endosulfán I y II y 2,4-D no fueron detectados en esta muestra.

La muestra B fue colectada en un canal de riego que desembocaba en el cauce del río Chiriquí. No se detectaron en ella los plaguicidas organoclorados estudiados.

La muestra C se tomó en una quebrada que desemboca en el río David en su parte baja. No se encontró concentraciones detectables de los principios activos monitoreados.

La muestra D corresponde al punto PD3 (Capítulo 4), localizado en un área cafetal en la parte alta de la cuenca. No se detectó concentración de los plaguicidas seleccionados.

La muestra E, fue colectada de una quebrada en el área de Potrerillos, cerca de Cítricos S.A., y se encontró en ella señal de propanil en concentración de 14,1 ng/L.

Tabla 3.2. Resumen de Resultados del Muestreo Preliminar

MUESTREO PRELIMINAR : JUNIO DE 2006	
Muestra A: quebrada de riego canalizado en la parte baja de la cuenca del río David, dentro de un sembradío de arroz	593,5 ng/L de propanil
Muestra B: canal de riego que desembocaba en el cauce del Río Chiriquí	< LD
Muestra C: quebrada que desemboca en el río David en su parte baja	< LD
Muestra D: punto PD3 seleccionado para el monitoreo, en área de cafetal en la parte alta de la cuenca del David	< LD
Muestra E: quebrada en el área de Potrerillos, cerca de Cítricos S.A.	14,1 ng/L de propanil

LD : Límite de Detección

Para los monitoreos posteriores (dos muestreos formales) se establecieron los puntos de colecta cuya ubicación e identificación se detallaron en el Capítulo IV de esta investigación.

Los resultados de las muestras analizadas en cada una de estas giras se describen a continuación y se resumen en la Figura 3.10.

- **Primer Muestreo**

El primer muestreo se llevó a cabo desde el 15 al 17 de septiembre de 2006. Los resultados de los análisis son los siguientes:

Para ninguno de los sitios de muestreo en la cuenca se encontraron valores detectables de los plaguicidas monitoreados. Sin embargo, en esta gira se tomó una muestra adicional en un punto no previsto: charco de agua estancada ubicado en un sembradío de arroz en la parte baja de la cuenca del río David. Esta muestra se tomó debido a la sospecha de que se encontrarán rastros de plaguicidas provenientes de las labores agrícolas. En esta muestra, se encontró concentraciones de propanil (61600 ng/L), pendimetalina (138,4 ng/L), y concentraciones menores de endosulfán I y II (3000 y 6700 ng/L respectivamente). Adicionalmente en el cromatograma de esta muestra se detectaron señales claras de otros componentes no identificados, distintos de los principios activos monitoreados.

- **Segundo Muestreo**

El segundo muestreo se llevó a cabo el 12 y 13 de diciembre de 2006. En este segundo muestreo, los plaguicidas propanil, pendimetalina, endosulfán II y 2,4D no fueron detectados en las muestras colectadas. Sin embargo si en la muestra PD2 (Capítulo 4) (punto cercano a sembradío de tomates en la parte media alta de la cuenca) fue detectado el butacloro con concentración de 5550 ng/L. En el punto PD5 (Capítulo 4) (Río David, a su paso por Dolega) se encontró butacloro en concentración de 6970 ng/L y también endosulfán II en concentración de 73 ng/L.

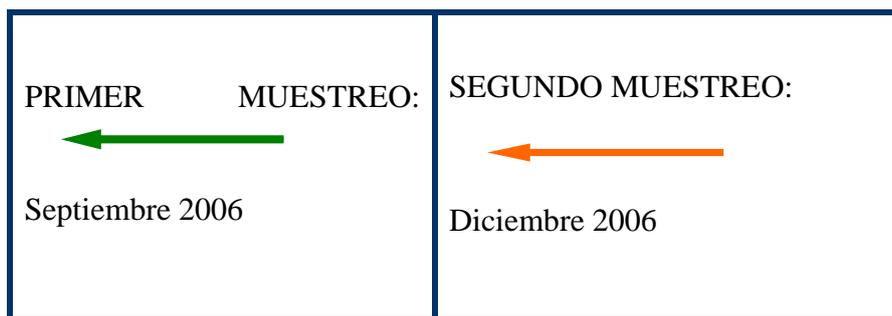
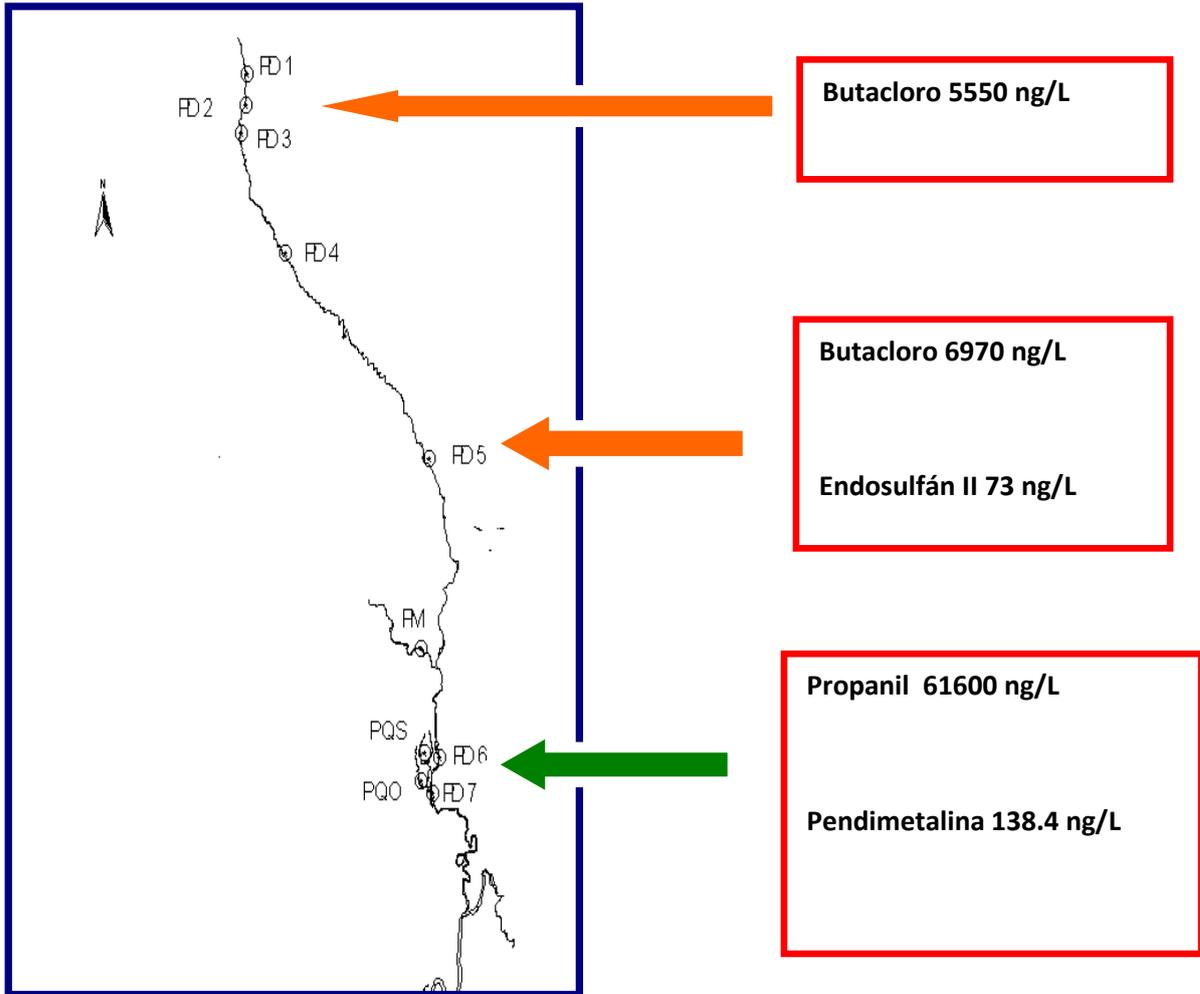


Figura 3.10. Resumen de Resultados del Primer y Segundo Muestreo

Los resultados obtenidos para los plaguicidas propanil, butacloro, endosulfán I, endosulfán II y pendimetalina (Figura 3.10), indican ($H_0 > L.D.$) que existe la presencia de trazas de estos componentes activos de plaguicidas en algunos de los puntos de colecta de muestras a lo largo del río David. Es visible en los resultados que la permanencia de los químicos no es constante en tiempo, ni espacio a lo largo del cauce del río David; sin embargo, se

comprueba el hecho de que tales componentes activos de plaguicidas tienen la capacidad de ingresar a las aguas del río en concentraciones detectables para la técnica de análisis utilizada.

Por otra parte, el 2,4D no fue detectado (Límite de detección de la técnica para el 2,4D: 10 ng/L). Debido a que $H_1 < L.D.$, es decir que $H_1 < 10$ ng/L, ya que no se encontraron concentraciones de 2,4D por encima del límite de detección del método de análisis utilizado, en ninguna de las muestras de agua tomadas.

El propanil sólo fue detectado en la muestra de agua tomada de un charco de agua acumulado en un área de sembradío de arrozales en la parte baja de la cuenca. El valor obtenido para el propanil en los análisis es un dato confirmador de que la metodología de extracción implementada es funcional y de que este plaguicida, es uno de los productos plaguicidas ampliamente utilizado durante los periodos y lugares de siembra de arrozales, ya que sólo se detectó en concentraciones apreciables en lugares bajos de la cuenca. Los resultados negativos del mismo en las otras áreas de la cuenca pueden obedecer a que su aplicación mayormente se realiza en cultivos de arroz, localizados en la parte baja de la cuenca.

La pendimetalina, igualmente sólo se encontró en este punto de agua empozada en el arrozal. Es probable que los residuos de este adopten otros mecanismos de transferencia como la precipitación junto con los sedimentos, dado su baja solubilidad en agua (Fall *et al.*, 2001) de apenas 0,3 mg/L.

El endosulfán fue encontrado en la muestra de agua empozada del muestreo preliminar, y en la muestra del punto PD5. Aunque la solubilidad de este compuesto en agua tampoco es buena (sólo es soluble 0,32 mg/L) la aparición del mismo en varios puntos se debe a la diversidad de cultivos sobre los que puede ser aplicado

El butacloro fue encontrado en un punto en la cuenca alta (PD2) y en otro en la parte media (PD5). Es probable que su nivel de solubilidad en agua (20 mg/L) lo haga más apto para permanecer en los cuerpos de corriente de la cuenca, aunque su ausencia en puntos bajos y su aparición en áreas no consecutivas y lejanas en el curso del río hace suponer que las trazas de este producto no permanecen por grandes periodos de tiempo en la masa de agua, sino que se disminuya a partir de su ingreso en ella por degradación (tiene vida media de 14 días) o por sedimentación adsorbido en las partículas de sólidos del agua (Fall *et al.* 2001, Gao *et al.* 1998).

El 2,4D, no fue detectado en ninguna de las muestras analizadas. El 2,4D es uno de los componentes activos con mayor solubilidad en agua (677 mg/L) y mayor tiempo de vida media en agua (entre 10 a 50 días o más). La ausencia del mismo puede deberse a que plaguicidas con este componente activo no se hayan estado aplicando durante las fechas de monitoreo, o que las aplicaciones no sean en cantidades apreciables para inducir concentraciones residuales en niveles detectables para la técnica de análisis.

En los resultados del primer muestreo se lograron cuantificar trazas de los plaguicidas propanil, pendimetalina y endosulfán I y II solamente en una muestra que provino de una charca de agua dentro de un terreno en el cual ya se había realizado la cosecha de arroz, lo cual indica que el río David y sus afluentes poseen gran capacidad de depuración de los plaguicidas que ingresan a su masa de agua, ya sea por el carácter de baja hidrofilia de los

mismos plaguicidas (NLM, 2005); sin embargo, se ve el efecto acumulativo en las trazas detectadas en agua estancada y con cantidad apreciable de sedimentos. Pese a esta condición, en el segundo muestreo si se determinó la presencia de butacloro y endosulfán en aguas de la parte media y alta de la cuenca, lo cual es indicio que este herbicida conocido comúnmente como machete (butacloro) también es utilizado para actividad de control de malezas en dicha área. Pero en cualquiera de los casos, la presencia de este producto ya sea en las masas de agua o en los sedimentos tendrá la capacidad de producir efectos poco deseados sobre los ecosistemas con los que entre en contacto. Aunque los resultados obtenidos son alentadores, en el aspecto de que estos plaguicidas estudiados no se encuentran permanentemente a lo largo de la cuenca, gracias a factores atribuibles a las mismas características del río (su velocidad y caudal), o a las propiedades de los plaguicidas (vida media moderada y solubilidades en agua limitadas). No se debe desestimar que los mismos pudieran estarse depositando en sedimentos, por lo cual es recomendable ampliar este estudio a esta matriz, y aumentar la frecuencia de los ensayos al agua de la cuenca para determinar tendencias estacionales en la concentración de los mismos.

La Resolución N°155 de 7 de junio de 1999 del Ministerio de Salud indica, por ejemplo, que el valor máximo permisible de pendimetalina y de propanil en agua para consumo humano no debe exceder de 20 microgramos por litro (20000 ng/L). Aún cuando los valores encontrados de estos productos pueden parecer bajos si son comparados con sus límites permisibles en agua potable, es importante prestar importancia a los fenómenos de transferencia de estas sustancias como la biomagnificación en especies que son parte de la cadena alimenticia del hombre, por lo cual es necesario no sólo mantener un programa de monitoreo de estas sustancias, sino implementar medidas que conlleven a su uso racional y eficiente.

3.5. Conclusiones

En el presente estudio se logró levantar un inventario de los productos utilizados como plaguicidas en la cuenca del río David durante las aplicaciones sobre los diversos cultivos que se producen en la región.

Entre los ingredientes activos que predominan en los productos plaguicidas, se eligieron algunos representativos atendiendo sus vidas medias y características fisicoquímicas particulares.

Los resultados obtenidos en los análisis evidenciaron que estos ingredientes activos se encontraron en bajo nivel y de manera dispersa en las aguas del río David, sus afluentes e incluso en un punto de la cuenca en una charca en la matriz suelo; sin embargo, las concentraciones de los mismos son un llamado de atención sobre la necesidad de implementar programas de monitoreo constantes no sólo en el agua, sino en el suelo y los sedimentos de la región para cubrir todo el espectro de posibilidades de acumulación, acción y afectación de estos productos sobre los ecosistemas.

El monitoreo de trazas de plaguicidas en la cuenca, siendo esta un área de predominante actividad agrícola, se convierte en una actividad indispensable para un mejor manejo y gestión ambiental de la cuenca, ya que se ha determinado que las sustancias monitoreadas sí tienen la capacidad para llegar al cauce de los ríos, en los cuales indudablemente entrarán en el ciclo de interacción con los ecosistemas, con efectos aún insospechados, lo

cual es aún más preocupante si se considera que el río David es la principal fuente de abastecimiento de agua para todas las comunidades en la cuenca.

Se abordó y desarrolló en detalle las técnicas de monitoreo y de análisis de plaguicidas por la técnica de Cromatografía de Gases, la cual puede servir de guía y apoyo para la adaptación e implementación de otras técnicas de análisis de compuestos orgánicos relevantes en el campo de la contaminación del ambiente.

3.6. Recomendaciones

Se recomienda ampliar este estudio y aumentar la frecuencia de los ensayos al agua de la cuenca, para determinar tendencias estacionales en la concentración de los mismos.

Mantener un programa de monitoreo de estas sustancias e implementar medidas que conlleven a su uso racional y eficiente.

Implementar programas de monitoreo constantes no sólo en la matriz agua, sino también en el suelo y los sedimentos de la región, para cubrir todo el espectro de posibilidades de acumulación, acción y afectación de estos productos sobre los ecosistemas.

Usar la técnica de Cromatografía de Gases como guía y apoyo para la adaptación e implementación de otras técnicas de análisis de compuestos orgánicos relevantes en el campo de la contaminación del ambiente.

El prestador de los servicios de abastecimiento de agua debe coordinar convenios con laboratorios especializados, para facilitar el uso de los equipos necesarios para llevar a cabo investigaciones semejantes o con fines de analizar la presencia de plaguicidas, principalmente en fuentes de agua para consumo.

3.7. Bibliografía (Capítulo 3 y Anexo 3)

- American Water Works Association (AWWA - 2001). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Edición 21.
- Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM - 2007). Diseño de la red de monitoreo de la calidad del agua en las cuencas hidrográficas del río Caimito y el río Chiriquí. Panamá, República de Panamá.
- Bellama, J. y Umland, J. (2000). Química General. Tercera edición. Thomson Learning. México.
- Chang, R. (2007). Química. Novena edición. McGraw Hill. México.
- Contraloría General de la República. 2000. Panamá en Cifras, Años 1990 – 2000. Panamá, República de Panamá.
- Contraloría General de la República de Panamá. Estadística y Censo (2001). Sexto Censo Nacional Agropecuario. Panamá, República de Panamá.
- Dickson, T. (1983). Química Enfoque Ecológico. Editorial Limusa. México. 406 p.
- Domínguez, V. (2006). Implementación de un Sistema de Gestión de Cuencas Tomando como Base de Respuesta la Unidad Ecosistémica del Río David. Informe de Avance del Proyecto ID 147. Panamá, República de Panamá.
- Edifarm Internacional Centroamérica (EIC - 2001). VADEAGRO 2001 EDIFARM. Quito, Ecuador. Primera Edición.

- Environmental Protection Agency (EPA - 2003). Methods and Guidance for the Analysis of Water. Estados Unidos.
- Espinosa, J. (2003). Manual Técnico. Muestreo para el Control de la Calidad de Plaguicidas Agrícolas. Ministerio de Desarrollo Agropecuario de Panamá. Panamá, República de Panamá.
- Extension Toxicology Network (Exttoxnet – 2007). Pesticides by Group. Extracto de la página web www.ace.orst.edu/info/exttoxnet/
- Fall, C.; Chaouki, J.; Chavarie, C. (2001). Desorptive Behavior of Pentachlorophenol (PCP) and Phenanthrene in Soil-Water Systems. Water Environment Research, Vol. 72, No. 2.
- Gao, J. P.; Maghum, J.; Spitzauer, P.; Kettrup, A. (1998). Sorption of Pesticide in the Sediment of the Teufelsweiher Pond (Southern Germany). I: Equilibrium Assesments, Effects of Organic Carbon Content and pH. Water Research, Vol. 32, No. 5.
- Hassall - Kenneth A. (1990). The Biochemistry and Uses of Pesticides. Segunda Edición. Estados Unidos.
- Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales (IDAAN - 2002).
- La Grega, M.D., Buckingham, P.L., Evans, J.C. and Environmental Resources Management. (2001). Hazardous Waste Management. Mc Graw Hill. Boston, U.S.A.
- Larry, C. (1998). Manual de Evaluación de Impacto Ambiental. 2 ed. Editorial Mc Graw-Hill. México.
- Meneses, J. (2003). Calidad del Agua en la microcuenca Los Hules- Tinajones, Cuenca del Canal de Panamá. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. Editora CATIE.
- Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA – 2002). Dirección Nacional de Sanidad Vegetal. Departamento de Agroquímicos. Sección de Registro. Insumos Fitosanitarios Registrados en la República de Panamá. Panamá, República de Panamá.
- National Library of Medicine (NLM - 2005): <http://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search>
- Palm, R. (2007). Pesticide Use in Rice Cultivations in Tarapoto, Perú. Master`s thesis. Swedish University of Agricultural Sciences, Sweden.
- Requena, G. (2005). Evaluación de la Calidad Fisicoquímica y Bacteriológica del Agua de la Subcuenca del Río David. Trabajo de Graduación para optar por el título de Licenciatura en Química. Universidad Autónoma de Chiriquí. Provincia de Chiriquí, República de Panamá.
- Sánchez, V; Mendelewicz, M; Coto, J; Valdés, J. (1991). Química Analítica Experimental. 4 impresión. Departamento de Química, Universidad Nacional Heredia. Costa Rica.
- Seoáñez, M. (1995). El Gran Diccionario del Medio Ambiente y de la Contaminación. Mundi-Prensa, Madrid. España.
- Skoog, et al. (2005). Fundamentos de Química Analítica. Octava edición. Thomson. México.
- Skoog, D. y Leary, J. (1994). Análisis Instrumental. Cuarta Edición. McGraw Hill. España.
- Tebbutt, T. (2002). Fundamentos de Control de Calidad del Agua. 3 ed. Editorial Limusa. México.
- Verschueren, K. (1983). Handbook of Environmental Data on Organic Chemicals. Segunda Edición.

CAPÍTULO 4.

MAPAS Y BIOINDICADORES DE CALIDAD DEL AGUA.

4.1. Antecedentes

El agua es uno de los elementos más importantes y trascendentales que existen para el desarrollo de muchos aspectos de la vida del hombre (social, comercial, etc.), de ello proviene la importancia de cuidarla y conservarla.

El estudio de los cambios estructurales de la biota en ecosistemas lénticos o lóticos, propone que las formas de establecer cambios significativos en forma simple, es a través de una evaluación rápida de la biodiversidad, y esto se puede lograr mediante la descripción de macroinvertebrados bentónicos (Muñoz *et al.*, 2001).

Mediante el uso de mapas de calidad de agua se presenta una nueva metodología propuesta por el Centro de Europa-Latinoamérica (EULA) de Chile en el Programa de Monitoreo del río Biobío (Parra *et al.*, 2004), en la cual se observan en gráficas de barra, los valores obtenidos de los parámetros de calidad del agua por estación. El color de la barra representa la clase de calidad (excepcional, muy buena, buena, regular o mala) en la que se encuentra el cuerpo acuático en cada una de sus estaciones, según la Norma de Lombardía.

Para hacer más fácil el entendimiento del comportamiento de los parámetros de calidad del agua a lo largo del río en las estaciones de estudio, se propone el desarrollo de otro juego de gráficas en las cuales se muestre el valor promedio de los resultados obtenidos en las campañas de monitoreo de cada parámetro, y de esa forma observar la tendencia a la que tienden los valores a lo largo del río, también, con la ayuda de la herramienta estadística de la desviación estándar, en la misma gráfica, se representan los valores máximos y mínimos del parámetro a estudiar en el mismo punto.

Los procesos de degradación de la naturaleza y los consiguientes efectos negativos en el orden socioeconómico se inician con la conversión de los bosques a otros usos de la tierra, que en la mayoría de los casos no son sostenibles. Así mismo, se presenta la reducción en la disponibilidad y calidad del agua, como efecto de la alteración del ciclo hidrológico y de la contaminación hídrica (Meléndez, 2003).

El concepto de protección de la calidad de las captaciones contempla la protección de las fuentes de abastecimiento frente a los procesos contaminantes que puedan inutilizar el suministro. Por otra parte, el concepto de protección del recurso estaría destinado a asegurar que el agua, que se mantiene sin explotar pueda conservar sus cualidades (Fernández, 2004).

La calidad del agua, se define como las características de las aguas que pueden afectar su adaptabilidad a un uso específico, en otras palabras, es la relación entre la calidad del agua y las necesidades del usuario. También la calidad del agua se puede definir por su contenido de sólidos y gases, ya sea que estén presentes en suspensión o en solución (Córdoba, 2002).

Las principales fuentes de abastecimiento de agua potable e industrial son los ríos, en la mayoría de los casos son también cuerpos de agua que reciben descargas urbanas e

industriales, como es la situación que ocurre en el río David que, además de ser la principal fuente de abastecimiento de agua potable de la región, sustenta otros usos de gran importancia económica (Requena, 2005). Entre estos usos destacan los siguientes:

- Riego de áreas importantes a través de una red de canales, con un número total de usuarios que alcanzan a 6700 personas.
- Pesca de subsistencia en las riberas del río David y sus afluentes, Majagua y Soles.
- Recreación con contacto directo por turistas y la comunidad ribereña a lo largo de la trayectoria del río, con dos infraestructuras dedicadas a esta actividad.
- Turismo de paseo que aprovecha la combinación del paisaje y el río, disponible en la mayor parte de la cuenca.
- Abastecimiento de agua para la industria alimentaria y forestal, aportan gran cantidad de desechos.
- Abastecimiento de agua para una población de 122087 personas.
- Receptor de efluentes industriales y domésticos.

Este uso múltiple del recurso hídrico genera la necesidad de disponer de un sistema de clasificación de la calidad de sus aguas, que permita una visión general acerca de la aptitud de uso y estado ecológico y ambiental de estos recursos.

Por otra parte, de acuerdo al modo en el que la contaminación se produce y a su forma de llegada a la fuente de agua, se puede distinguir entre contaminación difusa y contaminación puntual. La contaminación no puntual es resultado generalmente de las actividades agropecuarias, como lo son el uso de plaguicidas, fertilizantes, excretas de animales, que por escorrentía llegan a cuerpos acuáticos, en este caso el río.

La contaminación no puntual o difusa no se produce por la descarga desde un lugar único y específico, sino que generalmente resulta de la escorrentía, precipitación, percolación; y se presenta cuando la tasa a la cual los materiales contaminantes que entran en el cuerpo de agua o agua subterránea, exceden los niveles naturales. Este tipo de contaminación es difícil de identificar, medir y controlar (Córdoba, 2002).

Este tipo de contaminación aparece en zonas amplias en las que coexisten múltiples focos de emisión, lo que dificulta el estudio de los contaminantes y su control individual; ya que no tienen un punto claro de ingreso en los cursos de agua que los reciben, también la contaminación difusa puede ser causada por:

- Uso excesivo de fertilizantes y plaguicidas en las prácticas forestales.
- Explotación excesiva de los acuíferos que facilita que las aguas salinas invadan la zona de aguas dulces, por desplazamiento de la interfase entre los dos tipos de aguas.

Es importante tener en cuenta que los análisis de diversas formas de degradación ambiental, donde los macroinvertebrados bentónicos ofrecen una interesante visión de los parámetros de calidad ambiental, están relacionados con la evaluación de impacto ambiental (EIA) en la cuenca (Castillo y Moreno, 2006).

La contaminación difusa además puede provocar situaciones especialmente preocupantes con el paso del tiempo, al ir saturándose, lenta pero continuamente zonas muy extensas.

Es importante señalar que la contaminación puntual es producida por un emisor determinado afectando a una zona concreta, lo que permite una mejor difusión del vertido. Su detección y control son relativamente sencillos. Un ejemplo sería la descarga directa de aguas residuales a los cuerpos de agua, sean estos de origen industrial o doméstico.

Las descargas resultado de las actividades industriales se encuentran entre las que producen mayor contaminación en el agua, ya que los vertidos de sus procesos industriales se realizan muchas veces sin un tratamiento adecuado o ausencia del mismo. El contenido de contaminantes que presentan son innumerables dependiendo del tipo de producción; la contaminación que originan se puede deber a la gran variedad de materiales y fuentes de energía que pueden aportar al agua: materia orgánica, metales pesados, incremento de pH y temperatura, aceites, grasas y otros (Fernández, 2004).

Las industrias alimenticias y agropecuarias, proveen grandes cantidades de materia orgánica residual y con ellas concentraciones de nitrógeno y fósforo, que pueden ser mayores contribuyentes al fenómeno de eutrofización, que las aguas residuales municipales. El origen de la emisión de muchos microorganismos es de industrias con alto contenido de carga orgánica; por otra parte el agua de refrigeración de las calderas y otros artefactos de las empresas, retornan al medio acuático en grandes cantidades, causando una disminución de la solubilidad del oxígeno (Kiely, 1999).

Las sustancias presentes en las heces humanas son una mezcla de compuestos orgánicos y minerales no disueltos (contaminación de origen doméstico). Los compuestos orgánicos son las grasas, jabones, proteínas, glúcidos y los productos provenientes de su descomposición, detergentes, aceites, minerales y otros desperdicios de origen animal. Cuando las aguas de origen doméstico contaminadas entran en contacto con agua destinada para uso potable, pueden transmitir su carga de bacterias y virus eventualmente presentes y causar enfermedades (Meneses, 2003).

Con respecto a la calidad de las aguas naturales, una característica de la mayoría de las aguas es que contienen una amplia variedad de microorganismos que forman un sistema ecológico balanceado. Los tipos y números de los diferentes grupos de microorganismos presentes están relacionados con la calidad del agua y otros factores ambientales (Tebbutt, 2002).

Existe un importante equilibrio termodinámico entre las especies y el ecosistema de los cuales los insectos acuáticos están ubicados en un nivel importante. El balance de este equilibrio es sensible a actividades humanas, y entre los primeros grupos que se pueden afectar por un desequilibrio, se encuentran los macroinvertebrados (Jorgensen *et al.*, 2002).

Mediante ensayos sobre la capacidad de organismos de sobrevivir en presencia de niveles de estrés, se ha descubierto el desarrollo de los niveles de tolerancia de los macroinvertebrados bentónicos, por ello pueden ser utilizados como indicadores de condición del agua (Bressler *et al.*, 2006).

Se ha encontrado que hay factores (agroquímicos, etc.) que de una u otra manera distorsionan la calidad del suelo, afectando organismos sensibles como los macroinvertebrados y la densidad de especies que son factores importantes en la determinación de la calidad de un ecosistema (Stone *et al.*, 2005).

Mediante la revisión de diferentes enfoques que han contribuido al desarrollo conceptual y metodológico del uso de macroinvertebrados como herramienta indicadora de calidad ecológica de los ríos, se ha descubierto la eficacia de estos (Segnini, 2003). También en la investigación de contaminantes de origen antrópico o inducido, que son vertidos en cuerpos de aguas, se aplica el análisis de sensibilidad físico-químico, que ofrecen los insectos acuáticos en los sistemas lóticos (Salusso y Moraña, 2002).

El estudio de macroinvertebrados es importante para evaluar la calidad de las aguas mediante el uso de medidas de diversidad, y un análisis de agrupación si existe pérdida de información al utilizar niveles jerárquicos, destacando que el nivel de familias en macroinvertebrados bentónicos es suficiente para la realización de monitoreos ambientales (Figuroa *et al.*, 2005). Esto es importante ya que una vez hecho todo lo descrito, los datos son clasificables y no tan difíciles de analizar y ser representados en gráficas para su mayor entendimiento. También mediante el uso de estos datos se pueden desarrollar modelos matemáticos que permitan la simulación y evolución del comportamiento de diferentes parámetros en función de un caudal X (Oyarzún, 2004).

Desde los 70's se vienen realizando importantes estudios de la potencialidad de microinvertebrados como indicadores de la calidad biológica en los sistemas lénticos, por su capacidad de integrar información temporal, obteniendo resultados que comprueban la eficacia de estos organismos para reflejar la condición de la calidad del agua (Figuroa *et al.*, 2003).

Además se puede procesar simultáneamente la información subjetiva que viene de los expertos y la información objetiva recopilada mediante datos. Esto resulta interesante si se reconoce que la asignación de los valores de indicación para los organismos en un sistema de bioindicación es una labor subjetiva, que depende del conocimiento de la taxonomía de los diferentes grupos de organismos acuáticos y la biogeografía de los mismos (Gutiérrez *et al.*, 2006).

En la provincia de Panamá y en el resto del país el estudio de la calidad de agua, se ha incrementado en los últimos años, teniéndose como referencia, estudios realizados por la Autoridad Nacional del Ambiente, que ha desarrollado distintos Informes de Monitoreo de la Calidad de Agua (ANAM, 2002-2008), que entre sus objetivos está el crear una base de datos sobre las condiciones de la calidad del agua en Panamá, teniendo en cuenta diferentes cuencas a lo largo del país; y la Autoridad del Canal de Panamá (ACP, 2003-2005), Informe de la Calidad de Agua de La Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá. Sin embargo, durante muchos años, todos los recursos eran considerados disponibles para cualquier uso antrópico, sin tener en cuenta la calidad o las necesidades para los usos ambientales (Fernández, 2004).

Criterios para clasificar la calidad del agua

Normativa de Lombardía

Para la etapa I del Programa de Monitoreo del río David, en el muestreo del cuerpo acuático, se adaptó el criterio de clasificación del Plan de Saneamiento del Agua de la región de Lombardía (Italia).

Otras Normativas y Manuales de Referencia

Para el muestreo de las descargas se seguirá lo establecido en la norma DGNTI-COPANIT 35-2000, en su artículo 4 correspondiente a muestreos y análisis de “Descargas de efluentes líquidos directamente a cuerpos y masas de agua superficiales y subterráneas”.

Área de estudio

En la cuenca del río David se presentan diversas características, entre las que se pueden mencionar:

El relieve presenta montañas medias, altas, así como valles intermontanos. Las pendientes del área presentan valores que varían de fuertes a abruptas; y en los valles de suaves a moderadamente inclinadas, en las montañas y cimas, el suelo es delgado con capacidad agrológica baja y el drenaje es de bueno a excesivo. En las zonas bajas los suelos son más anchos con una capacidad agrícola buena (IGNTG, 1988). En estas áreas se cultiva mayormente cítricos, café, caña y arroz en las zonas más bajas.

La geología está formada por una formación de origen volcánico. Se pueden mencionar basaltos, andesitas, cenizas, aglomerados, brechas y sedimentos volcánicos entre otros. También hay formaciones de tipo sedimentario compuesto por aluviones, sedimentos consolidados, areniscas, conglomerados y lutitas carbonosas (MICI, 1991).

En el área de estudio se encuentran las siguientes zonas de vida según el sistema de clasificación de Tosi (1971). Bosque húmedo tropical, bosque premontano, bosque húmedo montano bajo y bosque muy húmedo montano bajo. No obstante el área de estudio está rodeada de bosque ribereño, con diferentes alteraciones del uso de suelo como cultivos, sabanas y vegetación secundaria pionera (Batista, 2003).

Descripción de las estaciones de muestreo

La Tabla 4.1 entrega los códigos de cada una de las estaciones de muestreo y la ubicación en que se encuentran en coordenadas geográficas (UTM). Las once estaciones de muestreo corresponden a las monitoreadas en las salidas a terreno. Siete estaciones se localizan en el curso principal del río David, una en el río Majagua (afluente), una en la quebrada Sapo, una en la quebrada Obaldía y una en la descarga de la ciudad de David (Figura 4.1).

La selección de las estaciones de muestreo se realizó, sobre la base de información relativa a las propiedades del ecosistema fluvial y sus usos prioritarios.

Tabla 4.1. Descripción de las estaciones de muestreo.

Código	Sitio	Coordenadas UTM	
		X	Y
PR	Río David	331939.000	963317.000
PD1	Río David	331990.510	963546.390
PD2	Río David	332191.080	962029.620
PD3	Río David	332004.810	960992.850
PD4	Río David	335157.070	955447.820
PM	Río Majagua	343567.004	937845.468
PD5	Río David	344163.801	946143.666
PD6	Río David	344745.318	932504.718

Código	Sitio	Coordenadas UTM	
		X	Y
PD7	Río David	344235.660	931324.900
**	Descarga principal de aguas residuales de David.		
PQS	Quebrada del Sapo	344149.380	932672.530
PQO	Quebrada de Obaldía	344131.990	931486.130

Curso principal del río David

Parte alta de la cuenca: Conformadas por las estaciones de muestreo: Punto de referencia (PR) y Puntos de control PD1, PD2. Corresponde a un segmento del río David ubicado desde el nacimiento del río, en Palmira del Banco hasta el distrito de Potrerillos arriba. En este tramo, el río tiene características típicas de rítrón (zona de transición) o río de montaña, con aguas de mucha velocidad y bajas temperaturas, asociados a la fuerte pendiente del cauce. En este tramo, el río está bordeado por bosque ribereño y vegetación nativa, en el sector de los cafetales, el río es sombrío. En el área siguiente, Potrerillos Arriba, el río tiene menor pendiente que la anterior, también encuentran las primeras poblaciones ubicadas dentro de la cuenca en la parte alta. Las actividades que se desarrollan son: actividades agrícolas, como cultivos de caña, maíz y café, además de pastoreo en algunas áreas.

Parte media de la cuenca: Conformada por la estación de muestreo: Punto de control PD3 y PD4. Corresponde a un tramo de la zona terminal del río en rítrón, ubicado desde el distrito de Potrerillos hasta Dolega. En esta zona el río tiene menor pendiente que la anterior, los sectores de remansos y rápidos suceden de manera más espaciada y las piedras entre 3” y 4” de diámetro (tipo canto de río) del fondo, empiezan a distribuirse en menor cantidad. Las actividades que se desarrollan en este sector de la cuenca son: pastoreo, cultivo de naranja.

Parte baja de la cuenca: Conformadas por las estaciones de muestreo: PD5, PD6, PD7, PQS, PQO. Correspondiente al tramo ubicado desde el distrito de Dolega hasta su confluencia con el río Chiriquí. Incluye la parte alta del sector potamal del río David. En este sector el lecho del río se expande considerablemente y pierde pendiente. Además, es un sector muy asoleado. Este tramo recibe a los principales tributarios del río David, correspondientes a los ríos Majagua y Soles. También recibe los aportes de las pequeñas quebradas como el Sapo y Obaldía, ubicadas en la ciudad de David. Parte de la vegetación de las áreas ribereñas está dominada por bosque ribereño y bosque secundario intervenido. Se puede mencionar que se desarrollan actividades de pastoreo.

Principal afluente del río David: Río Majagua: (Estación PM). Una zona con características transicionales entre rítrón y potamón, de baja pendiente, entre el Majagua y su confluencia con el río David. Dentro de esta zona, el sector superior del río está conformado por una serie de remansos con fondos arenosos, separados por algunos rápidos pedregosos. Gran parte de las riberas están ocupadas por bosque secundario intervenido.

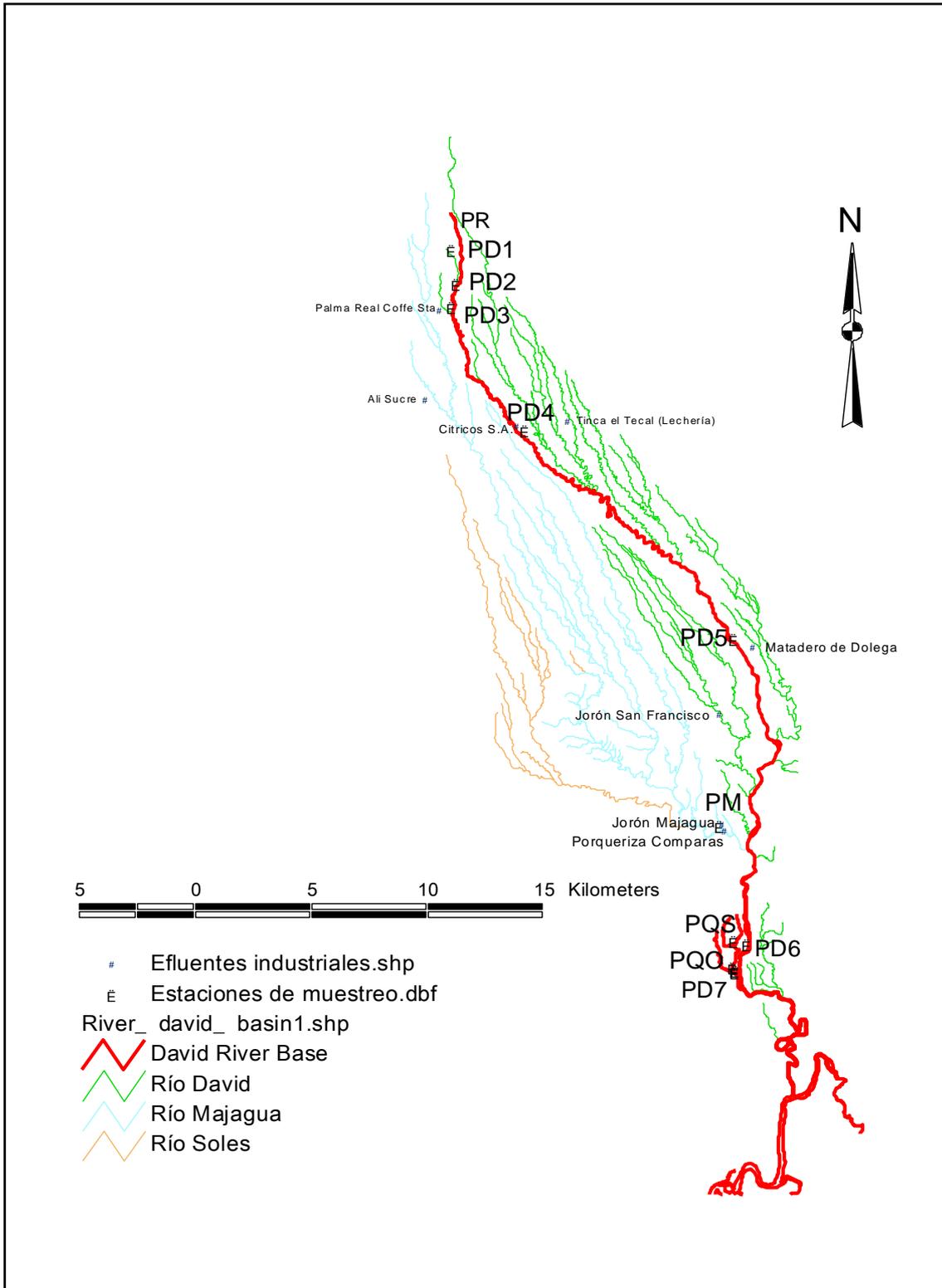


Figura 4.1. Estaciones de muestreo e industrias que descargan sus aguas al río David.

4.2. Objetivos

- Establecer e iniciar un programa de monitoreo puntual de calidad de agua a lo largo de río David.
- Estimar parámetros físico-químicos selectos en las estaciones de estudio.
- Levantar un mapa de calidad del agua del río David (para parámetros específicos).
- Colectar muestras de insectos acuáticos utilizando el muestreador Surber.
- Identificar la composición taxonómica de las comunidades de insectos acuáticos del eje principal del río David y establecer el grado de influencia de la contaminación de la calidad del agua con respecto a estas comunidades.
- Establecer la distribución de los insectos acuáticos como posible respuesta a la contaminación puntual y no puntual.
- Crear base de datos físico-químicos, biológicos (insectos acuáticos) y espaciales para la cuenca del río David.

4.3. Metodología

4.3.1. Etapas de la investigación

La investigación consta de tres etapas:

- (i) Evaluación de la calidad ambiental del río David, a través de la utilización de mapas que representen la caracterización físico-química del cuerpo de agua, que apoyen en el proceso de la toma de decisiones para la gestión de los usos de agua dentro de la cuenca.
- (ii) Reconocimiento de la distribución de insectos acuáticos a lo largo del eje de la cuenca del Río David.

ETAPA I: Para las campañas de monitoreo se realizó la medición de 10 parámetros de calidad del agua en: las siete estaciones del curso principal, una estación en el Río Majagua, una en las quebradas Sapo y Obaldía (respectivamente) y la descarga principal de la ciudad de David. Los parámetros escogidos son: Temperatura, pH, Conductividad Eléctrica, Oxígeno Disuelto, Coliformes Fecales, Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO₅), Sólidos Suspendidos Totales, Nitrógeno Total, Fósforo Total y Demanda Química de Oxígeno (DQO). La razón por la cual se han escogido estos parámetros, es que los siete primeros, de acuerdo a distintos autores, como la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA-1997), Fundación de Sanidad Nacional de los Estados Unidos (1970 en Garmendia *et al.*, 2005) y Autoridad Nacional del Ambiente (2005 y 2006) se encuentran entre las variables más representativas de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental (NAS) y el Índice de Calidad del Agua (ICA). En cuanto a los tres últimos parámetros además de ser indicadores de contaminación de origen doméstico, también pueden ser indicadores de contaminación difusa, a través del transporte de Nitrógeno, Fósforo y químicos hasta al eje principal de la cuenca (estos tres últimos forman parte de otra fase de la investigación, por lo que no se discutirán con detalle en este estudio).

La muestra para análisis microbiológico se obtuvo llenando de agua los frascos previamente esterilizados, simulando una llave de agua y abriendo el frasco bajo el agua para evitar su contaminación. Previamente se cebará el frasco con agua de río repetidamente. Los frascos

contenedores de la muestra se introdujeron en bolsas plásticas y fueron transportados al laboratorio a 5 °C (Parra *et al.*, 2004).

Los métodos de almacenamiento, preservación, análisis y límite de detección de las muestras.

ETAPA II: Estudio de la distribución y composición de insectos acuáticos, así como su posible relación con los parámetros hidrológicos, físico-químicos y biológicos, es un método muy utilizado por los ecólogos como herramienta para el análisis de impactos a lo largo de una cuenca, causados por las múltiples actividades humanas que se dan alrededor de un ecosistema (Ruiz y Rincón, 2002).

La toma de muestras en el campo se llevó a cabo con un muestreador Suber, el cual es una red de mano con una abertura de 250 μm y un área de 0.1 m^2 , que se introdujo en el fondo del río contra corriente, mientras se removió el sustrato durante 10 segundos (Molina *et al.*, 2006). La captura de los insectos acuáticos se realizó con el método (KiKing) haciendo un recorrido aproximado de 2 pies de longitud y un esfuerzo de muestreo de aproximadamente 2 minutos siguiendo las pautas.

En primer lugar, se seleccionó un segmento del río que contara con un rápido con piedras en el fondo de 5 a 10 cm. de diámetro, asentadas sobre piedras más pequeñas.

Luego se colocó el muestreador Surber en la parte del rápido con flujo principal y profundidad entre 10 y 40 cm., sujetando su marco de metal fuertemente contra el fondo del río.

Se retiraron las piedras más grandes que se encuentran dentro del marco del muestreador, se agitaron y limpiaron para que los invertebrados fueran llevados por la corriente hacia el fondo del muestreador. Estas piedras se colocaron en un recipiente para ser revisadas posteriormente.

Después de un minuto, se retiró el muestreador del agua y se llevó a la orilla, donde se procedió a extraer los insectos que se encuentran en el colector y la malla del Surber. También, se recolectaron los insectos que se encontraban en las piedras retiradas inicialmente. Los insectos fueron colocados en un recipiente y preservados en alcohol al 70%, al cual se le coloca una etiqueta con todos los datos de colecta. En cada rápido se tomaron 3 muestras o réplicas, en dirección río arriba, distanciadas con un mínimo de 1.5 m. Este procedimiento se repite en dos rápidos más, en dirección río arriba. De tal manera que se muestrean 3 rápidos y se toman nueve muestras o réplicas en cada uno de los ríos seleccionados (Roldán y Álvarez, 2006).

En el laboratorio, usando estereoscopios de disección, las muestras fueron limpiadas para dejar solamente los insectos acuáticos. Después de esto, se separaron los individuos en órdenes para posteriormente clasificarlos hasta familia y en algunos casos hasta género, utilizando principalmente las claves de Merritt y Cummins (1996) y Roldán (1998). También, los individuos morfológicamente semejantes de cada réplica son agrupados consistentemente en morfoespecies.

En los cálculos de los insectos acuáticos no se tomaron en cuenta las pupas por el poco conocimiento que se posee en la clasificación de éstas. Tampoco se incluyeron los adultos

de aquellos órdenes que viven fuera del agua, con excepción de los Hemiptera y Coleoptera.

Es importante tener en cuenta la importancia de los macroinvertebrados en los niveles de desarrollo de los ecosistemas tropicales, donde su existencia puede llegar a ser un factor importante para determinar las características físicas de un habitat, su distribución espacial y las interacciones que se pueden dar entre los seres vivos, son indicadores de buena o mala calidad del medio que los rodea (Arrington *et al.*, 2005).

Anteriormente se han realizado ensayos en los cuales se obtuvieron muestras de macroinvertebrados bentónicos de la parte alta las márgenes de los ríos, tomando sedimentos para el análisis de su composición y las características físico-químicas a lo largo de su recorrido, dando como resultados la disminución de las especies aguas abajo. Las muestras fueron guardadas en bolsas plásticas, etiquetadas en formol al 4%, luego se limpiaron en el laboratorio y se guardaron en envases que permitan su mejor conservación y estudio (Blanco-Belmonte y Rosales, 2005).

Es importante en todo estudio el poder unir todos los aspectos que lo abordan; para este caso el análisis de los resultados de la calidad físico-química del agua y el estudio de los insectos acuáticos serán integrados, en un sistema que facilite su entendimiento.

4.3.2. Parámetros analizados

A lo largo de las campañas de monitoreo se sugiere la medición de 10 parámetros de calidad del agua (Tabla 4.2) en: las siete estaciones del curso principal, una estación en el río Majagua, una en las quebradas Sapo y Obaldía (respectivamente) y la descarga principal de la ciudad de David, generados por el Proyecto: Implementación de un Sistema de Gestión de Cuencas utilizando como Base de Respuesta, la Unidad Ecosistémica del Río David.

De estos parámetros, Temperatura, pH, Conductividad eléctrica, Oxígeno Disuelto (O₂), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Nitrógeno Total, Fósforo Total y Coliformes Fecales están incluidos en las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para Aguas Continentales Superficiales y Aguas Marinas (NAS).

4.3.2.1. Toma de muestras

En aquellas estaciones de muestreo en que el curso de agua tenía un ancho inferior a 15 m se procedió a tomar una muestra puntual desde el centro del cauce. Las muestras para análisis microbiológicos se obtuvieron vaciando el agua desde el balde a frascos previamente esterilizados, simulando una llave de agua y abriendo el frasco bajo el agua para evitar su contaminación. Previamente se desinfectó el balde con alcohol y se cebó con agua de río repetidamente. Los frascos contenedores de la muestra se introdujeron en bolsas plásticas y fueron transportados al laboratorio a 5 °C (Parra *et al.*, 2004).

El muestreo de la descarga puntual se realizó a horas pico.

Tabla 4.2. Métodos de almacenamiento, preservación, análisis y límite de detección de las muestras.

Parámetros	Tipo de Envase	Lugar de Análisis	de Preservación	Tiempo de Conservación (días)	Unidad de Medida
Temperatura	-	Terreno	-	(a)	°C
Conductividad	-	Terreno	-	(a)	μS/cm
pH	Plástico o vidrio	Terreno	-	(a)	
Oxígeno disuelto	Vidrio (esmer.)	Laboratorio	MnSO ₄ en solución yoduro alcalino	-	mg/L
Sólidos susp.	Plástico o vidrio	Laboratorio	Refrigeración*	1	mg/L
DBO ₅	Plástico o vidrio	Laboratorio	Llenar envase, enfriar 4 °C. Oscuridad.	1	mg/L
DQO	Plástico o vidrio	Laboratorio	H ₂ SO ₄ a pH <2 + Ref.	30	mg/L
N-Total	Plástico o vidrio	Laboratorio	H ₂ SO ₄ a pH <2 + Ref.	7	mg/L
P-Total	Vidrio	Laboratorio	H ₂ SO ₄ a pH <2 + Ref.	30	mg/L
Coliformes fecales	Vidrio estéril	Laboratorio	Refrigeración*	0,25	NMP/100ml

4.3.2.2. Medición de parámetros *in situ*

Las mediciones *in situ* fueron realizadas en una muestra de agua contenida en un envase plástico de 5 litros, inmediatamente obtenida la muestra. La temperatura, pH y conductividad se determinará mediante un medidor multiparámetros.

4.3.3. Análisis de laboratorio

Los análisis químicos y microbiológicos fueron realizados en los laboratorios de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Universidad Tecnológica de Panamá.

4.3.4. Clases de calidad asociadas a la protección de aguas continentales superficiales

El criterio utilizado para determinar las clases de calidad fue la “Guía para el establecimiento de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para Aguas Continentales Superficiales y Aguas Marinas”, diseñada por el Departamento de Control de la Contaminación de la Comisión Nacional del Ambiente de Chile (CONAMA, 1997) en ausencia de una norma o guía nacional.

Según las NAS, las clases de calidad asociadas a la protección de las aguas continentales superficiales para la protección y conservación de las comunidades acuáticas y para los usos prioritarios son las siguientes:

Excepcional: Indica un agua de mejor calidad que la clase 1, que por su extraordinaria pureza y escasez, forma parte única del patrimonio ambiental de la República. Esta calidad es adecuada para la conservación de las comunidades acuáticas y usos definidos cuyos requerimientos de calidad sean inferiores a esta clase.

Clase 1 (Muy buena calidad). Indica un agua apta para la protección y conservación de las comunidades acuáticas, para el riego irrestricto y para los usos comprendidos en las clases 2 y 3.

Clase 2 (Buena calidad). Indica un agua apta para el desarrollo de la acuicultura, de la pesca deportiva y recreativa, y para los usos comprendidos en la clase 3.

Clase 3 (Regular calidad). Indica un agua adecuada para bebida de animales y para riego restringido.

Las clases de calidad comprendidas entre la Clase de Excepción y la Clase 3, son aptas para la captación de agua para potabilizarla, dependiendo del tratamiento a utilizar.

Clase 4 (agua de mala calidad), aguas que exceden los límites establecidos en la futura norma de calidad para la clase 3, no adecuada para la conservación de las comunidades acuáticas ni para los usos prioritarios a los que se hace referencia anteriormente, sin perjuicio de su uso en potabilización con tratamiento apropiado y/o para aprovechamiento industrial.

4.3.5. Representación gráfica de las clases de calidad

En los resultados de calidad físico-química del agua se explica el comportamiento de datos obtenidos en estaciones de estudio durante tres campañas de muestreo, mediante las cuales se buscó analizar 11 parámetros de calidad de agua.

A partir de cada parámetro se diseñó un mapa de calidad, que muestra la distribución espacial de puntos que representan los valores promedios de las 3 campañas de monitoreo,

de estos promedios se obtuvo una línea que muestra la tendencia de los datos a lo largo del eje de la cuenca.

De cada punto promedio se consiguió el valor numérico de la desviación estándar, que como herramienta estadística útil, ayuda a tener una aproximación de que tanto se alejan los valores mínimos y máximos obtenidos en cada estación de estudio del resultado promedio de los parámetros por estación (Brenson *et al.*, 2001).

Luego con la ayuda estadística del 66 percentil, obtenido también de las campañas de monitoreo y la norma de Lombardía se analiza el valor obtenido por parámetro en cada estación, y se clasifican según la norma (Parra *et al.*, 2004).

En la segunda parte de los resultados se presentan los 7 principales parámetros por campaña, a partir de gráficas de barras; la representación de estas gráficas se basan en las clases de calidad establecidas en la NAS (valores máximos y mínimos de los distintos compuestos para las aguas superficiales) (CONAMA, 1997). Los mapas de calidad del agua se mostrarán en gráficos de barras, presentando la clase de calidad obtenida para cada parámetro por estación de monitoreo.

En los gráficos elaborados, el tamaño de cada barra representará el valor obtenido de un determinado parámetro en términos porcentuales respecto de la máxima concentración registrada para ese parámetro durante esta campaña, considerando todas las estaciones de muestreo (curso principal y afluentes). El color en tanto, representará la clase de calidad (Parra *et al.*, 2004).

En cada estación de estudio se analizaron siete parámetros individualmente, donde la altura de la barra representa el porcentaje en referencia al valor máximo obtenido a lo largo de la cuenca, y con la norma de Lombardía se categorizó dándole a cada barra un color a partir del resultado obtenido en la campaña de monitoreo.

Suponiendo el seguimiento del programa de monitoreo por el municipio de David, los mapas podrán ser actualizados anualmente (estación seca, estación de transición y estación lluviosa), según lo requerimientos del municipio de David. A partir de estos resultados se podrá:

(i) Medir los niveles de contaminantes seleccionados en las aguas de la cuenca, (ii) Evaluar los cambios en las concentraciones de los contaminantes seleccionados, de acuerdo a la dimensión espacial y temporal, (iii) Aportar con información útil para caracterizar la calidad del agua, en lugares de uso estratégico, y en el futuro evaluar mejoramientos tecnológicos implementados por los usuarios.

4.3.6. Cronologías de muestreo

4.3.6.1. Campaña 1 (Diciembre 2006)

Los muestreos se realizaron la segunda semana de Diciembre de 2006, según se detalla en el siguiente cronograma:

Tabla 4.3. Cronograma de actividades para campaña 1.

Mes	Día	Sitios de muestreo
Diciembre	11	PD1, PD2
	12	PD3, PD4, PD5, PM
	13	PD6, PD7, PQS, PQO

4.3.6.2. Campaña 2 (Mayo 2007)

Los muestreos se realizaron la primera semana del mes de mayo de 2007, según se detalla en el siguiente cronograma:

Tabla 4.4 Cronograma de actividades para campaña 2.

Mes	Día	Sitios de muestreo
Mayo	4	PD1, PD2, PD3, PD4
	5	PR, PD5, PM, PD6, PD7
	6	PQS, PQO

4.3.6.3. Campaña 3 (Octubre 2007)

Los muestreos se realizaron la cuarta semana del mes de octubre de 2007, según se detalla en el siguiente cronograma:

Tabla 4.5. Cronograma de actividades para campaña 3.

Mes	Día	Sitios de muestreo
Octubre	26	PR, PD1, PD2, PD3, PD4, PD5, PM
	27	PD6, PD7, PQS, PQO

4.4. Resultados y discusión

4.4.1. Tablas y gráficas de calidad del agua utilizando la Norma de Lombardía

A partir de tres campañas de monitoreo con las cuales se busca estudiar la calidad del agua del río David, para las cuales se analizan 10 parámetros, considerados elementales, para la determinación de la calidad de agua, con la ayuda de mapas de calidad, se puede observar

cómo se comportan los parámetros de calidad de agua a lo largo del eje de la cuenca del río David en tres épocas distintas (seca, transición y lluviosa).

Su base fue la adecuación de la norma de Lombardía (Italia), a la cuenca del río David, tomando como referencia el Plan de Monitoreo del Río Biobío (Chile) entre los años 1994-2004 (Parra *et al.* 2004).

4.4.2. Estadística y análisis de la calidad del agua del río David

4.4.2.1. Parámetros

Temperatura

Es una medida del calor y se produce principalmente a consecuencias de las radiaciones calóricas por capas de aguas superficiales (Cárdenas, 2006).

Al observar la Tabla 4.6 y comparar la estación de descarga de la ciudad de David (PD7du) con la norma nacional DGNTI COPANIT 35-2000, se observa que los valores promedios, para la temperatura, cumplen con la norma nacional.

Tabla 4.6. Resultados de campañas de monitoreos para el parámetro temperatura en el río David.

	PR	PD1	PD2	PD3	PD4	PD5	PM	PD6	PQS	PQO	PD7a	PD7du	PD7de
CAMPAÑA1		19,1	20	20,4	22,5	23,7	25,33	25,9	28,2	29,1	27,4		27,6
CAMPAÑA2	19,60	18,50	19,50	20,50	24,10	24,70	26,10	28,30	28,20	28,80	27,30	26,20	27,30
CAMPAÑA3	18,80	18,50	20,70	19,20	21,40	23,20	25,40	21,50	27,00	26,90	25,20	26,40	25,30
ESTACIONES	PR	PD1	PD2	PD3	PD4	PD5	PM	PD6	PQS	PQO	PD7a	PD7du	PD7de
promedio	19,20	18,70	20,07	20,03	22,67	23,87	25,61	25,23	27,80	28,27	26,63	26,30	26,73
DS	0,57	0,35	0,60	0,72	1,36	0,76	0,43	3,45	0,69	1,19	1,24	0,14	1,25
percentil 66	19,33	18,69	20,22	20,43	23,01	24,02	25,62	26,67	28,20	28,90	27,33	26,33	27,40

Definiciones: Río principal (PD), afluentes (PM, PQO, PQS) y descarga de la ciudad de David (PD7du). **Unidades para la temperatura °C**

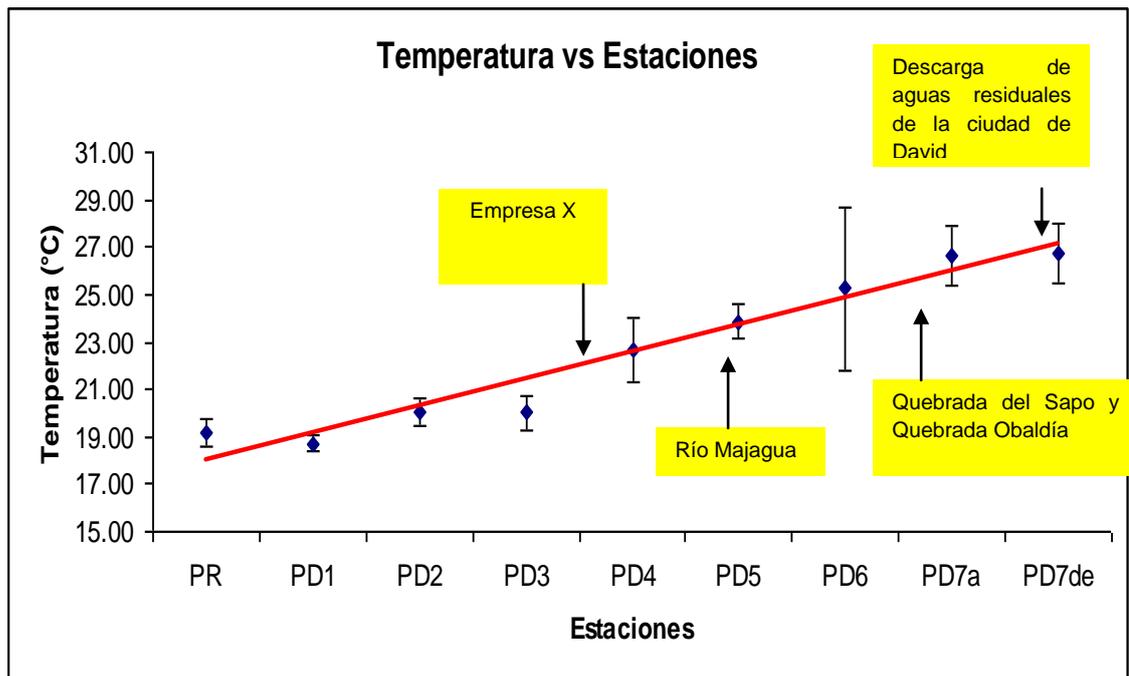


Figura 4.2. Variación (promedio y desviación estándar) del parámetro temperatura a lo largo del eje del río David.

En lo referente al 66 percentil (Tabla 4.6) para el parámetro temperatura, se puede indicar que todos los valores clasifican, según la NAS, en clase excepcional, a lo largo de todas las estaciones de muestreo en el río David.

La línea de tendencia al aumentar la temperatura a lo largo del eje del río David (Figura 4.2) puede ser resultado de la disminución de la altura, ya que el estudio se realizó desde la toma de aguas del Banco de Palmira hasta Dolega (PR) en la parte alta de la cuenca hasta el punto de descarga de aguas residuales de la ciudad de David (PD7) en la parte baja de la cuenca.

pH

El pH típicamente va de 0 a 14 en disolución acuosa, siendo ácidas las disoluciones con pH menores a 7, y básicas las que tienen pH mayores a 7. El pH = 7 indica la neutralidad de la disolución.

El 66 percentil para el parámetro pH (Tabla 4.7), a lo largo de la cuenca del río David, indica clase excepcional, la cual de acuerdo a la NAS, es óptima para la existencia de comunidades acuáticas y todo tipo de usos humanos.

Al comparar la estación de descarga de aguas residuales de la ciudad de David (PD7du) para el parámetro pH (Tabla 4.7), con la norma nacional DGNTI COPANIT 35-2000, se observa que los valores promedios cumplen con la norma nacional.

Tabla 4.7. Resultados de las campañas de monitoreo para el parámetro pH en el río David (PD), afluentes (PM, PQO, PQS) y descarga de la ciudad de David (PD7du).

	PR	PD1	PD2	PD3	PD4	PD5	PM	PD6	PQS	PQO	PD7a	PD7du	PD7de
CAMPAÑA1		5,16	6,61	6,87	6,03	6,35	6,62	6,24	6,25	6,63	6,56		6,89
CAMPAÑA2	7,09	7,9	5,27	6,26	7,8	7,96	6,68	7,56	7,47	7,99	7,24	6,74	7,74
CAMPAÑA3	6,64	6,53	6,8	6,9	5,9	6,46	5,4	6,74	6,63	6,24	7,9	7,58	7,75
ESTACIONES	PR	PD1	PD2	PD3	PD4	PD5	PM	PD6	PQS	PQO	PD7a	PD7du	PD7de
promedio	6,87	6,53	6,23	6,68	6,58	6,92	6,23	6,85	6,78	6,95	7,23	7,16	7,46
DS	0,32	1,37	0,83	0,36	1,06	0,90	0,72	0,67	0,62	0,92	0,67	0,59	0,49
percentil 66	6,94	6,97	6,67	6,88	6,60	6,94	6,64	7,00	6,90	7,07	7,45	7,29	7,74

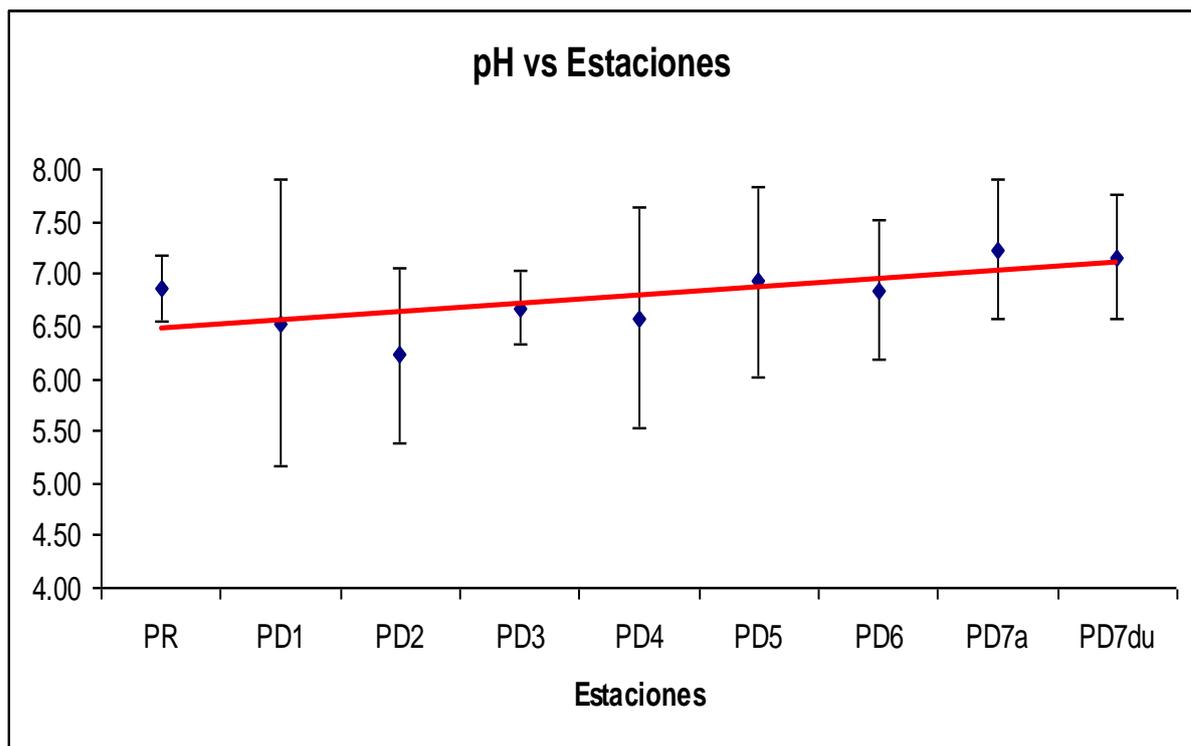


Figura 4.3. Variación (promedio y desviación estándar) del parámetro pH a lo largo del río David.

A lo largo de la cuenca y durante las tres campañas de monitoreo, la línea de tendencia muestra que el pH (Figura 4.3) tiene un comportamiento neutro, con una propensión a basidificarse.

La ligera tendencia a basificarse puede deberse a la escorrentía de partículas de suelos, ya que en etapas anteriores del proyecto se demostró que en las partes alta y media de la cuenca alta (origen volcánico), los resultados de pH en suelos se iban mostrando más ácidos (Capítulo 1).

Conductividad

En la estación PD7de, ubicada después del punto de descarga de aguas residuales de la ciudad de David (Tabla 4.8), muestra un aumento de la conductividad, debido al alto contenido de sólidos disueltos que contienen las aguas residuales que son descargas al río David.

En cuanto al 66 percentil para el parámetro conductividad (Tabla 4.8), en todos los puntos a lo largo del eje de la cuenca, los valores encajaron en el rango de clase excepcional, que es agua de excepcional calidad, según las NAS, óptima para la existencia de vida acuática y todo tipo de usos humanos.

Tabla 4.8. Resultados de campañas de monitoreo para el parámetro conductividad en el río David (PD), afluentes (PM, PQO, PQS) y descarga de la ciudad de David (PD7du).

	PR	PD1	PD2	PD3	PD4	PD5	PM	PD6	PQS	PQO	PD7a	PD7du	PD7de
CAMPAÑA1		0,055	0,056	0,37	0,049	0,069	0,055	0,062	0,157	0,172	0,084		0,405
CAMPAÑA2	0,034	0,067	0,064	0,041	0,06	0,106	0,06	0,076	0,2	0,023	0,082	0,591	0,085
CAMPAÑA3	0,022	0,071	0,037	0,065	0,037	0,054	0,026	0,054	0,059	0,171	0,017	0,307	0,062
ESTACIONES													
ESTACIONES	PR	PD1	PD2	PD3	PD4	PD5	PM	PD6	PQS	PQO	PD7a	PD7du	PD7de
promedio	0,028	0,064	0,052	0,159	0,049	0,076	0,047	0,064	0,139	0,122	0,061	0,449	0,184
DS	0,008	0,008	0,014	0,183	0,012	0,027	0,018	0,011	0,072	0,086	0,038	0,201	0,192
percentil 66	0,030	0,068	0,059	0,163	0,053	0,081	0,057	0,066	0,171	0,171	0,083	0,494	0,187

Unidades de Conductividad en mS/cm

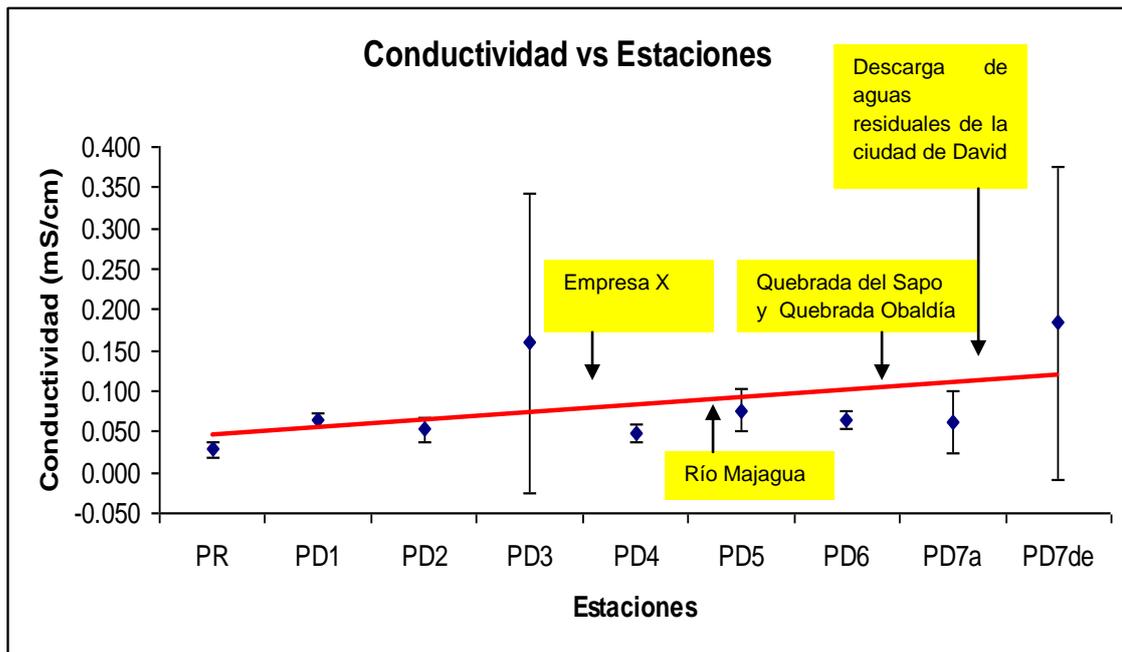


Figura 4.4. Variación (promedio y desviación estándar) del parámetro conductividad a lo largo del eje del río David.

La conductividad muestra a lo largo de la cuenca y durante las tres campañas de monitoreo (Figura 4.4), una línea de tendencia ascendente y una distribución estándar amplia en las estaciones PD3 y PD7de.

En la estación PD3, la variación en los valores de la desviación estándar puede deberse presumiblemente a la actividad agrícola de siembra de tomates que se encuentra cercano al PD2, en la cual el uso de agroquímicos con contenido de sales disueltas o de minerales en el agua (mineralización), pueden causar el aumento de la conductividad.

Sólidos Suspendedos

Al comparar la estación PD7du (Tabla 4.9) con la norma nacional DGNTI COPANIT 35-2000, para el parámetro de sólidos suspendidos, se puede apreciar que no se cumple con la norma, puesto que el límite máximo permisible es 35mg/l, mientras que el valor promedio del parámetro es 83.5 mg/l.

El 66 percentil para los sólidos suspendidos (Tabla 4.9), de las estaciones: PR, PD1, PD2, PD4, PD5, PD6, PM, PQO, PQS y PD7a, encajan en clase excepcional. El resultado para la estación PD7de, demuestra una baja en la calidad de clase excepcional a clase 1 (influenciada por la descarga de la ciudad de David PD7du), esta clase indica un agua óptima para usos agrícolas y vida acuática.

Tabla 4.9. Resultados de campañas de monitoreo para el parámetro sólidos suspendidos en el río David (PD), afluentes (PM, PQO, PQS) y descarga de la ciudad de David (PD7du).

	PR	PD1	PD2	PD3	PD4	PD5	PM	PD6	PQS	PQO	PD7a	PD7du	PD7de
CAMPAÑA1		1	2	1,4	1	2,4	4,3	2	2	1,7	3		50
CAMPAÑA2	5	1	1	2	8	3	5	8	6	2	3	113	9
CAMPAÑA3	6	2	2	2	1	2	4	1	3	5	5	54	21
ESTACIONES	PR	PD1	PD2	PD3	PD4	PD5	PM	PD6	PQS	PQO	PD7a	PD7du	PD7de
promedio	5,50	1,33	1,67	1,80	3,33	2,47	4,43	3,67	3,67	2,90	3,67	83,50	26,67
DS	0,71	0,58	0,58	0,35	4,04	0,50	0,51	3,79	2,08	1,82	1,15	41,72	21,08
percentil 66	5,66	1,32	2,00	2,00	3,24	2,59	4,52	3,92	3,96	2,96	3,64	92,94	30,28

Unidades para sólidos suspendidos mg/L.

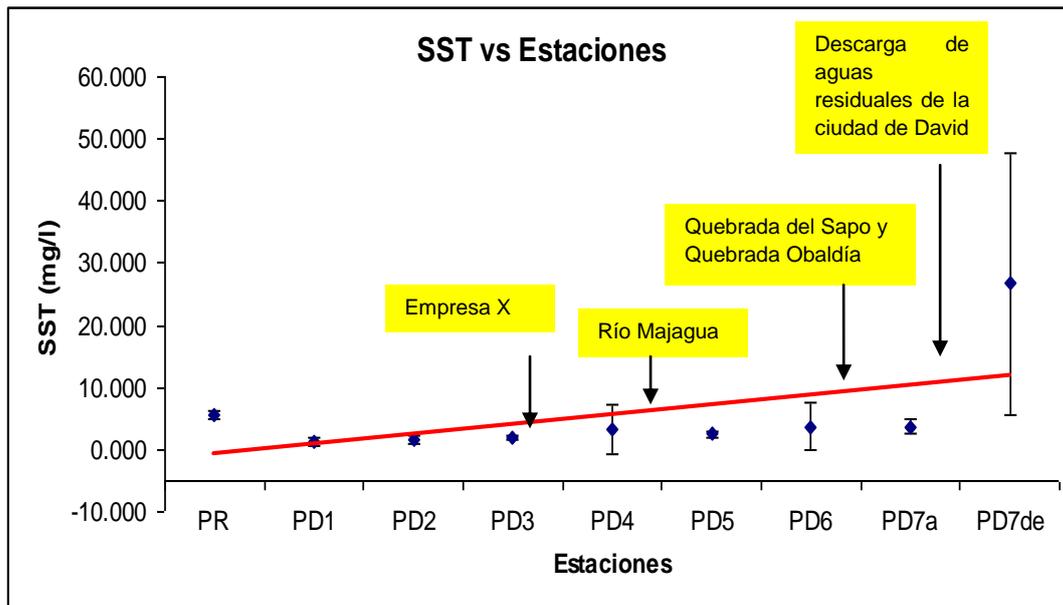


Figura 4.5. Variación (promedio y desviación estándar) a lo largo del eje del río David para el parámetro sólidos suspendidos.

Como se observa en la Figura 4.5 los sólidos suspendidos muestran una línea de tendencia ascendente a lo largo del eje longitudinal de la cuenca del río David, los valores de desviaciones estándar son bajos, no muestran ninguna variación abrupta, hasta llegar al PD7du y PD7de, puesto que en el primero es justo el punto de descargas de aguas residuales de la ciudad de David, y el segundo esta como a 500 m aguas abajo, pero se observa una notable disminución de concentración y desviación estándar, lo cual da a

entender que en este punto se puede presumir que por las características físicas del río, este puede ser capaz de diluir en promedio, entre el PD7du y el PD7de, alrededor del 70% la cantidad de sólidos suspendidos producto de la descarga de aguas residuales.

Oxígeno Disuelto

El oxígeno disuelto es un elemento indispensable en la vida de los animales y las plantas, tanto terrestres como acuáticas, en los cuerpos de agua destinados para consumo humano la presencia de oxígeno disuelto es un indicador de una calidad de agua buena.

Los valores de desviación estándar no varían representativamente durante las 3 giras de muestreo. En la estación PD7du (Tabla 4.10), la cantidad de oxígeno promedio presente en el agua es mínima, lo que repercute en la concentración de oxígeno disuelto de la estación PD7de, observando una disminución del valor promedio del oxígeno con respecto al PD7a.

Tabla 4.10. Resultados de campañas de monitoreo en el Río David para el parámetro oxígeno disuelto en el río David (PD), afluentes (PM, PQO, PQS) y descarga de la ciudad de David (PD7du).

	PR	PD1	PD2	PD3	PD4	PD5	PM	PD6	PQS	PQO	PD7a	PD7du	PD7de
CAMPAÑA1		7,9	8,9	7,4	7,1	8,3	8,1	8,3	3	7,6	5,9		5,4
CAMPAÑA2	9,6	10,4	9,7	9	8,8	9,7	8,7	8,5	7,7	7,6	8,9	3,2	6,8
CAMPAÑA3	8,6	8,1	8,8	7,5	7,7	7,9	7,1	8,4	6	7,6	8,4	3,2	5,9
ESTACIONES	PR	PD1	PD2	PD3	PD4	PD5	PM	PD6	PQS	PQO	PD7a	PD7du	PD7de
promedio	9,10	8,80	9,13	7,97	7,87	8,63	7,97	8,40	5,57	7,60	7,73	3,20	6,03
DS	0,71	1,39	0,49	0,90	0,86	0,95	0,81	0,10	2,38	0,00	1,61	0,00	0,71
percentil 66	9,26	8,84	9,16	7,98	8,05	8,75	8,29	8,43	6,54	7,60	8,56	3,20	6,19

Unidades de Oxígeno Disuelto mg/l

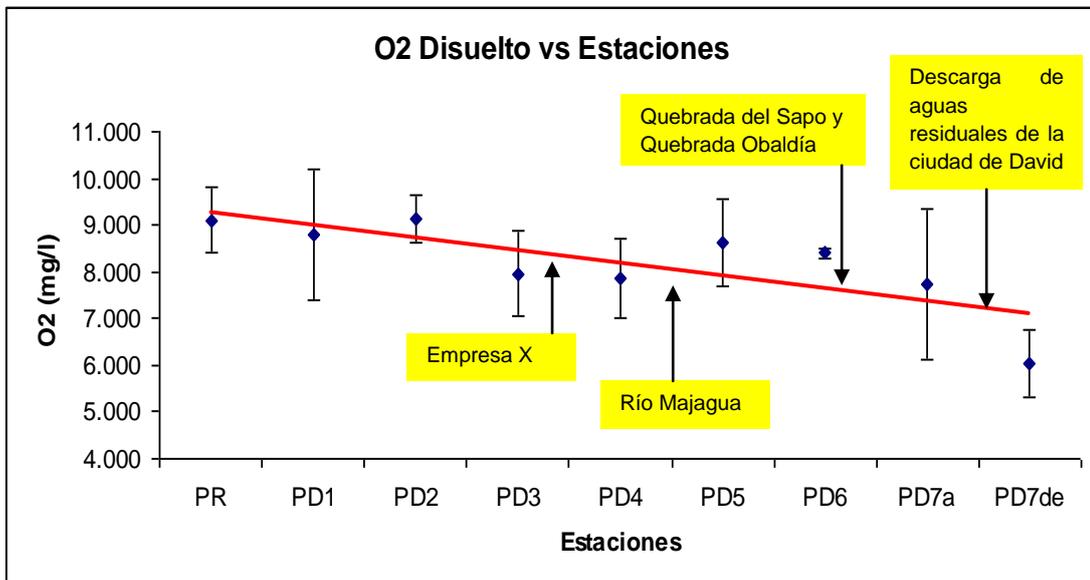


Figura 4.6. Variación (promedio y estándar) a lo largo de la cuenca del eje del río David para el parámetro Oxígeno Disuelto.

El 66 percentil para el oxígeno disuelto, en las estaciones PR, PD1, PD2, PD3, PD4, PD5, PM, PD6, PQO Y PD7a, se clasifica en la clase excepcional, que es una agua de gran calidad y pureza apta para el consumo humano y vida acuática; en las estaciones PQS y PD7de (Tabla 4.10) de los valores clasifican en la clase 1, que es un agua óptima para la vida acuática y actividades de recreación.

Como se muestra en la Figura 4.6, el oxígeno disuelto a lo largo del eje longitudinal de la cuenca muestra una tendencia a disminuir, lo cual se debe claramente a las descargas de diferentes actividades humanas a lo largo de la cuenca.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

La DBO₅ es la cantidad de oxígeno que requieren las bacterias para degradar u oxidar la materia orgánica presente en las aguas.

Para las estaciones PD4 y PD7a los resultados son clase 1 (Tabla 4.11), que es agua apta para uso humano y sostenimiento de la vida acuática, el resultado de la estación PD4 podría deberse a las actividades de la Empresa X, cuya descarga de aguas residuales se da aguas arriba de PD4.

Tabla 4.11. Resultados de campañas de monitoreo para el parámetro DBO5 en el río David (PD), afluentes (PM, PQO, PQS) y descarga de la ciudad de David (PD7du).

	PR	PD1	PD2	PD3	PD4	PD5	PM	PD6	PQS	PQO	PD7a	PD7du	PD7de
CAMPAÑA1		1,8	1,1	0,9	4,9	0,9	1,533	0,9	1,8	1	2,2		147
CAMPAÑA2	1,1	1	0,8	0,2	0,2	0,7	0,4	0,8	1,3	0,2	1,4	143	9
CAMPAÑA3	1,5	1	1	2,7	2,5	1,4	2,4	1	1,1	1	2,3	68	21
ESTACIONES													
ESTACIONES	PR	PD1	PD2	PD3	PD4	PD5	PM	PD6	PQS	PQO	PD7a	PD7du	PD7de
promedio	1,30	1,27	0,97	1,27	2,53	1,00	1,44	0,90	1,40	0,73	1,97	105,50	59,00
DS	0,28	0,46	0,15	1,29	2,35	0,36	1,00	0,10	0,36	0,46	0,49	53,03	76,45
percentil 66	1,36	1,26	1,03	1,48	3,27	1,06	1,81	0,93	1,46	1,00	2,23	117,50	61,32

Unidades de la DBO₅ mg/L

En la estación PD7de, el resultado aplica a la clase 4, que es agua de mala calidad no apropiada para uso humano, y que está ubicada después de la descarga de aguas residuales de la ciudad de David.

Al comparar la estación PD7du (Tabla 4.11) con la norma nacional DGNTI COPANIT 35-2000, se determina que los valores promedio no cumplen con la norma, puesto que esta indica que el máximo permisible es 35 mg/l y el valor promedio es 105.5 mg/l.

El 66 percentil en el parámetro DBO_5 , (Tabla 4.11) para las estaciones: PR, PD1, PD2, PD3, PD5, PM, PD6, PQS y PQO muestran resultados que encajan en la clase excepcional, que es un agua de gran calidad y pureza.

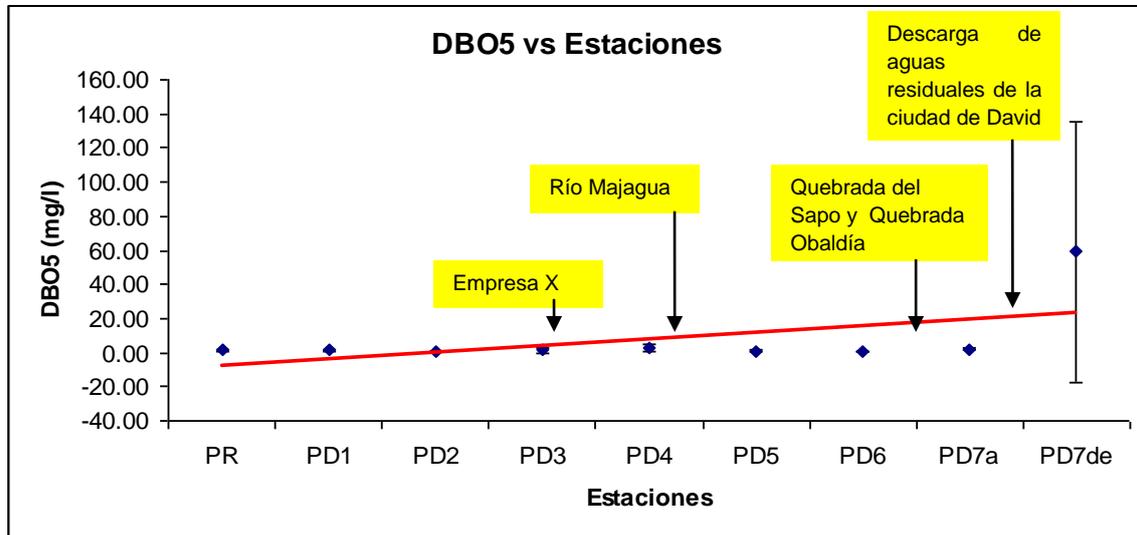


Figura 4.7. Variación (promedio y estándar) a lo largo del eje del río David para la demanda bioquímica de oxígeno (Lineal).

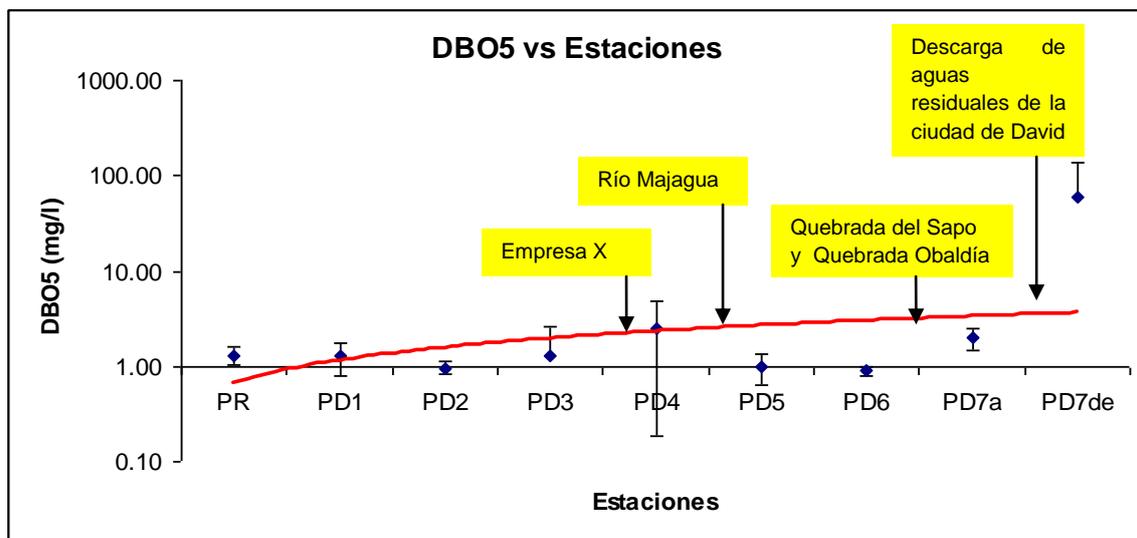


Figura 4.8. Variación (promedio y estándar) a lo largo del eje del río David para la Demanda Bioquímica de Oxígeno (Logarítmica).

La Demanda Bioquímica de Oxígeno muestra una tendencia ascendente a lo largo de la cuenca del río David (Figuras 4.7 y 4.8). Se puede observar en la mayoría de las estaciones valores de demandas bajas y valores pequeños de desviación estándar.

En la Figura 4.7, se observa el comportamiento lineal de los datos, los valores promedios obtenidos a lo largo de las tres giras son bajos y los valores de desviación estándar son difíciles de observar, excepto en el PD7de.

En la Figura 4.8, se busca entender mejor el comportamiento de los datos, debido a las grandes diferencias cuantitativas entre los valores obtenidos en las estaciones de la parte alta de la cuenca y la baja, en la escala logarítmica se aprecia mejor el comportamiento de los valores promedios en las estaciones anteriores a la descarga de aguas residuales de la ciudad de David y los valores de distribución estándar, los cuales son mínimos en las estaciones antes de la descarga de aguas residuales de la ciudad de David.

DQO

Demanda Química de Oxígeno, es la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica, sea biodegradable o no, es un parámetro analítico de contaminación que mide el material orgánico contenido en una muestra líquida mediante la oxidación química.

En ambos mapas se observa claramente los altos niveles de demanda en la estación PD7du y PD7de (Tabla 4.12), aunque igual que en los parámetros previamente vistos, ya en el PD7de, se observa una clara disminución en la demanda de alrededor del 50%, con lo cual podríamos presumir que el río David en este punto, que está a solo 500 m de la estación anterior (PD7du), puede ser capaz de diluir la DBO y por consiguiente reoxigenar las aguas del cuerpo acuático.

Tabla 4.12. Resultados de campañas de monitoreo para el parámetro DQO en el río David (PD), afluentes (PM, PQO, PQS) y descarga de la ciudad de David (PD7du).

	PR	PD1	PD2	PD3	PD4	PD5	PM	PD6	PQS	PQO	PD7a	PD7du	PD7de
CAMPAÑA1		3	2	4	7	8	4,33	3	4	13	5		170
CAMPAÑA2	3	2	2	6	3	5	2	3	4	5	10	250	26
CAMPAÑA3	5	4	4	5	7	8	6	8	5	9	7	98	64
ESTACIONES													
ESTACIONES	PR	PD1	PD2	PD3	PD4	PD5	PM	PD6	PQS	PQO	PD7a	PD7du	PD7de
promedio	4,00	3,00	2,67	5,00	5,67	7,00	4,11	4,67	4,33	9,00	7,33	174,00	86,67
DS	1,41	1,00	1,15	1,00	2,31	1,73	2,01	2,89	0,58	4,00	2,52	107,48	74,63

Unidades para DQO mg/L

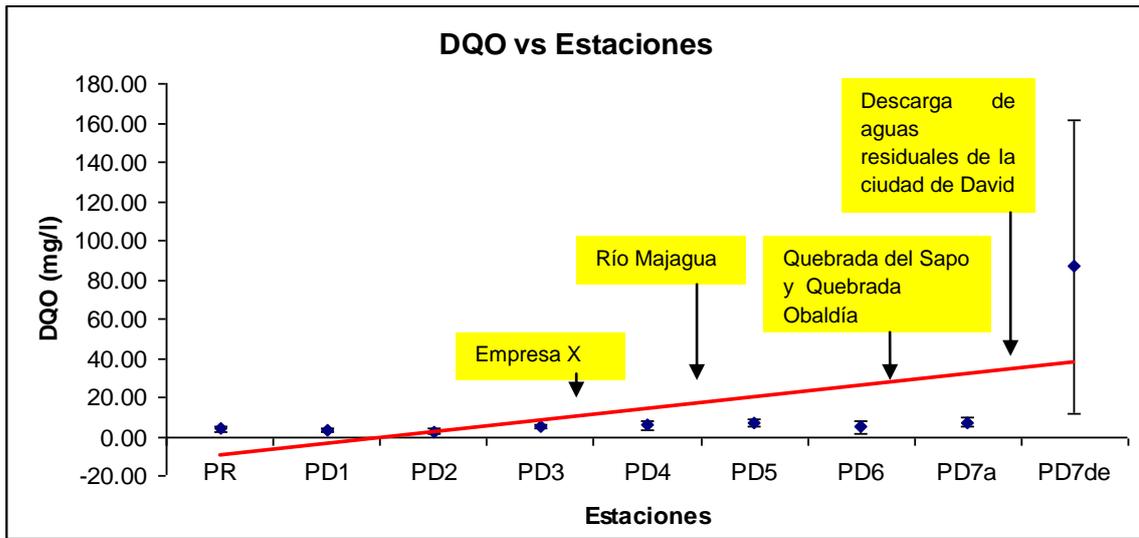


Figura 4.9. Variación (promedio y estándar) a lo largo del eje del río David para la demanda química de oxígeno (Lineal).

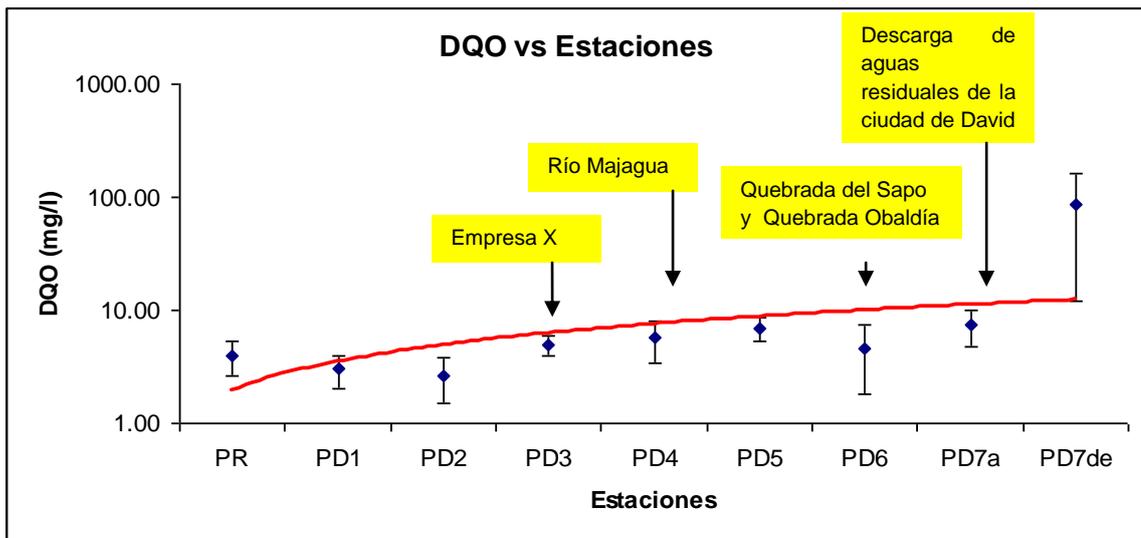


Figura 4.10. Variación (promedio y estándar) a lo largo del eje del río David para la demanda química de oxígeno (logarítmico).

Al comparar la estación PD7du para el parámetro DQO (Tabla 4.12), con la norma nacional DGNTI COPANIT 35-2000, se observa que los valores promedios cumplen con la norma nacional, ya que esta permite 100 mg/l, y los valores promedios arrojan 174 mg/l.

En la Figura 4.9, se muestra el comportamiento lineal de los datos promedios en las estaciones de estudio; sin embargo, los valores de la parte alta y media no se aprecian bien por la gran diferencia cuantitativa de los valores obtenidos en la parte baja.

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) presenta una línea de tendencia ascendente, con una gran diferencia en los valores promedios entre las estaciones de la parte baja, alta y media de la cuenca del Río David.

La abrupta diferencia se presenta en la estación PD7du, que es donde se ubica la descarga de aguas residuales de la ciudad de David.

La Figura 4.10, con la ayuda de la escala logarítmica, muestra de manera clara, la conducta de los valores promedios de la DQO obtenidos en la parte alta y media.

DBO₅/DQO

La relación DBO₅/DQO se emplea para evaluar las posibilidades de éxito de los procesos biológicos en el tratamiento de las aguas residuales (Cárdenas, 2006).

La relación DBO₅/DQO, indica el grado de biodegradabilidad de las aguas, mientras menor es este valor, menor el grado de biodegradabilidad, por ejemplo cuando la relación es menor de 0,2 es muy difícil la degradación de la materia por los microorganismos, y cuando es mayor de 0,6 es fácilmente biodegradable (Fresenius y Schneider, 1991).

Tabla 4.13. Resultados de campañas de monitoreos para el parámetro DBO₅/DQO en el río David (PD), afluentes (PM, PQO, PQS) y descarga de la ciudad de David (PD7du).

	PR	PD1	PD2	PD3	PD4	PD5	PM	PD6	PQS	PQO	PD7a	PD7du	PD7de
CAMPAÑA1		0.6	0.55	0.23	0.7	0.11	0.35	0.33	0.45	0.08	0.44		0.86
CAMPAÑA2	0.4	0.5	0.4	0.03	0.07	0.14	0.2	0.27	0.33	0.04	0.14	0.57	0.06
CAMPAÑA3	0.3	0.25	0.25	0.54	0.36	0.18	0.4	0.33	0.22	0.11	0.33	0.69	0.33
ESTACIONES	PR	PD1	PD2	PD3	PD4	PD5	PM	PD6	PQS	PQO	PD7a	PD7du	PD7de
promedio	0.35	0.45	0.40	0.27	0.38	0.14	0.32	0.31	0.33	0.08	0.30	0.63	0.42
DS	0.07	0.18	0.15	0.26	0.32	0.04	0.10	0.03	0.12	0.04	0.15	0.08	0.41
percentil 66	0.37	0.53	0.45	0.33	0.47	0.15	0.37	0.33	0.37	0.09	0.37	0.65	0.50

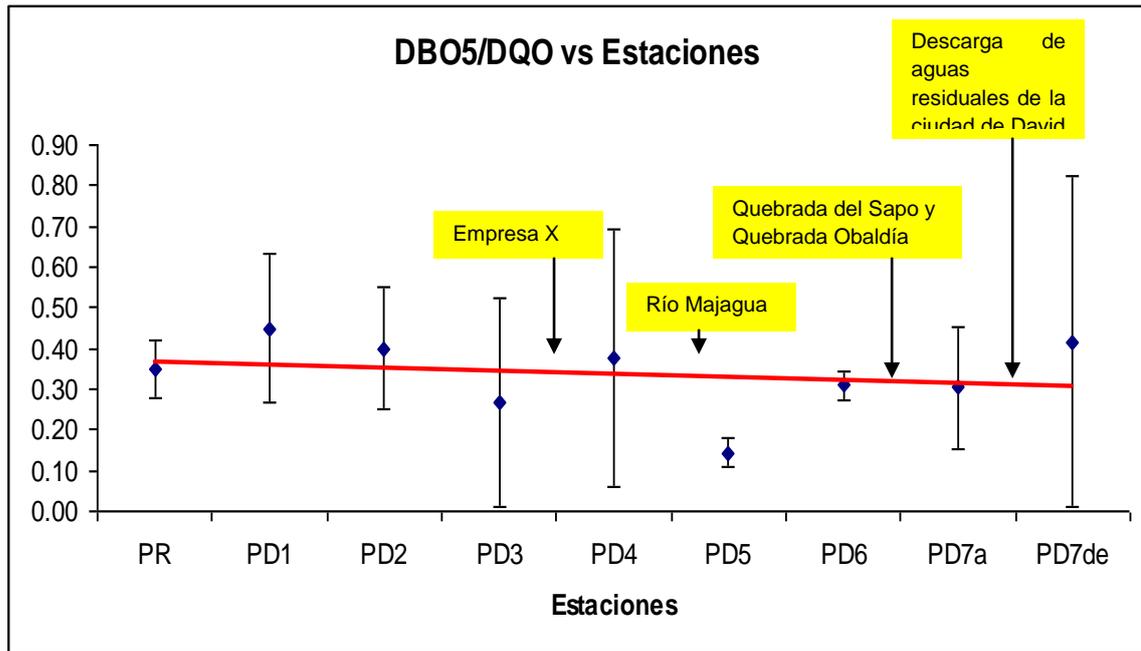


Figura 4.11. Variación (promedio y estándar) a lo largo de la cuenca del río David para el parámetro DBO₅/DQO.

En relación al punto PQO (ubicado en la Quebrada Obaldía), el valor muy bajo de 0,08, puede deberse a que a esta quebrada descargan las aguas del antiguo hospital de la ciudad de David, que en la actualidad funciona como sitio de fabricación de medicamentos.

El valor obtenido en el PR (Tabla 4.13), se presume que puede ser resultado del arrastre de aguas de escorrentía con productos químicos como herbicidas que se encuentran en el área de inicio de la cuenca.

Es necesario resaltar que en el PD5 (Tabla 4.13), el promedio de esta relación es muy bajo (0,14) lo cual indica un representativo aporte de químico (Figura 4.11), en esta área al inicio de la cuenca baja.

En el río David la relación DBO₅/DQO, se observa que la línea de tendencia a lo largo del eje principal del río, presenta una leve pendiente negativa (Figura 4.11), deduciendo, que conforme se va estudiando desde la parte alta hasta la baja de la cuenca, la capacidad de biodegradación va disminuyendo.

Coliformes Fecales

La denominación genérica coliformes, designa a un grupo de especies bacterianas que tienen ciertas características bioquímicas en común e importancia relevante como indicadores de contaminación del agua y los alimentos.

El 66 percentil para los coliformes fecales (Tabla 4.14) de los resultados, de acuerdo a la Norma Chilena NAS se comportaron de la siguiente manera: en las estaciones: PR, PD2, PD4, PD5 y PD6 se clasifican en clase excepcional, que es agua de gran calidad apta para uso humano y vida acuática; en las estaciones: PD1, PD3, PM y PQO, los resultados encajan en la clase 1, que es de buena calidad y óptima para la vida acuática; en las estaciones: PQS, PD7a, PD7du y PD7de, corresponden a una clase 4, que es agua de mala calidad, no apta para uso humano.

Tabla 4.14. Resultados de campañas de monitoreos del parámetro coliformes fecales en el río David (PD), afluentes (PM, PQO, PQS) y descarga de la ciudad de David (PD7du).

	PR	PD1	PD2	PD3	PD4	PD5	PM	PD6	PQS	PQO	PD7a	PD7du	PD7de
CAMPAÑA1		30,9	97,3	1730	31,6	159	1889	113	12700	135	20900		41000
CAMPAÑA2	190	20	96	120	320	312	422	262	4760	1918	1076	855000	30,9
CAMPAÑA3	87,1	1232	159	1090	71,4	135	142	118	129	1730	1060	22800	4860
ESTACIONES	PR	PD1	PD2	PD3	PD4	PD5	PM	PD6	PQS	PQO	PD7a	PD7du	PD7de
promedio	138,55	427,63	117,43	980,00	141,00	202,00	817,67	164,33	5863,00	1261,00	7678,67	438900,00	15296,97
DS	72,76	696,62	36,00	810,62	156,29	96,02	938,31	84,62	6357,67	979,66	11450,01	588454,26	22390,05
percentil 66	155,01	415,25	117,04	1294,80	150,95	207,96	891,44	164,08	7300,80	1790,16	7419,68	572052,00	16424,80

Unidades Formadoras de Colonias (UFC)/100 ml

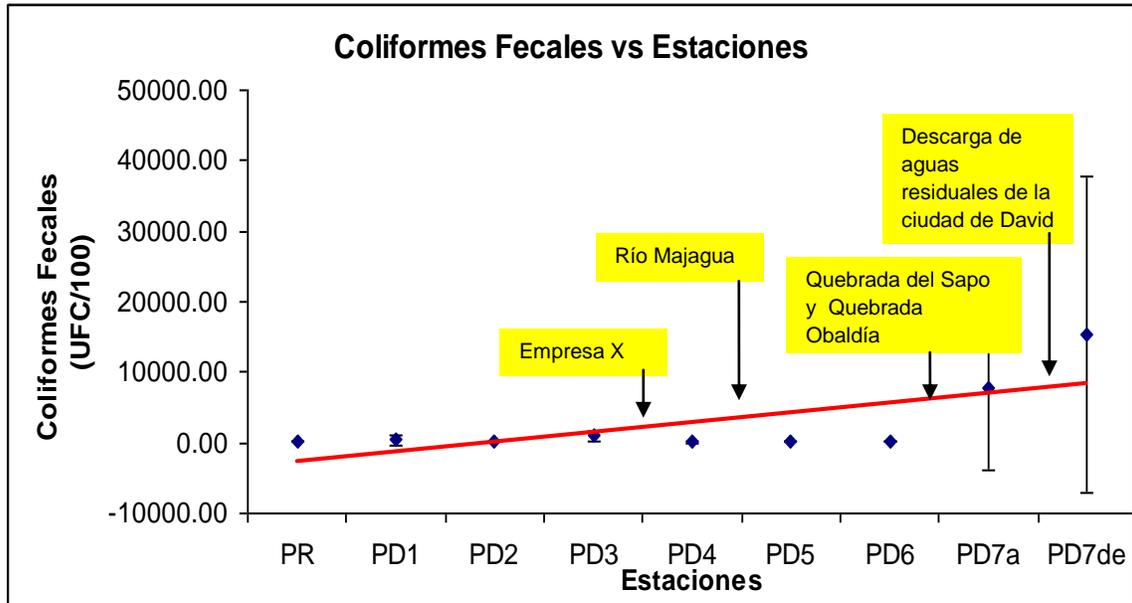


Figura 4.12. Variación (promedio y desviación estándar) a lo largo del eje del río David para el parámetro coliformes fecales en UFC/100mL (comportamiento lineal).

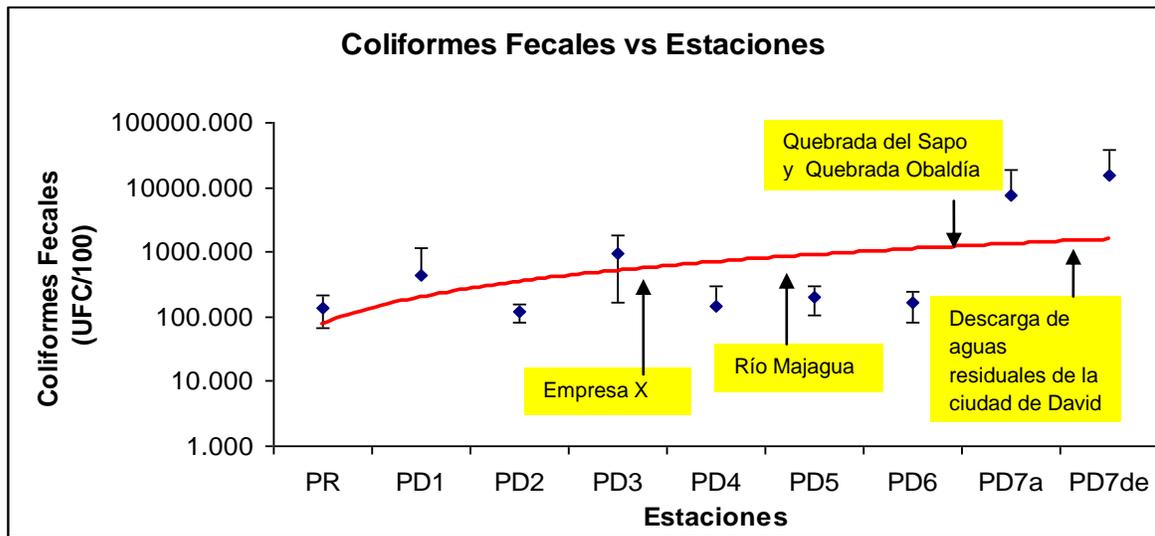


Figura 4.13. Variación (promedio y desviación estándar) a lo largo del eje del río David para el parámetro coliformes fecales en UFC/100mL (comportamiento logarítmico).

En la Figura 4.12, se muestra el comportamiento de los valores promedios de coliformes fecales en las 3 giras; sin embargo, por la diferencia cuantitativa, entre la mayor parte de las estaciones de monitoreo y el obtenido en la estación PD7, no se aprecian bien los valores de la desviación estándar.

La tendencia de las bacterias coliformes fecales muestra una leve tendencia a ascender, a lo largo del eje de la cuenca (Figura 4.12), esto se debe a que conforme se va descendiendo en la cuenca desde el punto de mayor altura (PR) hasta PD7de, la densidad de población va aumentando de igual manera que las diferentes actividades humanas (Capítulo 6), hasta llegar al PD7du (Tabla 4.14), que es el punto donde se da la descarga de aguas residuales.

En la Figura 4.13, se observa claramente, con la ayuda de una escala logarítmica, la conducta de las desviaciones estándar a lo largo de la cuenca del río David.

Al comparar la estación PD7du (Tabla 4.14) con la norma nacional DGNTI COPANIT 35-2000, se determina que el valor promedio no cumple con la norma, ya que esta indica 1000 UFC/100 ml, y el resultado es de 438900 UFC/100 ml.

Nitrógeno

La mayor causa de la adición de nitratos y nitritos es el uso intensivo de fertilizantes. Los procesos de combustión pueden también aumentar los suministros de nitrato y nitrito, debido a la emisión de óxidos de nitrógeno que pueden ser convertidos en nitratos y nitritos en el ambiente.

Al comparar la estación de descarga, PD7du (Tabla 4.15) con la norma nacional DGNTI COPANIT 35-2000, se determina que los valores promedio para el nitrógeno cumple con la norma, ya que el límite permisible es 10 mg/l y el resultado es 9.305 mg/l.

Tabla 4.15. Resultados de campañas de monitoreo para el parámetro nitrógeno en el río David (PD), afluentes (PM, PQO, PQS) y descarga de la ciudad de David (PD7du).

	PR	PD1	PD2	PD3	PD4	PD5	PM	PD6	PQS	PQO	PD7a	PD7du	PD7de
CAMPAÑA1		0,02	0,07	0,07	0,14	0,74	1,33	1,22	2,14	0,43	2,3		3,2
CAMPAÑA2	0,12	1,62	1,65	0,81	1,74	1,42	0,73	0,15	0,96	0,35	0,73	15,41	0,24
CAMPAÑA3	0,08	0,09	0,07	0,04	0,8	0,09	0,03	0,05	0,08	0,06	0,09	3,2	1,2
ESTACIONES	PR	PD1	PD2	PD3	PD4	PD5	PM	PD6	PQS	PQO	PD7a	PD7du	PD7de
promedio	0,100	0,577	0,597	0,307	0,893	0,750	0,697	0,473	1,060	0,280	1,040	9,305	1,547
DS	0,028	0,904	0,912	0,436	0,804	0,665	0,651	0,649	1,034	0,195	1,137	8,634	1,510
percentil 66	0,106	0,580	0,576	0,307	1,101	0,958	0,922	0,492	1,338	0,376	1,232	11,259	1,840

Unidades para el nitrógeno mg/l.

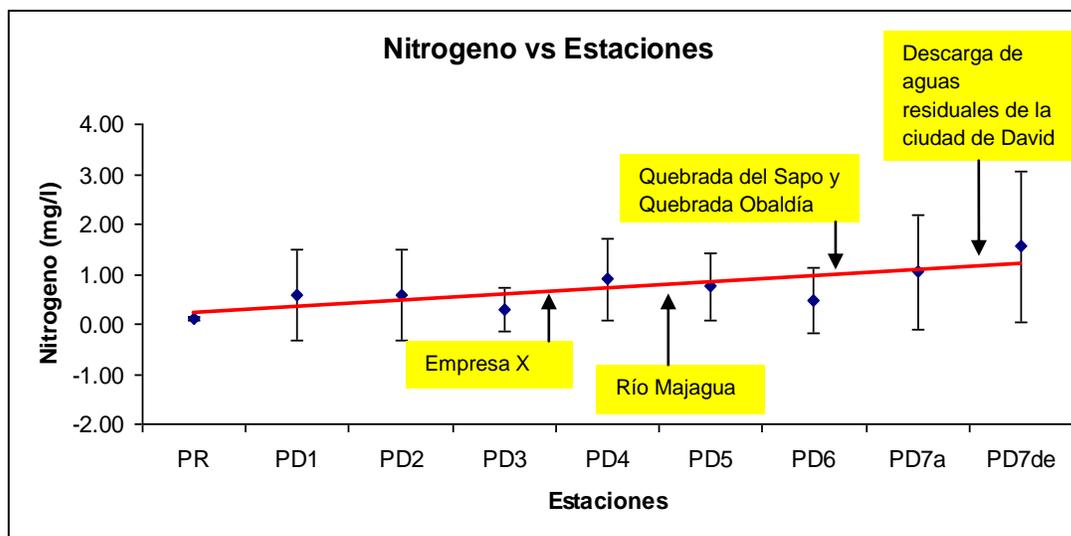


Figura 4.14. Variación (promedio y estándar) a lo largo del eje del río David para el parámetro nitrógeno.

El nitrógeno es un parámetro que indica la concentración del nitrógeno total en las aguas y se encuentra directamente relacionado a los procesos de eutrofización en cuerpos de agua, debido principalmente a las descargas de aguas residuales con un alto contenido de materia orgánica; sin embargo, puede estar relacionado a la llegada de nutrientes a la columna de agua por contaminación difusa (Kiely, 1999). Los valores promedios de los datos obtenidos en las tres campañas de monitoreo muestran una línea de tendencia que aumenta a lo largo del eje de la

cuenca del río David; lo cual está relacionado con el aumento de la densidad poblacional que incide en el aumento de descargas de aguas residuales domésticas en el río (Figura 4.14).

Fósforo

El fósforo de acuerdo a los Ciclos Biogeoquímicos es un parámetro que indica la concentración del fósforo total en las aguas y al igual que el nitrógeno, se encuentra directamente relacionado a los procesos de eutrofización en cuerpos de agua, principalmente en los lóticos, debido a las descargas de aguas residuales con un alto contenido de materia orgánica; sin embargo, puede estar relacionado a la llegada de nutrientes a la columna de agua por contaminación difusa (Kiely, 1999).

Tabla 4.16. Resultados de campañas de monitoreos para el parámetro fósforo en el río David (PD), afluentes (PM, PQO, PQS) y descarga de la ciudad de David (PD7du).

	PR	PD1	PD2	PD3	PD4	PD5	PM	PD6	PQS	PQO	PD7a	PD7du	PD7de
CAMPAÑA1		0,21	0,14	0,08	0,07	0,17	0,093	0,07	0,15	0,14	0,17		2,3
CAMPAÑA2	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,09	0,05	0,05	0,05	0,05
CAMPAÑA3	1,03	0,74	0,71	0,21	0,84	0,85	0,27	0,25	0,23	0,76	0,92	3,5	2,6
ESTACIONES	PR	PD1	PD2	PD3	PD4	PD5	PM	PD6	PQS	PQO	PD7a	PD7du	PD7de
promedio	0,54	0,33	0,30	0,11	0,32	0,36	0,14	0,12	0,16	0,32	0,38	1,78	1,65
DS	0,69	0,36	0,36	0,09	0,45	0,43	0,12	0,11	0,07	0,39	0,47	2,44	1,39
percentil 66	0,70	0,38	0,32	0,12	0,32	0,39	0,15	0,13	0,18	0,34	0,41	2,33	2,40

Unidades para Fósforo mg/l

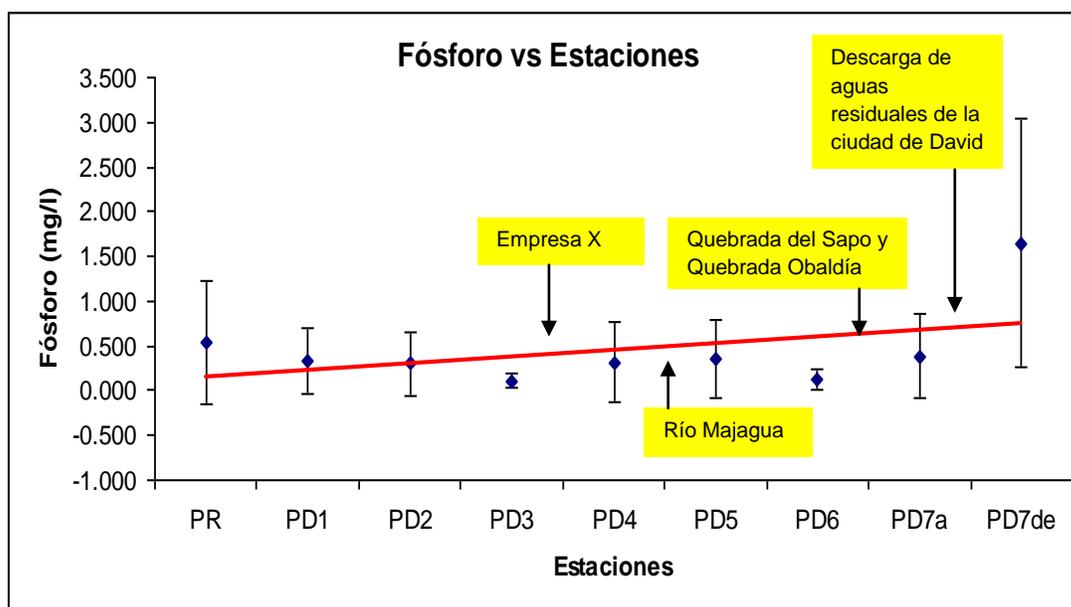


Figura 4.15. Variación (promedio y estándar) a lo largo de la cuenca del río David para el parámetro Fósforo.

Al comparar la estación PD7du (Tabla 4.16) con la norma nacional DGNTI COPANIT 35-2000, se determina que el valor promedio cumple con la norma, puesto que permite hasta 5 mg/l, mientras que esta estación arroja resultados promedios de 1.78 mg/l.

El parámetro fósforo (Figura 4.15) muestra una leve tendencia a aumentar de aguas arriba hacia abajo, los valores de desviación estándar muestran valores mínimos, y prácticamente no se ve influenciada de las actividades humanas que se realizan a lo largo de la cuenca en la parte alta. El comportamiento de los datos varía en las estaciones PD7du y PD7de, ya que están ubicadas en el punto de descarga de la ciudad de David y la otra como a unos 500 m aguas bajo. Ya en la PD7de, se nota una leve disminución de 7% en la concentración del fósforo, esto puede deberse a la capacidad del río de diluir fósforo.

4.4.2.2. Mapas de calidad de agua en el curso principal del río

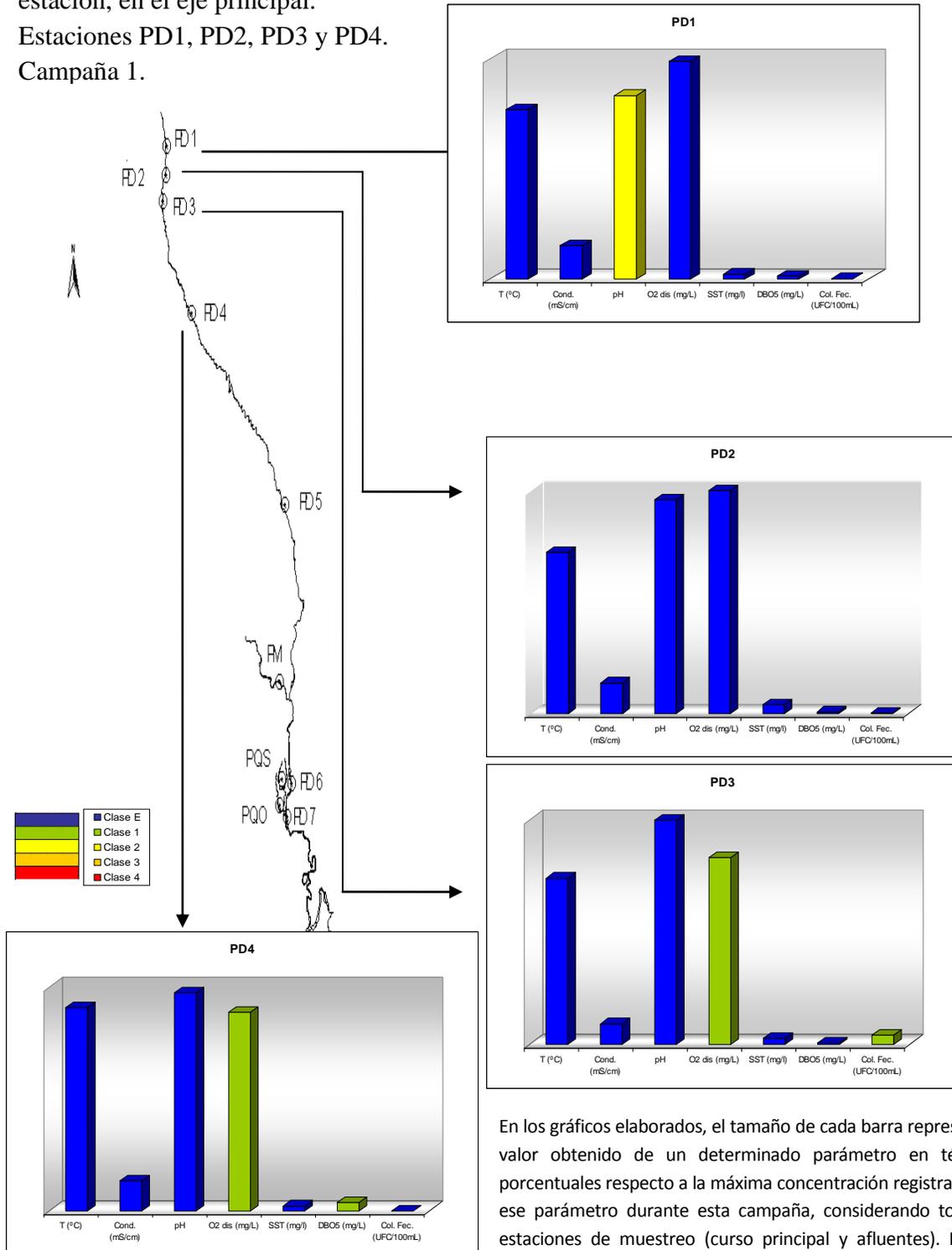
En los gráficos elaborados, el tamaño de cada barra representa el valor obtenido de un determinado parámetro en términos porcentuales respecto de la máxima concentración registrada para ese parámetro durante esta campaña, considerando todas las estaciones de muestreo (curso principal y afluentes). El color, representa la clase de calidad según la NAS siendo: Azul= Excepcional; Verde= Clase 1; Amarillo= Clase 2; Naranja= Clase 3; Rojo= Clase 4.

Continuando con la metodología de las NAS, las clases de calidad asociadas a la protección de las aguas continentales superficiales para la protección y conservación de las comunidades acuáticas y para los usos prioritarios definidas anteriormente se representan a través de las figuras que se presentan a continuación utilizando los colores para representarlas.

- Campaña 1 (Diciembre 2006)

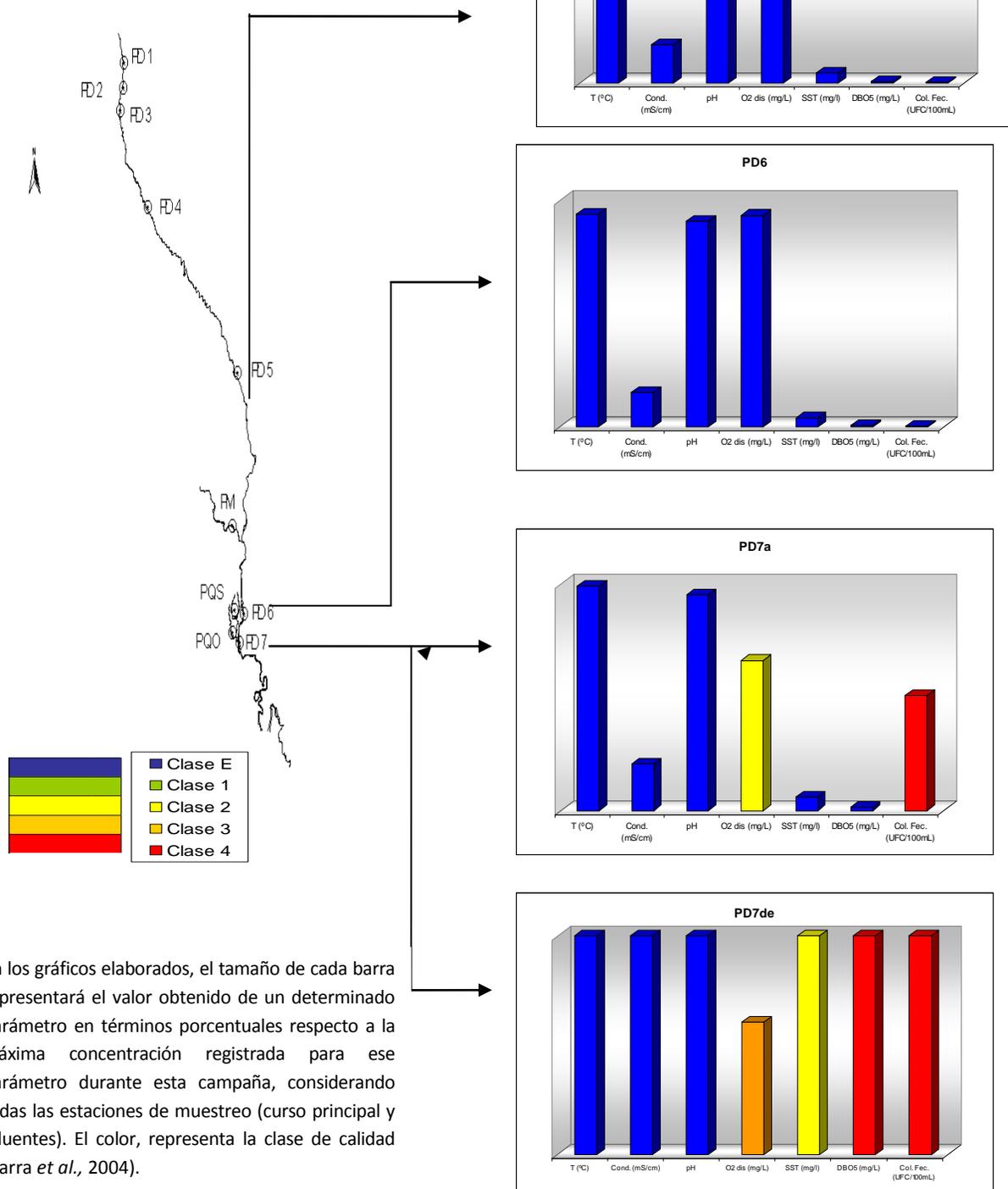
En las Figuras 4.16 y 4.17 se presentan los Mapas de Calidad del Agua de las estaciones ubicadas en el eje principal del río, producto de la Campaña 1, llevada a cabo los días 11,12 y 13 de diciembre de 2006.

Figura 4.16. Calidad de agua por estación, en el eje principal. Estaciones PD1, PD2, PD3 y PD4. Campaña 1.



En los gráficos elaborados, el tamaño de cada barra representa el valor obtenido de un determinado parámetro en términos porcentuales respecto a la máxima concentración registrada para ese parámetro durante esta campaña, considerando todas las estaciones de muestreo (curso principal y afluentes). El color representa la clase de calidad (Parra *et al.*, 2004).

Figura 4.17. Calidad de agua por estación, en el eje principal. Estaciones PD5, PD6 y PD7. Campaña 1.



En el acápite 4.4.2.1 se presentó un análisis de los resultados de calidad del agua por parámetro, a continuación se presenta el análisis por estación de muestreo, de los parámetros representados por los mapas de calidad del agua.

- Estación PD1

El PD1 tiene una temperatura instantánea de 19,1°C (Tabla 4.6), relativamente templada, la cual se puede atribuir a la altitud, ya que esta estación se encuentra ubicada en la parte alta de la cuenca, cercana al nacimiento del río David, además de la abundante vegetación ribereña existente en el lugar, evitando así el paso de los rayos del sol.

El pH obtenido en la primera campaña de monitoreo del río David es de 5,16 (Tabla 4.7), de acuerdo a Corbitt (2003), Kiely (1999), Mihelcic (2001), Henry y Heinke (1999), Parra *et al.* (2006), las aguas superficiales poseen un pH tendiente a neutro o ligeramente alcalino (6,9 a 8,3), el cambio de pH ha ácido, se debe a alguna contribución de descarga industrial o de otro tipo, ácida, y/o a características geológicas que contengan un pH ácido. Es importante resaltar que otros estudios en el área, han arrojado un pH en los meses de febrero y marzo entre 6,5 y 6,92 (Punto AR-2 en Requena, 2005). El valor de Oxígeno Disuelto (OD) es de 7,9 (Tabla 4.10), indicando en este punto la saturación de oxígeno mayor del 80% (Tebbutt, 2002).

Al establecer la relación entre DBO₅/DQO (Tabla 4.13), se tiene un valor mayor a 0,5, por lo tanto según Fresenius y Schneider (1991), es fácilmente biodegradable (Kiely, 1999).

- Estación PD2

El agua tiene una temperatura de 20°C (Tabla 4.6), la estación de muestreo se encuentra ubicada en la parte alta de la cuenca en donde la vegetación de la cuenca aún es abundante e influye la altitud.

Al comparar los resultados obtenidos de parámetros químicos como OD con un valor de 8,9 mg/L (Tabla 4.10), DBO₅ con 1,1 mg/L (Tabla 4.11), DQO con 2 mg/L (Tabla 4.13), y la relación entre DBO₅/DQO mayor de 0,5 (Tabla 4.13), indica una buena biodegradabilidad (Fresenius y Schneider, 1991). En cuanto a la saturación de OD aún es mayor del 80% lo que indica una buena calidad (Tebbutt, 2002).

- Estación PD3

La temperatura 20,4°C en la estación PD3 (Tabla 4.6), comparada a las estaciones anteriores va en aumento debido a la disminución de la altitud y la disminución en la vegetación ribereña.

Se observa una disminución en la cantidad de oxígeno disuelto correspondiente a 7,4 mg/L (Tabla 4.10) lo que evidencia una disminución en la saturación de OD (Tebbutt, 2002), en cuanto a los valores de DBO₅ (< 1 mg/L) y DQO (4 mg/L) (Tabla 4.11 y 4.12), se observa un aumento en el valor de DQO y al efectuar la relación entre ambos parámetros se obtiene un valor de 0,2 lo que indica que disminuye la biodegradabilidad (Fresenius y Schneider, 1991), presumiblemente debido a la presencia de una descarga de tipo industrial (Figura 4.1) en la cual sus insumos o materia prima requieren de reactivos químicos, que pueden estar llegando al río David.

- Estación PD4

La temperatura de 22,5°C (Tabla 4.6), sigue indicando los cambios en la altitud y la vegetación del área de estudio.

Los resultados obtenidos en esta estación evidencian una notable alteración en las condiciones naturales del río. La concentración de oxígeno disuelto 7,1 mg/L (Tabla 4.10), la DBO₅ 4,9 y una DQO de 7 mg/L (Tabla 4.11 y 4.12) indican nuevamente, la presumible existencia de una descarga de tipo industrial (Figura 4.1).

- Estación PD5

Se registra el incremento en la temperatura 23,7°C (Tabla 4.6), la estación está ubicada en un área en la cual aumenta la urbe y se observa una mayor disminución en la cantidad de vegetación ribereña.

Se registra un aumento en la concentración de oxígeno disuelto a 8,3 mg/L (Tabla 4.10), mayor al 80% de la saturación de OD (Tebbutt, 2002). La relación de DBO₅ y DQO continúan mostrando la existencia de una descarga de tipo industrial de difícil biodegradación (Tabla 4.11 y 4.12) (ver sección 4.3.2.1).

- Estación PD6

La temperatura sigue en aumento, en este punto es de 25,9 °C (Tabla 4.6). Comparando los valores obtenidos de OD y de DBO₅, donde el OD es mayor del 80% de saturación (Tabla 4.10) (Tebbutt, 2002) y la DBO no mayor de 3 mg/L (Tabla 4.11) permaneciendo en la Clase 1 de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental (Orrego, 2002).

- Estación PD7

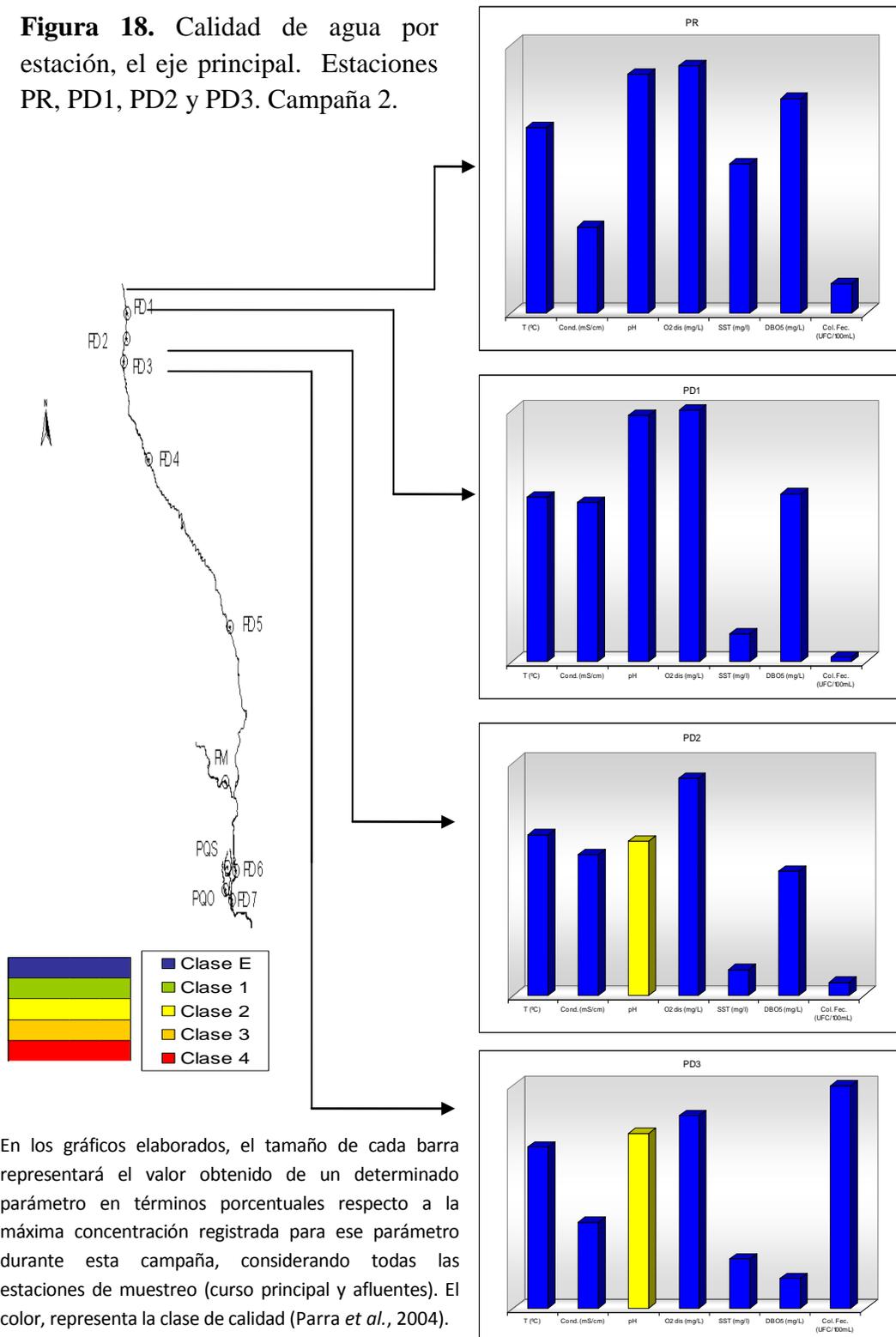
La temperatura presenta su mayor valor 27,4°C (Tabla 4.6), debido a la poca vegetación observada en las orillas del río, además de que se encuentra en la parte baja de la cuenca y aproximándose en la confluencia con el río Chiriquí.

La estación PD7 se encuentra ubicada aguas abajo de la descarga de la ciudad de David, por lo cual el OD de 5,9 mg/L (Tabla 4.10) se puede explicar debido a que cuando se descarga a un río un residuo que demanda oxígeno, y la velocidad de consumo es mayor al ritmo del cual se puede adquirir de la atmósfera, esto lleva al agotamiento del oxígeno disponible en el cuerpo de agua, disminuyendo por debajo de los niveles de saturación, como se analiza en este punto (Cárdenas, 2006). Por otra parte se observa un aumento en la concentración de coliformes fecales (Tabla 4.14).

- Campaña 2 (Mayo 2007)

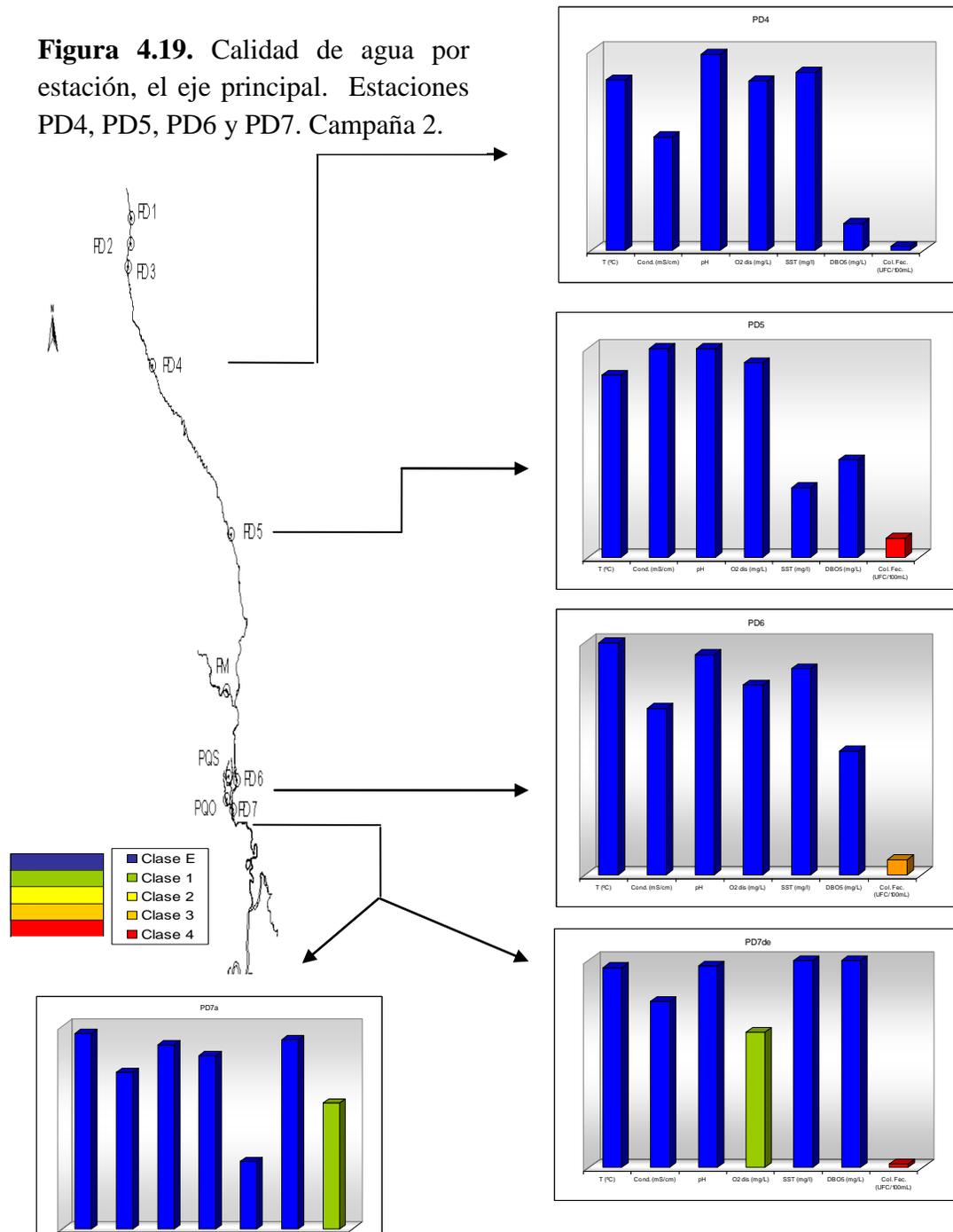
En las Figuras 4.18 y 4.19 se presentan los Mapas de Calidad del Agua de las estaciones ubicadas en el eje principal del río, producto de la Campaña 2, llevada a cabo los días 4, 5 y 6 de mayo de 2007.

Figura 18. Calidad de agua por estación, el eje principal. Estaciones PR, PD1, PD2 y PD3. Campaña 2.



En los gráficos elaborados, el tamaño de cada barra representará el valor obtenido de un determinado parámetro en términos porcentuales respecto a la máxima concentración registrada para ese parámetro durante esta campaña, considerando todas las estaciones de muestreo (curso principal y afluentes). El color, representa la clase de calidad (Parra *et al.*, 2004).

Figura 4.19. Calidad de agua por estación, el eje principal. Estaciones PD4, PD5, PD6 y PD7. Campaña 2.



En los gráficos elaborados, el tamaño de cada barra representará el valor obtenido de un determinado parámetro en términos porcentuales respecto a la máxima concentración registrada para ese parámetro durante esta campaña, considerando todas las estaciones de muestreo (curso principal y afluentes). El color, representa la clase de calidad (Parra *et al.*, 2004).

- Estación PR

El PR tiene una temperatura de 19,6°C (Tabla 4.6), y está ubicada en la parte alta de la cuenca, en el sitio donde se encuentra la toma de agua que abastece a los pueblos de Rovira, Palma Real, Caña Blanca, El Banco, Potrerillo Abajo y Dolega, donde por la altura y la abundante vegetación ribereña, ayudan a que los rayos del sol no calienten el agua.

El pH es de 7,09 (Tabla 4.7), el cual de acuerdo a las normas de calidad de aguas superficiales de Lombardía, se clasifica en la clase excepcional (azul).

El Oxígeno Disuelto (OD) es de 9,6 (Tabla 4.10), el cual según Kiely (1999), indica una saturación de oxígeno mayor al 80%; el valor obtenido para DBO₅ es de 1,1 mg/L (Tabla 4.11), la cual al ser menor de 2 se ubica en la clase excepcional de las NAS por su extraordinaria pureza y escasez. La relación DBO₅/DQO es igual a 0,4, lo cual indica que la biodegradación se puede dar con tratamientos auxiliares ya sean químicos o físicos (Fresenius y Schneider, 1991).

- Estación PD1

El PD1 tiene una temperatura instantánea de 18,5°C (Tabla 4.6), la cual se puede atribuir a la altitud, ya que esta estación se encuentra ubicada en la parte alta de la cuenca, cercana al nacimiento del Río David, además de la abundante vegetación ribereña existente en el lugar, evitando así el paso de los rayos del sol.

El pH obtenido en la segunda campaña de monitoreo del río David es de 7,79 (Tabla 4.7), valor que tiene concordancia con resultados obtenidos en estudios previos del área, durante la misma estación (Requena, 2005), en periodos de estudios entre abril y julio.

El valor de Oxígeno Disuelto (OD) es de 10,4 mg/l (Tabla 4.10), lo que indica en este punto que la saturación de oxígeno es mayor del 80% (Kiely, 1999), y el valor obtenido para la DBO₅ 1 mg/L, es menor de 2 mg/L (Tabla 4.11); por lo que la clase de río corresponde a la Clase Excepcional, la cual es agua de alta calidad adecuada para abastecimiento para agua potable y para todos los usos.

Al establecer la relación entre DBO₅/DQO (Tabla 4.13), se tiene un valor de 0,5, por lo tanto según Fresenius y Schneider (1991), es fácilmente biodegradable.

- Estación PD2

El agua tiene una temperatura de 19,5 °C (Tabla 4.6), la estación de muestreo se encuentra ubicada en la parte alta de la cuenca en donde la vegetación de la cuenca aún es abundante e influye la altitud.

El pH tiene un valor de 5,27 (Tabla 4.7), que ubican la calidad de este parámetro en este tramo del río en Clase 2 según las NAS, la cual indica un agua apta para el desarrollo de la acuicultura, pesca deportiva y recreativa.

Al comparar los resultados obtenidos de parámetros químicos como OD con un valor de 9.7 mg/L (Tabla 4.10); DBO₅ resultado obtenido 0.8 mg/L (Tabla 4.11) y un valor de DQO 2 mg/L (Tabla 4.12), se analiza que la saturación de OD aún es mayor del 80% (Tabla 4.10)

(Tebbutt, 2002) y el valor de la DBO_5 no es menor de 3 mg/L, la relación entre DBO_5/DQO es menor de 0.5 (Tabla 4.13), que indica que se puede biodegradar con tratamiento auxiliar (Fresenius y Schneider, 1991), la calidad en este tramo del río para la DBO_5 es Clase Excepcional (Orrego, 2002).

- Estación PD3

La temperatura 20,5 °C (Tabla 4.6) en la estación PD3, comparada a las estaciones anteriores va en aumento, debido a la disminución de la altitud y la disminución en la vegetación ribereña.

Se observa que el valor del oxígeno disuelto correspondiente a 9 mg/L (Tabla 4.10) lo que evidencia una disminución en la saturación de OD, en cuanto a los valores de DBO_5 0,2 mg/L (Tabla 4.11) y la relación DBO/DQO es igual a 0,033 (Tabla 4.13) lo que indica que disminuye la biodegradabilidad (Fresenius y Schneider, 1991), presumiblemente debido a la presencia de una descarga de tipo industrial en la cual sus insumos o materia prima requieren de reactivos químicos, que pueden estar llegando al río David.

- Estación PD4

La temperatura de 24,1°C (Tabla 4.6), sigue indicando los cambios en la altitud y la vegetación del área de estudio. Los resultados obtenidos en esta estación evidencian una notable alteración en las condiciones naturales del río.

La concentración de oxígeno disuelto 8,8 mg/L (Tabla 4.10), la DBO_5 0,2 (Tabla 4.11) y una DQO de 3 mg/L (Tabla 4.12) nos indica nuevamente, la presumible existencia de una descarga de tipo industrial. Sin embargo, de acuerdo a las NAS, para la DBO_5 esta estación corresponde a Clase Excepcional.

- Estación PD5

Se registra el incremento en la temperatura 24,7 °C (Tabla 4.6), la estación está ubicada en un área en la cual aumenta la urbe y se observa una mayor disminución en la cantidad de vegetación ribereña.

Se registra un aumento en la concentración de oxígeno disuelto a 9,7 mg/L (Tabla 4.10), mayor al 80% de la saturación de OD (Tebbutt, 2002). La relación de DBO_5 y DQO (Tabla 4.13) continúan mostrando la existencia de una descarga con alto contenido de material de recalcitrante ($DBO/DQO= 0.14$)

- Estación PD6

La temperatura sigue en aumento, en este punto es de 28,3 °C (Tabla 4.6). Comparando los valores obtenidos de OD y de DBO_5 , (Tabla 4.10 y 4.11) donde el OD es mayor del 80% de saturación (Tebbutt, 2002), y la DBO no mayor de 2 mg/L (0,8 mg/L) permaneciendo la Clase Excepcional, la relación DBO/DQO es de 0,27 (Tabla 4.13), lo que indica que está prácticamente en el límite de la recalcitrancia (Fresenius y Schneider, 1991).

- Estación PD7a

La temperatura presenta su mayor valor 27.3 °C (Tabla 4.6), debido a la poca vegetación observada a las orillas del río, además de que se encuentra en la parte baja de la cuenca y aproximándose a la confluencia con el río Chiriquí.

En el PD7 se ha obtenido un valor de OD de 8,9mg/L (Tabla 4.10); como esta estación de muestreo se encuentra ubicada aguas debajo de las confluencias con las quebradas el Sapo y Obaldía, el agotamiento del oxígeno por debajo de los niveles de saturación en este punto, se puede explicar debido a que la descarga a un río de un residuo que demanda oxígeno, y la velocidad de consumo es mayor, al ritmo al cual se puede adquirir de la atmósfera (Cárdenas, 2006).

- Estación PD7du

La temperatura es de 26,2°C (Tabla 4.6), esta estación está ubicada justo en la descarga de aguas residuales de la ciudad de David.

El oxígeno disuelto es de 3,2 mg/l (Tabla 4.10) se observa una drástica disminución en la cantidad de oxígeno disponible debido a la calidad de las aguas tratadas que son descargadas al río; sin embargo, la relación DBO/DQO es de 0,572 (Tabla 4.13), lo que indica que se puede dar la biodegradación con facilidad (Fresenius y Schneider, 1991),

- Estación PD7de

Esta estación está ubicada después de la descarga de aguas residuales de la ciudad de David, la temperatura alcanza nuevamente un valor máximo igual a 27,3°C (Tabla 4.6), esto puede ser el resultado de la escasa vegetación en las riberas para esta zona del río.

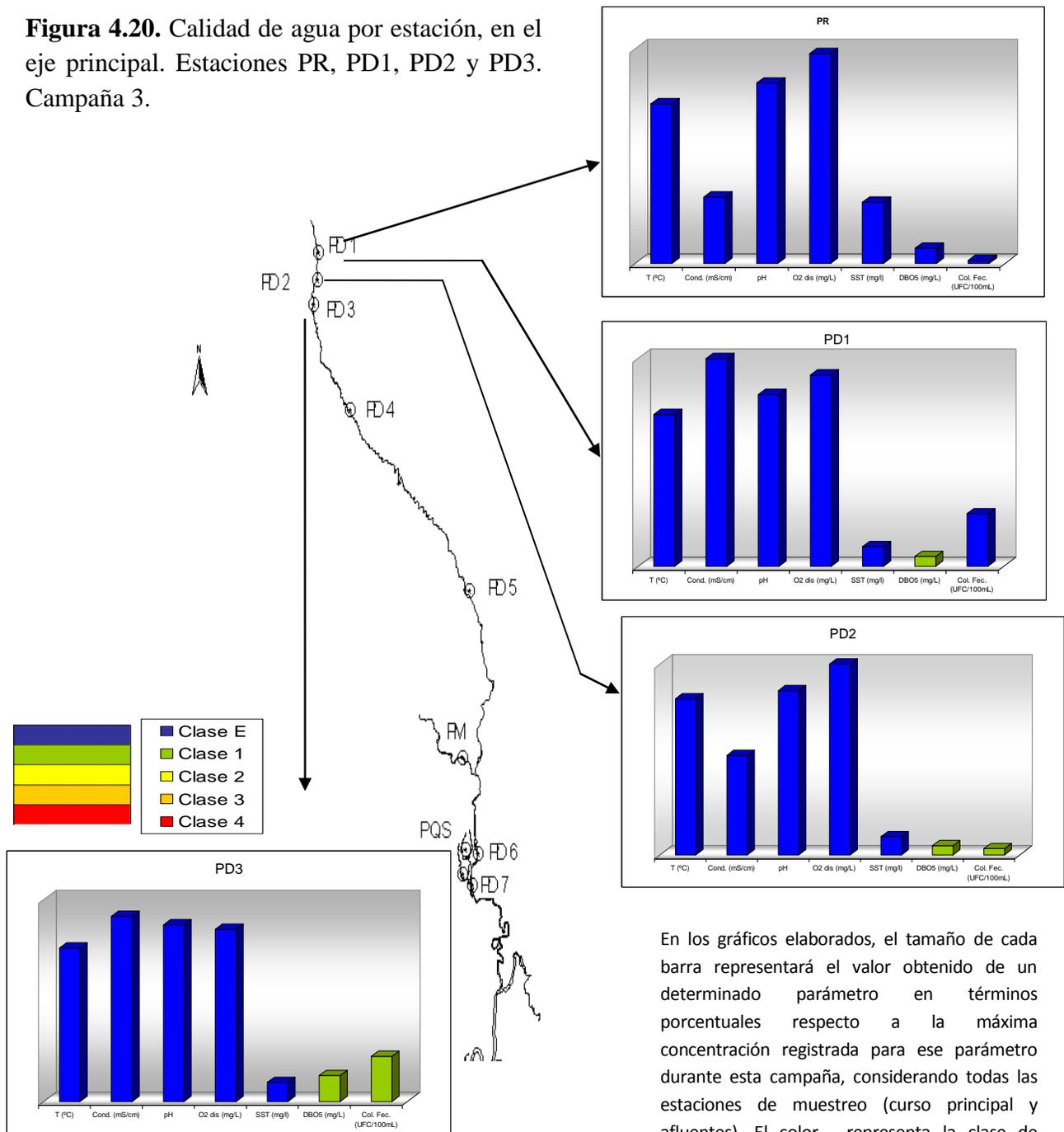
La relación DBO/DQO es de 0.058 (Tabla 4.13), lo que indica que difícilmente se puede dar una biodegradación (Fresenius y Schneider, 1991),

La clase del río en este tramo, según la Norma de la Unión Europea es 1B (Agua de calidad menos alta que la clase 1a, pero que igual se puede utilizar para todo (vida acuática y consumo humano, ver la Tabla en el Anexo del Capítulo 4), ya que el OD es mayor del 60% de saturación (Tebbutt, 2002) y la DBO no mayor de 5 mg (Tabla 4.11).

- *Campaña 3 (Octubre 2007)*

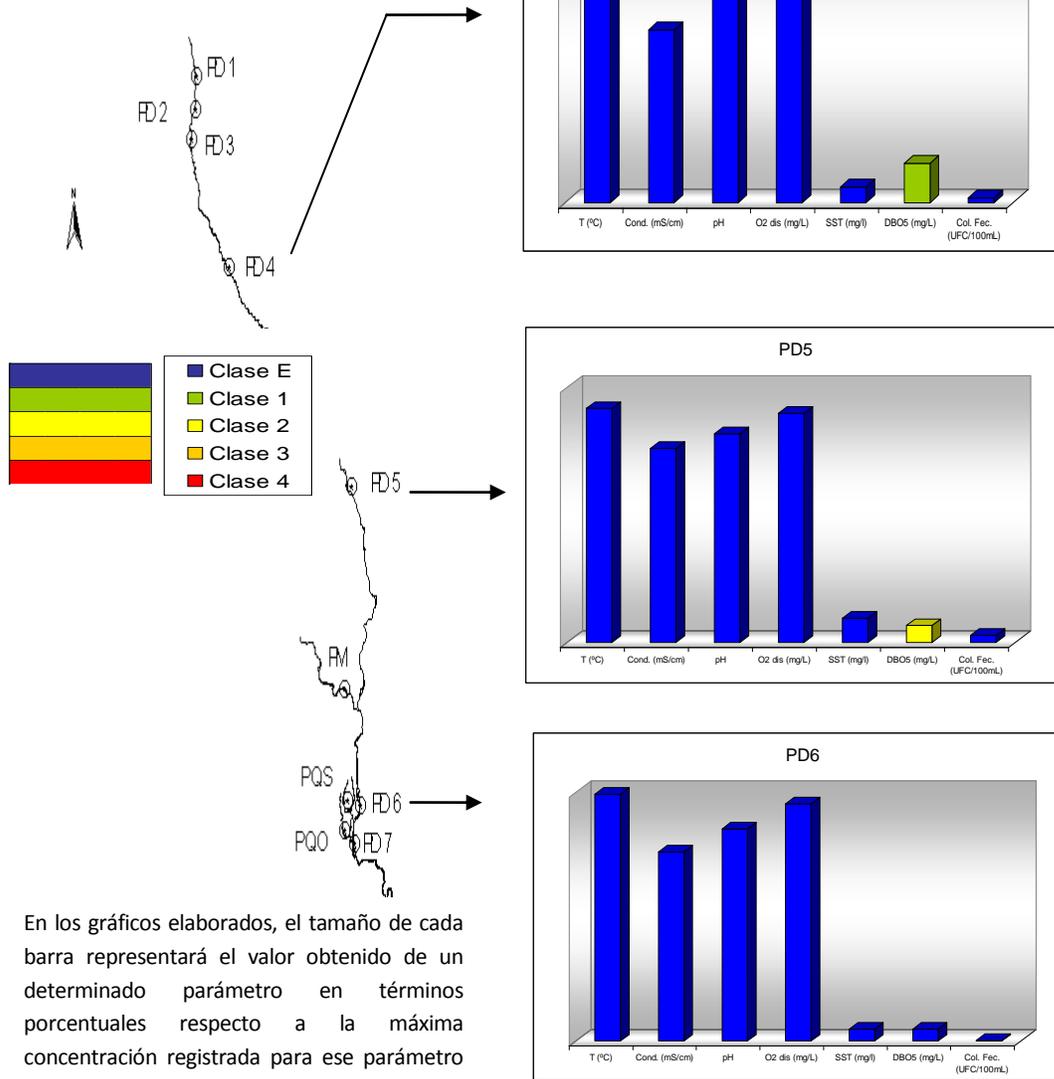
En las Figuras 4.20, 4.21 y 4.22 se presentan los Mapas de Calidad del Agua de las estaciones ubicadas en el eje principal del río, producto de la Campaña 3, llevada a cabo los días 26 y 27 de octubre de 2007.

Figura 4.20. Calidad de agua por estación, en el eje principal. Estaciones PR, PD1, PD2 y PD3. Campaña 3.



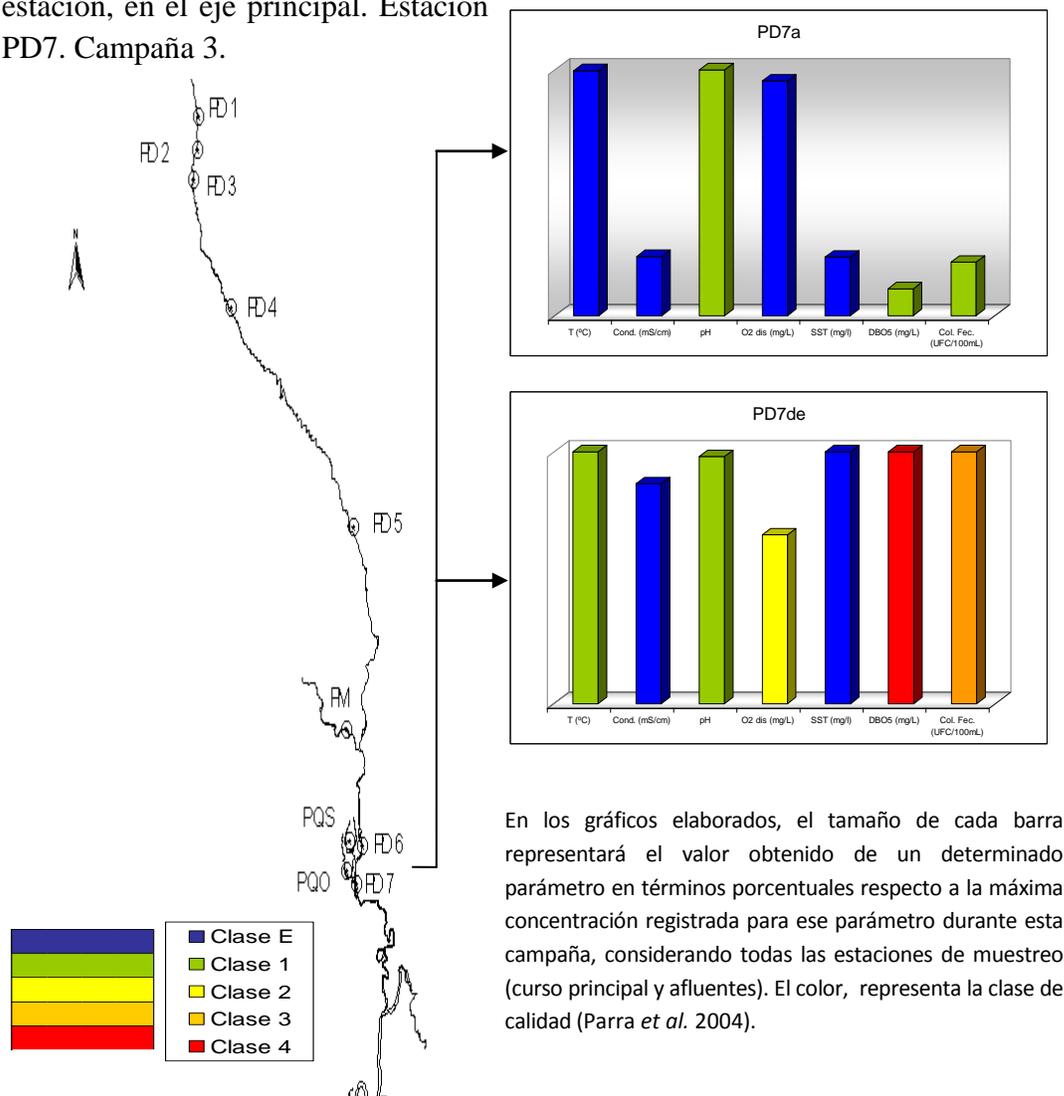
En los gráficos elaborados, el tamaño de cada barra representará el valor obtenido de un determinado parámetro en términos porcentuales respecto a la máxima concentración registrada para ese parámetro durante esta campaña, considerando todas las estaciones de muestreo (curso principal y afluentes). El color, representa la clase de

Figura 4.21. Calidad de agua por estación, en el eje principal. Estaciones PD4, PD5 y PD6. Campaña 3.



En los gráficos elaborados, el tamaño de cada barra representará el valor obtenido de un determinado parámetro en términos porcentuales respecto a la máxima concentración registrada para ese parámetro durante esta campaña, considerando todas las estaciones de muestreo (curso principal y afluentes). El color, representa la clase de calidad (Parra *et al.* 2004).

Figura 4.22. Calidad de agua por estación, en el eje principal. Estación PD7. Campaña 3.



En los gráficos elaborados, el tamaño de cada barra representará el valor obtenido de un determinado parámetro en términos porcentuales respecto a la máxima concentración registrada para ese parámetro durante esta campaña, considerando todas las estaciones de muestreo (curso principal y afluentes). El color, representa la clase de calidad (Parra *et al.* 2004).

- Estación PR

El PR tiene una temperatura de 18,8 °C (Tabla 4.6), y está ubicada en la parte alta de la cuenca, justo en el lugar donde se encuentra la toma de agua que abastece a las ciudades de Rovira, Palma Real, Caña Blanca, El Banco, Potrerillo Abajo y Dolega, donde por la altura y la abundante vegetación ribereña, ayudan a que los rayos del sol no calienten el agua.

El pH es de 6,64 (Tabla 4.7), el cual de acuerdo a las normas de calidad de aguas superficiales de Lombardía, se clasifica en la Clase Excepcional (azul).

El Oxígeno Disuelto (OD) es de 8,6 (Tabla 4.10), que indica una saturación de oxígeno mayor al 80% (Tebbutt, 2002). El valor obtenido para DBO_5 es de 1,5 mg/L, la cual al ser menor de 2 se ubica en la Clase Excepcional, al igual que el resto de los parámetros (T, Conductividad, pH, Sólidos Suspendidos, Oxígeno Disuelto, Coliformes Fecales). En cuanto a la relación DBO/DQO es igual a 0,3 (Tabla 4.13), la cual indica que la biodegradación difícilmente se lograría en un proceso de autodepuración (Fresenius y Schneider, 1991).

- Estación PD1

El PD1 tiene una temperatura instantánea de 18,5°C (Tabla 4.6), como se ha discutido anteriormente en las otras campañas, se puede atribuir a la altitud, ya que esta estación se encuentra ubicada en la parte alta de la cuenca, cercana al nacimiento del Río David, además de la abundante vegetación ribereña existente en el lugar, evitando así el paso de los rayos del sol.

El pH obtenido en la segunda campaña de monitoreo del río David es de 6,53 (Tabla 4.7), valor que tiene concordancia con resultados obtenidos en estudios previos del área, durante la misma estación (Requena, 2005), entre febrero y marzo. La Clase es E para el pH.

El valor de Oxígeno Disuelto (OD) es de 8,1 (Tabla 4.10), el valor obtenido para la DBO_5 1,5 mg/L (Tabla 4.11), es menor a 2 mg/L; por consiguiente con respecto a estos dos parámetros la clase de río corresponde a la Clase Excepcional.

Al establecer la relación entre DBO_5/DQO , se tiene un valor de 0,25 (Tabla 4.13), por lo tanto según Fresenius y Schneider (1991), lo cual indica que la biodegradación difícilmente se lograría ya sea por medios químicos o físicos. La DBO_5 , corresponde según la NAS a Clase E al igual que los SST, Conductividad, Temperatura, en cuanto a Coliformes Fecales corresponde a la Clase 2.

- Estación PD2

El agua tiene una temperatura de 20,7 °C (Tabla 4.6) (relativamente templada), la estación de muestreo se encuentra ubicada en la parte alta de la cuenca en donde la vegetación de la cuenca aún es abundante e influye la altitud.

La relación DBO/DQO es igual a 0,25 (Tabla 4.13) e indica que difícilmente se logra la biodegradación.

El pH tiene un valor de 6,8 (Tabla 4.7), que ubican la calidad de este parámetro en este tramo de río en Clase E, que por su extraordinaria pureza y escasez, forma parte única del patrimonio ambiental de la República. Sin embargo, para DBO_5 y coliformes fecales (Tablas 4.14 y 4.11) es Clase 1.

- Estación PD3

La temperatura 19,2 °C (Tabla 4.6) en la estación PD3, es todavía templada, ya que aunque hay una disminución de la altitud y la vegetación ribereña permanece abundante es la suficiente para mantener la temperatura igual o menor a 20°C.

La relación DBO/DQO es igual a 0,54 (Tabla 4.13) e indica que la biodegradación se puede conseguir por medios físicos o químicos y biológico, relativamente fácil.

De acuerdo a las NAS la clase del río se conserva como Clase 1 en cuanto a DBO₅ y coliformes fecales (Tabla 4.11 y 4.13), que indica un agua apta para la protección y conservación de las comunidades acuáticas.

- Estación PD4

La temperatura de 24,1°C (Tabla 4.6), en aumento con respecto al PR indican los cambios en la altitud y la vegetación del área de estudio.

Los resultados obtenidos en esta estación evidencian una notable alteración en las condiciones naturales del río.

Los resultados de la concentración de oxígeno disuelto 7,7 mg/L (Tabla 4.10), la DBO₅ 2.5 mg/L (Tabla 4.11) y una DQO de 7 mg/L (Tabla 4.12). Indican que la biodegradación se puede conseguir posterior a un tratamiento físico y químico (DBO/DQO= 0.36) (Tabla 4.13).

Comparando los resultados de la DBO₅ en el PD4 con las NAS la Clase de Calidad del río es 1 (Tabla 4.11).

- Estación PD5

Se registra un incremento en la temperatura a 23,2 °C (Tabla 4.6), la estación está ubicada en un área en la cual aumenta la urbe y se observa una mayor disminución en la cantidad de vegetación ribereña.

Se registra un aumento en la concentración de oxígeno disuelto a 7.9 mg/L (Tabla 4.10), lo cual está dentro de la Clase Excepcional. La relación de DBO₅ y DQO (DBO/DQO= 0.175) (Tabla 4.13), indican que la biodegradabilidad por autodepuración no se consigue.

Comparando con las NAS los resultados obtenidos en este punto, la clase del río es 2, para la DBO₅ (Tabla 4.11) indica un agua apta para la protección y conservación de las comunidades acuáticas.

- Estación PD6

La temperatura en este punto comparado con el PR sigue en aumento, con 25,1 °C (Tabla 4.6). Comparando los valores obtenidos de OD y de DBO₅, (Tabla 4.10 y 4.11) donde el OD es mayor del 80% de saturación (Tebbutt, 2002) y la DBO₅ menor de 2 mg/L (1 mg/L), con respecto a este último parámetro la clase de calidad según las NAS es Excepcional. Por otra parte la relación DBO/DQO es de 0.33 (Tabla 4.13), lo que indica que es difícil lograr la biodegradación por medios naturales (Fresenius y Schneider, 1991).

- Estación PD7a

La temperatura presenta su mayor valor 25,2°C (Tabla 4.6), debido a la poca vegetación observada a las orillas del río, además de que se encuentra en la parte baja de la cuenca y aproximándose a la confluencia con el Río Chiriquí.

A diferencia de las estaciones anteriores analizadas, se observa un aumento en la concentración de coliformes totales (1060 UFC/1000 ml) (Tabla 4.14).

La relación DBO/DQO es de 0.33 (Tabla 4.13), nos dice que es difícilmente biodegradable ya sea por medios físicos o químicos.

- Estación PD7du

La temperatura es de 26.4°C (Tabla 4.6), esta estación está ubicada justo en la descarga de aguas residuales de la ciudad de David.

El oxígeno disuelto es de 3.2 mg/l (Tabla 4.10) se observa una drástica disminución en la cantidad de oxígeno disponible debido a la calidad de las aguas descargadas a él, sin embargo la relación DBO/DQO es de 0.69 (Tabla 4.13), lo que indica que puede fácilmente biodegradarse con facilidad (Fresenius y Schneider, 1991), los coliformes fecales se presentan con mayor cantidad, a lo largo de todo el eje principal del río (22800 UFC/1000 ml) (Tabla 4.14).

- Estación PD7

Esta estación está ubicada después de la descarga del aguas residuales de la ciudad de David, la temperatura alcanza un valor máximo igual a 25.3°C (Tabla 4.6), esto puede ser el resultado de la escasa vegetación en las riberas para esta zona del río.

La relación DBO/DQO es de 0.33 (Tabla 4.13), lo que indica que difícilmente se puede biodegradar (Fresenius y Schneider, 1991).

La clase del río en este tramo por parámetro, según las NAS es: Clase 2 para Oxígeno Disuelto (Tabla 4.10), Clase 4 para DBO₅ (Tabla 4.11), Clase 3 para Coliformes Fecales (Tabla 4.14) en cuanto a pH (Tabla 4.7) y Temperatura Clase 1 (Tabla 4.6), a sólidos suspendidos (Tabla 4.9) y conductividad es Clase E (Tabla 4.8).

4.4.2.3 Mapas de calidad del agua en afluentes

- *Campaña 1 (Diciembre 2006)*

En la Figura 4.23 se presentan los Mapas de Calidad del Agua de las estaciones ubicadas en 3 de los principales afluentes del río David, producto de la Campaña 1, llevada a cabo los días 11,12 y 13 de diciembre de 2006.

- Estación PM

La estación PM, está ubicada en el balneario Majagua, tiene una temperatura promedio de 26,5°C (Tabla 4.6), el valor mínimo de 23,3°C se puede deber a que en el momento de recolección de muestra, la estación estaba en un lugar a la sombra de los árboles.

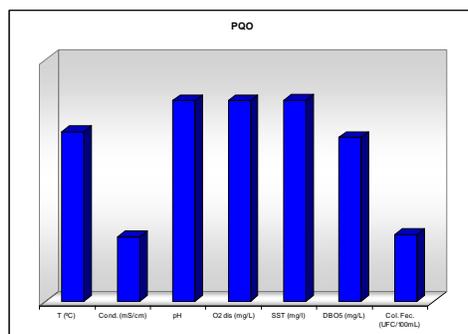
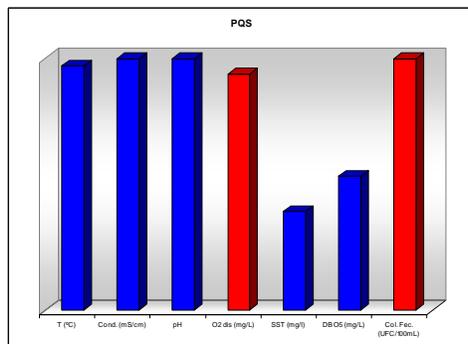
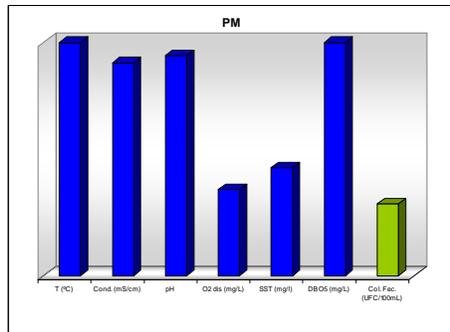
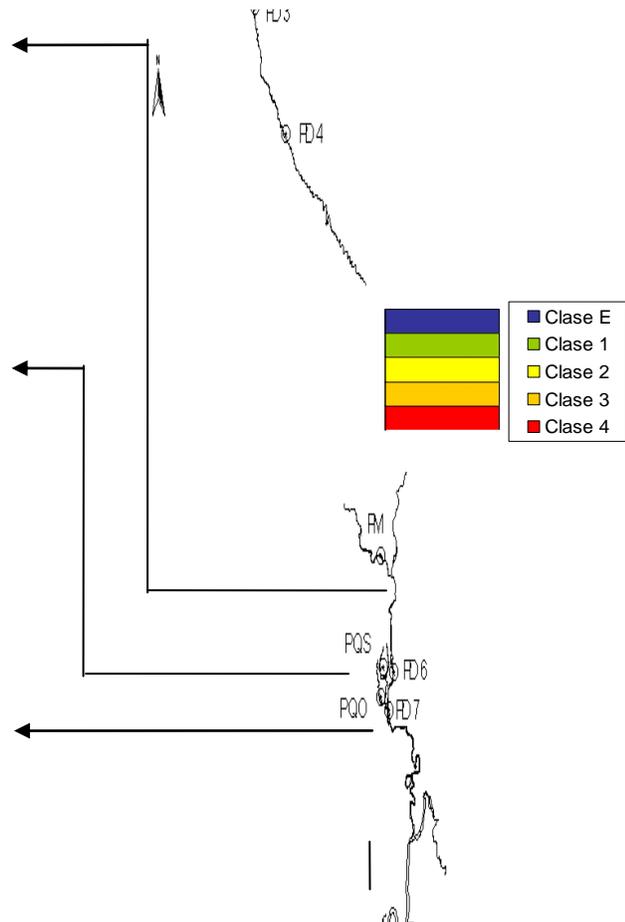


Figura 4.23. Calidad de agua por estación, efluentes y afluentes. Estaciones PM, PQS y PQO. Campaña 1.



En los gráficos elaborados, el tamaño de cada barra representará el valor obtenido de un determinado parámetro en términos porcentuales respecto a la máxima concentración registrada para ese parámetro durante esta campaña, considerando todas las estaciones de muestreo (curso principal y afluentes). El color, representa la clase de calidad (Parra *et al.* 2004).

El O₂ (Tabla 4.10), es mayor al 70%, lo que indica que es posible la presencia de seres vivos (Tebbutt, 2002). La relación DBO/DQO promedio es de 0,44 (Tabla 4.13), lo que indica que tiene una capacidad de biodegradación aceptable.

El mapa de calidad del agua en los parámetros evaluados [Temperatura (Tabla 4.6), pH (Tabla 4.7), Conductividad (Tabla 4.8), Oxígeno Disuelto (Tabla 4.10), DBO₅ (Tabla 4.11) y Sólidos Suspendidos (Tabla 4.9)] indica una Clase E.

- Estación PQS

La estación PQS, está ubicada en la Quebrada del Sapo, en la ciudad de David, en la zona urbana, la temperatura es de 30°C (Tabla 4.6) (relativamente alta), lo cual se debe a la falta de vegetación a los alrededores, ya que los rayos del sol se reflejan directamente sobre ella.

El oxígeno disuelto es de 30 % (Tabla 4.10), lo que muestra que la presencia de seres vivos puede ser mínima (Tebbutt, 2002). La relación DBO/DQO es de 0,45 (Tabla 4.13) señalando que la capacidad de degradación biológica es aceptable.

En cuanto a las NAS la Quebrada el Sapo cuenta con una Clase E para los parámetros Temperatura, pH, Conductividad, DBO₅, Sólidos Suspendidos (Tablas 4.6, 4.7, 4.8, 4.11 y 4.9); sin embargo, el Oxígeno Disuelto y Coliformes Fecales (Tablas 4.10 y 4.14) corresponden a Clase 4 y esto se puede atribuir a las descargas de aguas residuales domésticas que se dan a la quebrada y que poseen una baja concentración de oxígeno disuelto y alta concentración de coliformes fecales.

- Estación PQO

La estación PQO, está ubicada en la Quebrada de Obaldía, la temperatura es 29,1°C (Tabla 4.6), relativamente alta, esto se debe a la poca vegetación ribereña y a la exposición directa a los rayos del sol sobre el punto de muestreo.

El oxígeno disuelto (Tabla 4.10) es mayor al 70%, lo que denota la posibilidad de existencia de seres vivos (Tebbutt, 2002). La relación DBO/DQO es igual a 0,08 (Tabla 4.13), lo que indica que las aguas de este cauce contienen alta concentración de compuestos recalcitrantes en relación con los fácilmente biodegradables (Fresenius y Schneider, 1991). Sin embargo, es necesario resaltar que en cuanto a los parámetros: DBO₅, Oxígeno Disuelto, pH, Temperatura, Coliformes Fecales, Sólidos Suspendidos Totales y Conductividad (Tablas 4.11, 4.10, 4.7, 4.6, 4.14, 4.9 y 4.8) la Calidad del Agua es Clase E.

- *Campaña 2 (Mayo 2007)*

La Figura 4.24 presenta los Mapas de Calidad del Agua de las estaciones ubicadas en 3 de los principales afluentes del río David, producto de la Campaña 2, llevada a cabo los días 4, 5 y 6 de mayo de 2007.

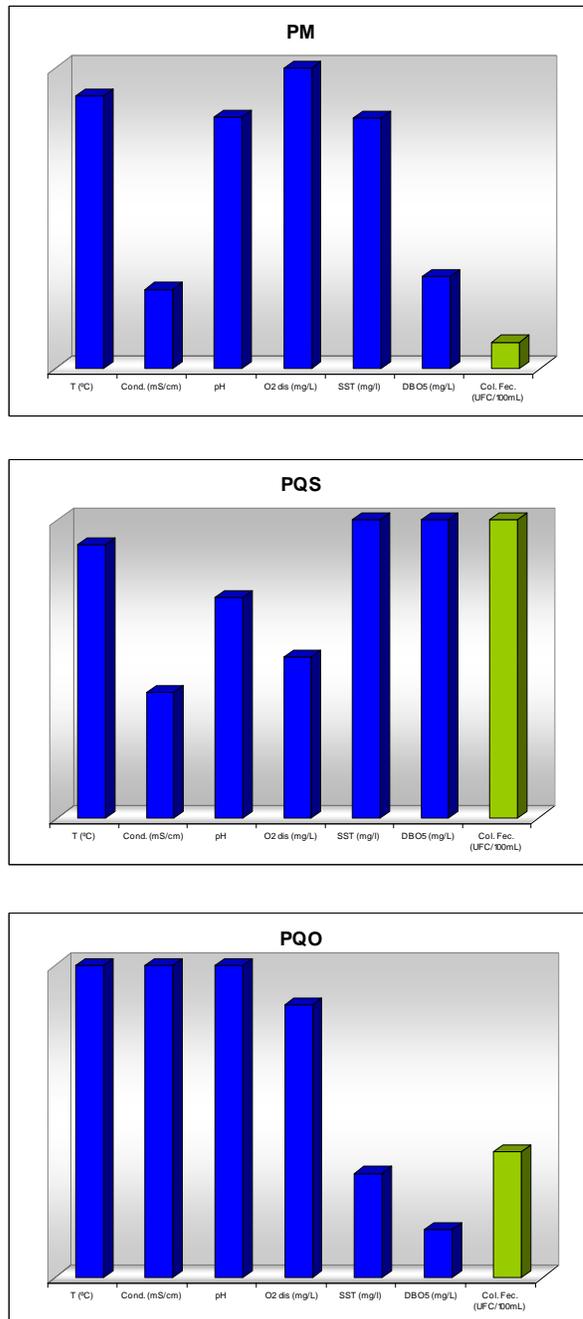
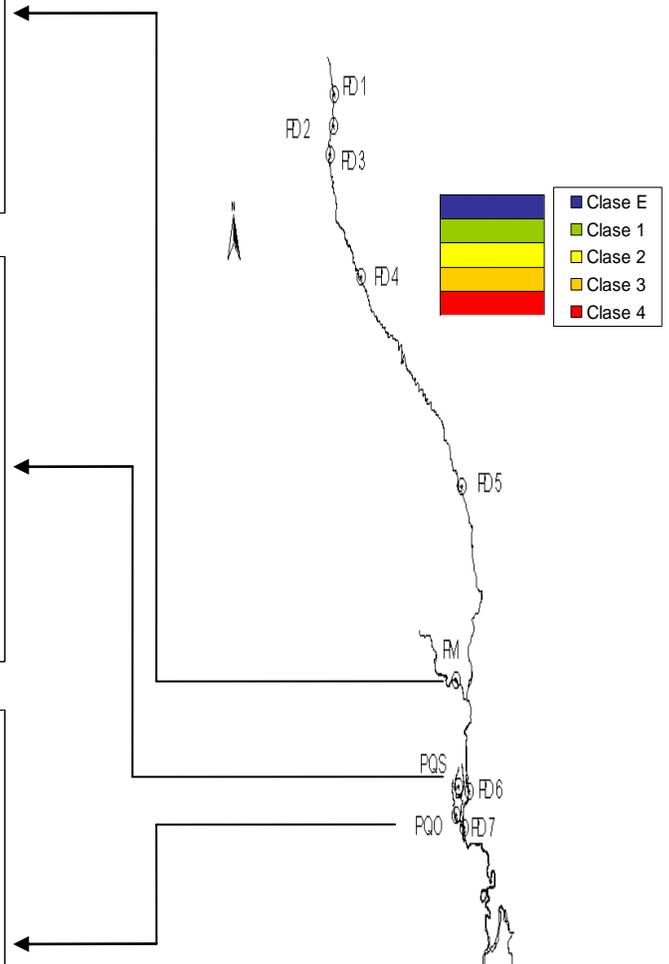


Figura 4.24. Calidad de agua por estación y afluentes, efluentes. Estaciones PM, PQS Y PQO. Campaña 2.



En los gráficos elaborados, el tamaño de cada barra representará el valor obtenido de un determinado parámetro en términos porcentuales respecto a la máxima concentración registrada para ese parámetro durante esta campaña, considerando todas las estaciones de muestreo (curso principal y afluentes). El color, representa la clase de calidad (Parra *et al.*, 2004).

- Estación PM

La estación PM, ubicada en el Balneario Majagua, en la segunda campaña cuenta con una temperatura de 26,1°C, el pH de 6,8 (Tabla 4.7) y el oxígeno disuelto es mayor al 80% (Tabla 4.10), lo que indica que es posible la presencia de seres vivos (Tebbutt, 2002).

La relación DBO/DQO es igual a 0,2 (Tabla 4.13), y demuestra que la degradación por medios biológicos es difícil de conseguir (Fresenius y Schneider, 1991).

El mapa de calidad del agua en los parámetros: Temperatura, pH, Conductividad, Oxígeno Disuelto, DBO₅, Sólidos Suspendidos (Tablas 4.6, 4.7, 4.8, 4.10, 4.11, y 4.9) indican una Clase E. Las Coliformes Fecales (Tabla 4.14) muestran una Clase 1, de menor calidad que el resto de los parámetros.

- Estación PQS

La estación PQS, ubicada en la Quebrada del Sapo, un área urbano-residencial en la ciudad de David, cuenta con una temperatura de 28,2°C (Tabla 4.6), el oxígeno disuelto (Tabla 4.10) es mayor al 70% lo que hace posible la existencia de seres vivos (Tebbutt, 2002).

La relación DBO/DQO es de 0,325 (Tabla 4.13), por lo que se entiende de acuerdo a Fresenius y Schneider (1991) que la degradación por medios biológicos o químicos es difícil de lograr.

El mapa de calidad del agua en los parámetros: Temperatura, pH, Conductividad, Oxígeno Disuelto, DBO₅, Sólidos Suspendidos (Tablas 4.6, 4.7, 4.8, 4.10 y 4.9) indica una Clase E. Las Coliformes Fecales (Tabla 4.14) muestran una Clase 1, de menor calidad que el resto de los parámetros.

- Estación PQO

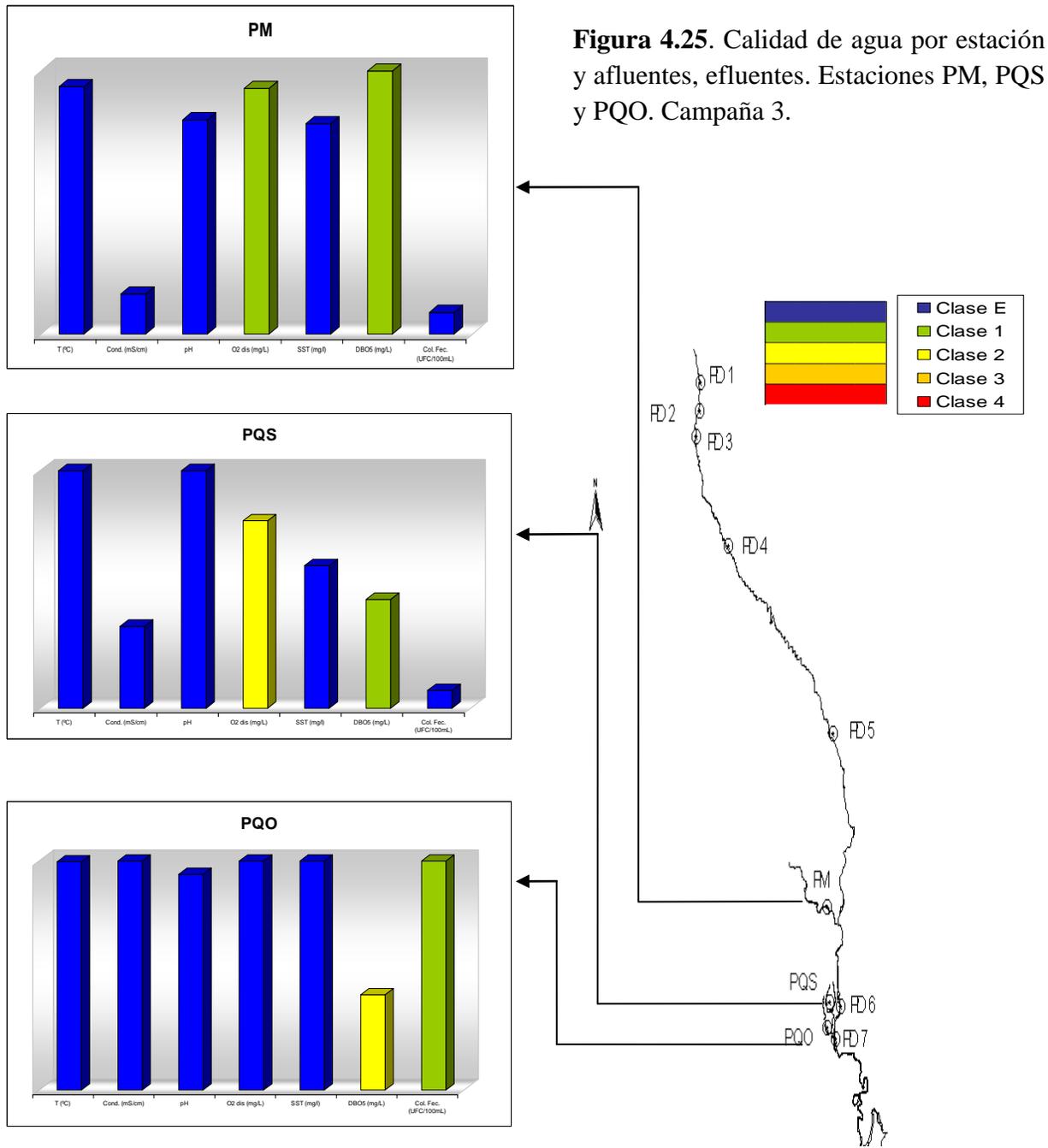
La estación PQO, está ubicada en la Quebrada de Obaldía, en el centro de la ciudad de David, cuenta con una temperatura de 28,8°C (Tabla 4.6), que se debe a la falta de árboles y abundancia de matorrales en las riberas de el punto de muestreo.

El oxígeno disuelto (Tabla 4.10) es mayor al 70%, que demuestra la posibilidad de existencia de seres vivos (Tebbutt, 2002). La relación DBO/DQO es de 0,04 (Tabla 4.13), denotando que la degradación por medios biológicos o químicos es difícil de conseguir (Fresenius y Schneider, 1991).

El mapa de calidad del agua en los parámetros: Temperatura, pH, Conductividad, Oxígeno Disuelto, DBO₅, Sólidos Suspendidos (Tablas 4.6, 4.7, 4.8, 4.10 y 4.9) indican una Clase E. Los Coliformes Fecales muestran una Clase 1 (Tabla 4.14), de menor calidad que el resto de los parámetros.

- *Campaña 3 (Octubre 2007)*

En la Figura 4.25 se presentan los Mapas de Calidad del Agua de las estaciones ubicadas en 3 de los principales afluentes del Río David, producto de la Campaña 3, llevada a cabo los días 26 y 27 de octubre de 2007.



En los gráficos elaborados, el tamaño de cada barra representará el valor obtenido de un determinado parámetro en términos porcentuales respecto a la máxima concentración registrada para ese parámetro durante esta campaña, considerando todas las estaciones de muestreo (curso principal y afluentes). El color, representa la clase de calidad (Parra *et al.*, 2004).

- Estación PM

La estación PM (Balneario Majagua) tiene una temperatura igual a 25,4°C (Tabla 4.6), este valor se debe a que la muestra fue tomada en horas avanzadas de la tarde en donde los rayos del sol son menos intensos.

El oxígeno disuelto (Tabla 4.10) es mayor al 70%, e indica la posibilidad de presencia de seres vivos (Tebbutt, 2002). La relación DBO/DQO es igual 0,4 (Tabla 4.13) que denota la posibilidad de conseguir la degradación por medios biológicos o químicos (Fresenius y Schneider, 1991).

En cuanto a las NAS el Río Majagua cuenta con una Clase E para los parámetros Temperatura, pH, Conductividad, Coliformes Fecales, Sólidos Suspendidos (Tablas 4.6, 4.7, 4.8 y 4.9); sin embargo, Oxígeno Disuelto y DBO₅ (Tablas 4.10 y 4.11) corresponden a la Clase 1 y esto se puede atribuir a las descargas de aguas residuales domésticas que se dan en el río Majagua y que poseen una baja concentración de oxígeno disuelto y alta concentración de coliformes fecales; por ende, su afectación no es del todo severa al tener una clase que representa agua de muy buena calidad para la conservación de las comunidades acuáticas.

- Estación PQS

La estación ubicada en la Quebrada del Sapo, cuenta con una temperatura de 27°C (Tabla 4.6), debido a que el muestreo en este punto se realizó en horas de medio día, sin embargo el día estaba nublado.

El oxígeno disuelto (Tabla 4.10) es igual a 61%, reduciendo la posibilidad de existencia de vida acuática (Kiely, 1999). La relación DBO/QO es de 0,22 (Tabla 4.13), connotando la dificultad de llevarse a cabo una degradación por medios biológicos o químicos (Fresenius y Schneider, 1991).

En el caso de la Quebrada el Sapo su Clase es E, según las NAS, para los parámetros Temperatura, pH, Conductividad, Coliformes Fecales, Sólidos Suspendidos (Tablas 4.6, 4.7, 4.8, 4.14 y 4.9); sin embargo, el Oxígeno Disuelto (Tabla 4.10) corresponde a Clase 2 y DBO₅ (Tabla 4.11) corresponden a la Clase 1 y esto se puede atribuir a las descargas de aguas residuales domésticas que se dan sobre la Quebrada, y que poseen una baja concentración de oxígeno disuelto y alta concentración de DBO₅ (Fresenius y Schneider, 1991; Kiely, 1999); por ende, su afectación no es del todo severa al tener una clase que representa agua de buena (Clase 2) y muy buena calidad (Clase 1) para la conservación de las comunidades acuáticas.

- Estación PQO

La estación PQO (Quebrada de Obaldía) tiene una temperatura de 26,9°C (Tabla 4.6), que pese a la escasa vegetación del lugar, la muestra fue tomada en un día nublado.

El oxígeno disuelto (Tabla 4.10) es mayor al 70%, lo que indica la posibilidad de existencia de seres vivos (Kiely, 1999). La relación DBO/DQO es igual a 0,111 (Tabla 4.13), lo que indica que la materia contenida en la muestra tiene una capacidad de biodegradarse muy baja tendiente a nula (Fresenius y Schneider, 1991).

En cuanto a la Quebrada Obaldía su Clase es E, según las NAS, para los parámetros Temperatura, pH, Conductividad, Oxígeno Disuelto, Sólidos Suspendidos (Tablas 4.6, 4.7, 4.8, 4.10 y 4.9); sin embargo, Coliformes Fecales (Tabla 4.14) corresponde a Clase 1 y DBO₅ (Tabla 4.11) corresponden a Clase 2 y esto se puede atribuir a las descargas de aguas residuales domésticas que se dan sobre la quebrada, y que poseen una alta concentración de Coliformes Fecales y DBO₅ (Fresenius y Schneider, 1991; Kiely, 1999); por ende, su afectación no es del todo severa al tener una clase que representa agua de muy buena (Clase 1) y buena calidad (Clase 2) para la conservación de las comunidades acuáticas.

4.4.2.4. Discusión General por Campaña de Monitoreo

- *Campaña 1 (Diciembre 2006)*

Para esta primera campaña se concluye que en la mayoría de los parámetros, la condición del río (en el eje principal del río) es excepcional, ya que en la colectividad de las estaciones, los resultados obtenidos para esta campaña fueron de calidad excepcional (azul), la variación de resultados en algunas estaciones se debe a las condiciones climáticas de la época (por ejemplo Temperatura) y otras a la actividad humana (por ejemplo Oxígeno Disuelto y Coliformes Fecales). Por otra parte la estación que se encuentra en la descarga de aguas residuales de la Ciudad de David, los valores de los parámetros pueden llegar hasta la Clase 4 como es el caso de las Coliformes Fecales, y esto es consecuencia de la gran cantidad de aguas residuales que son descargadas en el cuerpo acuático (PD7du), esta situación también se presenta en la Quebrada El Sapo.

- *Campaña 2 (Mayo 2007)*

En la segunda campaña se observa con ayuda de gráficas que la condición general del río continúa en la calidad excepcional en la mayoría de las estaciones y la situación de deterioro de calidad se evidencia en el PD7.

- *Campaña 3 (Octubre 2007)*

En la tercera campaña de monitoreo, se observa que la calidad del agua en general a lo largo del eje de la cuenca, clasifica como excepcional, sin tomar en cuenta la estación PD7, que evidencia claramente la influencia en el deterioro de la calidad del agua por la descarga de aguas residuales de la ciudad de David.

En esta campaña también se investigaron empresas y actividades humanas que se desarrollan a lo largo de la cuenca, cuya descarga de aguas residuales llegan al río David, y al comparar la ubicación de las empresas y lugares de actividades humanas con los resultados de los parámetros de calidad, podemos concluir que la influencia que estas ejercen en la deficiencia de la calidad del río es mínima; sin embargo, es importante no descartar posible influencia de las descargas de empresas en la parte alta de cuenca. Por otra parte la disminución de los niveles de calidad se pueden observar a lo largo del eje de la cuenca, si tiene relación con aumento de los lugares poblados desde la cuenca alta a la baja.

4.4.3. Insectos Acuáticos

El tema de la 'bioindicación' ha madurado con el tiempo, tanto así que hoy día se consideran diversos grupos de organismos como bioindicadores [microalgas, algunas plantas vasculares, macroinvertebrados (insectos, moluscos), anfibios, peces]. Esta maduración depende del énfasis que se ha hecho en grupos específicos (Águila, 2008).

Los insectos acuáticos (Clase Insecta: Ordenes Ephemeroptera, Trichoptera, Plecoptera, Odonata, Coleoptera, Hemiptera, Diptera) del fondo (bentos) son recomendados como indicadores biológicos porque su ciclo de vida permite una exposición prolongada a sustancias tóxicas, mayormente acumuladas en el fondo, que en ocasiones producen malformaciones (teratogénesis) en ellos. Además, las toxinas y elementos pesados (Pb) se pueden concentrar en estos organismos, donde se obtiene una indicación acumulativa de las condiciones a través del tiempo, a diferencia de la evaluación química que representa las condiciones en el momento en que se toma la muestra (Águila, 2001).

Por ende, la distribución espacial y temporal así como la identidad de los organismos pueden reflejar el grado de la calidad del agua (contaminantes, deficiencia de oxígeno, partículas disueltas). Inclusive, estos organismos responden a cambios bruscos del ambiente (deficiencia de oxígeno, químicos, falta de alimento) con cambios de conducta tan obvios como la deriva. Esto último permite detectar fácilmente cambios bruscos (físico-químicos, biológicos) en el ecosistema acuático (Águila, 2001).

El desarrollo de Índices Biológicos tienen historias parecidas tanto en Europa como en Norteamérica, pero en la primera, estuvieron más orientados hacia la determinación de contaminación orgánica. En cambio en la segunda se percibe una mayor diversificación en la determinación del efecto de diferentes usos de la tierra, sin dejar de considerar la contaminación orgánica. Nombres clave en esta sección lo son Armitage *et al.* (1983), Kerans y Karr (1994), Karr y Chu (1999), Roldán (2003).

Por otro lado, también se pueden estudiar comunidades de macroinvertebrados o asociaciones potencialmente indicadoras (API's) (Aguila, 2001), que son típicas para diferentes tipos de agua, afectadas por el tipo de uso de la tierra y la presencia o ausencia de efluentes de aguas servidas. Paralelamente, el uso de técnicas multivariadas (ACM, Cluster etc.) también aportan en el conocimiento sobre la relación entre los componentes físico-químicos y biológicos en el ambiente acuático (Reynoldson *et al.*, 1997; Zamora-Muñoz y Alba-Tercedor, 1996; Hose *et al.*, 2004).

Históricamente se ha aceptado que los lugares menos afectados por el hombre deben presentar una alta diversidad de organismos, mas se ha comprobado que en ocasiones sitios muy perturbados (ejemplo: corte total del bosque) pueden presentar comunidades muy diversas dependiendo del tipo de muestras que se colecten, el tipo de microhábitat que se escoja, la asociación de especies que se analice y la capacidad analítica del taxónomo (Brown *et al.*, 1997).

No sólo es importante el número de especies presentes (riqueza) o un índice multimétrico (IBI, BMWP, BMWP') o de diversidad (Shannon, Morisita etc.) sino que en ocasiones se tienen

que utilizar diversas ‘herramientas’, de más simples a más complejas, para tener una visión acertada de lo que está pasando realmente en el ecosistema acuático estudiado. Por otro lado, debemos resaltar que la consistencia (estandarización) en el protocolo de muestreo es decisiva para obtener información representativa (Águila, 2008).

La información obtenida con relación a los insectos acuáticos sirve para establecer las bases de un futuro monitoreo, toda vez que se definen posibles patrones de distribución a lo largo del gradiente ambiental, principalmente en la primera gira. Además, se ha evidenciado la necesidad de hacer algunos ajustes a la metodología de campo para obtener una muestra más representativa.

El uso de los índices biológicos tales como el IBI (Karr y Chu, 1999), BMWP Colombia (Roldán y Álvarez, 2006) y BMWP Costa Rica (Ministerios de Salud y de Ambiente y Energía- MINAE, 2003), está limitada. Pues tanto el IBI como los BMWPs están condicionados a protocolos de colecta muy específicos. En el caso del IBI se necesita desarrollar la colecta con el muestreador Surber y para los BMWPs se debe utilizar una combinación de tipos de muestreo (red de mano, estructuras para colonizar, manual con pinzas) que dependen de las características del lugar y la variedad de microhábitats. Sin embargo, se ha ideado en este trabajo una combinación de elementos presentes en diferentes protocolos para establecer posibles tendencias en cuanto a la calidad del agua de las estaciones de estudio del río David, considerando los insectos acuáticos. Se utiliza la codificación de colores de la Norma de Lombardía (Parra *et al.*, 2004) para las clases de calidad de agua y la puntuación asignada a cada taxón (valor de tolerancia) en el BMWP Colombia y BMWP Costa Rica de tal manera que para cada taxón corresponde un determinado color de calidad de agua (Anexo 4.3 y 4.4). Esto permite transformar la matriz de nuestros datos en una malla colorida que puede ayudar a deducir la tendencia de la calidad del agua en los sitios estudiados.

Como se observa en las Tablas 4.17 y 4.18 la codificación de Costa Rica es más exigente que la de Colombia, toda vez que el color azul que representa grupos de aguas de buena calidad no es muy evidente en el cuadro que utiliza la codificación de Costa Rica. En este cuadro, el 33% de las familias colectadas corresponden a un “nivel relativamente alto” de calidad de agua (azul-verde), en cambio en el cuadro con la codificación de Colombia esto cambia a un 57.

Tabla 4.17. Matriz de distribución y número de insectos acuáticos por orden y familia. Los colores representan el índice de calidad cualitativa.

	GIRA 1							GIRA 2							GIRA 3								
	PD1	PD2	PD3	PD4	PD5	PD6	PD7	PR	PD1	PD2	PD3	PD4	PD5	PD6	PD7	PR	PD1	PD2	PD3	PD4	PD5	PD6	PD7
EPHEMEROPTERA																							
Leptophlebiidae		1		1						5				1									
Leptohyphidae						4				1									1				
Baetidae		12								3													
TRICHOPTERA																							
Hydropsychidae	2	9	1					1															
Calamoceratidae				1						1													
PLECOPTERA																							
Perlidae	1	5																					
ODONATA																							
Anisoptera																							
Aeshnidae																							

HERRAMIENTAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE CUENCAS UTILIZANDO COMO BASE DE RESPUESTA LA UNIDAD ECOSISTÉMICA DEL RÍO DAVID

Corduliidae						1				1														
Zygoptera																								
Calopterygidae							1				1													
Coenagrionidae											1													
HETEROPTERA																								
Belostomatidae		3		2						2														
Gerridae										3														
Naucoridae																2								
Veliidae										2								1						
COLEOPTERA																								
Gyrinidae											1										1			
Ptilodactylidae	2	10																						
Elmidae		2				1				4	4													
Psephenidae						1	1				1													
Scirtidae										1														
DIPTERA																								

HERRAMIENTAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE CUENCAS UTILIZANDO COMO BASE DE RESPUESTA LA UNIDAD ECOSISTÉMICA DEL RÍO DAVID

Tabla 4.18. Matriz de distribución y número total de insectos acuáticos por orden y familia. Los colores representan el índice de calidad cualitativo según BMWP Costa Rica.

	GIRA 1							GIRA 2							GIRA 3								
	PD1	PD2	PD3	PD4	PD5	PD6	PD7	PR	PD1	PD2	PD3	PD4	PD5	PD6	PD7	PR	PD1	PD2	PD3	PD4	PD5	PD6	PD7
EPHEMEROPTERA																							
Leptophlebiidae		1		1						5				1									
Leptohyphidae						4				1								1					
Baetidae		12								3													
TRICHOPTERA																							
Hydropsychidae	2	9	1					1															
Calamoceratidae				1						1													
PLECOPTERA																							
Perlidae	1	5																					
ODONATA																							
Anisoptera																							
Aeshnidae																							
Corduliidae						1				1													
Zygoptera																							
Calopterygidae							1				1												
Coenagrionidae											1												
HETEROPTERA																							
Belostomatidae		3		2					2														
Gerridae										3													
Naucoridae															2								
Veliidae										2								1					
COLEOPTERA																							

HERRAMIENTAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE CUENCAS UTILIZANDO COMO BASE DE RESPUESTA LA UNIDAD ECOSISTÉMICA DEL RÍO DAVID

Tabla 4.18. Matriz de distribución y número total de insectos acuáticos por orden y familia. Los colores representan el índice de calidad cualitativo según BMWP Costa Rica.

Gyrinidae											1								1				
Ptilodactylidae	2	10																					
Elmidae		2				1				4	4												
Psephenidae						1	1				1												
Scirtidae									1														
DIPTERA																							
Chironomidae			7	1					3	1	1												
Ephydriidae									2														
Simuliidae				1																			
Tipulidae									1														
BLATTARIA																							
Blattidae									1														

Considerando el nivel taxonómico de orden (Figuras 4.26a, 4.26b, 4.26c) y comparando las tres giras se observa una gran variabilidad en la distribución porcentual de los insectos acuáticos a lo largo del gradiente y una disminución en la presencia de estos grupos en las giras 2 y 3. Hay que resaltar que esto último pudo estar influenciado por los cambios en la metodología de campo y las condiciones ambientales extremas.

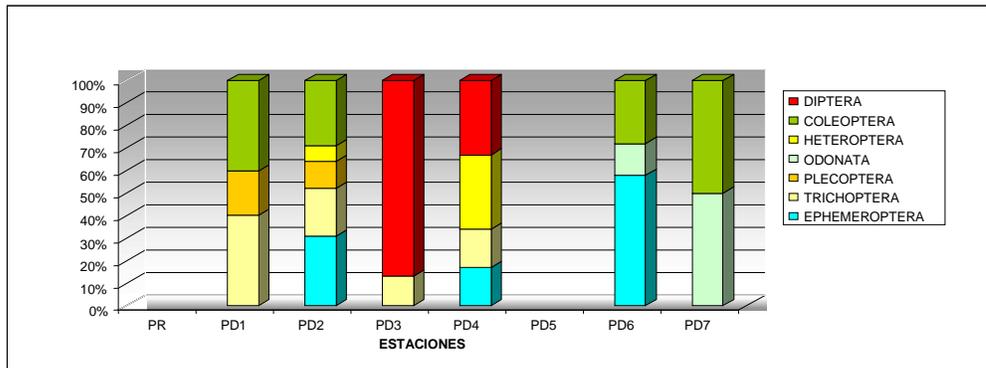


Figura 4.26a. Cuadro de Distribución de Insectos por Orden (Gira 1).

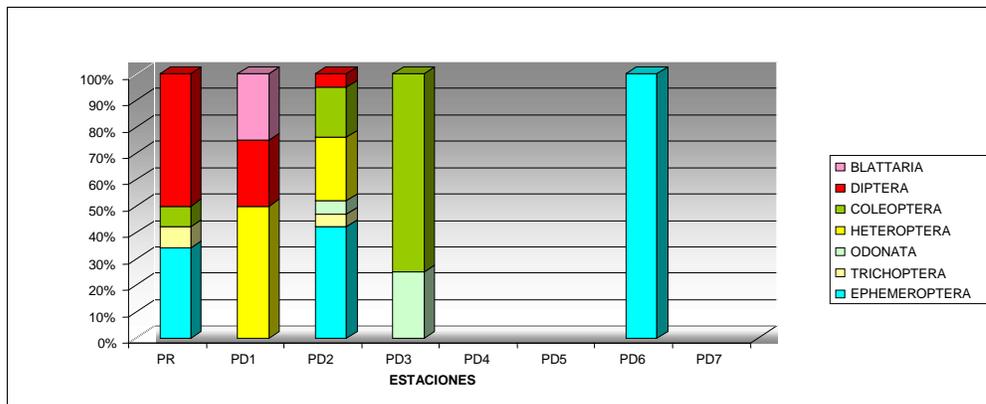


Figura 4.26b. Cuadro de Distribución de Insectos por Orden (Gira 2).

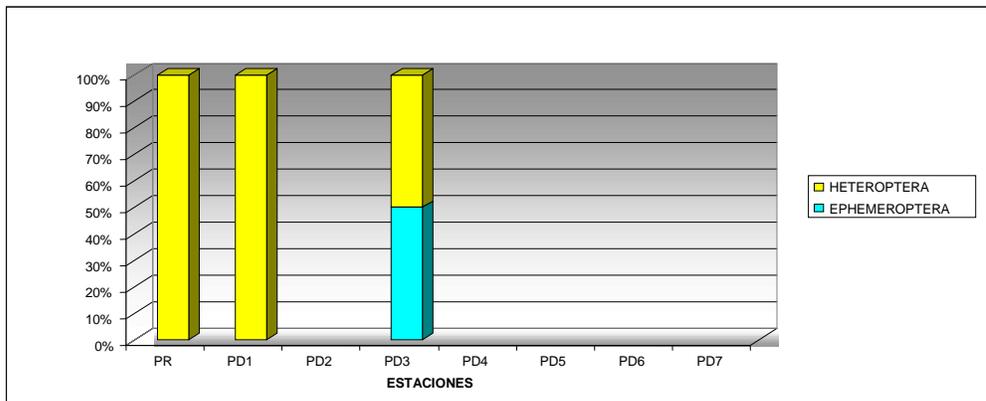


Figura 4.26c. Cuadro de Distribución de Insectos por Orden (Gira 3).

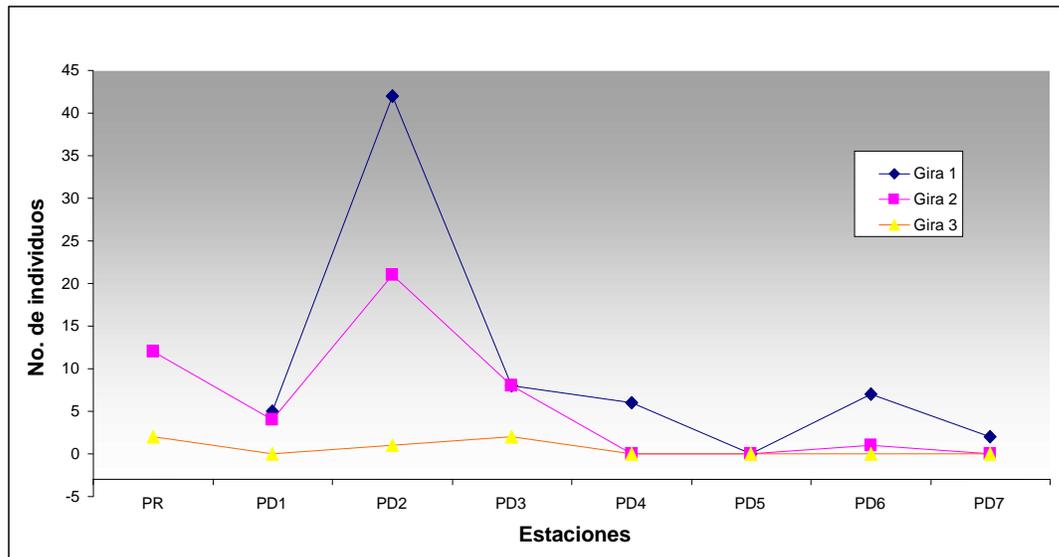


Figura 4.27. Número de Insectos Acuáticos por Estación de Colecta.

Al graficar el número de insectos acuáticos por estación de colecta y por gira (Fig. 4.27) se observa una evidente disminución de individuos a partir del PD2 en las dos (2) primeras giras.

En la gira tres (3) las colectas fueron muy pobres. Esto puede ser resultado de las condiciones climáticas al momento de la colección de muestras y debilidades de la metodología de muestreo empleada.

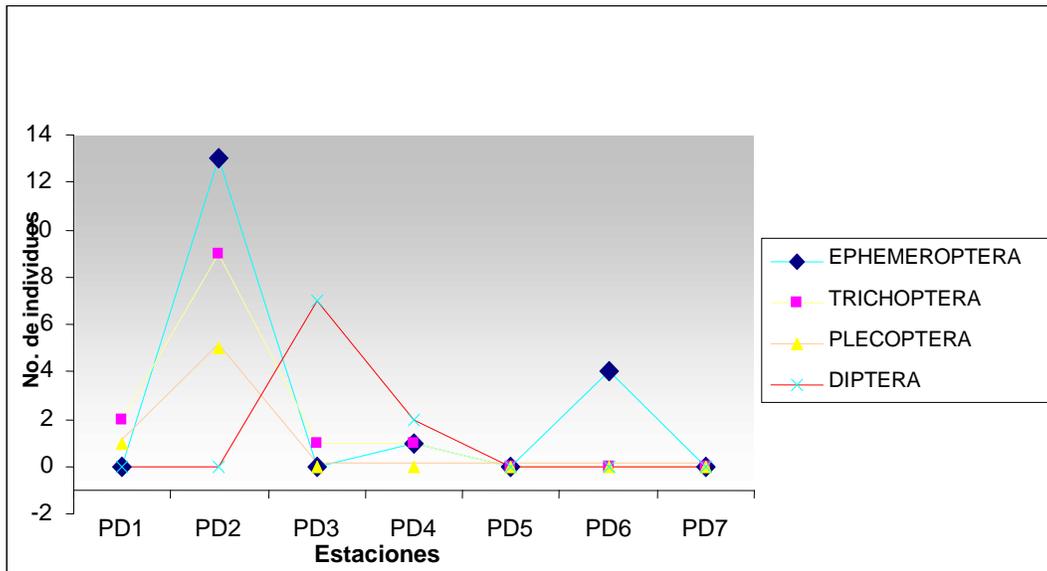


Figura 4.28a. Número de Insectos Acuáticos (orden) por estación de Colecta (Gira 1).

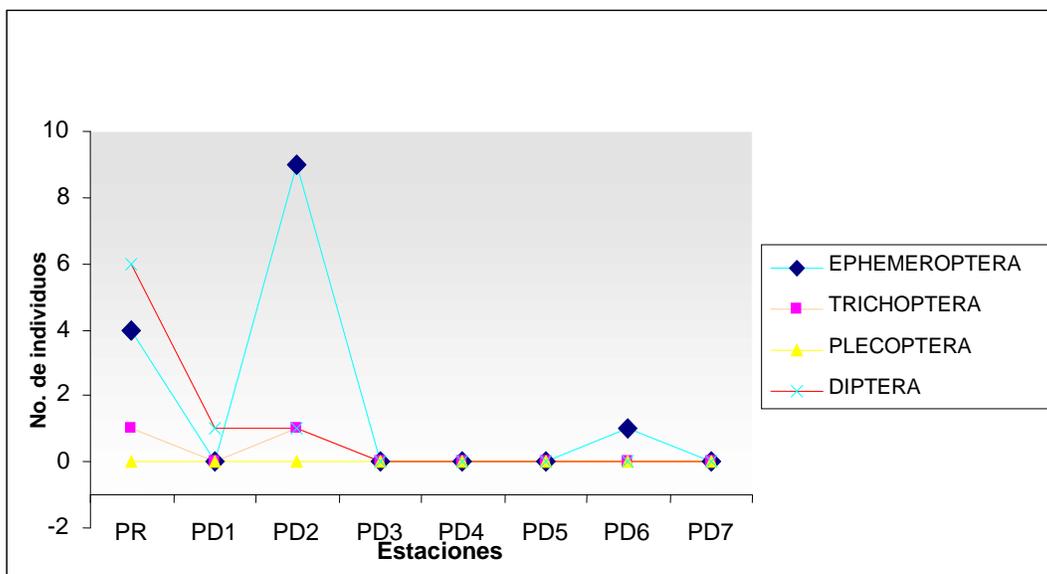


Figura 4.28b. Número de Insectos Acuáticos (orden) por estación de Colecta (Gira 2).

Con la finalidad de estudiar posibles patrones en grupos como EPT (Ephemeroptera-Plecoptera-Trichoptera) los cuales son relacionados con aguas relativamente buenas en las zonas templadas, y Diptera que presentan algunas familias propias de aguas no muy buenas, se hicieron las gráficas de la serie tres (Figuras 4.28a y 4.28b). En estas, se observa que en las giras 1 y 2 los Ephemeroptera estuvieron mayormente representados en PD2 y sólo en la primera gira se mantuvo este patrón para Trichoptera y Plecoptera. Con el interés de buscar alguna explicación para los patrones previamente señaladas, se realizaron las gráficas de Ephemeroptera (Ephe) vs pH y O₂ (Figuras 4.29a, 4.29b, 4.29c, 4.29d), así como las de EPT vs pH y O₂ (Figuras 4.30a, 4.30b, 4.30c, 4.30d) tanto para la gira 1 como la gira 2. En estas figuras se logra observar una posible relación entre los datos de Ephemeroptera y EPT con el pH, por lo tanto se adicionó un análisis de correlación de Spearman. Este último resultó en una relación negativa y significativa de -0.81 entre los datos mencionados (Figura 4.31). No se cuenta con reportes previos de esto.

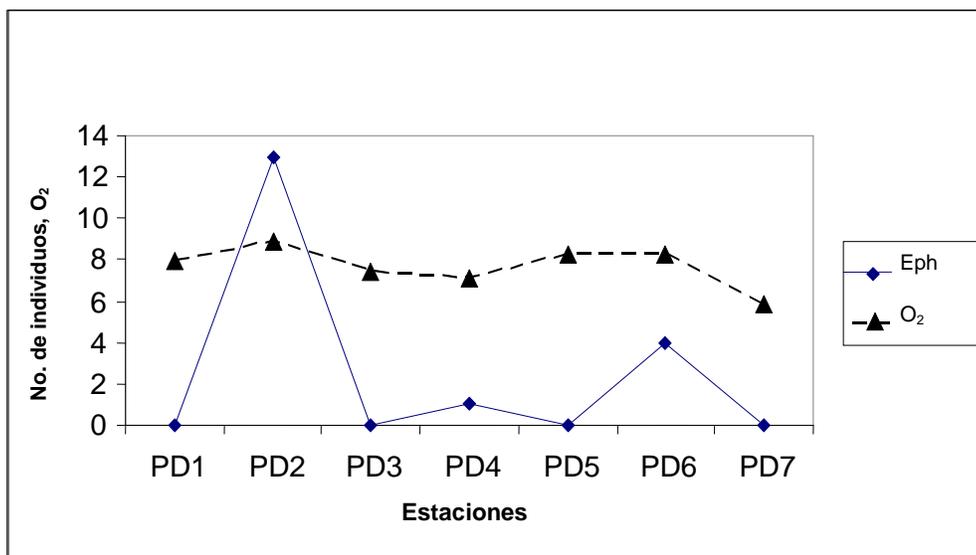


Figura 4.29a. Ephe vs O₂ (Gira 1). Oxígeno en mg/L

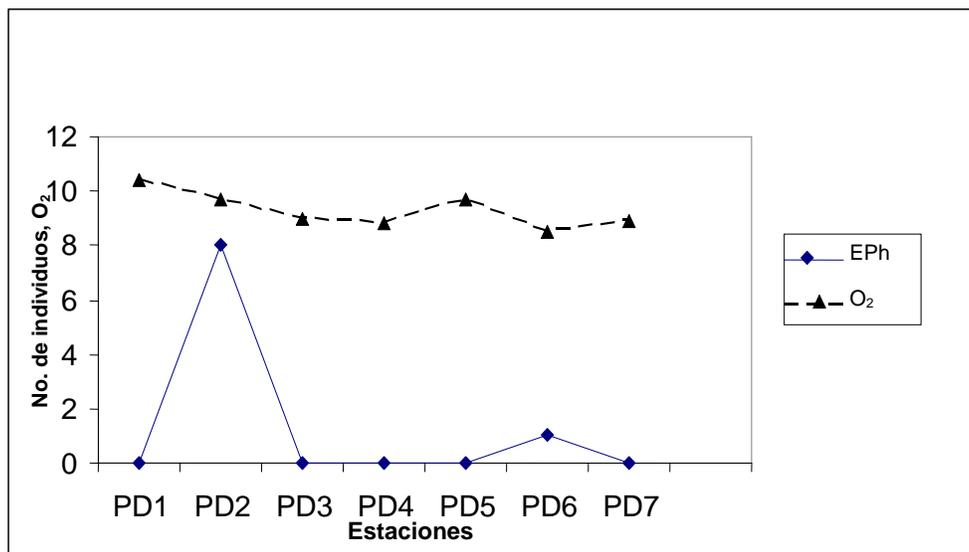


Figura 4.29b. Ephe vs O₂ (Gira 2). Oxígeno en mg/L

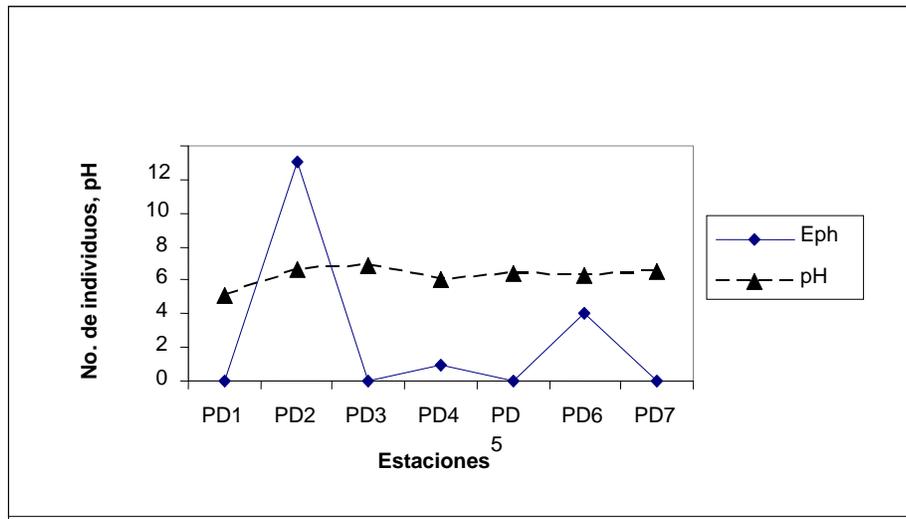


Figura 4.29c. Ephe vs pH (Gira 1).

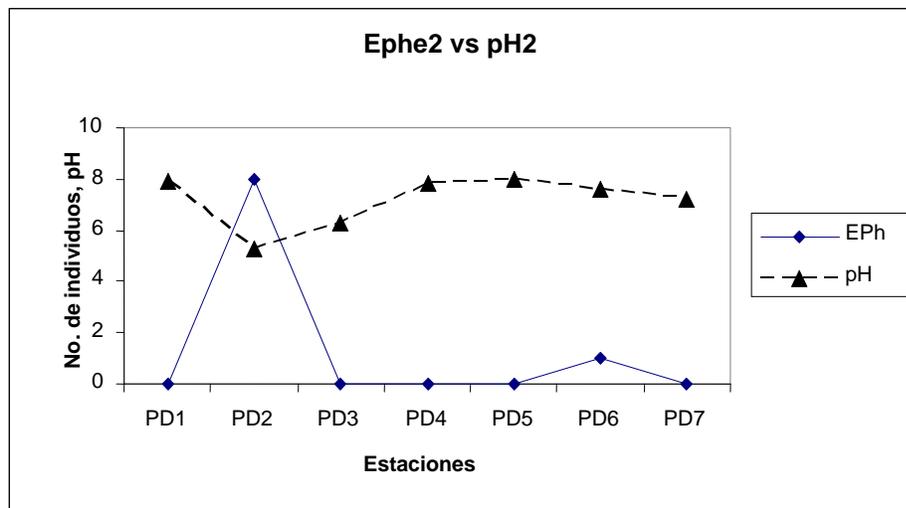


Figura 4.29d. Ephe vs pH (Gira 2).

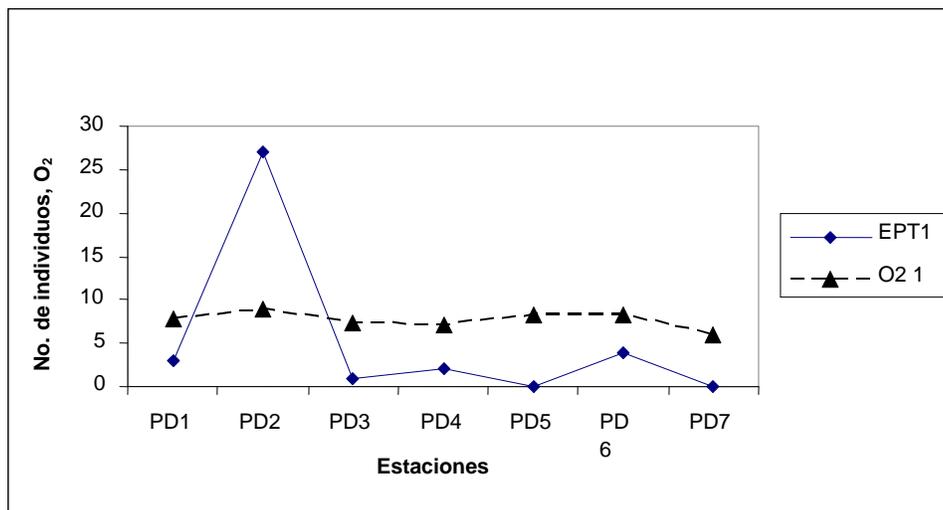


Figura 4.30a. EPT vs O2 (Gira 1). Oxígeno en mg/L

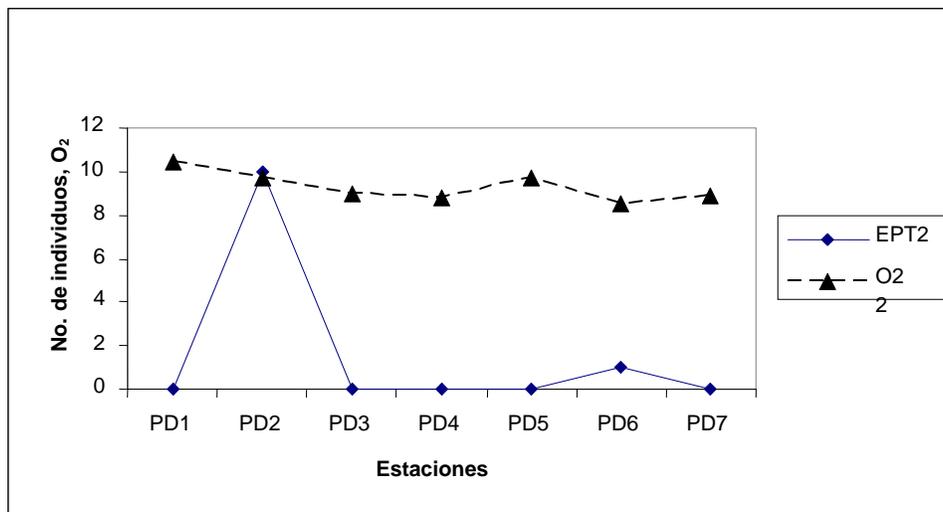


Figura 4.30b. EPT vs O2 (Gira 2). Oxígeno en mg/L

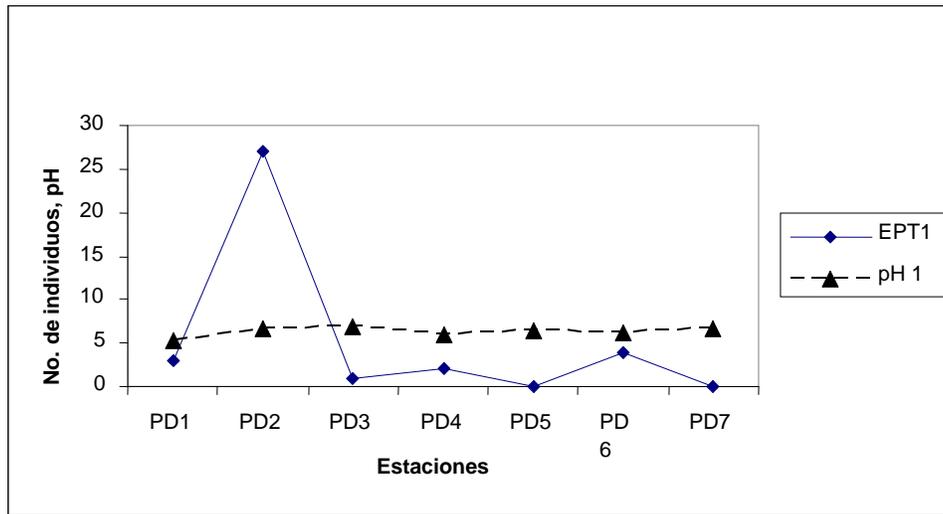


Figura 4.30c. EPT vs pH (Gira 1).

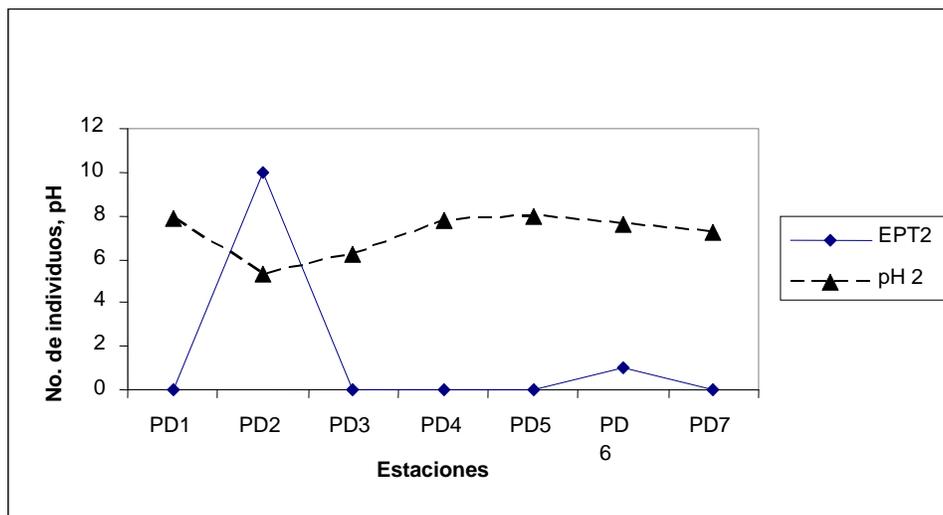


Figura 4.30d. EPT vs pH (Gira 2).

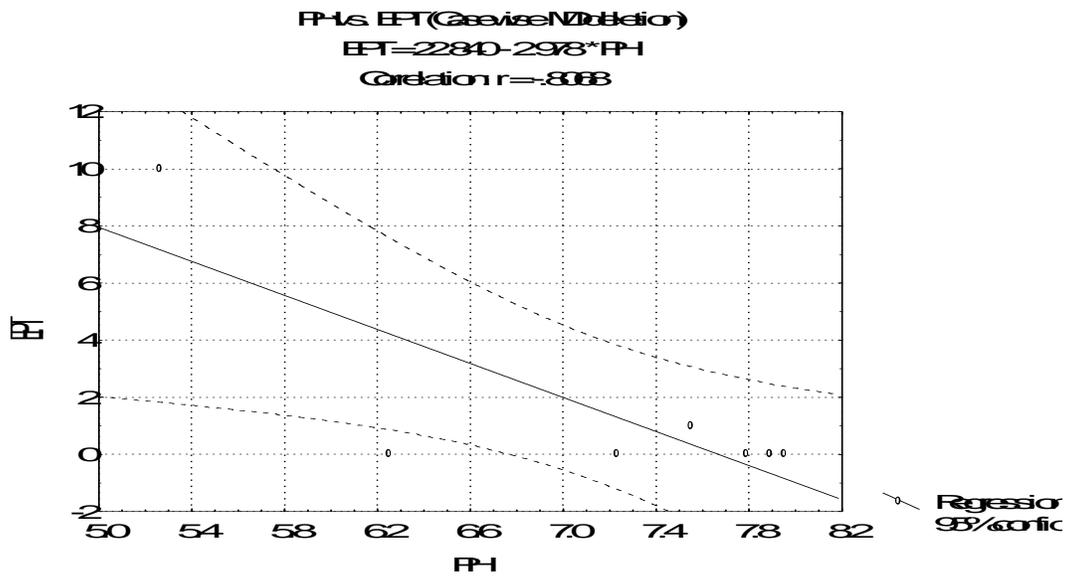


Figura 4.31. pH vs EPT, cuadro de correlación.

Con relación a Diptera, como se observa con la ayuda de las Tablas 4.17 y 4.18, la mayor parte de sus familias indican aguas de bajo nivel de calidad, no se observa un patrón esperado, principalmente porque en las estaciones superiores se registraron más individuos de este orden y sorpresivamente se colectaron dos individuos de la familia Ephydriidae. Estos últimos generalmente se relacionan con aguas de poca calidad. La familia Chironomidae fue la que estuvo mayormente representada en las estaciones superiores (PR-PD3) Fig. 4.32a y 4.32b, esta familia representa por lo general agua de mala o baja calidad.

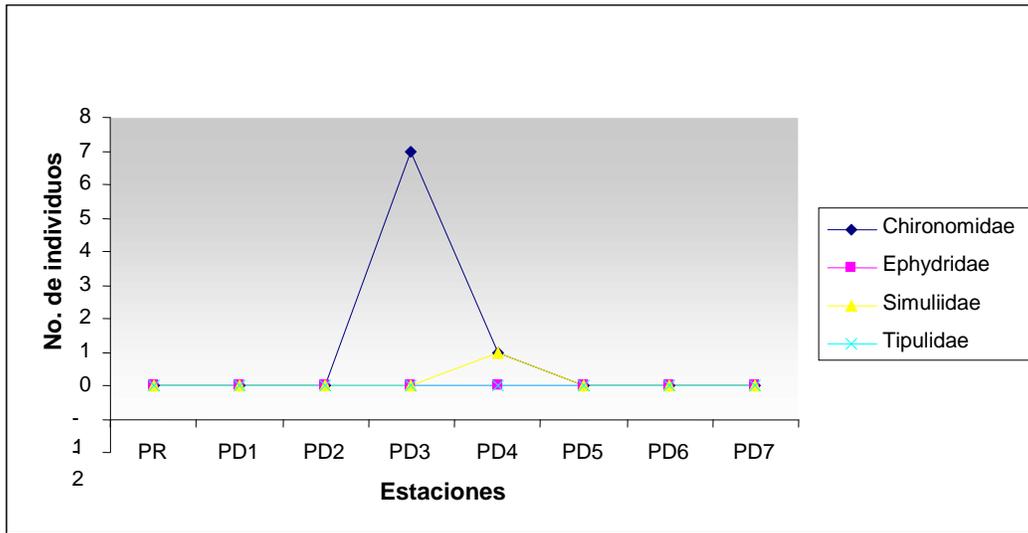


Figura 4.32a. Díptera (familia) Gira 1.

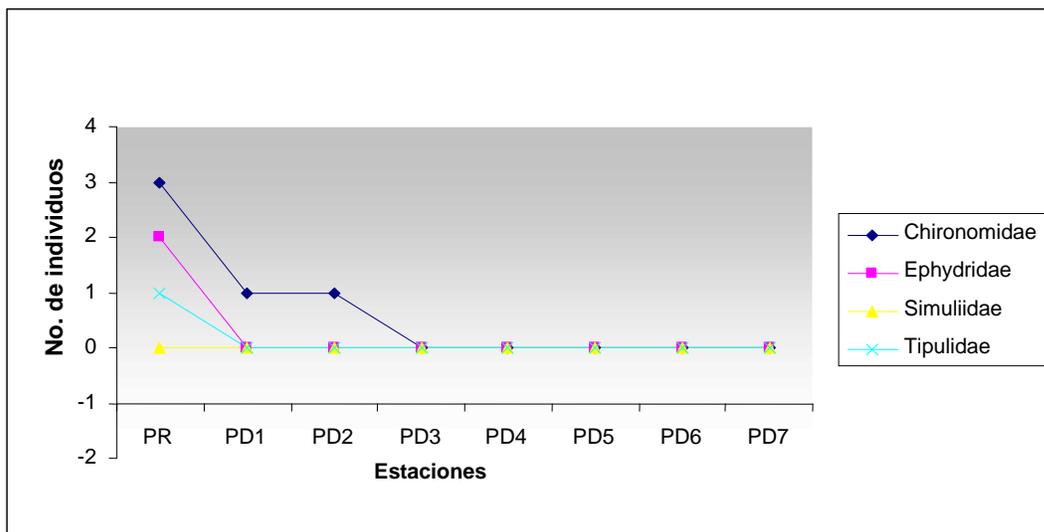


Figura 4.32b. Díptera (familia) Gira 2.

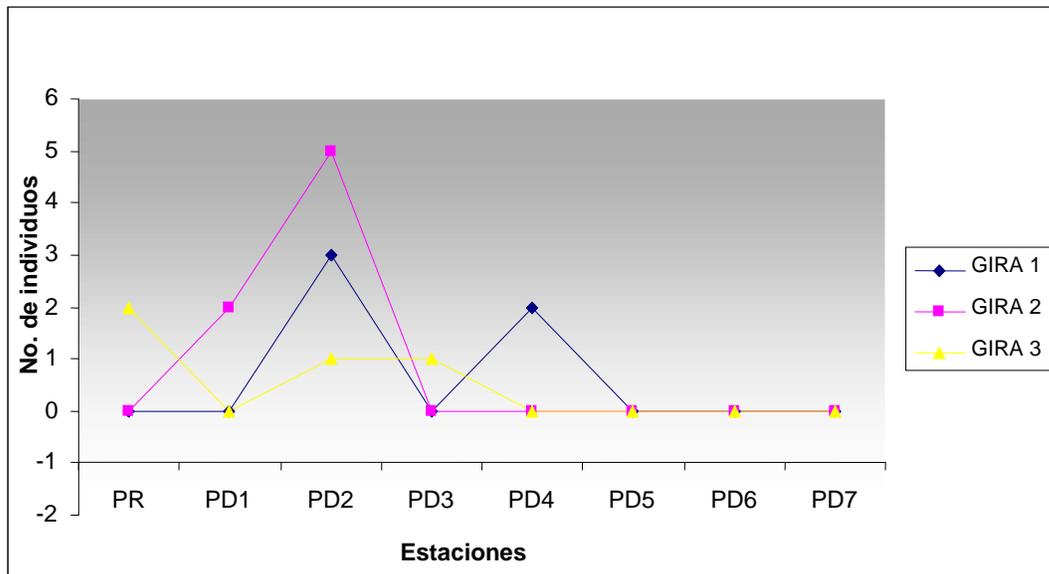


Figura 4.33. Número total de individuos – Heteroptera.

Un grupo que mostró un patrón (Figura 4.33), relativamente, interesante lo fue Heteroptera (chinchas acuáticos). Su presencia fue más evidente en las estaciones superiores (PR-PD5) por lo cual se podría deducir que en esas estaciones habría alguna fuente de alimento importante para ellos toda vez que son depredadores.

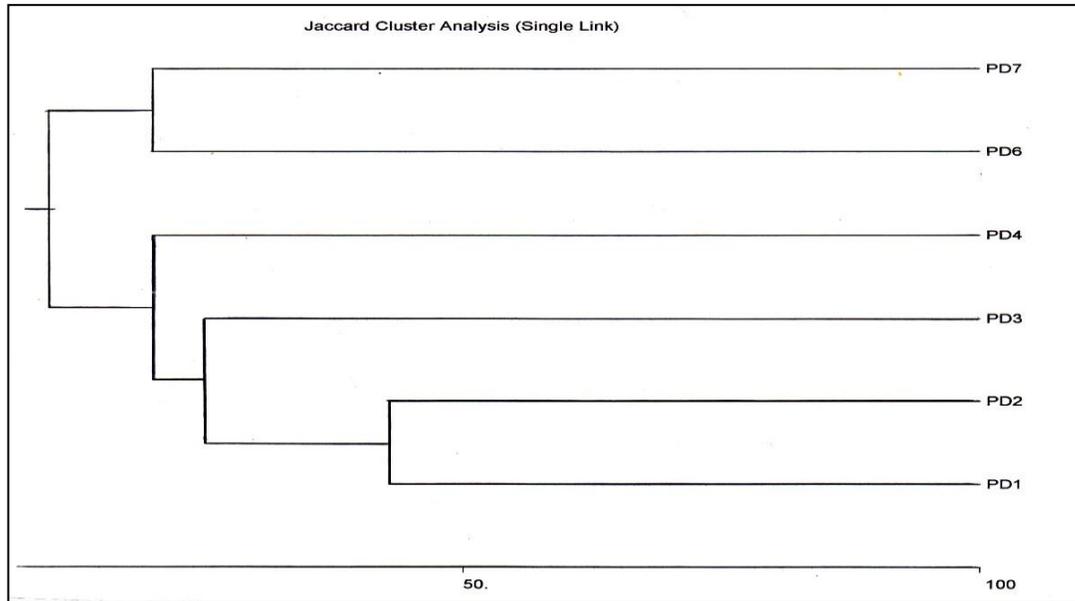


Figura 4.34. Similitud Taxonómica (Insectos Acuáticos).

La similitud taxonómica (insectos acuáticos) de las estaciones se evidenció en el dendrograma (Figura 4.34) realizado con el Análisis Jerárquico (Cluster, Índice de Jaccard). En el cual se tomó en cuenta las estaciones ubicadas en el gradiente del río David, durante la primera campaña de monitoreo, con excepción de la estación PD5 por no encontrar muestras durante su recolección, se observaron dos zonas de estaciones bien delimitadas, aquella que incluye PD1, PD2, PD3, PD4, zonas agrícolas en su mayor parte, y la que congrega las estaciones inferiores (PD6 Y PD7) que se relacionan con zonas muy urbanas y están al final del gradiente de calidad de agua (menos calidad), lo cual motiva a continuar con el programa, perfeccionando la metodología de muestreo, ya que pese a los porcentajes de similitud son bajos, se pueden alcanzar porcentajes más altos con el afinamiento de muestreo.

4.5. Conclusiones

Se logró establecer e iniciar un programa de monitoreo puntual de calidad de agua a lo largo de río David, con tres campañas de monitoreo realizadas. Se elaboraron mapas de calidad de agua que se confeccionaron utilizando como base el Programa de Monitoreo del río Biobío, que a su vez utilizó como referencia la normativa de Lombardía, a raíz de los resultados obtenidos de los parámetros físico-químicos, en el eje del río David y tres de sus afluentes (Majagua, Quebrada Obaldía y Quebrada el Sapo). Estos mapas fueron el resultado de tres campañas de monitoreo realizadas a lo largo de un año y en diferentes estaciones del año. Los resultados de calidad de agua en promedio, arrojan resultados favorables al estado de salud del río en lo referente a las estaciones ubicadas en la parte alta media y baja, con la excepción de la estación de estudio PD7du, que por estar ubicada aproximadamente a 200 m aguas abajo de la descarga de aguas residuales de la ciudad de David, se ve deteriorada en su calidad en alguno parámetros, como coliformes fecales y DBO_5 .

Por otra parte los resultados obtenidos en algunos parámetros analizados para la estación PD7de que está ubicada a una distancia de 500 m de la estación PD7du, indican que el río David, gracias a las condiciones geográficas y el caudal que lleva en esa zona de la cuenca, tiene la capacidad de disminuir la concentración de algunos de los parámetros que se estudiaron. Es necesario resaltar que los mapas de calidad del agua permiten tener una radiografía del estado de cada uno de los parámetros en las estaciones de muestreo de un determinado cuerpo de agua, pero no son una visión concluyente, es decir que se ponderen y produzcan un único resultado de calidad, para tener un diagnóstico completo, es necesario combinar el análisis de Mapas de Calidad del Agua con el Índice de Calidad del Agua (ICA), para de esta forma concluir en el estado integral de salud del cuerpo lótico.

Los insectos acuáticos recolectados en las tres campañas de muestreo a lo largo del eje de la cuenca, debido a irregularidades originadas en la metodología de muestreo y a las condiciones climáticas, no fueron utilizados como bioindicadores directos de calidad de agua; sin embargo, se realizó la identificación de los insectos encontrados en las muestras hasta familias, estos resultados pueden ser utilizados como base de datos para futuros estudios que se quieran desarrollar en la zona, y necesiten observar la calidad de agua mediante el uso de insectos acuáticos.

Con la primera gira se logró observar posibles patrones de comportamiento de algunas familias de insectos acuáticos en las estaciones de estudio, que buscaba el enlace con uno de los objetivos del proyecto, facilitar una metodología, que pueda ser mejorada, para el monitoreo de la cuenca y promover el uso de insectos acuáticos como bioindicadores en la zona.

Uno de los principales objetivos del proyecto era el establecer el inicio de un programa de monitoreo de la cuenca, es importante resaltar que mientras más

temprano se puedan detectar anomalías o deficiencias en la salud del río, facilita la solución de problemas ambientales, mientras se encuentren a pequeña escala. Con ello también se busca indirectamente el abaratamiento en costos no solo económicos, sino también ambientales, que puedan llegar a afectar el funcionamiento de la cuenca y todas las actividades humanas que dependen de ella.

4.6. Recomendaciones

Se recomienda la participación de empresas privadas, entidades estatales, académicas y la comunidad en general, para lograr la implementación del programa de monitoreo de calidad de agua del río David.

Realizar por lo menos 3 campañas de monitoreos anuales, de manera que cada una sea representativa de la estación climática que se da en la zona (estación seca y estación lluviosa) y una en el periodo de transición, para lograr consistencia en los análisis de los resultados, para ampliar la base de datos y conseguir una mejor interpretación del monitoreo de la condición del río mediante herramientas estadísticas.

Cambiar tres de los parámetros de monitoreo utilizados en el proyecto original I+D-147-2005: Nitrógeno Total, Fósforo Total, Sólidos Suspendidos; por Nitratos, Fosfatos, Sólidos Totales y añadir el parámetro de Turbiedad, de esta forma además de elaborar los mapas de calidad del agua, se puede calcular el ICA, obteniendo un diagnóstico más completo.

En lo referente a insectos acuáticos, afinar la metodología de muestreo para conseguir mejores matrices de distribución de insectos, esto se puede lograr con la cooperación de los estudiantes y profesores de la Facultad de Biología de la Universidad Nacional, que por conocer más del tema (insectos acuáticos), se logre un afinamiento de metodología más rápido y preciso.

4.7. Bibliografía

- ACP (2003-2005). Informe de la Calidad de Agua de La Cuenca Hidrográfica Del Canal de Panamá.
- Aguila, Y. (2001). Comparación físico, química y biológica de cuatro quebradas ubicadas en el eje de la Trasiística. Semana de la Biota Acuática y Medio Ambiente y XIII Foro del Agua, Universidad de Panamá, 13-17 de agosto de 2001, Panamá.
- Aguila, Y. (2008). Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, Universidad de Panamá. Panamá
- Armitage, P.; Moss, D.; Wright, F.; Furse, M. (1983). The Performance of a New Biological Water Quality Score System Based on Macroinvertebrates Over a Wide Range of Unpolluted Running-water. Water Res. USA.
- Autoridad Nacional del Ambiente (2002-2003). Primer Informe de Monitoreo de la Calidad de Agua en las Cuencas Hidrográficas de Panamá. Panamá.
- Autoridad Nacional del Ambiente (2005 y 2006). I y II Informe de Monitoreo de la Calidad del Agua (2003-2004) y (2004-2005), Panamá.
- Autoridad Nacional del Ambiente (2007). Diseño de la red de monitoreo de la calidad del agua en las cuencas hidrográficas del río Caimito y el Río Chiriquí. Panamá.
- Arrington, D.; Winemiller, K.; Layman, C. (2005). Community assembly at the patch scale in a species rich tropical river, Community Ecology. USA.
- Batista, R. (2003). Estudios Básicos para el Diagnóstico de la Subcuenca Hidrográfica del Río David, UN, Facultad de Ciencias Agrícolas, Panamá.
- Blanco-Belmonte, L.; Rosales, J. (2005). Muestreo Exploratorio de Comunidades de Invertebrados Bentónicos y Algunas Relaciones con las Características de Sedimentos Superficiales en las Márgenes del Río Orinoco, Caracas-Venezuela.
- Brenson, M.; Levine, D.; Limothy, C.; Krehpbiel, L. (2001). Estadística para Administración, Prentice Hall, Segunda Edición.
- Bressler, D.; Stribling, J.; Paul, M.; Hicks, M. (2006). Stressor tolerance values for benthic macroinvertebrates in Mississippi, Mag. Springer Netherlands, vol.573, no.1, Abstrac, Mississippi-USA.
- Brown, A.; Aguila, Y.; Brown, K.; Fowler, W. (1997). Responses of benthic macroinvertebrates in small intermittent streams to silvicultural practices, Hydrobiologia. USA.
- Cárdenas, C.; (2006). Curso de Microbiología Ambiental, Apuntes de Clases, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá.
- Castillo, M.; Moreno, P.; (2006). Benthic Macroinvertebrates in the Watershed of an Urban Reservoir in Southeastern Brazil, Mag. Springer Netherlands, vol.50, no.1. Abstract, Consolacion-Brazil.
- Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA-1997). “Guía para el establecimiento de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para Aguas Continentales Superficiales y Aguas Marinas (NAS)”, diseñada por el

- Departamento de Control de la Contaminación de la Comisión Nacional del Ambiente de Chile.
- Corbitt, R. (2003). Manual de Referencia de la Ingeniería Medioambiental. Mc Graw Hill. Madrid-España.
 - Córdoba, A. (2002). Calidad del Agua y su relación con los usos actuales en la Sub-cuenca del Río Jucuapa, Matagalpa, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CATIE, p.143, Costa Rica.
 - Dirección General de Normas Técnicas y Tecnología Industrial (DGNTI-COPANIT-35-2000). Descarga de Efluentes Líquidos directamente a Cuerpos y Masas de Aguas Superficiales y Subterráneas. Panamá, Panamá.
 - Fernández, A. (2004). IV Jornadas Iberoamericanas sobre Enfoques Integrados de la Problemática del Agua. Cartagena de Indias, CYTED, Colombia.
 - Figueroa, R. Valdovinos C y Araya E (2003) Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua de ríos del sur de Chile, Rev. Biología Tropical, vol.76, no.2, p.275-285, Chile.
 - Fresenius, W.; Schneider, W. (1991). Manual de Disposición de Aguas Residuales – Origen, Descargas, Tratamiento y Análisis de Aguas Residuales, Cooperación Técnica de la República Federal de Alemania (GTZ), Programa de Salud Ambiental, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (GCPIS), Organización Panamericana de la Salud (OPS), Organización Mundial de la Salud (OMS), Lima-Perú.
 - Garmendia, A.; Salvador, A.; Crespo, C.; Garmedia, L. (2005). Evaluación de Impacto Ambiental, Pearson-Pentice Hall, Madrid-España.
 - Gutiérrez, J.; Riss, W.; Opina, R.; (2006). Bioindicación de la Calidad del Agua en la Sabana de Bogota - Colombia, Mediante la Utilización de la Lógica Difusa Neuro-Adaptativa como Herramienta, Rev. Caldasia vol.28, no.1, p.45-56, Bogotá-Colombia.
 - Henry, J.G. ; Heinke, G.W. (1999). Ingeniería Ambiental. Segunda Edición en Español. Prentice Hall. Méjico, D.F.
 - Hose, G.; Turak, E.; Waddell, N. (2004). Reproducibility of AUSRIVAS Rapid Bioassessments Using Macroinvertebrates. J. North Am. Benthol. Soc. USA.
 - IGNTG (Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia) (1988) Atlas nacional de la Republica de Panamá., 3 edición, Panamá.
 - Jorgensen, S.; Verdonschot, P.; Lek, S.; (2002). Explanation of the observed structure of functional feeding groups of aquatic macro-invertebrates by an ecological model and the maximum exergy principle, Environmental Chemistry, USA.
 - Karr, J.; Chu, E. (1999). Restoring Life in Running Waters. Better Biological Monitoring. Island Press. USA.
 - Kerans, B.; Karr, J.; (1994). A Benthic Index of Biotic Integrity (B-IBI) for Rivers of the Tennessee Valley. Ecological Applications 4 (4): 768-785, USA.
 - Kiely, G. (1999). Ingeniería Ambiental, Fundamentos, Entornos, Tecnologías y Sistemas de Gestión, Editorial McGraw Hill, USA.

- Meléndez, L. (2003). Rescatemos el Virilla. Compromiso y trabajo en la gestión de cuencas (ICE-CNFL) p. 26, San José, Costa Rica.
- Meneses, J. (2003). Calidad del Agua en la Micro-cuenca Los Hules-Tinajones, Cuenca del Canal de Panamá. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CATIE, p.84 Costa Rica.
- Merritt, W.; Cummins, W. (1996). An Introduction to aquatic insect of north America, 3 Edition, Kendal/Hunt Publishing Company, Dubuque, USA.
- MICI (Ministerio de Comercio e Industria) (1991) Mapa Geológico de la República de Panamá, Hoja 4, Región Sur de Veraguas y Península de Azuero, Escala 1:250000, Dirección General de Recursos Minerales, Panamá.
- Mihelcic, J.R.; (2001). Fundamentos de Ingeniería Ambiental. Limusa Wiley. México, D.F.
- Ministerios de Salud y de Ambiente y Energía (MINAE, 2005). Propuesta Final BMWP. Costa Rica.
- Molina, C.; Fossati, O.; y Marin, R.; (2006). Ensayos para el Estudio de Macroinvertebrados Acuáticos en un Río Contaminado de la Ciudad de Paz Bolivia, Ciencia Abierta Internacional, Vol 29, La Paz-Bolivia.
- Muñoz, E.; Mendoza, G.; Valdovinos, C.; (2001). Evaluación Rápida de la Biodiversidad en Cinco Sistemas Lénticos de Chile Central: Macroinvertebrados Bentónicos, Rev. Biología Tropical, vol.65, no.2, Concepción-Chile.
- Orrego, J.; (2002). El Estado de las Aguas Terrestres en Chile: Cursos y aguas subterráneas, Terram,, Santiago-Chile.
- Parra, O.; Valdovinos, C.; Habit, E.; Figueroa, R.; (2004). Programa de Monitoreo de la Calidad del Agua del Sistema Río Biobío. Informe Técnico. Centro de Ciencias Ambientales EULA-Chile, Universidad de Concepción-Chile.
- Requena, G. (2005). Evaluación de la Calidad Físico-Química y Bacteriológica del Agua de la Sub-Cuenca del Río David, UNACHI, Facultad de Ciencias Naturales y exactas, Escuela de Química, Chiriquí-Panamá.
- Reynoldson, R.; Resh, V.; Day, K.; Rosenberg, D.; (1997). The Reference Condition: a Comparison of Multimetric and Multivariate Approaches to Assess Water-Quality Impairment Using Benthic Macroinvertebrates. J. North. Am. Benthol. Soc. 1
- Roldán, G.; (1998). Guía para el Estudio de los Macroinvertebrados Acuáticos del Departamento de Antioquia, Ed, Precensia Ltda., Bogotá-Colombia.
- Roldan, G. (2003). Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Editorial Universidad de Antioquia-Colombia.
- Roldán, G.; Álvarez.; (2006). Puntuaciones Asignadas a las Diferentes Familias de Macroinvertebrados Acuáticos para la Obtención del Índice BMWP, Colombia.
- Ruiz, M.; Rincón, M.; (2002). Calidad Ecológica del Río Villeta, Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá-Colombia.

- Salusso, M.; Moraña, L.; (2002). Comparación de Índices Bióticos Utilizando el Monitoreo de Dos Sistemas Lóticos del Noreste Argentino, *Rev. Biología Tropical*, vol.50, no.1, Salta-Argentina.
- Segnini, S. (2003). Uso de Macroinvertebrados Bentónicos Como Indicadores de la Calidad de los Cuerpos de Agua Corriente, *Sociedad Venezolana de Ecología*, vol.16, no.2, Mérida-Venezuela.
- Stone, M. Whiles, M.; Webber, J.; Williard, K.; Reeve, J.; (2005). *Macroinvertebrate Communities in Agriculturally Impacted Southern Illinois Streams*, Environ Qual, USA.
- Tebbutt, T. (2002). *Fundamentos de Control de Calidad del Agua*. 3 ed. Editorial Limusa, México.
- Zamora-Muñoz, C.; Alba-Tercedor, J. (1996). Bioassessment of Organically Polluted Spanish Rivers, Using a Biotic Index and Multivariate Methods. *J. North. Am. Benthol. Soc.*

CAPÍTULO 5.

ESCENARIOS DE CONTAMINACIÓN DIFUSA

5.1. Antecedentes

El entendimiento del transporte del plaguicida en un medio depende principalmente de las características físico químicas del plaguicida y del ambiente, además de la geografía de la región en la cual se aplica la sustancia.

El medio es el lugar en que puede estar presente el plaguicida como: materiales o sustancias de desecho, agua subterránea o superficial, aire, suelo, subsuelo, sedimento y biota (Mejia *et al.*, 1995).

La determinación exacta del comportamiento en la naturaleza de los plaguicidas no es definible, dado que los estudios realizados a los plaguicidas se realizan bajo condiciones controladas no ajustándose a la realidad a la hora de su aplicación.

A pesar de lo complejo del problema, los científicos han logrado determinar ciertas características físico-químicas cuantificables para los plaguicidas, como lo son la solubilidad, presión de vapor, constante de la Ley de Henry, el Coeficiente de Carbono orgánico (K_{oc}) y el Coeficiente de Partición Octanol-Agua (K_{ow}). Con esta información se puede predecir el lugar donde pudiera encontrarse un plaguicida en altas concentraciones. Por otra parte, la molécula de plaguicida no permanece intacta por tiempo indefinido en el medio, ya que con el tiempo sufre una degradación influenciada por microorganismos, actividad química, pH, clima, y contenido de materia orgánica del suelo, entre otros.

Los mecanismos de transporte de plaguicidas en el ambiente es la forma en que se mueven los plaguicidas en el medio ambiente, desde la fuente emisora del plaguicida hasta los puntos donde existe exposición para el ser humano o biota (Mejia *et al.*, 1995).

Otro mecanismo de transporte es la difusión o el movimiento de moléculas debido a un gradiente de concentración. Este movimiento es al azar pero trae como consecuencia el flujo de materiales desde las zonas más concentradas a las menos concentradas. Para medir la difusión de un compuesto en el suelo hay que considerar la interacción conjunta de parámetros tales como la porosidad, los procesos de adsorción, la naturaleza del compuesto, etc. (García *et al.*, 2007).

Las características físicas y las condiciones climáticas del sitio de estudio contribuyen al transporte de los contaminantes. Por consiguiente, es necesaria la información acerca de la topografía, tipos de suelo y ubicación, tipo de cubierta del suelo, precipitación anual, condiciones de temperatura, entre otros, para poder estimar hacia donde puede desplazarse el plaguicida aplicado. (García *et al.*, 2007).

Los factores físico químicos influyen en el destino final del plaguicida en el medio.

El movimiento del plaguicida y su comportamiento en el medio lo determinan algunos factores como:

- *Presión de Vapor* es una medida de volatilidad de una sustancia química (plaguicida) en estado puro y es un determinante importante de la velocidad de volatilización al aire desde suelos o cuerpos de agua superficiales contaminados. La presión de vapor varía; se incrementa la presión cuando se incrementa la temperatura y disminuye cuando disminuye la temperatura.

La unidad del sistema internacional de presión de vapor es Pascal (Newton /m²) o en milipascales (10⁻³ Pa).

Un plaguicida con presión de vapor mayor a 10.6 mm Hg puede fácilmente volatilizarse y tiende a alejarse del lugar donde se aplicó.

Los plaguicidas con presión de vapor menor a 1.0×10^{-8} (1.0 E-08) tienen bajo potencial para volatilizarse (Tabla 5.1). Los plaguicidas con una presión de vapor mayor a 1.0×10^{-3} (1.0 E-03) tienen alto potencial para volatilizarse (Jenkins *et al.*, 1999).

Tabla 5.1. Clasificación de los Plaguicidas de acuerdo a su Presión de Vapor.

Presión de Vapor del Plaguicida	Afinidad del plaguicida en agua	Plaguicida
$< 1.0 \times 10^{-8}$	Alta	Bajo potencial de volatilización Se puede solubilizar en agua o ser retenido en suelo
$> 1.0 \times 10^{-3}$	Baja	Alto potencial de volatilización

En la Tabla 5.1 se observan los rangos de presión de vapor para plaguicidas y su afinidad en agua a partir del mismo.

- *Persistencia* se define como la capacidad de cualquier plaguicida para retener sus características físicas, químicas y funcionales en el medio, en el cual es transportado o distribuido, durante un período limitado después de su emisión. Los plaguicidas que persisten más tiempo en el ambiente, tienen mayor probabilidad de interactuar con los diversos elementos que conforman los ecosistemas (Tabla 5.2).

Si su vida media y su persistencia es mayor a la frecuencia con la que se aplican, los plaguicidas tienden a acumularse tanto en los suelos como en la biota y con el tiempo la mayoría de los plaguicidas sufren una degradación como resultado de reacciones químicas y microbiológicas en suelo o agua.

Tabla 5.2. Clasificación de los plaguicidas de acuerdo a su persistencia.

Persistencia	Tiempo
Ligeramente persistente	Menor de 4 semanas
Poco persistente	De 4 a 26 semanas
Moderadamente persistente	De 27 a 52 semanas
Altamente persistente	De 1 a 20 años
Permanentes	Mayor de 20 años

La Tabla 5.2 muestra la persistencia y clasificación de los plaguicidas en escala de tiempo en semanas.

- *La solubilidad en agua* de un plaguicida es una medida que determina la máxima concentración de un plaguicida al disolverse en un litro de agua y por lo general tiene un rango de 1 a 100,000 mg/L. Las unidades de concentración son mg por litro (mg/L).

Es importante mencionar que la mayoría de los valores reportados en la Tabla 5.3 fueron determinados en experimentos de laboratorio a temperaturas de 20 a 25 °C (Jenkins *et al.*, 1999).

Tabla 5.3. Clasificación de los plaguicidas de acuerdo a su solubilidad en agua.

Plaguicida	Agua y Suelo
Baja solubilidad	<ul style="list-style-type: none"> • El plaguicida puede tener afinidad por el suelo y acumularse en éste • El plaguicida puede sedimentarse en el suelo en la base de los acuíferos.
Alta solubilidad	<ul style="list-style-type: none"> • El plaguicida puede tener afinidad por el agua y puede solubilizarse • El plaguicida se puede transportar a mantos acuíferos • Puede facilitarse la biodegradación del plaguicida

La Tabla 5.3 muestra la clasificación para plaguicidas según su solubilidad y su posible comportamiento de acuerdo a esta característica.

- *Coefficiente de adsorción de carbono orgánico (K_{oc})* también conocido como coeficiente de adsorción suelo/agua o el coeficiente de adsorción, es una medida de la tendencia de un compuesto orgánico a ser adsorbido (retenido) por los suelos o sedimentos.

El K_{oc} es específico para cada plaguicida y es sumamente independiente de las propiedades del suelo. Los valores del K_{oc} van de 1 a 10000000 ml/g de carbono orgánico.

Un K_{oc} elevado indica que el plaguicida orgánico se fija con firmeza en la materia orgánica del suelo, por lo que poca cantidad del compuesto se mueve a las aguas superficiales o a los acuíferos. (Tabla 5.4).

Tabla 5.4. Clasificación de los plaguicidas de acuerdo a su K_{oc} en agua.

Adsorción del Plaguicida		Valores del Coeficiente (ml/g)	
Muy débil	El plaguicida puede ser volátil	Menor a 10	Koc BAJO <ul style="list-style-type: none"> • El plaguicida puede distribuirse en cuerpos de agua o aire • El plaguicida puede no ser fijado a la materia orgánica del suelo • La vía de exposición al plaguicida puede ser la inhalatoria
Débil		10 a 100	
Moderada		100 a 1000	
De moderada a fuerte	El plaguicida puede ser soluble en grasa	1000 a 10,000	Koc ALTO <ul style="list-style-type: none"> • El plaguicida se puede fijar en suelo, sedimento, biota y materia orgánica • El plaguicida puede moverse en aguas superficiales • La vía de exposición al plaguicida puede ser por la cadena alimenticia
Fuerte		10,000 a 100,000	
Muy fuerte		Mayores a 100,000	

La Tabla 5.4 muestra los rangos de K_{oc} y la característica que muestra el plaguicida en el medio.

- *Coefficiente de partición octanol/agua (K_{ow})* es una medida de cómo una sustancia química puede distribuirse entre dos solventes inmiscibles, agua (es un solvente polar) y octanol (es un solvente relativamente no polar, que representa a las grasas). El K_{ow} proporciona un valor de la polaridad de un plaguicida, que es frecuentemente utilizado en modelos para determinar como un plaguicida puede distribuirse en tejido de grasa animal.

Los plaguicidas con una vida media y un K_{ow} altos pueden acumularse en tejido graso y bioacumularse a lo largo de la cadena alimenticia.

Tabla 5.5. Clasificación de los plaguicidas de acuerdo a su K_{ow} en agua.

Acumulación del Plaguicida en Grasa (K_{ow})	Plaguicida
Alto	<ul style="list-style-type: none"> • El plaguicida puede fijarse con firmeza a materia orgánica, sedimento y biota • El plaguicida puede bioacumularse en grasa corporal de animales • La vía de exposición al plaguicida puede ser por la cadena alimenticia
Bajo	<ul style="list-style-type: none"> • El plaguicida puede no fijarse en materia orgánica • El plaguicida puede moverse en aguas superficiales, acuíferos y aire • La vía de exposición al plaguicida puede ser la inhalatoria

La Tabla 5.5 muestra el comportamiento del plaguicida a partir del valor de K_{ow} .

La definición de dichos parámetros y criterio mostrado anteriormente será utilizada para la interpretación de los resultados obtenidos por el modelo SWAT en los escenarios simulados de plaguicidas.

En el Capítulo 3 se muestran los resultados de las muestras tomadas a lo largo de la red hídrica del río David utilizando un cromatógrafo de gases con receptor de microconductividad eléctrica. Los plaguicidas encontrados son Propanil, Endosulfan, Pendimetalina, Dieldrin, Lindano y 2,4 D en el río y en un envase de mezcla y residuo de plaguicidas.

Se realiza la simulación de escenarios en base a estos plaguicidas basados en sus características físico-químicas antes mencionadas.

5.2. Objetivo

- Ejecutar escenarios de contaminación difusa para sitios de aplicación de plaguicidas.

5.3. Metodología

- Utilizando los resultados obtenido en el Capítulo 3 se determinaron los plaguicidas cuya presencia fue comprobada en la cuenca.
- Posterior a la calibración del modelo hidrológico se ejecutaron los escenarios de plaguicidas anteriormente reportados por su presencia y uso en la cuenca.
- Mediante revisión bibliográfica se realizó la comparación de los resultados obtenidos por el modelo, para distintos escenarios, por medio de las condiciones fisicoquímicas del plaguicida en el medio suelo y agua.

5.4. Resultados y Discusión

Obtenida la calibración del modelo hidrológico (Capítulo 2) se realiza la simulación de escenarios para los días de flujo pico, bajo las condiciones iniciales de porcentaje de plaguicida en el follaje del cultivo y promedio de plaguicida en el suelo.

Encontrando de esta manera el transporte proyectado de plaguicidas en la cuenca, para días con condiciones de precipitación y flujo de datos a continuación.

Para los escenarios ejecutados se implementa la columna de caudal simulado, y las características obtenidas con la mejor respuesta del modelo en la etapa de calibración.

Los eventos escogidos por los picos de flujo o caudales máximos, observados en este estudio, se presentan en los días 26 de septiembre de 1996 y 4 de octubre de 1996. Como se menciona anteriormente el modelo actúa dividiendo la cuenca en unidades de respuesta hidrológica, obteniendo por medio de esta, el movimiento del agua.

A partir de la trayectoria del agua por los cultivos, y conociendo la carga de plaguicida aplicada por día es posible modelar la tasa de plaguicida en mg/día, que llega a la masa de agua. Si el objetivo es calidad de agua en el curso principal del río, es posible enlazar el SWAT al QUAL 2E, este último modelo de calidad de agua desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), para poder proyectar la trayectoria a lo largo del mismo. El alcance de este estudio es llegar a conocer la carga que llega al río, más no, su trayectoria en el mismo.

Como se mencionó en los antecedentes, se realiza la ejecución de los escenarios en base a los plaguicidas Propanil, Endosulfan, Pendimetalina, Dieldrin, Lindano y 2,4 D (en las Tablas 5.6 (a) y (b) se presentan sus características físico-químicas).

La simulación de escenarios de los plaguicidas mencionados se elabora para días de flujo pico, bajo condiciones iniciales de cantidad de plaguicida en el follaje del cultivo para un valor mínimo de 1 kg/ha y un valor máximo de 5 kg/ha, cantidad de pesticida en suelo de 0 mg/kg, y relación de enriquecimiento de plaguicida en el suelo (1 y 5%). Se asumieron estas condiciones como la menor y mayor cantidad de plaguicidas en el follaje que toma SWAT, y suponiendo que no hay químico en el suelo.

Se encuentra de esta manera el posible transporte de plaguicidas en la cuenca para días con condiciones de precipitación y flujo de datos, que se presenta en el Capítulo 2.

Se debe comprender claramente, que estos son escenarios posibles, no son escenarios calibrados en campo con datos reales. La intención es conocer como se proyectaría el transporte, y si son capaces de llegar los plaguicidas objeto de este estudio, bajo el escenario hidrológico calibrado, características fisicoquímicas del suelo y las condiciones de uso de suelo actuales.

Para los escenarios ejecutados se implementa la columna de caudal simulado y las características obtenidas con la mejor respuesta del modelo en la etapa de calibración.

En las Tablas 5.6 (a), (b) y (c) se presentan las características físico-químicas y toxicológicas de los plaguicidas Propanil, Endosulfán, Pendimetalina, Dieldrin, Lindano y 2,4 D.

Tabla 5.6. (a) Propiedades Físico-Químicas para los Plaguicidas encontrados en la cuenca del río David.

Nombre Químico	Fórmula Química	Peso Molecular, g/mol	Presión de Vapor (mmHg) (°C)	Log K _{ow}
¹ Endosulfán	C ₉ H ₆ Cl ₆ O ₃ S	406.91	1.00 X 10 ⁻⁵	3.55-3.62
² Propanil	C ₉ H ₉ Cl ₂ NO	218.08	0.75 X 10	2.29
² Pendimetalina	C ₁₃ H ₁₉ N ₃ O ₄	281.31	2.47 X 10 ⁻⁵	1.9
¹ Dieldrin	C ₁₂ H ₈ Cl ₆ O	380.90	1.78 X 10 ⁻⁷	3.50
² Lindano	C ₆ H ₆ Cl ₆	290.83	9.00X10 ⁻⁶	3.61-3.72
¹ 2,4-D (ácido)	C ₈ H ₆ Cl ₂ O ₃	221.04	4.00 X10 ⁻¹	2.81

¹ (La Grega *et al.*, 2001)

² <http://www.mtas.es/insht/ipcsnspn/nspn0053.htm>

Tabla 5.6. (b) Propiedades Físico-Químicas aplicadas por el modelo SWAT, para los plaguicidas escogidos para la corrida de Escenarios.

Nombre Comercial	Nombre Químico	Koc (ml/g)	Vida Media (días)		Solubilidad en Agua (mg/L)
			Follaje	Suelo	
Thiodan	Endosulfán	12400	3	50	0.32
Stam	Propanil	149	1	1	200
Prowl	Pendimetalina	5000	30	90	0.275
Dieldrin	Dieldrin	50000	5	1400	0.1
Isotox	Lindano	1100	2.5	400	7.3
Dacamine	2,4-D acid	20	5	10	890

Fuente:(Arnold, 2002).

La Tabla 5.6 (b) muestra los valores asumidos por SWAT para el cálculo de transporte del plaguicida

Tabla 5.6. (c) Afectaciones y vías de exposición a los Plaguicidas Estudiados.

Nombre Comercial	Agente Químico	Tipo Principal de Exposición	Órgano Blanco	Vía Principal de Exposición	Carcinogénico
Thiodan	Endosulfán	Oral, inhalatoria, cutanea.	Hepático renal	Oral	
Stam	Propanil	Oral, inhalatoria y cutanea	Neurológico	Oral	
Prowl	Pendimetalina	Inhalatoria, oral, cutanea	Neurológico, hepático renal	Inhalatoria	
Dieldrin	Dieldrin	Inhalatoria, oral y cutanea	Neurológico	Oral	X
Isotox	Lindano	Oral, inhalatoria	Hepático, renal y neurológico	Oral	
Dacamine	2,4-D acid	Inhalatoria, oral, cutanea	Reproductivo	Oral	X

La Tabla 5.6 (c) muestra que la posible llegada de plaguicidas al río puede causar afectaciones a distintos órganos blancos; entre las principales vías de exposición se encuentra la vía oral o por ingestión, situación que puede estar ocurriendo por la posible llegada de plaguicidas a los distintos ríos y comunidades que consumen agua del río sin tratamiento.

La Tabla 5.7 presenta las características físico - químicas del suelo de la cuenca del río David, encontrados en este estudio, lo cual apoya el análisis de los resultados en las ejecuciones de los distintos escenarios utilizando el modelo SWAT.

Tabla 5.7. Características Físico-Químicas del suelo de la cuenca del río David.

Cuenca	Muestras	Textura	Carbono orgánico	Conductividad hidráulica saturada	pH
Cuenca alta	Pto 1 M1	Franco arenoso	3.93	6.34	5.37
	Pto 1 M2	Franco arenoso	1.99	7.05	5.67
Cuenca media	Pto 2 M1	Franco arenoso	0.93	2.33	5.37
	Pto 3 M1	Franco arenoso	0.069	2.31	5.27
	Pto 4 M1	Franco arenoso	2.49	1.2	5.94
Cuenca baja	Pto 5 M1	Franco arenoso	2.69	0.82	6.30
	Pto 5 M2	Franco arcilloso	4.99	0.29	6.15

La Tabla 5.7 muestra las características ácidas del suelo de la cuenca, la posibilidad de que el plaguicida sea más persistente en el medio, por la poca presencia de agentes descomponedores o que reaccionen con el plaguicida para reducir sus efectos o presencia en el medio.

Las condiciones presentes en las Tablas 5.6 (a) y 5.6 (b) son las asumidas por SWAT para la ejecución de escenarios y posterior análisis de resultados.

5.3.1. Escenarios para Endosulfán

El primer escenario ejecutado en esta simulación es con valores de plaguicidas en el follaje de 1 kg/ha y un cociente de enriquecimiento para el pesticida en el suelo de 1 mg/kg.

El valor colocado a la cantidad inicial del pesticida en suelo es de 0 mg/kg, de esta manera se interpreta que no existe mayor cantidad de plaguicida en el suelo que altere su llegada o cantidad en la cuenca.

De acuerdo a los resultados arrojados por el modelo (Anexo 5.2), las subcuencas o unidades de respuesta hidrológicas afectadas por la llegada del plaguicida al río se encuentran las subcuencas 22, 29, 40, 42, 43, 44, 45 y 46.

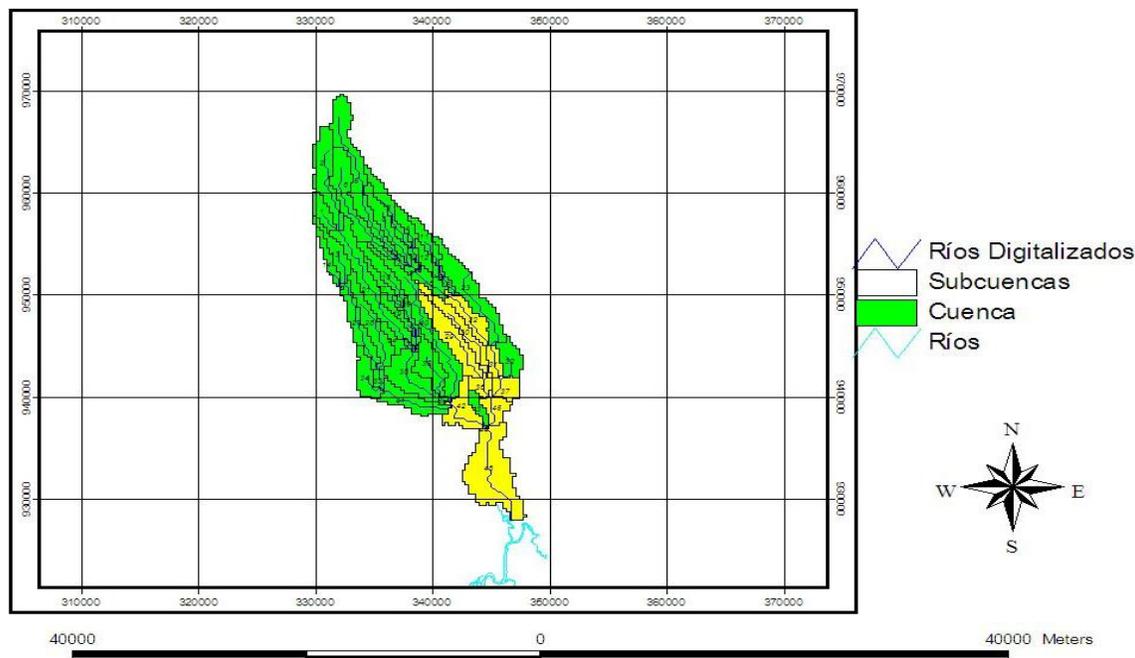


Figura 5.1. Escenario de transporte del endosulfán en la cuenca del río David.

Subcuencas afectadas (22, 29, 40, 42, 43, 44, 45, 46) (Área de aplicación o afectación de plaguicidas marcadas de color amarillo).

En las subcuencas 22, 29, 40, 42 existe cultivo de naranja, mientras que la cuenca 46 posee en su área cultivos de arroz.

La llegada de plaguicidas aunque en cantidades despreciables (0.00007 mg/día) de masa se debe en gran parte por la cercanía de estos cultivos a ríos o brazos del río David.

También el movimiento de los mismos a otras subcuencas que no tienen cultivos en sus áreas de influencia.

De acuerdo a las Tablas 3.6 (a) y (b), que presentan las propiedades físico-químicas del Endosulfan, de acuerdo a su K_{oc} de 12400 ml/g , es un plaguicida que se adhiere fuertemente a suelos de partícula pequeña (textura de franco arcillosa). (Christodoulatos y Mohiuddin, 1996); (Gao *et al.*, 1998 (a) (b)); Domínguez *et al.*, 2004).

En el caso de la cuenca alta del río el suelo es de tipo franco arenoso (partícula relativamente alta) limitaría al movimiento del mismo junto con el sedimento, por lo tanto es ocasionado por la escorrentía superficial; sin embargo, este plaguicida es poco soluble en agua (0.32 mg/l) por lo que su escurrimiento en la cuenca alta y media es despreciable.

Como se observa en los Anexos 5.2 y 5.3 se repiten los resultados del primer evento para el plaguicida Endosulfan. Se pone en evidencia la mayor llegada al río en el área que contiene los cultivos de arroz en la subcuenca 46.

En el segundo escenario simulado, en donde la concentración sobre el follaje aumenta a 5 Kg/ha, se obtiene un valor de 4.77 mg del ingrediente activo de Endosulfan en el fondo del río, lo que permitiría mayor presencia del plaguicida en el río, pero siendo desprendido por el sedimento en el fondo o la cama del río en pequeñas cantidades.

Esto se puede explicar por el alto contenido de arcilla y el mayor contenido de carbón orgánico (4.99%); por lo tanto el Endosulfan se adhiere al suelo, y cuando llega al cuerpo de agua tiende a depositarse en el sedimento. Este efecto de adsorción tiende hacer reversible debido al alto contenido de carbón orgánico lo cual coincide con el efecto de resuspensión en el fondo observado y fue explicado por Gao *et al.*, (1998 (a), (b)).

5.3.2. Escenarios para Propanil

En la Figura 5.2, se puede observar que en las subcuencas señaladas, solo las unidades de respuesta hidrológicas 42 y 46 contienen cultivos de naranja y arroz respectivamente (Anexo 5.4).

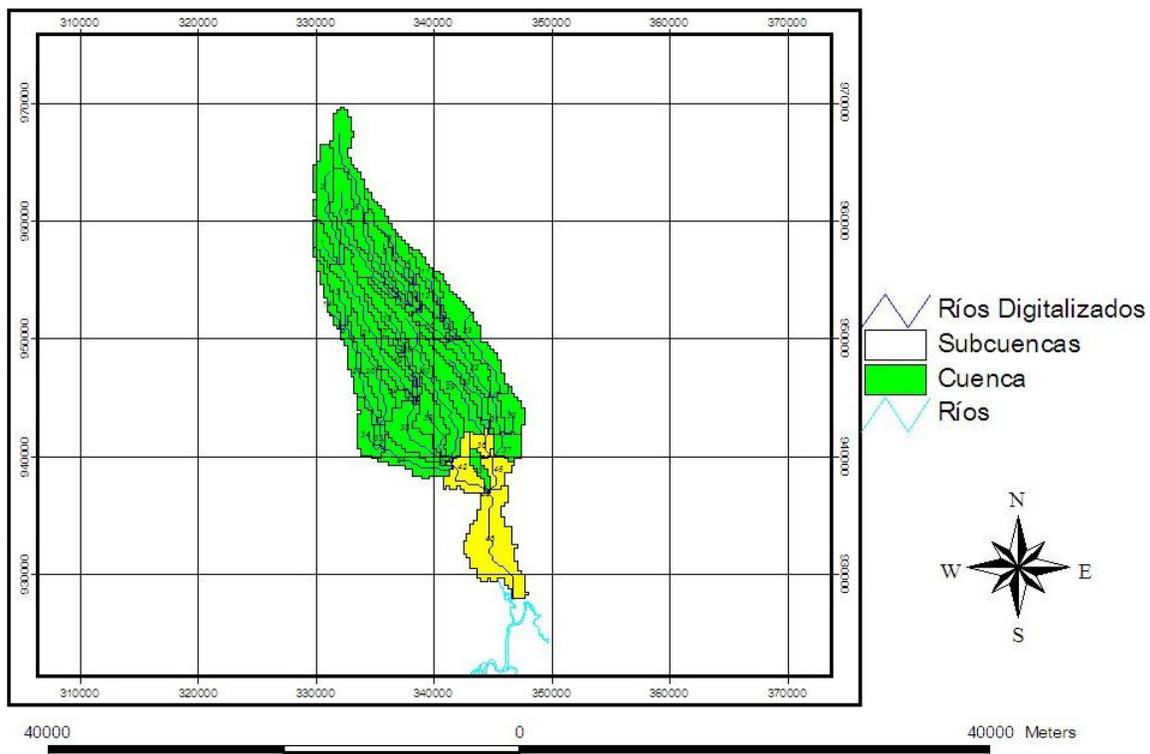


Figura 5.2. Escenario 1 de transporte de Propanil en la cuenca del río David.

Subcuencas afectadas (36, 42, 44 - 46) (Área de aplicación o afectación de plaguicidas marcadas de color amarillo).

En el primer escenario, en comparación con los resultados obtenidos con el Endosulfan, los datos logrados para Propanil son menos significativos en cuanto a su llegada al río. Como se observa en las Tablas 5.6 (a) y (b), el Propanil posee una baja vida media en suelo y follaje (1 día) (CICOPLAFESTI, 1998), lo que es muy común en compuestos que tienen de moderada a alta solubilidad en agua (Mejía, 1995), como lo es el caso del Propanil cuya solubilidad es de 200 mg/L. Estas observaciones coinciden con su alta presión de vapor (0.75×10 mmHg) y su moderada adsorción al suelo ($K_{oc} = 149$ ml/g), lo que implica que se volatiliza fácilmente, especialmente en la cuenca alta y media donde el contenido de carbono orgánico es más bajo. Sin embargo, en la cuenca baja donde el contenido del carbono es mayor y el suelo es franco arcilloso, la carga que podría llegar al río bajo las condiciones simuladas, es de 4 mg/día.

Las subcuencas 22, 29, 40, 42 poseen cultivo de naranja, mientras que la subcuenca 46 posee en su área cultivos de arroz.

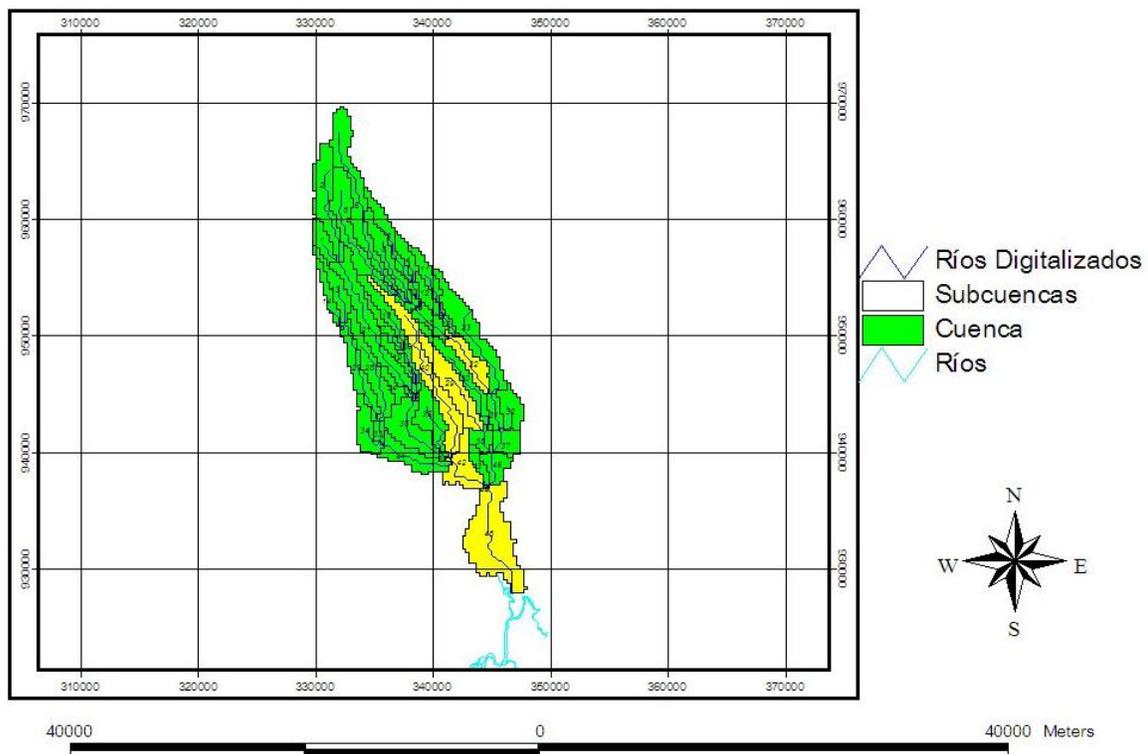


Figura 5.3. Escenario 2 de transporte de Propanil en la cuenca del río David.

Subcuencas afectadas (22, 29, 30, 31, 36, 37, 42, 44 - 46) (Área de aplicación o afectación de plaguicidas marcadas de color amarillo).

El Propanil por sus características no tiende, como en el caso del Endosulfan, a depositarse en el fondo del río; su vida media en suelo y agua así no lo permite. Tampoco es un plaguicida

que se adhiere a la materia orgánica, su transporte no se debe al sedimento, sino a la escorrentía superficial, y posible recarga a aguas subterráneas.

El aumento de la cantidad de subcuencas afectadas (Figura 5.3 y Anexo 5.4 y 5.5) es significado de la dependencia de la cantidad del mismo presente en follaje y en parte del suelo, y su saturación para así llegar al agua.

En el cambio de la carga de plaguicida en el follaje (5 kg/ha) y su enriquecimiento en el suelo, aumenta en masa (28 mg/ha) el plaguicida que llega al río en comparación con el primer escenario.

5.3.3. Escenarios de Pendimetalina

En la Figura 5.4 y los Anexos 5.6 y 5.7, se observa que este plaguicida posee una importante llegada de masa del mismo a los ríos y brazos presentes en la cuenca. Se puede observar desde la cuenca alta hasta la cuenca baja la llegada e influencia en el río, en el primer escenario con una carga de 2869 mg/día y en el segundo escenario con una carga de 13500mg/día.

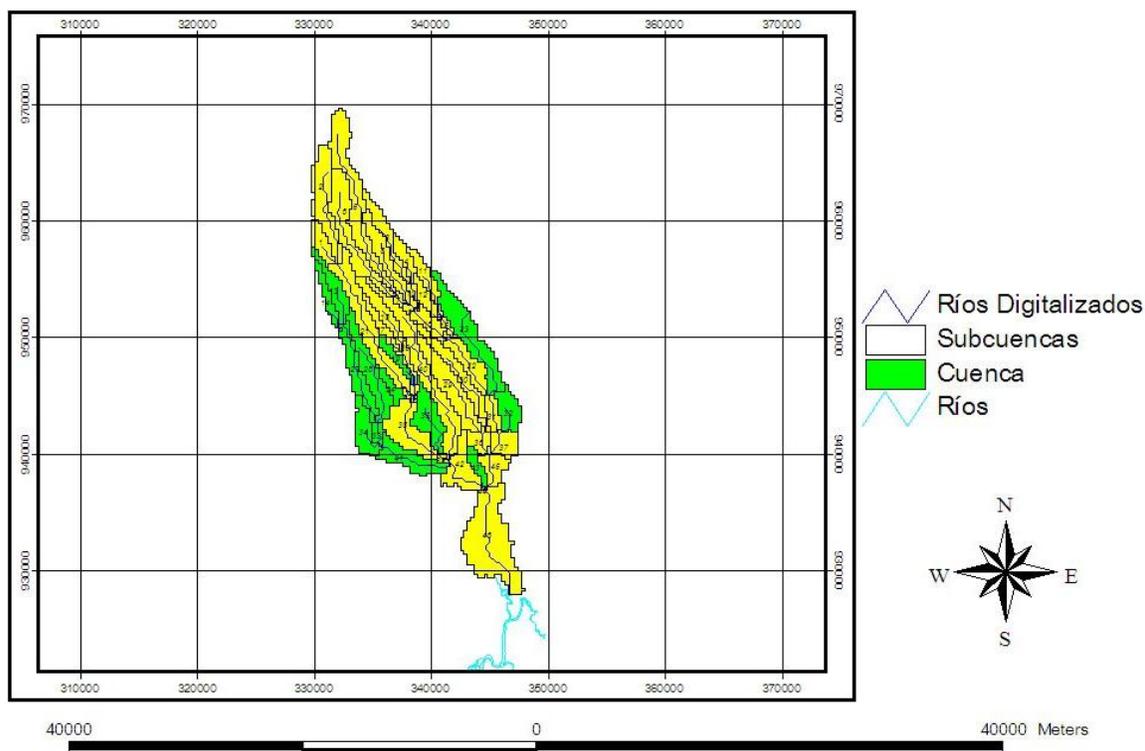


Figura 5.4. Escenarios de transporte de Pendimetalina en la cuenca del río David.

Subcuencas afectadas (1-12, 15-18, 20-22, 25, 26, 29-31, 36-40, 42, 44-46) (Área de aplicación o afectación de plaguicidas marcadas de color amarillo).

La facilidad de llegada al río de este plaguicida a lo largo y ancho de la cuenca podría ser una limitante en su uso, en los diversos cultivos. Además dicho plaguicida tiene una vida media en follaje de 30 días y en suelo de 90 días, aunque con poca persistencia.

En ambos escenarios simulados, en donde la concentración sobre el follaje aumenta de 1 a 5 Kg/ha, como se mostró anteriormente en la carga que llega al río. Para el primer caso es 2869 mg/día y en el segundo escenario con una carga de 13500mg/día.

Entre las características más relevantes del plaguicida Pendimetalina está su moderado a fuerte valor de K_{oc} de 5000 ml/g, lo que le brinda su propiedad de adherirse al sedimento y materia orgánica.

Por su baja solubilidad en agua de 0.275 mg/L muestra afinidad a acumularse en el suelo y podría terminar en el fondo del acuífero o en el fondo del río como lo muestra los valores de BED_PST (Anexo 5.1). Lo que permitiría mayor presencia del plaguicida en el río, pero siendo desprendido por el sedimento en el fondo o la cama del río en cantidades importantes como se observa en los Anexos 5.6 y 5.7.

Como se explicó en el caso del Endosulfan, el alto contenido de arcilla (34%) y carbón orgánico (4.99%) del suelo; hacen que la Pendimetalina se adhiera al suelo, y cuando llega al cuerpo de agua tiende a depositarse en el sedimento. Este efecto de adsorción tiende a ser reversible, debido al alto contenido de carbón orgánico lo cual coincide con el efecto de resuspensión en el fondo observado (Anexo 5.6 y 5.7), y que fue explicado por Gao *et al.* (1998 (a), (b))

Se observa en los Anexos 5.6 y 5.7 que el cultivo de mayor aporte por la aplicación de plaguicidas en sus parcelas es naranja; sin embargo, se nota también la llegada del plaguicida en aquellas áreas de cultivos de caña de azúcar, maíz y café.

Se debe recordar que la parte alta de la cuenca es utilizada para la extracción de agua para consumo humano, este aspecto de afectación por plaguicidas debe ser revisado mediante mediciones de calidad del agua en dichas áreas.

La afectación de este plaguicida no debe verse limitada al río, sino también al bosque que lo bordea.

5.3.4. Escenario de Dieldrin

Los Anexos 5.8, 5.9 y la Figura 5.5., muestran los resultados obtenidos para el plaguicida Dieldrin, cuyo espectro de afectación en la cuenca es similar al causado por el Endosulfan.

Las propiedades del plaguicida Dieldrin, indican que su fuerte adsorción en suelo con un valor K_{oc} de 50000 ml/g lo que le ayudaría a su movimiento en aguas superficiales, por su baja solubilidad en agua de 0.1 mg/L demuestra su gran afinidad con el suelo. Por su vida media en el follaje de 5 días no se encuentra mayor problema, sin embargo su larga vida media en suelo de 1400 días lo hace altamente persistente en el medio.

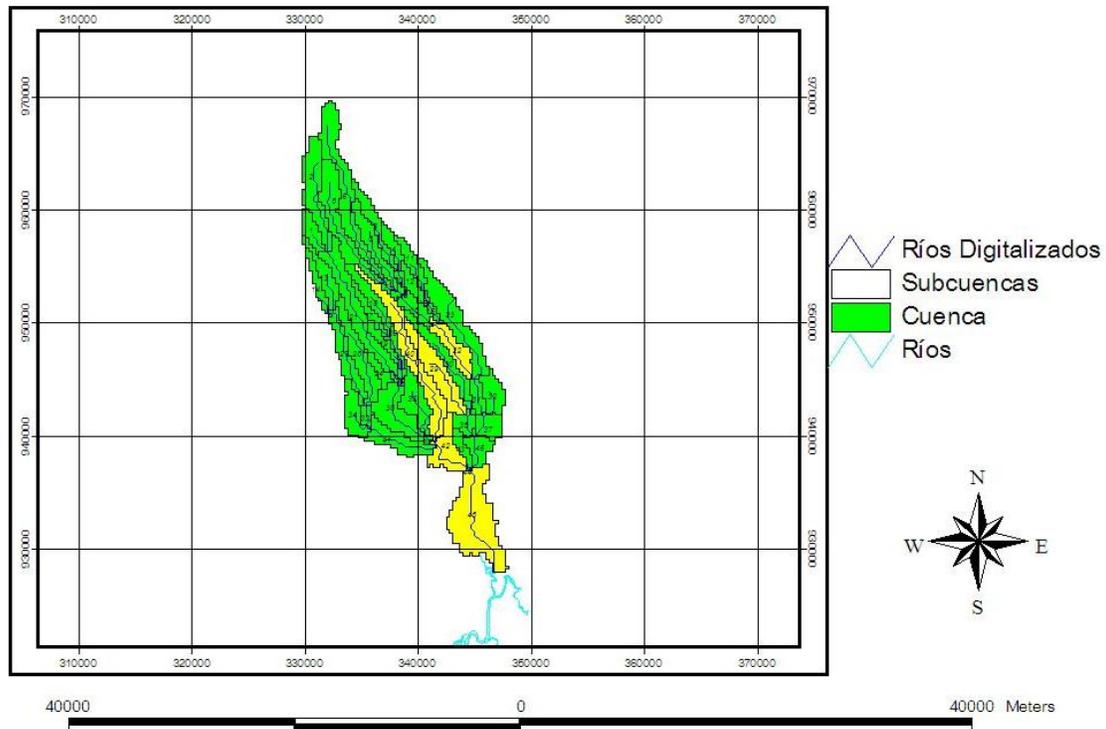


Figura 5.5. Escenarios de transporte de Dieldrin en la cuenca del río David.

Subcuencas afectadas (22, 29, 30, 31, 36, 37, 42, 44 - 46). (Área de aplicación o afectación de plaguicidas marcadas de color amarillo).

Estas características son notadas en cuanto a su llegada al río (primer escenario 7.75 mg/día y segundo escenario 69.8 mg/día), al sedimentarse e irse al fondo y resuspenderse en pequeñas cantidades.

Su transporte en el área de arroz de la subcuenca 46 es mayor al de todas las demás, esto es debido a las características de los suelos donde se tiende a sembrar arroz, áreas por lo general de fácil inundación (suelo franco arcilloso) y exceso de agua lo que facilitaría la salida del plaguicida por caminos de irrigación entre otros.

5.3.5. Escenario Lindano.

El plaguicida llega al río en las mismas cuencas que los plaguicidas Dieldrin y Endosulfan.

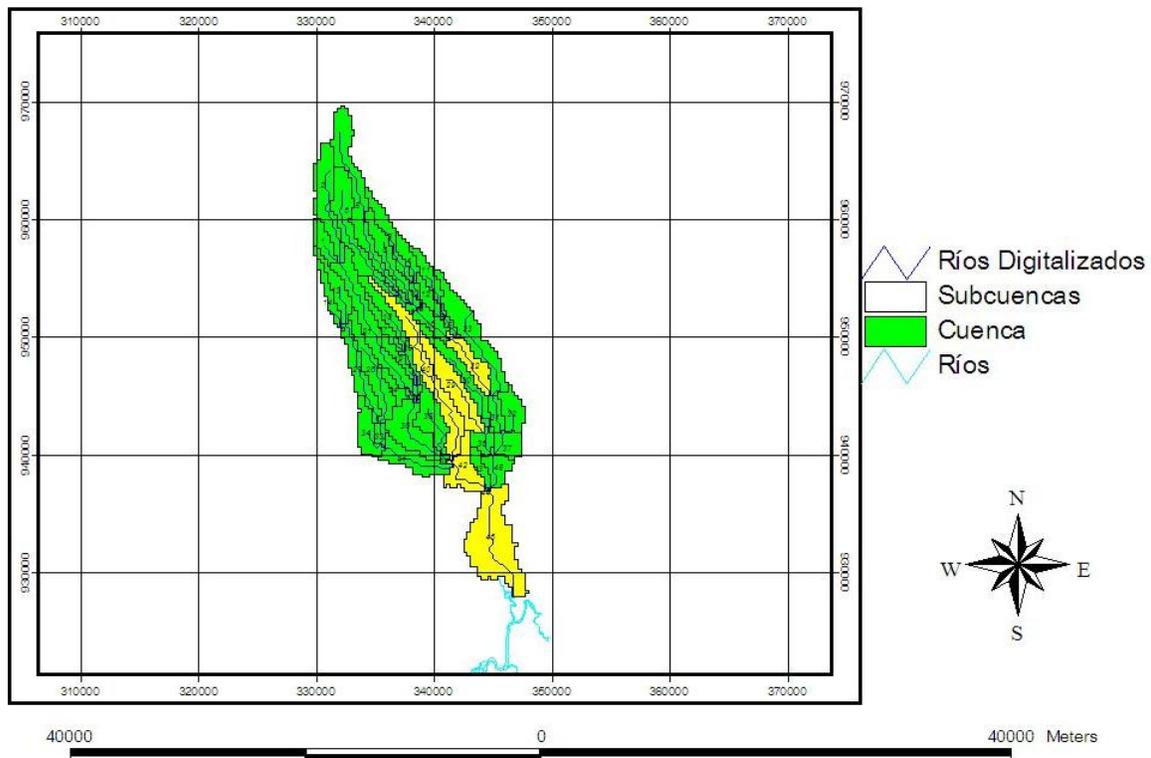


Figura 5.6. Escenarios de transporte de Lindano en la cuenca del río David.

Subcuencas afectadas (22, 29, 30, 31, 36, 37, 42, 44 - 46) (Área de aplicación o afectación de plaguicidas marcadas de color amarillo).

El Lindano posee características de solubilidad en agua de 7.3 mg/L, es de moderado a altamente persistente en suelo por su vida media de 400 días en suelo, no así en el follaje, donde su vida media es de 2.5 días. Por su $K_{oc} = 1100$ ml/g se considera moderada a fuerte adsorción del plaguicida en el suelo. Lo que limita su movimiento o transporte por medio del sedimento; ya que el suelo en la cuenca alta y media, es de carácter franco arenoso (Tabla 5.7), lo que no favorece la adsorción por el tamaño de la partícula de arena, que es grande (Christodoulatos & Mohiuddin, 1996).

Por lo tanto al contar con suelo del tipo franco arcilloso (partícula pequeña) en la parte baja de la cuenca, existe mayor probabilidad de llegada del mismo, por medio de la aplicación del plaguicida en los cultivos, que se encuentran en ésta área de la cuenca y el arrastre de sedimento.

5.3.6. Escenario para 2,4 D.

El 2,4 D es un plaguicida que se disuelve en el agua o más bien que posee alta solubilidad en este elemento del medio físico. Las características del 2,4 D son de $K_{oc} = 20$ ml/g, lo que indica una débil adsorción en suelo, alta solubilidad en agua, con un valor de 890 mg/l y vida media en follaje y suelo de 5 y 10 días respectivamente (Tabla 5.6 (a), (b)).

En la Figura 5.7 se observa el movimiento del 2,4 D, principalmente de la cuenca media a la baja.

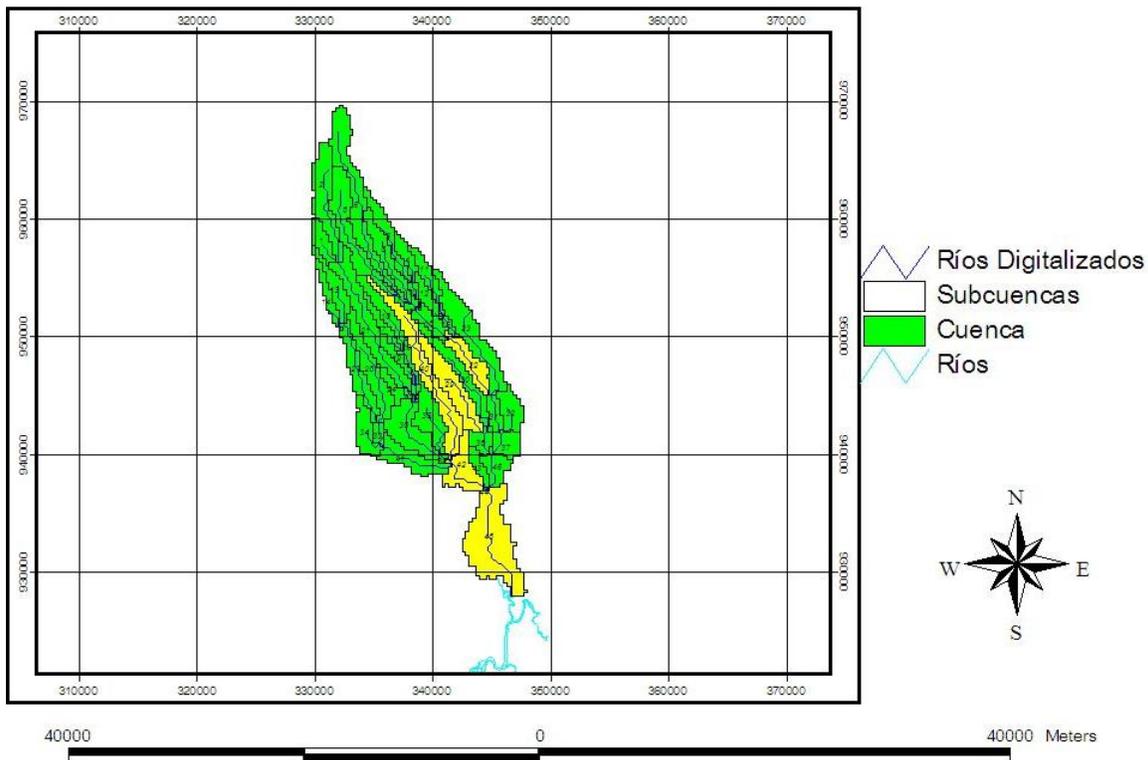


Figura 5.7. Escenarios de transporte de 2,4 D en la cuenca del río David.

Subcuencas afectadas (22, 29, 30, 31, 36, 37, 42, 44 - 46) (Área de aplicación o afectación de plaguicidas marcadas de color amarillo).

Es un plaguicida ligeramente persistente en ambos medios, por su alta solubilidad en agua se sugiere una afinidad rápida con la misma y reacciones que ocasionarían la pérdida del mismo.

Su vida media baja, limita su estadía en la cuenca y sus posibilidades de llegar a ríos, pero bajo las condiciones simuladas se observa la llegada representativa del mismo en cantidades de masa de 137 mg/día (primer escenario) y 619 mg/día (segundo escenario), principalmente en la cuenca baja, donde las condiciones de suelo franco arcilloso (Tabla 5.7) favorecen su transporte y destino.

5.5. Conclusiones

Las simulaciones realizadas para los distintos plaguicidas son escenarios posibles, no son escenarios calibrados en campo con datos reales. La intención es conocer como se proyectaría el transporte, y si son capaces de llegar los plaguicidas objeto de este estudio, a la cuenca, bajo el escenario hidrológico calibrado, características fisicoquímicas del suelo y las condiciones de uso de suelo actuales.

Con la calibración del modelo hidrológico y ejecución de escenarios de aplicación de plaguicidas se logra observar que la llegada de los mismos al río David u otros afluentes, es probable por medio de la escorrentía superficial.

Se obtuvieron resultados de llegada al río para los plaguicidas simulados que fueron:

- Endosulfan
- Propanil
- Pendimetalina
- Dieldrin
- Lindano
- 2,4 D

Siendo los de mayor área de afectación Pendimetalina y 2,4 D, los cuales se movilizan desde la parte alta de la cuenca, media y baja; lo que sería indicativo, según estas simulaciones, de deterioro de la calidad del agua en la cuenca, además de poner en riesgo la salud de la población que depende del río como fuente directa de abastecimiento de agua, sin ningún tipo de tratamiento. Además de los sitios de recreación encontrados a lo largo de la cuenca, como es el caso de los balnearios.

Estas simulaciones muestran el riesgo que representa la posible aplicación de estos plaguicidas, sin control en época lluviosa.

Los plaguicidas como el Dieldrin y el 2,4 D, deben ser utilizados con extremo cuidado en la cuenca, ya que ambos son carcinogénicos y se debe recordar que el río David es la principal fuente de abastecimiento de agua potable de la provincia y la segunda en importancia, para la República de Panamá, luego del Lago Alajuela.

5.6.Recomendación

Se deben disponer de laboratorios especializados en análisis de plaguicidas en agua, para el desarrollo de investigaciones de bajo costo.

Calibrar escenarios de contaminación difusa con el fin de profundizar en la problemática de contaminación de agua de consumo.

Levantar una base de datos sobre los plaguicidas de mayor uso en las cuencas principales del país.

Realizar programas educativos sobre plaguicidas su uso, toxicidad y medidas de seguridad, donde se involucren instituciones gubernamentales, no gubernamentales y las comunidades.

5.7. Bibliografía

- Angulo, M. (1993). Estimación de la capacidad de Autodepuración del Río Biobío, a través de la Validación del Modelo QUAL 2 E. Tesis para optar al grado de Doctor en Ciencias Ambientales. Universidad de Concepción. Chile.
- Arnold, J. et al., (2002). Soil and Water Assessment Tool User's Manual. Texas Water Resources Institute College Station. Texas.
- Catálogo Oficial de Plaguicidas. (CICOPLAFEST). 1998.
- Christodoulatos, C., Mohiuddin, M. (1996). Generalized models for prediction of pentachlorophenol adsorption by natural soils. *Water Environmental Research* 68:370-378.
- Domínguez, V.M., Vidal, G., Martínez, M. (2004). Sorptive behavior of chlorophenols on river volcanic sediment. *Bulletin of Environmental Contamination Toxicology* 73:519-526.
- Domínguez, V.M., Correa, J., Vidal, J., Lopez, A., Martinez, M. (2002). (2, 4, 6). Trichlorofenol Degradation by River Sediment Exposed. Too Bleached Kract Mill Discharge. *Bulletin of Environmental Contamination Toxicology* 69: 463-470.
- Domínguez, V.M., Franco, N., Mojica, V., Caballero, M., Santamaría, E., Rodríguez, X. (2005). Avance de Informe (1,2) proyecto Implementación de un Sistema de Gestión de Cuencas tomando como base de respuesta, la unidad ecosistémica del Río David. Proyecto presentado a la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología (SENACYT). Panamá.
- Domínguez, V.M. (2004). Mecanismos de autodepuración de 2, 4,6-TCP y PCP en el tramo de Negrete a Laja, del río Biobío. Tesis para optar al grado de Doctor en Ciencias Ambientales, Universidad de Concepción, Chile.
- Gao, J.P., Maguhn, J., Spitzauer, P., Kettrup, A. (1998a). Sorption of pesticides in the sediment of the Teufelsweiher pond (southern Germany). I: Equilibrium assessments, effect of organic carbon content and pH. *Water Research* 32:1662-1672.
- Gao, J.P., Maguhn, J., Spitzauer, P., Kettrup, A. (1998b). Sorption of pesticides in the sediment of the Teufelsweiher pond (southern Germany). II: Competitive adsorption, desorption of aged residues and effect of dissolved organic carbon *Water Research* 32:2089-2094.
- García, I., Dorronsoro, C. (2007). Departamento de Edafología y Química Agrícola Universidad de Granada Contaminación de suelos. España.
- Hazardous Substances Data Bank (HSDB). (2002). Base de Datos de la Biblioteca Nacional de Medicina de los USA. Sistema TOXNET. Estados Unidos.
- Henry, J.G. and Heinke, G.W. (1999). *Ingeniería Ambiental*. Segunda Edición en Español. Prentice Hall. Méjico, D.F.
- Jenkins, J.J. and Thomson, P.A. (1999). Oregon State University Extension Service. OSU Extension Pesticide Properties Database.
- La Grega, M.D., Buckingham, P.L., Evans, J.C. and Environmental Resources Management. (2001). *Hazardous Waste Management*. Mc Graw Hill. Boston, U.S.A.
- McGuire, R., Herrera, L. (2006). *Insecticidas y Herbicidas*. Facultad de Química y

Biología. Universidad de Santiago. Chile.

- Mejía, J., Carrizales, L., Díaz, F. (1995). Evaluación de Riesgos en Salud por la Exposición a Residuos Peligrosos, Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) Atlanta, Georgia.
- Mingelgrin, U., Gerstl, Z. (1983). Reevaluation of partitioning as a Mechanism of Nonionic Chemicals Adsorption in Soil. Journal Environmental Quality.
- Novotny, V., Ollem, V. (1994). Prevention, Identification, and Management of Diffuse Pollution. Van Nostrand Reinhold. New York.
- Olmos, J. (2007). Avances de la Tesina, Determinación Analítica por Cromatografía de Gases de Compuestos Orgánicos clorados de Media a Larga vida media en Agua, Tomando como Caso de Estudio la Cuenca del Río David. Trabajo de Graduación para optar al Título de Magíster Profesional en Ingeniería Ambiental. Panamá, Panamá.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura. (FAO). (1997). Lucha Contra la Contaminación Agrícola de los Recursos Hídricos.
- Ramos, C., Ramos, B. (2002). Evaluación Ambiental del Impacto de Cultivos de Coca y el Procesamiento de Hoja de Coca.
- Sáenz, G. M. (1999). Hidrología en la Ingeniería. Alfaomega S.A. México DF.
- Zaror, C. (1998). Introducción a la Ingeniería Ambiental. Universidad de Concepción. Concepción, Chile.

CAPÍTULO VI. ANÁLISIS SOCIOECONÓMICO Y AMBIENTAL.

6.1. Antecedentes

El Análisis Socioeconómico consiste en la identificación de responsabilidades, necesidades y prioridades de distintos grupos de la población. Tomando en cuenta algunas variables como edad, situación económica, religión, etnia, raza y posición geográfica. Se ocupa de los roles y las relaciones entre hombres y mujeres, a fin de comprender mejor su realidad y recomendaciones; para mejorar sus condiciones de vida; y que se vea reflejado en el progreso de la calidad ambiental de la cuenca.

De acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura (por sus siglas en inglés FAO, 1993) el análisis toma en consideración aspectos sociales como:

- Examen de las conexiones que existen entre estos distintos grupos culturales, económicos, demográficos, políticos, institucionales y ambientales;
- Análisis de dichas conexiones en tres niveles:
 - Macro (programas y políticas),
 - Intermedio (instituciones),
 - De campo (comunidades, familias e individuos).

El aspecto a considerar en la elaboración de la investigación; trata del nivel tres o de campo; que representa básicamente la interacción comunidad, familia, individuo; en donde el análisis nos permite identificar de forma objetiva las prioridades, situaciones, necesidades etc., en que la población de las 25 comunidades estudiadas que involucran los distritos de David y Dolega, se encuentren en la actualidad.

Los distritos de David y Dolega, según el estudio de desarrollo sostenible realizado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) los ubican en la subregión central de la provincia de Chiriquí

En la Subregión central (distritos de David y Dolega), la actividad económica principal es el comercio y desarrollo urbano. Esta zona comprende un gran sector empresarial, el cual incide específicamente en el sector comercial, involucrado en el apoyo y aprovechamiento de las actividades agropecuarias; importantes agroindustrias, incluyendo la prestación de servicios financieros y técnicos.

La ciudad de David representa la cabecera de la provincia cuenta con 124280 habitantes y una densidad de 142.9 habitantes/ Km², lo que refleja una población densa en el área metropolitana. Los índices de pobreza nos indican que en Dolega se sitúan en el 28% de pobreza (7% de pobreza extrema) y David posee un índice de 22% de pobreza (5% de pobreza extrema) (CONADES, 2006).

David cuenta también con todas las sedes provinciales de las instituciones del gobierno así como la representación de diversos organismos no gubernamentales.

(BID, 2006). Se encuentra en esta zona una de las más importantes empresas procesadoras de pollo del país, una procesadora de cítricos (naranja, maracuyá, limón, piña) y minerales no metálicos ubicados específicamente en el corregimiento de Potrerillo; comunidad que pertenece al distrito de Dolega.

El medio rural se caracteriza por tener productores de ganado vacuno, arroz, aves (pollos) y naranja (BID, 1998).

La principal característica es el crecimiento urbano desordenado y con pocos espacios recreativos en la ciudad de David, genera condiciones que dificultan la prestación de servicios. Asimismo, muchos de los desplazados por el abandono de las zonas bananeras han emigrado hacia David contribuyendo a los problemas de servicios, desempleo y seguridad (CONADES, 2006).

En términos generales David es la zona con el mejor nivel de vida e ingreso familiar de la cuenca, pero a pesar de ello, comienza a reflejar procesos de deterioro en su espacio urbano y en el interland rural, producto de creciente procesos de migración de la población que se localiza en asentamientos urbanos espontáneos (BID, 2006).

Existe gran preocupación por la declinación de la actividad productiva agropecuaria y el impacto que el fenómeno está produciendo en la ciudad; ya que el desarrollo alcanzado en las actividades comerciales y de servicios está vinculado directamente con la productividad agrícola de la región. (CONADES, 2006).

De acuerdo al análisis de la información de Nessim y Chibbaro (2006); los principales problemas que caracterizan a la zona se relacionan con el ordenamiento urbano, falta de espacios recreativos, creciente población marginal, gestión de los residuos sólidos y líquidos, la contaminación de aguas en ríos y quebradas, siendo los problemas fundamentales de la zona el crecimiento urbano desordenado, el manejo de las aguas servidas y la disposición del agua potable para los distritos de David y Dolega.

El Diagnóstico Socioeconómico no se limita a precisar la situación en que se encuentra la población y las dinámicas productivas de la cuenca; sino que estudia sus potencialidades sociales, culturales y desarrollo. Además incluye propuestas de actuación para liberar los nudos que impiden su avance social y productivo con el objeto de alcanzar el desarrollo sostenible. Donde a través de los documentos del trabajo de campo se encuentran los resultados de entrevistas y encuestas de los hogares a los que se les realizan (Nessim y Chibbaro, 2006).

Los métodos empleados en la ejecución de la investigación, se encuentran ligados al nivel que se quiere analizar, y básicamente trata de las conexiones entre comunidades, población e individuo; el cual se ubica en el nivel de campo (FAO, 1993a).

La exactitud de los métodos y las herramientas utilizadas generan resultados productivos, pues la utilidad de estas herramientas en investigaciones de este y otros temas han proporcionado la confianza necesaria para seguir implementando estos métodos en diversos estudios. Ejemplo: Estudio sobre el concepto de muestreo y tipos

de muestreos existentes, para el cálculo del tamaño muestral en Auditorias de Historias Clínicas (Valledor y Carreira, 2005) y Proyecto de desarrollo rural sostenible en las provincias de Coclé, Colón y Panamá (Daly, 2002).

6.2. Objetivos

- Determinar a través de datos obtenidos en la Contraloría General de la República de Panamá; los distritos con sus cabeceras y corregimientos que se encuentren en la cuenca del río David.
- Realizar el conteo y Digitalización de las viviendas con su respectiva ubicación en las comunidades y sitios poblados que integran la cuenca.
- Determinar a través de cálculos estadísticos, específicamente el muestreo aleatorio de población, las viviendas a censar, y por tanto la cantidad de población a la cual se dirigirá la encuesta.
- Elaborar, aplicar y analizar una encuesta, que evalúe las condiciones socioeconómicas, sanitarias y ambientales, en las partes alta, media y baja de la cuenca, utilizando el método aleatorio de muestreo de población.

6.3. Metodología

6.3.1. Metodología para la ubicación y conteo total de casas que conforman la cuenca del río David.

La ubicación e identificación de los lugares que integran el área de la cuenca del Río David se desprende del mapa provincial (Chiriquí), el cual se obtiene en el Departamento de Cartografía de la Contraloría General de la República; a escala de 1:250,000.

A partir de la obtención de esta carta topográfica, se escanea y georeferencian los puntos extremos del área que integra la cuenca del río David; y de esta forma se obtiene una representación del mundo real, sobre el cual se trabaja la población muestral.

Anteriormente a esta localización ya se había determinado a través del modelo SWAT el área de la cuenca del río David (Capítulos 1 y 2). La cual se ha ajustado de acuerdo a las principales unidades de respuesta hidrológicas que se agrupan en la cuenca, y el movimiento de agua que se da en las mismas; con respecto al cambio de elevaciones que tiene el área de estudio.

Seguidamente se logran plasmar las comunidades que estaban presentes en el área de la cuenca, y se inicia la delimitación georeferenciada de estas comunidades.

Las imágenes satelitales provenientes del programa Google Earth (www.googleearth.com); se utiliza para identificar y ubicar las familias (casas), que cada comunidad posee; de esta manera se inicia el conteo de viviendas por comunidad; enumerando cada una de las viviendas y tomando sus respectivas coordenadas en grados y añadiendo estas coordenadas en el programa ArcView 3.2 en coordenadas UTM.

Lo que se quiere lograr a través de estos dos programas y su interacción; es llevar los puntos de referencia del plano satelital al mundo real en coordenadas UTM.

Para la transformación de las coordenadas en Grados a UTM se utilizó el programa GEOPosCalc (www.geoposcalc.com), el cual realiza conversiones de coordenada ya sea de grados a UTM o viceversa.

Es importante señalar que este programa posee diversas posiciones de origen en los diferentes continentes. La posición de origen que se utilizó fue North American 1927 (NAS-O) – Zona del Canal; el cual indicaba el elipsoide Clarke 1866 para la zona de Panamá, lo que da mayor confiabilidad a los puntos que se georeferenciaron.

Los datos introducidos en el programa ArcView, proporcionan la ubicación correcta en el área de influencia del río David; y a la vez muestra el recorrido y rutas de acceso de las comunidades.

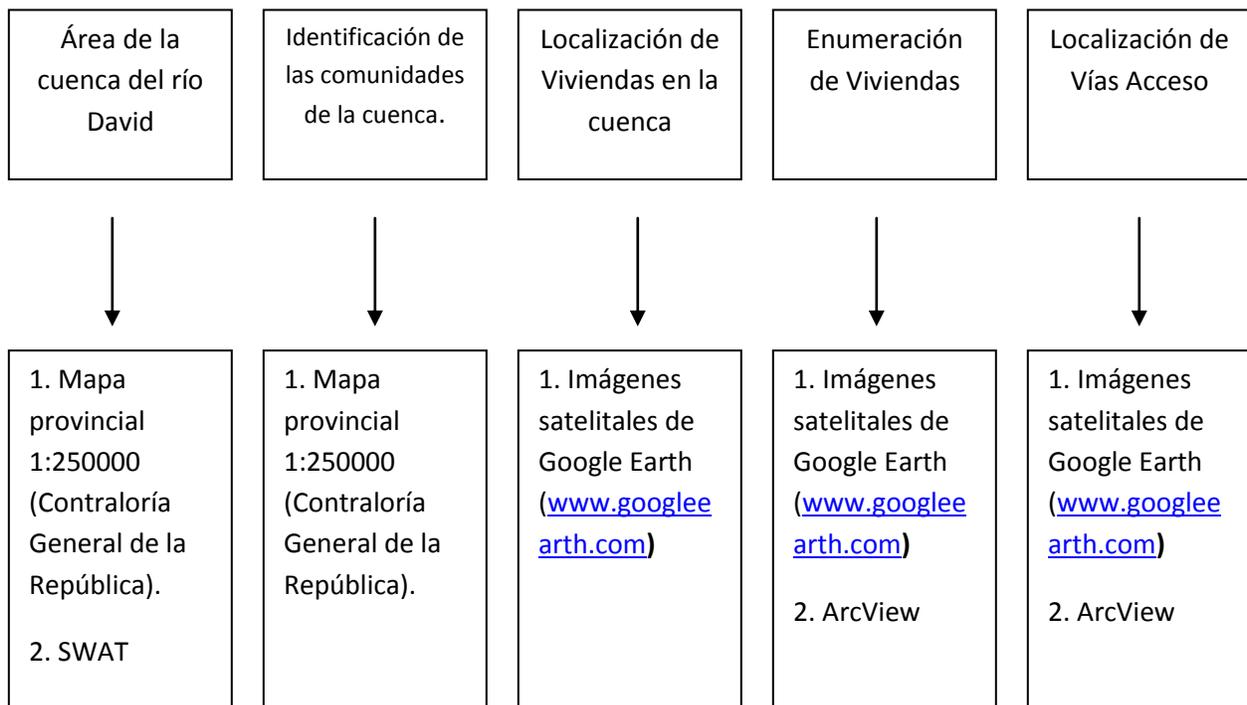


Figura 6.1. Información Obtenida y sus Fuentes.

En la Figura 6.1 se muestra la metodología utilizada para la localización del área de la cuenca del río David, ubicación y conteo de sus casas y vías de acceso, así como la determinación de las comunidades que integran la cuenca del río David.

6.3.2. Procedimiento de muestreo

La importancia del muestreo radica en que no es necesario trabajar con los elementos de una población; sino que se pueden obtener a partir de una muestra representativa. Las muestras tienen un fundamento matemático estadístico. Este consiste en que una vez obtenidos y determinados los resultados de una muestra en proporciones adecuadas, se puede hacer la generalización fundada matemáticamente de que dichos resultados son válidos para la población de la que se ha extraído la muestra. (Domínguez *et al.*, 2006).

Conociendo el universo o valor total de viviendas se utiliza el método para poblaciones finitas (Valledor, 2005). El cual se deduce a partir de la siguiente ecuación:

$$n = Z_{\alpha}^2 \times \frac{N \cdot p \cdot q}{i^2 (N - 1) + Z_{\alpha}^2 \cdot p \cdot q} \quad (6.1)$$

Donde:

n = tamaño de la muestra

p = prevalencia esperada del parámetro a evaluar. En caso de desconocerse, aplicar la opción más

desfavorable (p=0,5), que hace mayor el tamaño muestral.

q = 1-p (Si p=50%, q=50%)

e = error que se prevé cometer (2.45%)

N = número total de familias a encuestar (6470)

Z = valor correspondiente a la distribución Gaussiana 1.96 para $\alpha = 0.05$, con una confiabilidad de 95%.

Para estimar la muestra de cada comunidad, se realiza la estratificación, a través de una razón de muestra.

La razón de muestra es la del 20%; que equivale al valor mínimo que debe tener una muestra para considerarse significativa (Domínguez *et al.*, 2006).

Luego se utiliza el muestreo de selección aleatoria; el cual escoge el azar como instrumento de selección las viviendas a encuestar. Lo cual proporciona la probabilidad de que cada elemento sea incluido en la muestra. A continuación se define con más detalle el método

Tabla 6.1. Definiciones del Método de Muestreo Aleatorio Simple

Características	Ventajas	Inconvenientes
Se selecciona una muestra de tamaño n de una población de N unidades, cada elemento tiene una probabilidad de inclusión igual y conocida de n/N .	Sencillo y de fácil comprensión. Cálculo rápido de medias y varianzas. Se basa en la teoría estadística, y por tanto existen paquetes informáticos para analizar los datos	Requiere que se posea de antemano un listado completo de toda la población. Cuando se trabaja con muestras pequeñas es posible que no represente a la población adecuadamente.

Fuente: (Valledor, 2005)

Este tipo de muestreo alcanza mayor rigor científico (Domínguez *et al.*, 2006), porque cumple el principio de equiprobabilidad en el que todo los elementos de la población tienen la misma probabilidad de salir elegidos en una muestra.

A partir de este principio se obtienen las casas específicas que se encuestarán y donde éstas sean obligatoriamente una muestra representativa del total de viviendas en una comunidad.

Para el desarrollo de este muestreo de viviendas a encuestar se utilizó el Programa Microsoft Excel como herramienta principal para el análisis del muestreo aleatorio simple, ya que en su configuración existen diversos métodos para análisis de datos; ya sean financieros, matemáticos, estadísticos o muestreo aleatorio (Tabla 6.3) .

Cabe destacar que todas las viviendas se enumeraron a medida que el conteo de estas se realizaba; y por tanto se obtuvieron las casas a encuestar con su respectivo número, lo cual permite registrar las viviendas por número en formato “shape” en el programa ArcView.

6.3.3. Procedimiento para la confección de la encuesta socioeconómica

La encuesta confeccionada se denominó: Análisis sanitario y agropecuario sobre la cuenca del río David; enfocada a todos los estratos sociales que conforman la cuenca; además incluye todos los aspectos sociales, salud, infraestructura, sanitario y agropecuario; en las que se pueden encontrar las comunidades que integran el área de la cuenca.

Antes de realizar la gira a campo y efectuar la encuesta; se procedió a realizar una prueba piloto de la misma; en la provincia de Veraguas distrito de Santiago, Comunidad de La Colorada; con el fin de determinar el tiempo que demoraba aplicar la encuesta.

El resultado fue un tiempo promedio de 7 minutos; como la encuesta está dirigida a todo tipo de personas; los tiempos variaban al realizar la encuesta; ya que habían personas que conocían sobre las preguntas y otras se tardaban en contestar, debido al poco conocimiento de las mismas.

Los tiempos que se tomaron para las personas conocedoras y no conocedoras fue el siguiente:

- Personas conocedoras del tema (5 min.)
- Personas no conocedoras del tema (8 min.)

De este plan piloto con los tiempos tomados se deduce el tiempo promedio que se necesita para efectuar las encuestas por vivienda (Anexo 6.1).

6.3.4. Procedimiento para la elaboración de la encuesta en campo

El muestreo es una herramienta de la investigación científica. Su función básica es determinar que parte de una realidad en estudio (población o universo) debe examinarse con la finalidad de hacer inferencias sobre dicha población.

El muestreo que se realizó es el muestreo aleatorio simple; el cual otorga una probabilidad conocida de integrar la muestra a cada elemento de la población, y dicha probabilidad no es nula para ningún elemento.

La cantidad de viviendas obtenidas en cada comunidad se logra determinar a través de la razón muestral del 20%.

6.3.4.1. Determinación de longitudes, tiempos, personas y viviendas a encuestar

Mediante ArcView y sus diversas herramientas, se calculó a partir de puntos específicos ubicados en cada comunidad (que son en su totalidad 25) y según la cantidad de viviendas, las longitudes totales por corregimiento. Las longitudes se presentan en kilómetros (Km); desde el punto de partida, hasta el punto de culminación incluyendo las casas encuestadas.

Se ha considerado que una persona es capaz de recorrer un kilómetro en 15 minutos, por tanto una persona es capaz de encuestar un mínimo de 25 viviendas por día, tomando en consideración el tiempo de desarrollo de la encuesta (7 minutos); incluyendo el día total del desarrollo de la encuesta y la hora de almuerzo.

Con respecto a las longitudes y cantidad de casas que se tienen en algunas comunidades; se considera la separación de los corregimientos en diferentes partes; a través del diseño de polígonos en el programa ArcView; distribuyendo la cantidad de viviendas de forma equitativa y obteniendo la cantidad a través del muestreo aleatorio simple, utilizando como herramienta principal el programa Microsoft Excel.

Al tener estos criterios descritos se procede a obtener el tiempo total en el que una persona puede durar en realizar la encuesta; multiplicando los 15 min. por la longitud total y los 7 min. por la cantidad de viviendas que se encuentren en una comunidad, así como la hora de almuerzo que se le da a una persona en un día laboral.

Según el área (rural, urbano), su distancia, cantidad de viviendas y el tiempo de recorrido se obtiene la cantidad de personas que se necesitan para encuestar.

6.4. Resultados y discusión

6.4.1. Información de ubicación y conteo total de viviendas

Es a través de la carta topográfica obtenida en la Contraloría General de la República, que especifica el área de la provincia de Chiriquí en donde se logra determinar las comunidades que se encuentran en el área de la cuenca, las cuales son 25 en su totalidad y que involucran a los distritos de Dolega y David.

La Figura 6.2 identifica a cada una de estas comunidades en puntos de referencia.

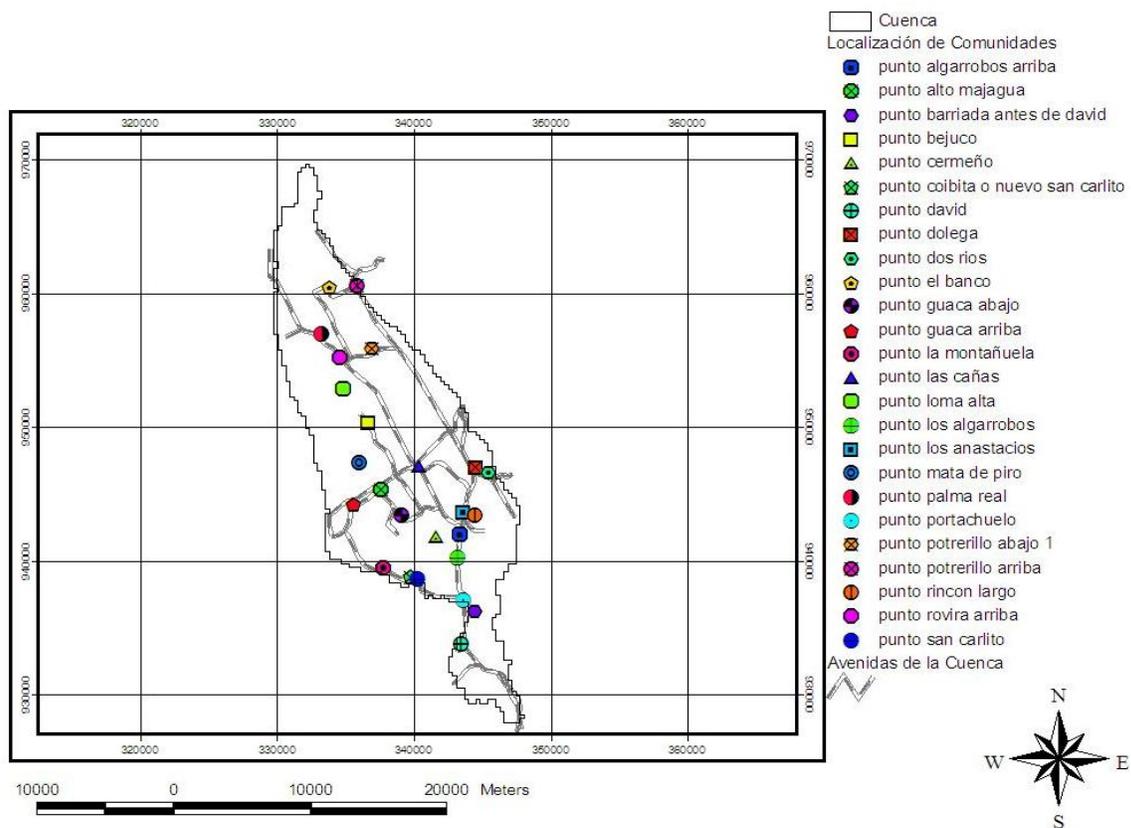


Figura 6.2. Puntos de Referencia por Comunidad.

La Figura 6.2 indica a través de puntos de diferentes colores la ubicación de cada comunidad. Se logra observar en la figura que el área media de la cuenca contiene la mayor cantidad de poblados, los cuales pertenecen en su mayoría al Distrito de Dolega. El distrito de David por su parte cubre la parte baja de la cuenca, la cual posee

una cantidad de cinco comunidades, en donde se incluye a David como cabecera del distrito.

Luego de obtener los puntos específicos de cada comunidad, se lleva a cabo la georeferenciación y el conteo de viviendas para cada comunidad; involucrando el programa Google Earth como herramienta básica para ubicar en cada poblado la cantidad y localización de las familias. Cada comunidad está representada según la cantidad de viviendas por un color específico.

En la Figura 6.3 se presenta la ubicación de las viviendas.

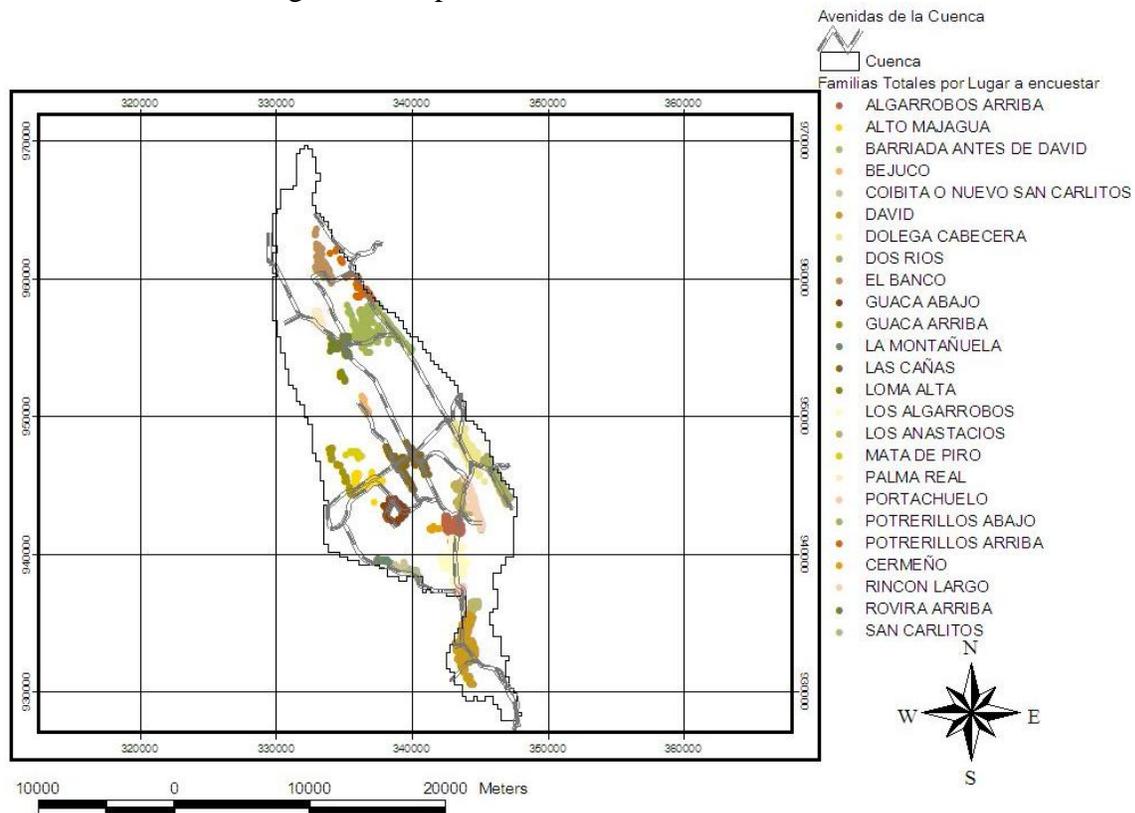


Figura. 6.3. Total de Viviendas por Comunidad

La Figura 6.3 muestra la ubicación de las comunidades, así como el total de viviendas por comunidad. Las cuales en total son 6470 viviendas. Siendo las de mayor cantidad de familias; David y Los Algarrobos, sufriendo graves problemas de ordenamiento territorial, localizadas en la parte baja de la cuenca. Mientras que en la parte media de la cuenca encontramos comunidades que contienen un número menor de familias, tal como el corregimiento de Cermeño. Las comunidades ubicadas en la parte alta de la cuenca poseen en su gran mayoría un número que está entre las 50 y 300 casas por comunidad.

Por su parte el distrito de David tiene alrededor de 124280 habitantes; sin embargo, la delimitación realizada por el programa ArcView brinda una población menor de aproximadamente 1301 habitantes.

Las diferentes vías de acceso de las comunidades brindan una idea acerca del tiempo de ubicación de las encuestas, pues un área en donde existe un camino rural, las dificultades de transporte y recorrido son mayores; y por tanto el equipo de trabajo debe prepararse y adecuarse a las situaciones que se puedan presentar.

La Figura 6.4 indica las diferentes vías de acceso que se encuentran en las comunidades de la cuenca.

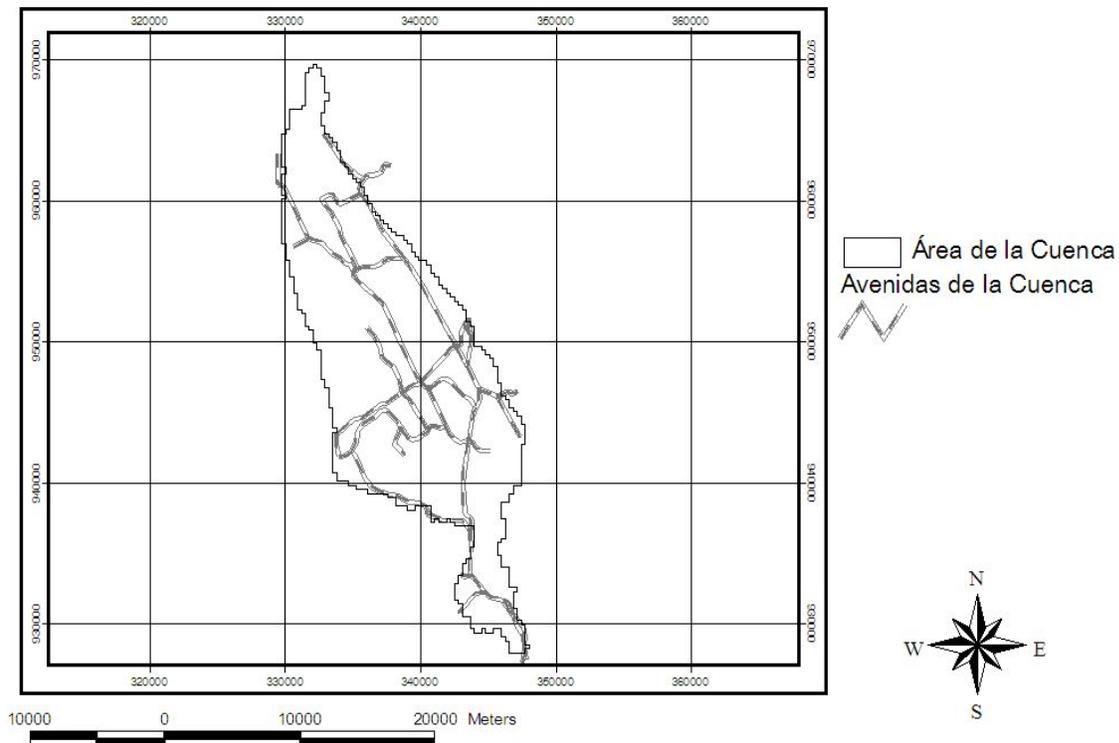


Figura. 6.4. Rutas de acceso

La Figura. 6.4 muestra las diferentes calles o rutas de acceso que se encuentran en la cuenca del río David, además de que nos proporciona la información necesaria a la hora de realizar la encuesta en campo.

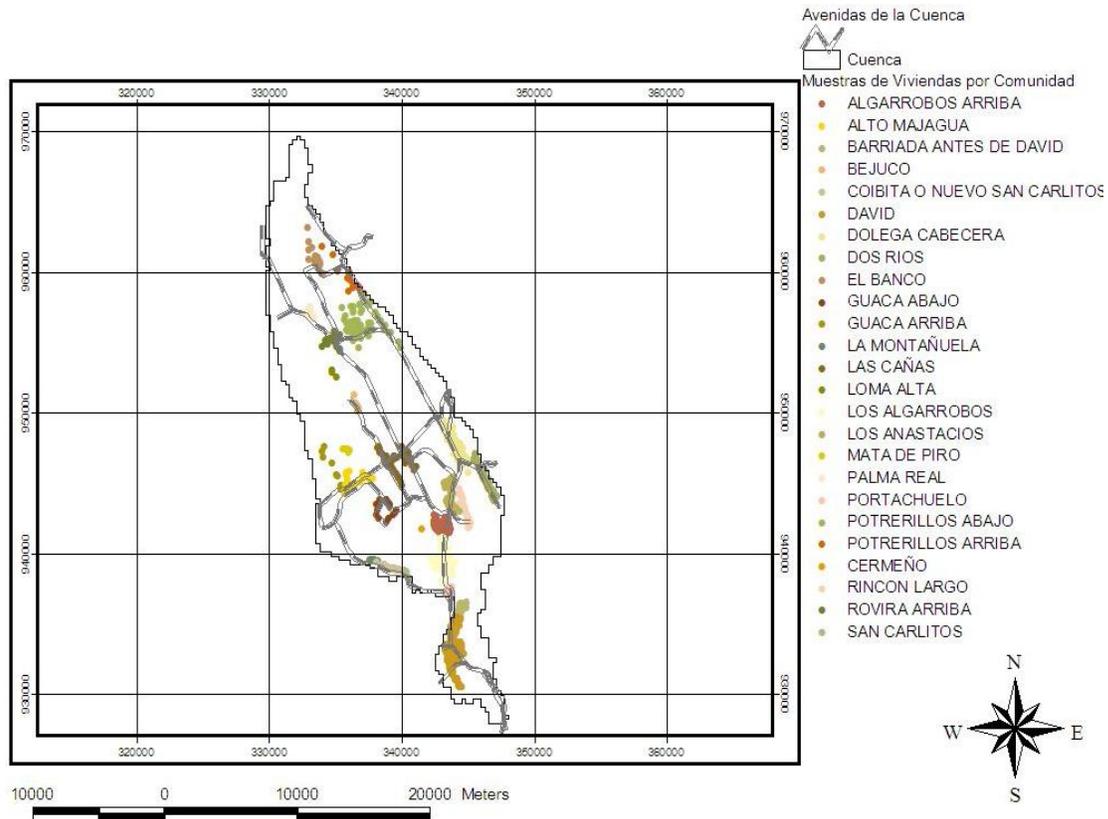


Figura 6.5. Viviendas a Encuestar

La Figura 6.5 indica el total de viviendas a encuestar, luego de aplicar métodos probabilísticos que simplifican las cantidades reales de viviendas que cada comunidad posee. Siendo Los Algarrobos la que presenta la mayor cantidad de familias a encuestar y Cermeño la de menor cantidad.

Seis de las 25 comunidades que se localizan en la cuenca del Río David tienen un número considerable de viviendas como son: Los Algarrobos (338), David (260), Dolega (152), Los Anastacios (84), Potrerillo Abajo (72), Rincón Largo (48).

Debido a lo antes mencionado se seccionaron estos poblados en áreas más pequeñas

La Figura 6.6 se muestra el detalle de las comunidades que se seccionaron por los motivos antes mencionados.

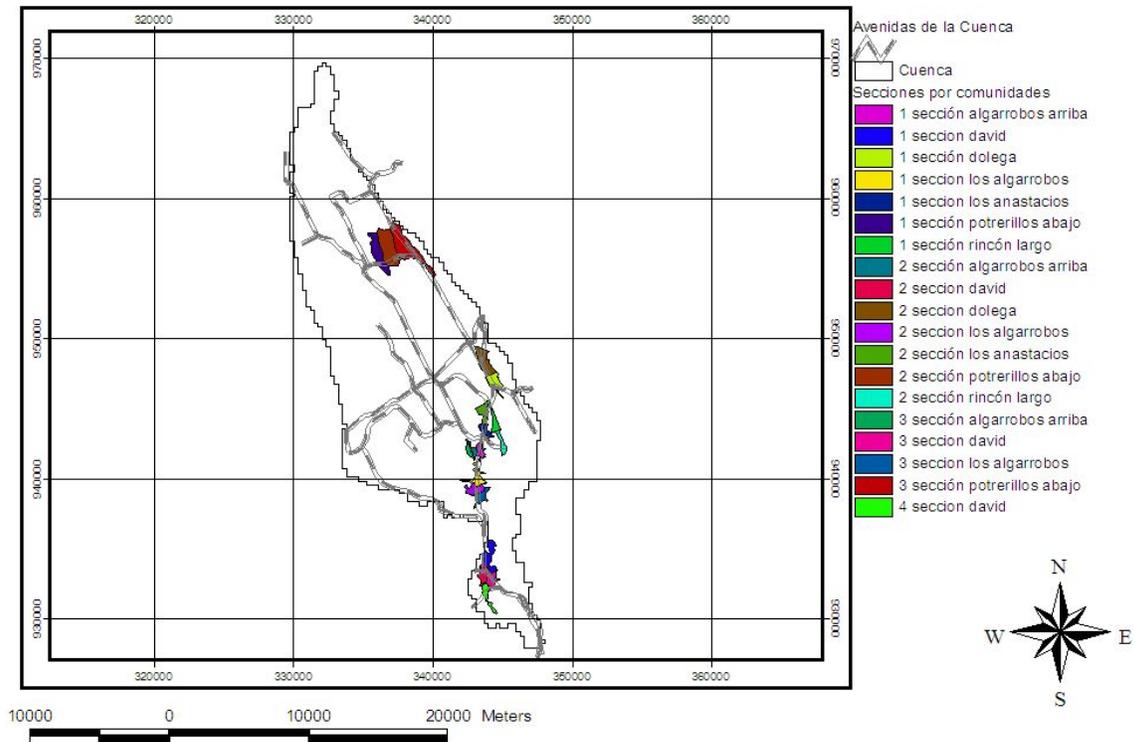


Figura 6.6. Comunidades Seccionadas

La Figura 6.6 muestra las 6 comunidades seccionadas y el área que estas comprenden. La herramienta utilizada es el programa ArcView, el cual facilita la delimitación de las secciones a través de polígonos.

La ubicación de puntos estratégicos en las diversas comunidades facilita el desarrollo de trabajo en equipo; además la toma de tiempos para realizar la encuesta.

Los puntos de partidas se ubican en la Figura 6.7.

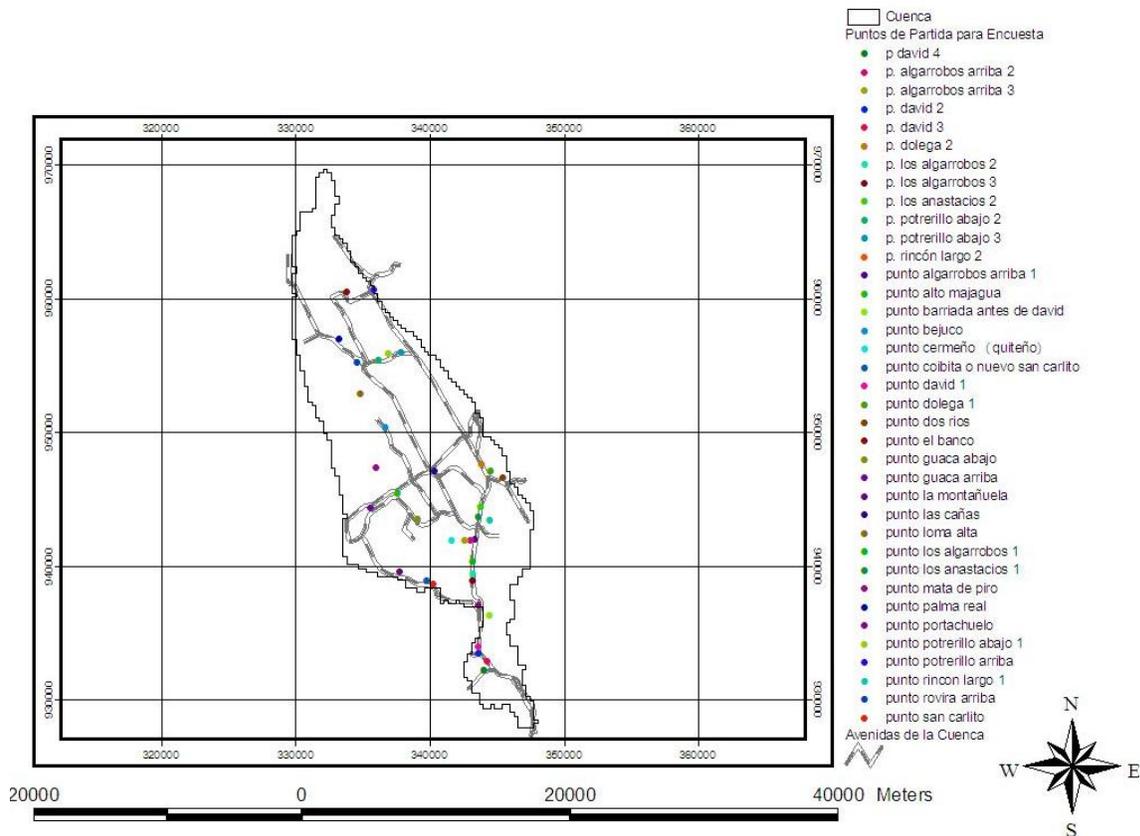


Figura 6.7. Puntos de Referencia para Encuesta

La Figura 6.7 señala los puntos específicos y estratégicos en donde cada equipo de trabajo se ubica, para iniciar desde allí el recorrido en la colocación de encuestas. Las comunidades seccionadas también poseen su punto de referencia para facilitar el manejo y la ubicación en el recorrido.

6.4.2. Información de Muestreo

El tamaño de la muestra requerida acerca del universo (viviendas totales) se logra obtener a través del método para población finita el cual establece el valor mínimo para realizar el muestreo $n \geq 1282$ familias o viviendas.

Se deben entrevistar como mínimo un total de 1282 familias.

A través de la razón muestral del 20% se logra obtener la estratificación de la muestra por comunidad. Esto se detalla en la Tabla 6.2

Tabla. 6.2. Nombre de las comunidades y tamaño de la muestra

Comunidades	N° de Viviendas	Tamaño de la muestra
Las perlas	161	32
Portachuelo	130	26
Guaca Abajo	83	16
Potreriillo Arriba	76	15
El Banco	117	23
Palma Real	74	14
Rovira Arriba	108	21
Potreriillo Abajo	363	72
Dolega Cabecera	763	152
Dos Ríos	214	42
Rincón Largo	241	48
Los Anastacios	423	84
Algarrobos Arriba	40	8
Alto Majagua	126	25
Guaca Arriba	43	8
Mata de Piro	26	5
Loma Alta	13	2
Bejuco	30	6
Cermeño	11	2
La Montañuela	37	7
Coibita	93	18
San Carlitos	76	15
David	1301	260
Las Cañas	231	46
Los Algarrobos	1690	338
Viviendas totales	6470	1285

La Tabla. 6.2 muestra las comunidades localizadas en la cuenca, el número total de casas y la cantidad de viviendas que se obtienen a través de la razón muestral del 20%.

Se logra observar que el total de viviendas de la muestra según el método utilizado incluye 3 familias más que las establecidas según el método de población finita; sin

embargo, el valor mínimo de familias a encuestar debe ser de 1282; existiendo un error de 0.05%.

6.4.3. Información de longitudes, tiempos, personas y viviendas en el desarrollo de las encuestas

La cantidad de personas para la colocación de la encuesta, así como las longitudes, el tiempo para desarrollar la encuesta y las viviendas a encuestar en campo se presentan en la Tabla 6.3.

Tabla 6.3. Valores de longitudes de cada comunidad, tiempos y personas para el desarrollo de la encuesta

Descripción	X_UTM	Y_UTM	Longitud (Km)	Tiempo (hr)	Personas	Nº de Viviendas
El Banco	333782.46	960449.14	9.51	6	1	22
Potrerillo Arriba	335779.78	960596.97	10.66	5	2	14
Palma Real	333203.31	956954.12	2.53	3	1	14
Potrerillo Abajo 1	336899.60	955843.84	10.21	7	2	31
Potrerillo Abajo 2	336172.21	955347.14	7.57	5	1	22
Potrerillo Abajo 3	337838.86	955922.53	9.71	6	1	19
Rovira Arriba	334558.29	955190.72	6.09	5	2	21
Loma Alta	334820.67	952874.44	1.21	2	1	3
Bejuco	336638.62	950360.43	2.46	2.5	1	6
Mata de Piro o Nance	335961.15	947310.90	1.407	2	1	5
Las Cañas	340331.36	947085.92	13.00	10	2	46
Alto Majagua	337596.96	945370.58	8.64	6	2	25
Guaca Arriba	335534.14	944279.43	7.43	4	1	8
Guaca Abajo	339057.73	943440.24	7.11	5	2	16
Dolega 1	344527.34	947052.48	9.19	13	2	84
Dolega 2	343802.18	947569.96	10.32	11	2	67
Dos Ríos	345414.54	946594.62	10.88	9	2	42
Los Anastacios 1	343599.91	943645.67	5.46	7	1	43

HERRAMIENTAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE CUENCAS UTILIZANDO COMO BASE DE RESPUESTA LA UNIDAD ECOSISTÉMICA DEL RÍO DAVID

Descripción	X_UTM	Y_UTM	Longitud (Km)	Tiempo (hr)	Personas	Nº de Viviendas
Los Anastacios 2	343774.97	944409.90	6.09	7	1	41
Rincón Largo 1	344446.45	943422.01	5.35	5	1	23
Rincón Largo 2	344446.45	943422.01	4.37	5	1	25
Cermeño	341606.44	941841.34	0.25	0.45	1	2
Algarrobos Arriba	343382.22	941993.58	5.66	4	1	8
La Montañuela	337727.49	939506.95	1.666	2	1	7
Coibita o nuevo San Carlito	339739.48	938836.16	4.00	4	1	17
San Carlito	340231.03	938611.00	2.12	3	1	15
Los Algarrobos 1	342612.55	941842.79	5.20	10	2	84
Los Algarrobos 2	343154.78	940270.56	8.25	10	2	85
Los Algarrobos 3	343158.87	939408.32	6.84	10	2	85
Los Algarrobos 4	343178.44	938893.17	7.10	10	2	84
Portachuelo	343603.27	937058.36	3.04	5	2	26
Las Perlas	344401.07	936262.03	3.70	6	2	32
David 1	343620.01	933931.96	11.05	11	2	65
David 2	343624.30	933408.75	7.71	11	2	68
David 3	344233.27	932881.26	5.83	10	2	66
David 4	344031.71	932182.23	6.84	10	2	61
Valores totales			228.58	231.95	55	1282

La Tabla 6.3 contiene los valores obtenidos a través de la metodología empleada y descrita anteriormente. Donde se representan las coordenadas, longitudes, tiempos y personas que se necesitan para realizar la encuesta en campo. Comprobando que el método aleatorio simple y el de población finita coinciden con respecto a la cantidad de familias a entrevistar en la cuenca; representando el valor mínimo de la muestra, requerido para realizar la encuesta.

Los nombres de las comunidades que tienen números (David 1) representan las secciones en las que se han dividido estos corregimientos, debido a la cantidad de viviendas, longitudes y el tiempo que se toma para realizar la encuesta.

La totalidad de personas como se observa en la Tabla 6.3 es de 55 encuestadores; sin embargo, esto se refiere a 55 personas/día; sí se considera el desarrollo de la encuesta en tres días, serían 19 personas las que se necesitarían para llevar a cabo la encuesta en las 25 comunidades. Las horas promedio en las que se pueden llevar el desarrollo de la encuesta es de 7 horas aproximadamente, para cada comunidad y por un solo encuestador.

6.4.4. Información Socioeconómica

El formato de la encuesta se presenta en el Anexo 6.1. Por otra parte, la población total correspondiente al análisis y recopilación de datos, obtenidos de la implementación de encuestas en la cuenca reflejó una totalidad de familias de 1182; lo que difiere al valor tomado según los métodos de muestreo aleatorio simple y población finita (1282). Donde el porcentaje de error equivale a 1.55%, lo que quiere decir que se mantiene dentro del porcentaje de error previsto de 2.45%.

Este resultado se debió a la ausencia de personas en sus hogares a la hora de aplicar la encuesta y la abstinencia para contestar la encuesta, así como del conteo de viviendas, ya que se contaron casas que no estaban habitadas.

La población total (según las 1182 viviendas) es de 4849 habitantes. El promedio por vivienda es de 4 habitantes. De los 4849 habitantes el 29% está entre las edades de 30-50, el 21% es mayor de 50 años y el 16% incluye de edades entre 20-30 años; el resto se encuentran en la minoría de edad.

De los 4849 habitantes, 1798 trabajan, lo cual es cercano al valor de la población activa (20 a 50 años) de 1794 habitantes. De la población activa el 1 %, posee trabajos informales, y el 99% trabajan y son jubilados (Figura 6.8).

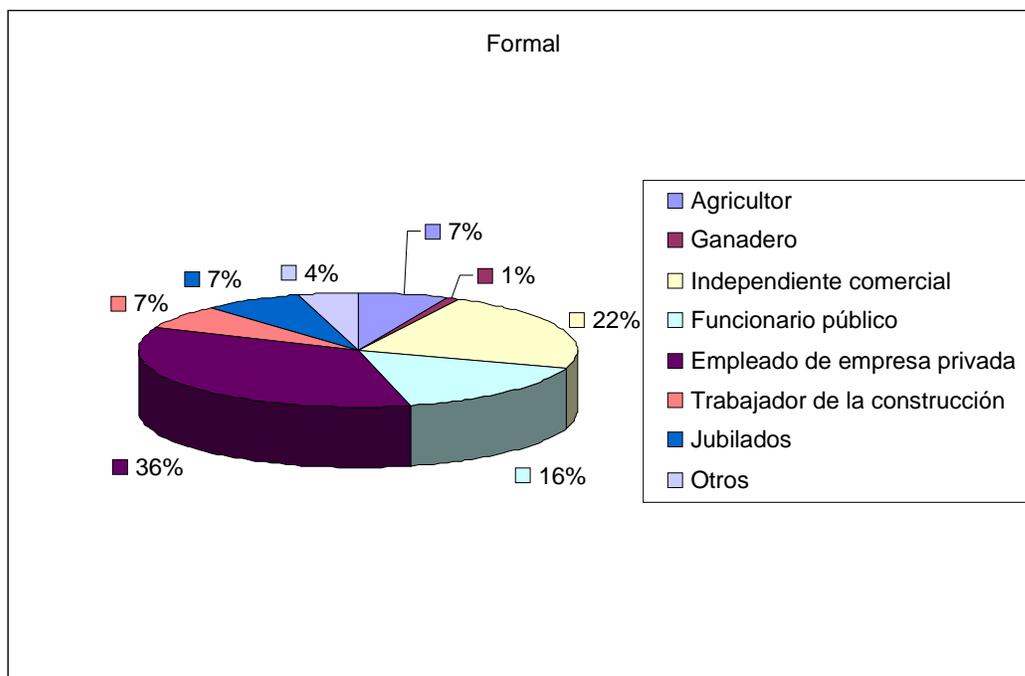


Figura 6.8. Distribución de trabajos formales.

Como se observa la Figura 6.8 el mayor porcentaje 36% se enfoca en los empleos que se realizan en las empresas privadas; ya sea como operador de máquinas industriales, empleado de banco, restaurantes, almacenes, etc.; el 22% trabaja independiente en aspectos comerciales como mini empresas, vendedores de diversos productos, conductores de buses propios etc.; 16% de la población labora en instituciones públicas, el 7% trabaja en el área de la agricultura, dedicándose a cultivar caña de azúcar, tomate, café, yuca etc.

A pesar de existir terrenos de buena calidad, esta área se dedica principalmente al aspecto de servicios; ya que incluye a dos distritos (David y Dolega), los cuales son áreas en donde se establecen instituciones, hoteles, restaurantes, bancos etc. Sin embargo, las áreas altas y parte media existen comunidades en donde se realiza únicamente labores de agricultura y para beneficio propio. Los demás porcentaje con respecto a jubilados, ganadería, construcción, otros se mantienen en porcentajes similares.

La Figura 6.9 presenta la distribución de los ingresos familiares.

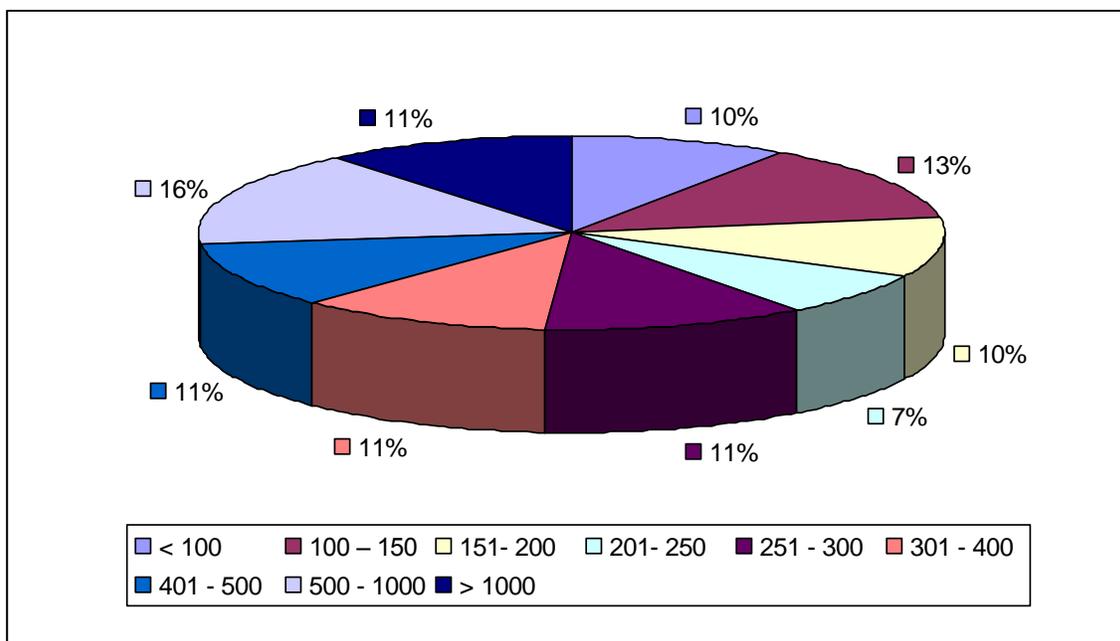


Figura 6.9. Distribución de ingresos familiares en balboas (B./)

Como se logra observar en la figura 6.9 la cuenca tiene ingresos familiares de B/. 500 a 1000 lo que representa el 16%; sin embargo, de la distribución faltante se desprende que, el 13% representa un ingreso familiar entre B/.100 a 150, el 10% menor de cien balboas, lo que comprueba que existe una mala distribución de los recursos, mostrando que la frontera entre niveles económicos es marcada.

Tabla 6.4. Continuidad en el servicio de abastecimiento de agua potable

Continuidad en el servicio de abastecimiento de agua potable	Distribución de la opinión de la población (%)
Continuo en el día	50
Intermitente en el día	12
Continuo en el mes	26
Intermitente en el mes	11
No tiene servicio	1

La Tabla 6.4 establece la continuidad de abastecimiento de agua potable, donde el 50% de la población recibe un servicio continuo en el día y el 26% lo recibe continuo en el mes (discontinuo en el día); sin embargo, existen comunidades como, La Montañuela, Mata de Piro, Rincón Largo, Cermeño que cuentan con acueducto propio

(acueducto rural) y en donde la comunidad le proporciona el mantenimiento al mismo; a través de una junta local, quienes son capacitados por funcionarios del MINSA y los fondos llegan por medio de esta institución o por la comunidad a través de actividades.

En los meses de verano estos acueductos rurales son cerrados por el problema de que necesitan estar en el nivel de agua demandado para llegar a las familias, y por lo tanto duran semanas sin poder contar con agua potable.

El IDAAN proporciona agua potable a las regiones más habitadas como es el caso de Los Algarrobos, David, Potrerillos, Dolega etc. Ya que existen las plantas potabilizadoras cerca de las comunidades antes mencionadas. Mientras que existen comunidades como Guaca Arriba, Guaca Abajo, Loma Alta, Las Cañas, Bejuco en donde no tienen agua potable y el recurso lo obtienen de ojos de agua y quebradas cercanas. Estos resultados fueron comparados con la Dirección de Estadística y Censo 2000 confirmando los resultados.

La Figura 6.10 muestra la distribución de los mecanismos utilizados por los habitantes de la cuenca, para la disposición de excretas.

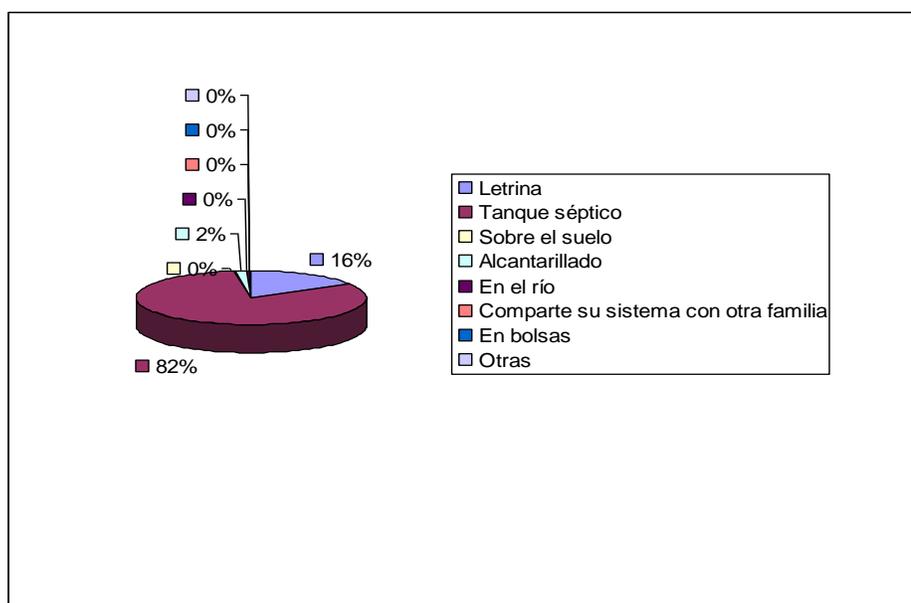


Figura 6.10. Distribución de los medios de disposición de heces fecales.

La Figura 6.10 señala que un 82% de la población tiene como medio de tratamiento y disposición de aguas residuales, el tanque séptico, con sus respectivas zanjas de infiltración. De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud, en los sistemas de tanque séptico no es recomendable mezclar el agua de excretas con el agua de fregar, bañarse etc. (OMS, 1997); sin embargo, en algunas comunidades como por ejemplo San Carlitos, Rovira, Potrerillos Arriba y Abajo, entre otras, utilizan el mismo sistema para todas esas funciones y necesidades del hogar, causando efectos inhibitorios sobre los microorganismos encargados de la degradación. Estos sistemas de tratamiento y

disposición individuales, deben contar con sus tres secciones bien definidas; almacenamiento, sedimentación, y el espacio libre para liberar los gases producto de la descomposición. Las entradas y salidas del mismo son importantes; así como pruebas de infiltración y capacidad de absorción del suelo; para que entonces puedan disponerse de todas las necesidades básicas del hogar (OMS, 1997).

Otros poblados como Guaca arriba, Guaca Abajo, Loma Alta, Bejuco, La Montañuela, cuentan con medios de disposición de excretas, como letrinas, lo que coincide con la información del Censo (Dirección de Estadística y Censo, 2000). Las citadas letrinas en muchos casos han sobrepasado su período de vida útil. En otros casos, no se cuenta con la diferencia mínima de 1,5 m entre el fondo de la letrina y el nivel freático (OMS, 1997), ya que en algunos casos las letrinas se encuentran recargadas con agua subterránea, causando contaminación de las aguas subterránea y condiciones insalubres.

La Figura 6.11 presenta la distribución de los distintos mecanismos utilizados por la población de la cuenca del Río David, para disponer las aguas producto del lavado (baño, fregadero etc.).

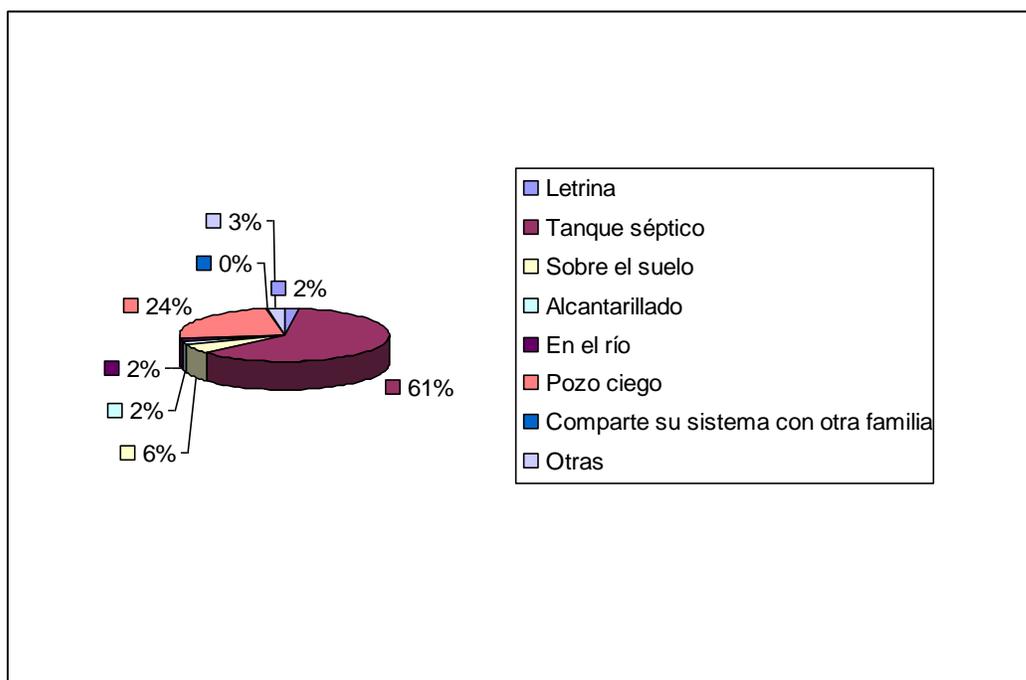


Figura 6.11. Distribución de los mecanismos de disposición de aguas servidas producto del lavado (baño, fregadero etc.).

Como se observa en la Figura 6.11 el 61% de la población utiliza como medio de disposición el tanque séptico, el 24% pozo ciego; donde el uso de ambos medios se está dando en algunas áreas de la cuenca como Dolega, David, Los Algarrobos, Las Perlas.

El 6% utiliza el suelo como medio de disposición y el 2% letrinas; indicando esta situación que la afectación al medio suelo y agua se está dando por causas que pueden ser solucionadas a través de tecnologías alternativas de bajo costo (OMS, 1997).

El alcantarillado sanitario en la cuenca solo funciona en los Distritos de David y Dolega, prestando el servicio solo a algunas áreas.

La Figura 6.12 presenta la distribución de las enfermedades que pueden ser causadas por la mala disposición de desechos líquidos, las cuales fueron mencionadas por los habitantes de la cuenca.

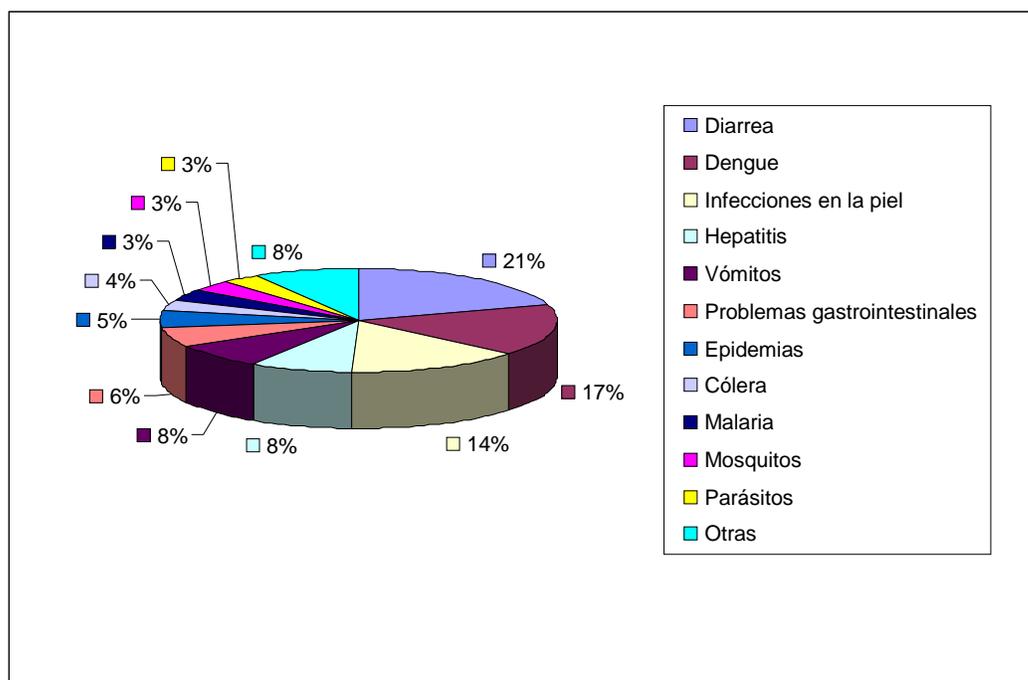


Figura 6.12. Enfermedades relacionadas con la falta de saneamiento ambiental, mencionadas por los habitantes encuestados.

Se logra observar que el 21% de la población menciona la diarrea como una de las enfermedades o síntomas que pueden causar la disposición deficiente de desechos líquidos; el 17% habla de dengue; existe un conocimiento incipiente por parte de los habitantes con respecto a las enfermedades causadas por la disposición deficiente de los desechos líquidos.

Los niveles de educación sanitaria en general, por parte de algunas poblaciones de la cuenca, concuerda con estos resultados, determinando que la concienciación, por parte de las organizaciones gubernamentales, no gubernamentales, académicas y sector privado, a la población es mínima.

Tabla 6.5. Distribución de la población afectada por enfermedades Gastrointestinales.

Personas con padecimiento de enfermedades gastrointestinales	Distribución de la opinión de la población (%)
SI	20
NO	80

La Tabla 6.5 presenta la cantidad de personas que han sido afectadas por enfermedades gastrointestinales en la cuenca. Donde el 20% indica que sí han padecido alguna vez de este tipo de enfermedad. Las poblaciones que han sido afectadas con este tipo de enfermedades coinciden, con las poblaciones que no cuentan con servicio higiénico, por lo cual se puede presumir que las condiciones pobres de saneamiento básico, inciden en el padecimiento de este tipo de enfermedades, como lo establecen Henry y Heinke (1999); Kiely (1999) y Corbitt (2003).

La Figura 6.13 presenta las edades en las que se han manifestado las enfermedades gastrointestinales.

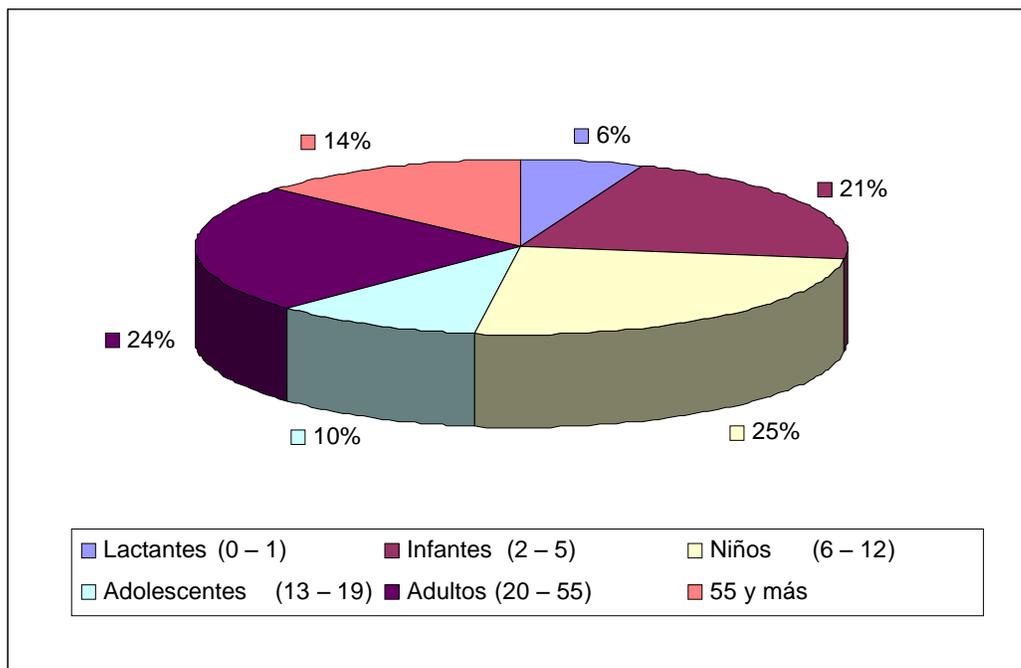


Figura 6.13. Distribución etaria de las enfermedades gastrointestinales en la cuenca del Río David.

Como se logra observar en la Figura 6.13, con respecto a las enfermedades gastrointestinales, el 25% abarca las edades entre 6-12 años, el 24% adultos entre 20-55 años, el 21% infantes de 2-6 años y el 14% a personas de 55 años en adelante. En donde los más sensibles para estos casos son los niños e infantes (46 %). La educación sanitaria toma un papel importante en este aspecto, en donde las comunidades deben participar activamente en el proceso. Una buena salud e higiene se hacen posibles mediante una combinación de educación, mejoras en la higiene personal y tecnologías apropiadas para el abastecimiento de agua y saneamiento. (Banco Mundial, 1998).

La Figura 6.14 representa el conocimiento de las personas con respecto a los plaguicidas.

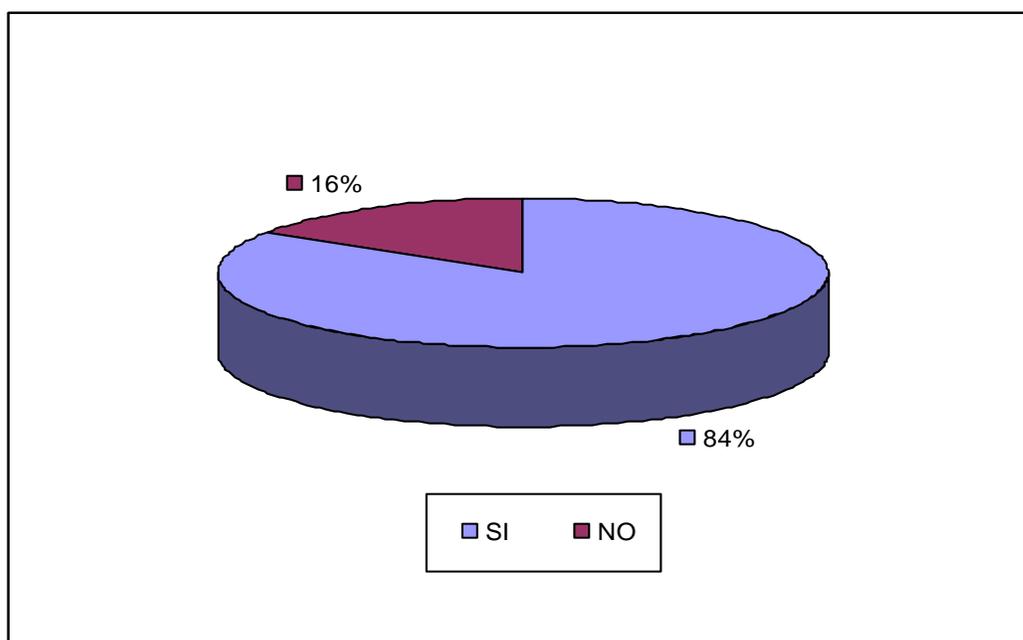


Figura 6.14. Conocimiento sobre plaguicidas de los habitantes de la cuenca.

Como se observa en la Figura 6.14, el 84% de la población conoce que es un plaguicida, mientras que el 16% lo desconoce. A pesar de que Chiriquí es una provincia dedicada al trabajo agrícola (BID, 2006) existen personas que no poseen ningún tipo de conocimiento con respecto a los plaguicidas.

La Figura 6.15, señala el uso de plaguicidas por parte de los habitantes en la cuenca.

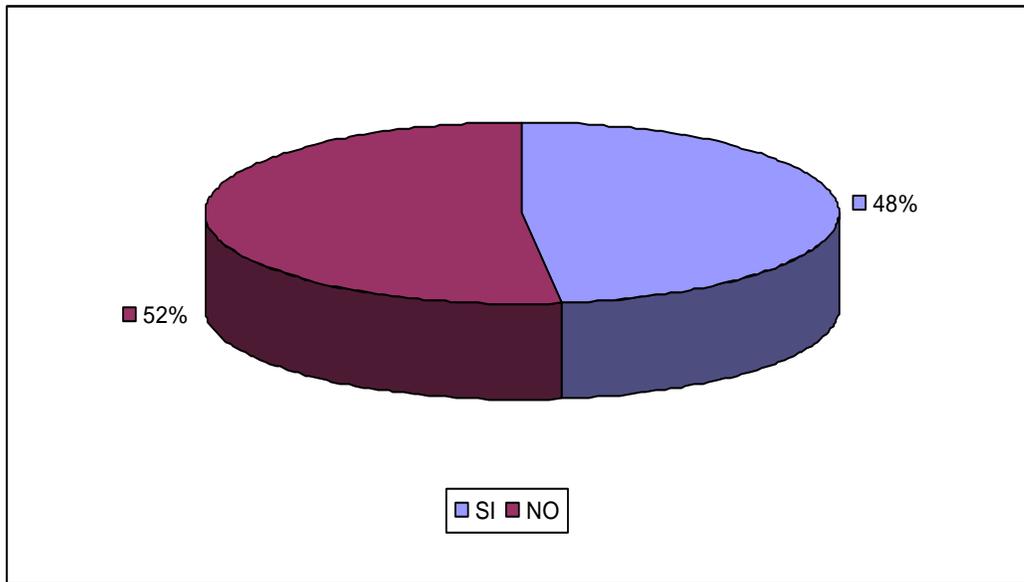


Figura 6.15. Uso de plaguicida en la cuenca

La Figura 6.15 indica que el 52% de la población encuestada no utiliza plaguicidas, pero el 48% de los habitantes de la cuenca sí usan químicos para evitar plagas en sus viviendas o cultivos de pequeña escala. La diferencia es poca entre estas opiniones sobre el uso de plaguicidas.

La Figura 6.16 muestra la distribución de los tipos de plaguicidas utilizados en la cuenca.

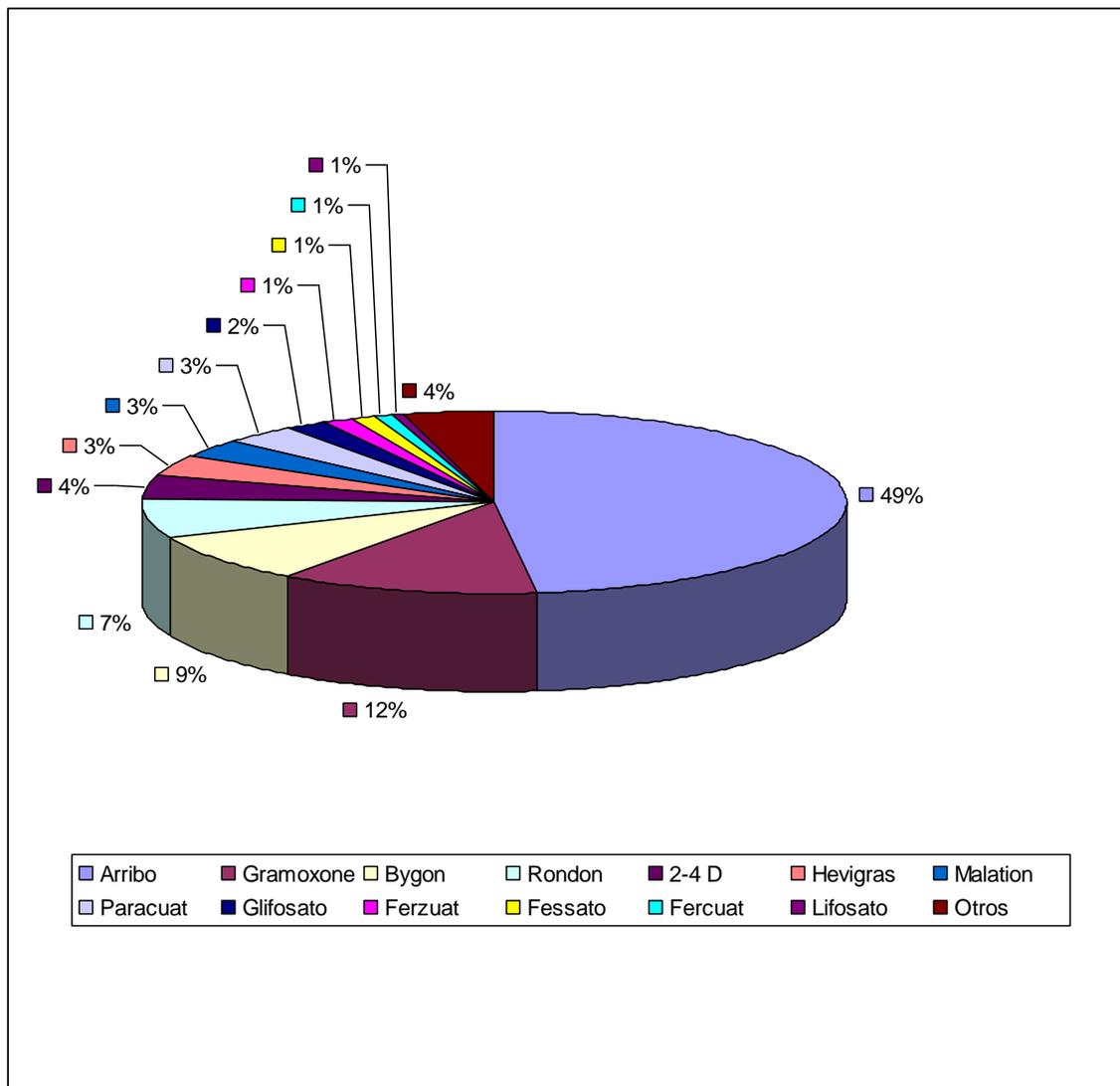


Figura 6.16. Plaguicidas utilizados en la cuenca

Como se observa en la Figura 6.16 el plaguicida más utilizado identificado por un 49% de la población es el arribo. El cual es un insecticida piretroide (cipermetrina) que puede ingresar al organismo por vía oral y cutánea; que no tiene antídoto y que puede ser mortal si es ingerido o inhalado. Este herbicida tiene actividad de adulticida, ovicida y larvicida en gran variedad de especies de plagas. El 12% lo constituye el gramoxone es un herbicida, su componente activo es el paraquat, es extremadamente tóxico y toxicológicamente es letal si se ingiere (oral). Este herbicida tiene una vida media mayor a 1000 días y es más persistente en el suelo que en el agua (Hazardous Substance Data Bank - HSDB, 2002).

El 9% usa Baygon, que es un insecticida especialmente fabricado para insectos rastreros, su compuesto activo es el propoxur pertenece al grupo de carbamatos; actúan inhibiendo la acetilcolinesterasa pero reversible, es decir neurotóxico; sin embargo, es de baja toxicidad para los seres humanos.

El 7% representa el round up es un herbicida donde el ingrediente activo es el glifosato, es ligeramente tóxico y su dosis letal es por vía oral, el 4% representa el 2-4D (ácido diclorofenoxiacético) es un herbicida clorofenólico; es efectivo en bajas dosis en muchas mezclas (McGuire, 2006).

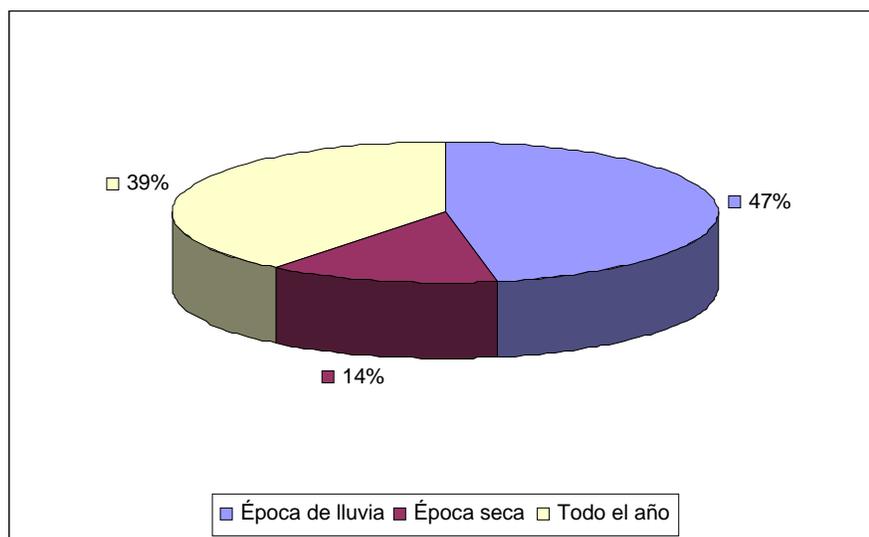


Figura 6.17. Tiempo de aplicación de plaguicidas

En la Figura 6.17 se observa que el tiempo de aplicación comúnmente señalado es todo el año con 39 % (períodos de aplicación cada 2 o 6 meses), época de lluvia con un 47%, donde el contaminante (según sus características propiedades físico-químicas y las del suelo) puede llegar al cuerpo de agua; por infiltración o escorrentía, tomando en consideración la persistencia del plaguicida en el medio agua y suelo, y la cantidad que se esté aplicando.

La Figura 6.18 señala la variedad de cultivos que se encuentran en la cuenca según la opinión de los habitantes

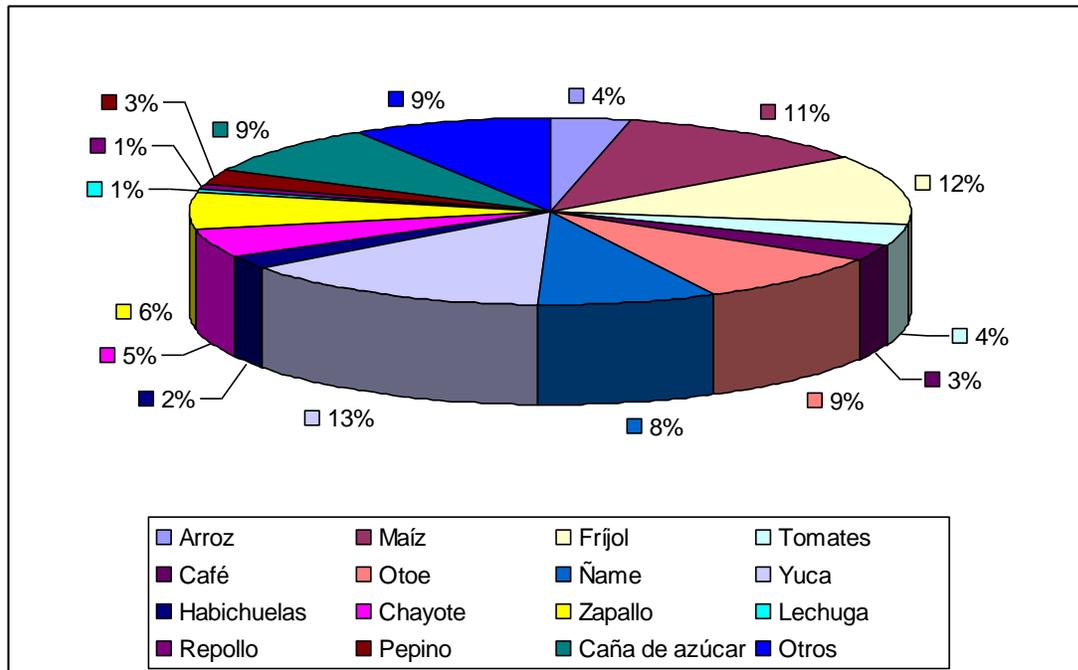


Figura 6.18. Cultivos artesanales presentes en la cuenca, según la opinión de sus habitantes.

El cultivo que representa un 13% en la cuenca es la yuca, tubérculo que es utilizado con mayor frecuencia para consumo propio; el 12% es el frijol, en donde algunas personas lo cosechan para uso propio; el 11% representa al maíz, tenemos un 9% la caña de azúcar utilizada para la fabricación de panela (raspadura), el 4% representa arroz.

La distribución de las enfermedades de posible fuente teratogénicas y genotóxicas, se observan en la Figura 6.19

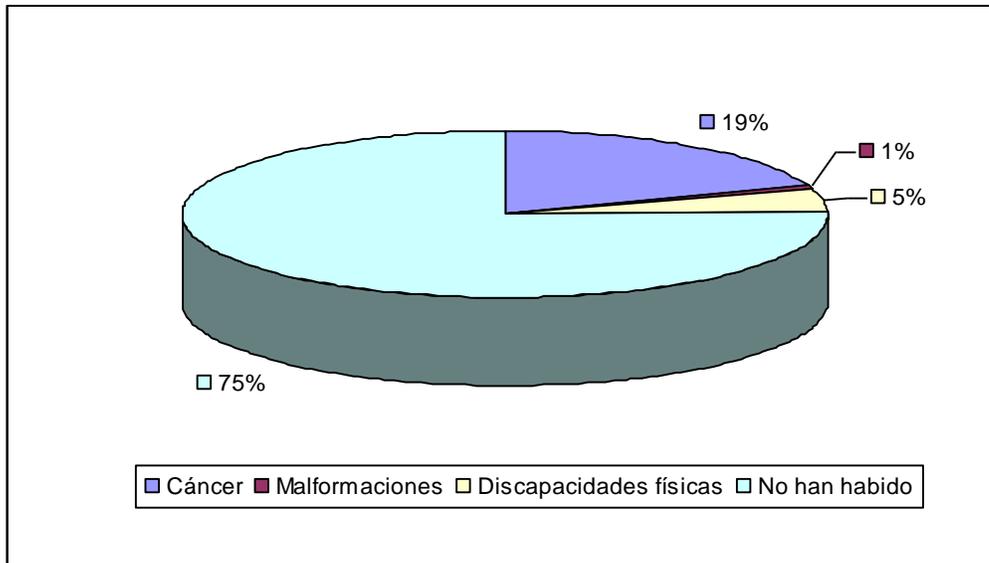


Figura 6.19. Enfermedades teratogénicas y genotóxicas en los habitantes de la cuenca.

Se observa que el 75% de la población no han padecido ningún tipo de enfermedad referente a las mencionadas, el 19% si está padeciendo de cáncer y el 5% de discapacidades físicas.

La distribución sobre factores que pueden haber provocado enfermedades se muestran en la Figura 6.20

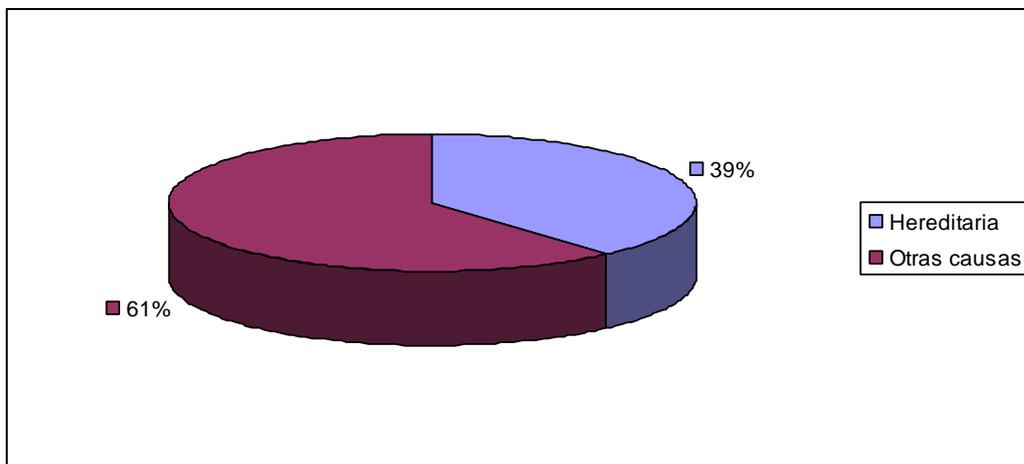


Figura 6.20. Factores a los cuales se deben este tipo de enfermedad

Se define que para el 61% de la población encuestada, las enfermedades son debido a otras causas, y para el 39% son problemas hereditarios o presentes en los genes.

La Figura 6.21 muestra la distribución de las causas mencionadas por los habitantes respecto a cáncer, malformaciones, discapacidades físicas.

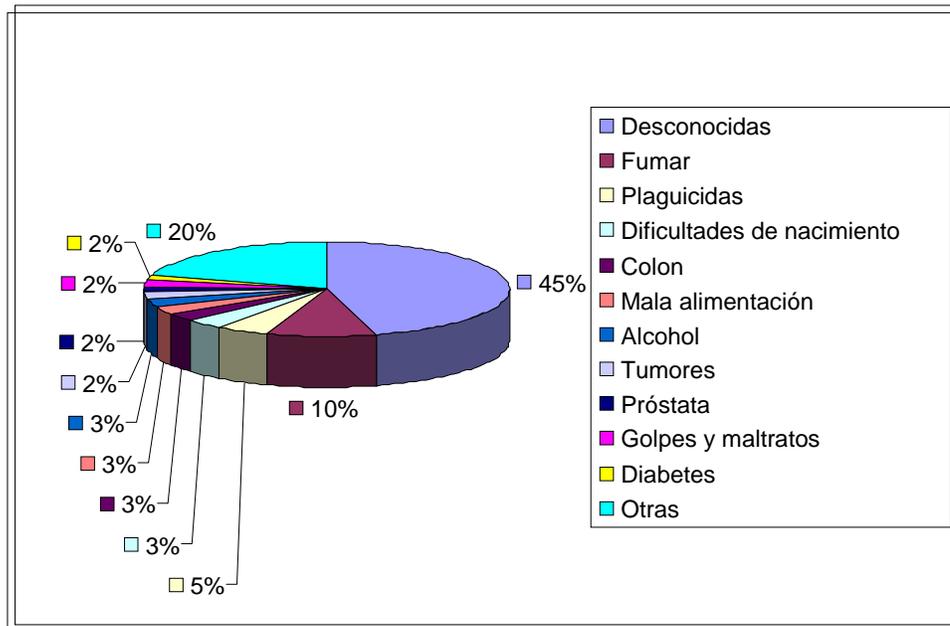


Figura 6.21. Causas (de cáncer, malformaciones etc.) mencionadas por la población encuestada.

Como se observa en la Figura 6.21, según diagnósticos médicos (información oral suministrada por la población), 45% desconoce las causas de origen de la enfermedad, el 10% las relaciona a los fumadores activos, el 5% a químicos persistentes (plaguicidas) en el ambiente; ya que han dedicado una gran parte de su vida a la agricultura, sin usar las medidas de protección que señala, organismos como el: Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP), Organización Panamericana de la Salud (OPS), Organización Interamericana del Trabajo (OIT), (INCAP-OPS-OIT, 1993 a y b).

6.5. Conclusión

Del estudio Socioeconómico y ambiental, se desprende que la cuenca del río David y sus habitantes poseen una distribución no uniforme de sus ingresos económicos; en donde se enmarcan las diferencias de niveles económicos entre clase social media, alta y baja.

Esta situación es palpable en países en vías de desarrollo (FAO, 1993); y Panamá específicamente la provincia de Chiriquí (cuenca del río David) no es la excepción.

El abastecimiento de agua potable es constante en el día 56% y en el mes 26%; sin embargo, existen comunidades que dependen de riachuelos o del río David para poder obtener el agua que necesitan, y trabajan la tierra para poder llevar el alimento diario a sus casas.

La situación en la que tratan y disponen sus desechos fecales es a través del sistema de tanque séptico (82%), que es un tratamiento primario, donde se ha comprobado que no es suficiente para desarrollar la acción de degradación completa de la materia orgánica. En la cuenca del Río David solo 1 de las 25 comunidades cuenta con alcantarillado sanitario (sin tratamiento de aguas residuales), y es el distrito de David.

El grado de educación sanitaria, es muy bajo; mientras a unos se les brinda un servicio excepcional en estos términos de educación otros carecen de ellos.

Actualmente existen juntas locales en algunas comunidades como Rovira, El Banco, Potrerillos etc. Donde cuentan con acueductos rurales que son manejados por los miembros de estos pueblos. Existen también líderes de comunidades que llevan responsabilidades importantes y tratan de unificarse con los demás y participar en diversos programas, sin embargo la ayuda y el seguimiento en la actualización de temas es poco.

Existen muchos proyectos (BID, 2006) en donde los resultados han sido productivos, pero hay otros programas en donde sólo se llega a la divulgación y no se le da ningún tipo de incentivo, ni seguimiento a la población.

Chiriquí es una provincia en donde se práctica a gran escala la agricultura, además de los productos que se ofrecen a los consumidores, se manifiestan el uso de plaguicidas. Este uso no solo es aplicable a los productores a gran escala, sino también a la población en general.

El conocimiento de la población sobre el uso de plaguicidas es un punto importante en esta investigación, ya que el enfoque de este trabajo son los elementos suelo y agua y su contaminación, pero es importante la opinión de las personas que viven en la cuenca y sus afluentes, de la cual obtienen beneficios en aspectos de siembra, necesidades básicas, recreación entre otros aspectos.

Se logró observar que los habitantes de la cuenca utilizan una variedad de plaguicidas; y de los cuales llegan a combinar o realizar mezclas con algunos de estos tóxicos. En

donde la aplicación se da sin un equipo de protección adecuada a los cultivos que son de consumo propio y las partes externas de sus hogares.

Mejorar la calidad de vida es uno de los aspectos que la población necesita y se manifestó a través del desarrollo de las encuestas, por esto es tan importante la opinión de las personas que viven en una zona en donde las necesidades son las mismas, pero las formas de suplirlas no son iguales.

6.6. Recomendaciones

Emplear medios prácticos entre los organismos gubernamentales localizados en el área de la cuenca y establecer a través de planes de gestión el interés verdadero, que conlleve a la protección y conservación de La Cuenca del río David.

Integrar a las comunidades presentes en la cuenca, en programas de gestión, donde se desarrollen medidas encaminadas a la conservación de manejo de suelos y cuerpos de agua.

Ejecutar programas de ordenación o distribución de recursos, para que exista equidad entre las poblaciones de la cuenca.

Realizar un diagnóstico más profundo sobre las condiciones sanitarias de la cuenca, demarcar las áreas que carecen de educación sanitaria y poner en práctica capacitaciones de hábitos higiénicos y manejo de nuevas tecnologías.

Utilizar tecnologías sanitarias, de bajo costo, en donde las comunidades de bajos recursos puedan participar y sacar beneficio de las mismas, mejorando así las infraestructuras sanitarias en las que se encuentran actualmente algunas de las comunidades que viven cerca de las áreas desarrolladas.

Reintegrar programas de manejo, uso, aplicación y disposición de plaguicidas, señalando los efectos adversos que pueden provocar los mismos a corto y largo plazo.

Que estos programas no sólo vayan enfocado a los sectores de mayor producción, sino que se tome en cuenta las organizaciones o juntas locales que ya se tienen en algunas comunidades y exista el interés de brindar un seguimiento a estos programas.

Que las autoridades establezcan medidas más severas al abuso indiscriminado que se les está dando a los recursos, reforzando las leyes. Pues el deterioro y los daños a los elementos naturales pueden ser irreversibles.

Incentivar a futuros graduandos, investigadores etc. A realizar investigaciones que involucren la implementación de nuevas técnicas, sin dejar atrás las prácticas tradicionales en donde se consideren factores naturales y humanos.

6.7 Bibliografía

- Banco Interamericano de Desarrollo (BID), Consejo Nacional para el Desarrollo Sostenible (CONADES). (2006). Proyecto Multifase Desarrollo Sostenible de la Provincia de Chiriquí.
- Banco Mundial. (BM, 1998). Información y Capacitación en Abastecimiento de Agua y Saneamiento de Bajo Costo. Educación Sanitaria. Nueva York.
- Corbitt, R. (2003). Manual de Referencia de la Ingeniería Medioambiental. Mc Graw Hill. Madrid-España.
- Daly, k. (2002). Proyecto de Desarrollo Rural Sostenible en la Provincias de Coclé, Colón y Panamá. Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA). Panamá.
- Domínguez, V.M., Caballero, M., Lecky, R., Franco, N. (2006). Directorio de Servicios Ambientales y tecnologías Limpias. Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM), Fondo Multilateral de Inversiones (FOMIN), Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Panamá.
- Estadística y Censo. Panamá en cifras. (1997-2001). Contraloría General De La Republica. Panamá.
- Estadística y Censo. (2000). Sexto Censo Nacional Agropecuario. Contraloría General de la República de Panamá. Panamá.
- Henry, J.G. and Heinke, G.W. (1999). Ingeniería Ambiental. Segunda Edición en Español. Prentice Hall. Méjico, D.F.
- Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP-OPS-OIT, 1993 a). Aspectos Generales Sobre los Plaguicidas y su Efecto Sobre las Personas y el Medio Ambiente.
- Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá. (INCAP-OPS-OIT,1993 b). Medidas de Prevención de las Intoxicaciones Causadas por Plaguicidas.
- Kiely, G. (1999). Ingeniería Ambiental. Fundamentos, entornos, tecnología y sistemas de gestión. Primera Edición en Español. McGraw-Hill/Interamericana de España. Madrid, España.
- McGuire, R., Herrera, L. (2006). Insecticidas y Herbicidas. Facultad de Química y Biología. Universidad de Santiago. Chile.
- Nessim, E., Chibbaro, J. (2006). Proyecto Multifase Desarrollo Sostenible de la Provincia de Chiriquí. Panamá.
- Organización Mundial de la Salud. (OMS, 1997). Guía Latinoamericana de Tecnologías Alternativas en Agua y Saneamiento.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura. (FAO, 1993a). Programa de Análisis Socioeconómico (ASEG).
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura. (FAO, 1993b). Erosión de suelos en América Latina.
- Valledor, M., Carreira, J. (2005). Concepto de Muestreo, y los tipos de Muestreo Existentes; Cálculo de tamaños Muestrales en Auditorias de Historias Clínicas. Unidad de Calidad Hospital San Agustín, Unidad de Investigación Hospital San Agustín, Servicio de Salud del Principado de Austria.

GLOSARIO GENERAL

Glosario Capítulo 1

- *Sistema de Información Geográfica*: es una colección organizada de hardware, software, datos geográficos y personales, diseñado para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión
- *Cuenca*: (llanura sedimentaria, depresión o concavidad), accidente geográfico, superficie rodeada de alturas, o Cuenca fluvial, territorio drenado por un sistema de drenaje natural.
- *Roca Parental*: tipo de roca que le da el origen al suelo. Se clasifican en tres grandes grupos, roca ígnea, roca sedimentaria y roca metamórfica. Significa el material geológico inalterado (generalmente roca madre o de un depósito superficial o arrastrado) en donde se irán formando los horizontes del suelo.
- *Digitalización*: es la transformación de información en formato no digital a digital. En Sistemas de Información Geográfica es el trazado y conversión de mapas y documentos obtenidos físicamente (mapas y cartas catastrales) a digital.
- *Georreferenciación*: es el posicionamiento en el que se define la localización de un objeto espacial (representado mediante punto, vector, área, volumen) en un sistema de coordenadas y datum determinado. Este proceso es utilizado frecuentemente en los Sistemas de Información Geográfica.
- *Curva de Nivel*: es aquella línea que en un mapa une todos los puntos que tienen igualdad de condiciones y de altura o cota. Las curvas de nivel suelen imprimirse en los mapas en color siena para el terreno y en azul para los glaciares y las profundidades marinas y lacustres.
- *Modelo de Elevación Digital*: es la simulación tridimensional de las elevaciones en un área determinada, a partir de las curvas de nivel de un mapa digital. Son la base de la modelación hidrológica, puesto que brindan al programa la presencia de elevaciones en su lenguaje de programación y una rápida visualización y observación al alimentador del modelo.
- *Red Hídrica*: Se refiere a la red de transporte superficial de agua y sedimento, como ríos, lagos y flujos subterráneos, alimentados por la lluvia o de la nieve fundida. La mayor parte de esta agua no cae directamente en los cauces fluviales y los lagos, sino que permeabiliza las capas superiores del terreno y desde éstas aparece constituyendo arroyos.
- *Conductividad Hidráulica*: representa la mayor o menor facilidad con que el medio deja pasar el agua a través de él por unidad de área transversal a la dirección del flujo. Tiene las dimensiones de una velocidad (L T⁻¹) y modernamente se distinguen dos tipos: la

conductividad hidráulica darciana o lineal, KD y la conductividad hidráulica turbulenta, KT.

Glosario Capítulo 2

- *Contaminación Difusa*: son grandes áreas de terreno que descargan contaminantes al agua sobre una región extensa. Ej: Vertimiento de sustancias químicas, tierras de cultivo, lotes para pastar ganado, construcciones, tanques sépticos.
- *Modelo*: es el resultado del proceso de generar una representación abstracta, conceptual, gráfica o visual (ver, por ejemplo: mapa conceptual), física, matemática, de fenómenos, sistemas o procesos a fin de analizar, describir, explicar, simular - en general, explorar, controlar y predecir- esos fenómenos o procesos. Se considera que la creación de un modelo es una parte esencial de toda actividad científica. es uno de los tipos de modelos científicos, que emplea algún tipo de formulismo matemático para expresar relaciones, proposiciones sustantivas de hechos, variables, parámetros, entidades y relaciones entre variables y/o entidades u operaciones, para estudiar comportamientos de sistemas complejos ante situaciones difíciles de observar en la realidad.
- *Simulación*: es una técnica numérica para conducir experimentos en una computadora digital. Estos experimentos comprenden ciertos tipos de relaciones matemáticas y lógicas, las cuales son necesarias para describir el comportamiento y la estructura de sistemas complejos del mundo real a través de largos periodos de tiempo
- *Hidrología*: (del griego Υδωρ (hidro): agua, y Λογος (logos): estudio) a la ciencia geográfica que se dedica al estudio de la distribución, espacial y temporal, y las propiedades del agua presente en la atmósfera y en la corteza terrestre. Esto incluye las precipitaciones, la escorrentía, la humedad del suelo, la evapotranspiración y el equilibrio de las masas glaciares. Por otra parte, el estudio de las aguas subterráneas corresponde a la hidrogeología.
- *Caudal*: es la cantidad de fluido que pasa por el río en una unidad de tiempo.
- *Erosión*: proceso de sustracción o desgaste de la roca del suelo intacto (roca madre), por acción de procesos geológicos exógenos como las corrientes superficiales de agua o hielo glaciar, el viento o la acción de los seres vivos.
- *Plaguicida*: son sustancias químicas destinadas a matar, repeler, atraer, regular o interrumpir el crecimiento de seres vivos considerados plagas. Dentro de esta denominación se incluyen insectos, hierbas, pájaros, mamíferos, peces y microbios que compiten con los humanos para conseguir alimento, destruyen las siembras y propagan enfermedades.

- *Sedimentación*: es el proceso por el cual el material sólido, transportado por una corriente de agua, se deposita en el fondo del río, embalse, canal artificial, o dispositivo construido especialmente para tal fin.
- *Unidad de Respuesta Hidrológica*: está definido por un punto en un cauce y lo componen todas las áreas cuya escorrentía superficial alcanza el cauce entre ese punto y las inmediatamente aguas arriba del mismo (una subcuenca).
- *Media*: (también llamada promedio o simplemente media), de un conjunto finito de números, es igual a la suma de todos sus valores dividida entre el número de sumandos. Cuando el conjunto es una muestra aleatoria recibe el nombre de media muestral siendo uno de los principales estadísticos muestrales.
- *Escorrentía*: es la lámina de agua que circula en una cuenca de drenaje, es decir la altura en milímetros de agua de lluvia escurrida y extendida dependiendo la pendiente del terreno. Normalmente se considera como la precipitación menos la evapotranspiración real y la infiltración del sistema suelo – cobertura vegetal. Según la teoría de Horton se forma cuando las precipitaciones superan la capacidad de infiltración del suelo. Esto sólo es aplicable en suelos de zonas áridas y de precipitaciones torrenciales. Ésta deficiencia se corrige con la teoría de la saturación, aplicable a suelos de zonas de pluviosidad elevada y constante. Según dicha teoría, la escorrentía se formará cuando los compartimentos del suelo estén saturados de agua.
- *Histograma*: es una representación gráfica de una variable en forma de barras, donde la superficie de cada barra es proporcional a la frecuencia de los valores representados. En el eje vertical se representan las frecuencias, y en el eje horizontal los valores de las variables, normalmente señalando las marcas de clase, es decir, la mitad del intervalo en el que están agrupados los datos.
- *Hidrograma*: es un gráfico que muestra la variación en el tiempo de alguna información hidrológica tal como: nivel de agua, caudal, carga de sedimentos, etc. para un río, arroyo o canal, si bien típicamente representa el caudal frente al tiempo; esto es equivalente a decir que es el gráfico de la descarga (L^3/T) de un flujo en función del tiempo. Éstos pueden ser hidrogramas de tormenta e hidrogramas anuales, los que a su vez se dividen en perennes y en intermitentes.
- *Calibración*: es el conjunto de operaciones que establecen, en condiciones especificadas, la relación existente entre los valores de una magnitud indicados por un instrumento de medida o sistema de medida, o los valores representados por una materializada o un material de referencia y los valores correspondientes realizados mediante patrones.
- *Correlación*: indica la fuerza y la dirección de una relación lineal entre dos variables aleatorias. Se considera que dos variables cuantitativas están correlacionadas cuando los valores de una de ellas varían sistemáticamente con respecto a los valores homónimos de la otra: si tenemos dos variables (A y B) existe correlación si al aumentar los valores de A

lo hacen también los de B y viceversa. La correlación entre dos variables no implica, por sí misma, ninguna relación de causalidad.

Glosario Capítulo 3

- *Cromatografía*: es un método de separación para la caracterización de mezclas complejas, la cual tiene aplicación en todas las ramas de la ciencia y la física. Es un conjunto de técnicas basadas en el principio de retención selectiva, cuyo objetivo es separar los distintos componentes de una mezcla, permitiendo identificar y determinar las cantidades de dichos componentes.
- *Cromatografía de Gases*: es una técnica cromatográfica en la que la muestra se volatiliza y se inyecta en la cabeza de una columna cromatográfica. La elución se produce por el flujo de una fase móvil de gas inerte. A diferencia de los otros tipos de cromatografía, la fase móvil no interacciona con las moléculas del analito; su única función es la de transportar el analito a través de la columna.
- *Persistencia*: Se refiere a la longitud de tiempo que un compuesto está en el ambiente, una vez introducido. Capacidad de un compuesto para sostenerse inalterado en un medio a lo largo del tiempo. A mayor persistencia, mayor posibilidad de ingresar en la cadena alimentaria.
- *Ingrediente Activo*: es aquella sustancia con actividad farmacológica extraída de un organismo vivo. Una vez purificada y/o modificada químicamente, se le denomina fármaco.
- *Mineralización*: es el proceso por el cual los elementos y compuestos de la materia orgánica se descompone en formas disponibles para los vegetales.
- *Tóxico*: (del griego τοξικότητα *toxon*, punta de flecha y, por extensión, veneno que se aplica en la punta de la flecha) es toda sustancia química que, administrada a un organismo vivo, tiene efectos nocivos. El estudio de los venenos es conocido como toxicología.
- *Volatilización*: es el proceso que consiste en el cambio de estado de la materia sólida al estado gaseoso sin pasar por el estado líquido.
- *Adsorción*: es un proceso por el cual átomos, iones o moléculas son atrapadas o retenidas en la superficie de un material, en contraposición a la absorción, que es un fenómeno de volumen.
- *Absorción*: es la operación unitaria que consiste en la separación de uno o más componentes de una mezcla gaseosa con la ayuda de un solvente líquido con el cual forma solución (un soluto A, o varios solutos, se absorben de la fase gaseosa y pasan a la líquida).

- *Concentración:* es la proporción o relación que hay entre la cantidad de soluto y la cantidad de disolvente, donde el soluto es la sustancia que se disuelve, el disolvente la sustancia que disuelve al soluto, y la disolución es el resultado de la mezcla homogénea de las dos anteriores.
- *Compuesto:* es una sustancia formada por la unión de dos o más elementos de la tabla periódica, en una razón fija.
- *Organoclorado:* es un compuesto químico orgánico, es decir, compuesto por un esqueleto de átomos de carbono, en el cual, algunos de los átomos de hidrógeno unidos al carbono, han sido reemplazados por átomos de cloro. la mayoría de estos son subproductos de industrias y pueden llegar a ser cancerígenos.
- *Espectrometría de Masa:* es una técnica experimental que permite la medición de iones derivados de moléculas.
- *Reactivo:* toda sustancia que interactúa con otra (también reactivo) en una reacción química da lugar a otras sustancias de propiedades, características y conformación distinta, denominadas productos de reacción o simplemente productos.
- *Solvente:* es una sustancia que permite la dispersión de otra en su seno. Es el medio dispersante de la disolución.
- *Soluto:* sustancia minoritaria (aunque existen excepciones) en una disolución o, en general, a la sustancia de interés. Es una sustancia disuelta en un determinado disolvente.

Glosario Capítulo 4

- *Coliformes Fecales (NMP/100ml):* La denominación genérica coliformes designa a un grupo de especies bacterianas que tienen ciertas características bioquímicas en común e importancia relevante como indicadores de contaminación del agua y los alimentos.
- *Conductividad Eléctrica (mS/cm):* Se define como la medida de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica. Como la corriente eléctrica es transportada por iones en solución, el aumento de la concentración de iones provoca un aumento en la conductividad, y es causada principalmente por la cantidad de sólidos disueltos en el agua.
- *DBO (mg/l):* Demanda bioquímica de oxígeno es la cantidad de oxígeno que requieren las bacterias para degradar u oxidar la materia orgánica presente en las aguas. Por ello es importante conocer el oxígeno requerido para estabilizar biológicamente la materia orgánica.

- *DQO (mg/l)*: Demanda química de oxígeno, es la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica, sea biodegradable o no, es un parámetro analítico de contaminación que mide el material orgánico contenido en una muestra líquida mediante la oxidación química.
- *DBO₅/DQO*: se emplea para evaluar las posibilidades de éxito de los procesos biológicos en el tratamiento de las aguas residuales.

La relación DBO₅/DQO es:

Aguas Residuales:		
domésticas	Aprox.	0,5
comerciales	Menor que	0,5
Industriales (fabricas de bebidas y alimentos)	Mayor que	0,5

Los cocientes o relaciones por encima de 0,5 sirven para indicar que los procesos biológicos han extraído considerablemente las sustancias que producen DBO₅ y DQO. La descomposición biológica empieza de inmediato y prosigue rápidamente.

En el caso de valores por debajo de 0,5 es posible que compuestos ahí presentes sean degradados parcialmente o solo con dificultad y que los procesos biológicos sean inhibidos o retardados como resultado de los efectos tóxicos, la falta de sales minerales o la lenta adaptación de los microorganismos.

Según SIMONS, en la superficie deben prevalecer a los siguientes cocientes mínimos de DBO₅/DQO para indicar la probabilidad de degradación de las aguas residuales comerciales cuando se utilizan microorganismos inadaptados:

Aguas residuales fáciles de tratar biológicamente	0,6
Aguas residuales accesibles a un tratamiento biológico	0,4
Aguas residuales inaccesibles a un tratamiento o que necesitan aclimatación (adaptación)	0,2
Ambiente toxico que no permite la aclimatación (adaptación)	0

- *Fósforo Total (mg/l)*: el conocer la concentración de fósforo en las aguas es importante ya que los efectos son mayormente consecuencias de las emisiones de grandes concentraciones en el ambiente debido principalmente a la minería y cultivos. Durante la purificación del agua los fosfatos no son a menudo eliminado correctamente, así que pueden expandirse a través de largas distancias cuando se encuentran en la superficie de las aguas.

Debido a la constante adición de fosfatos por los humanos y que exceden las concentraciones naturales, el ciclo del fósforo es interrumpido fuertemente.

El incremento de la concentración de fósforo en las aguas superficiales aumenta el crecimiento de organismos dependientes del fósforo, como son las algas. Estos organismos usan grandes cantidades de oxígeno y previenen que los rayos de sol entren en el agua.

Esto hace que el agua sea poco adecuada para la vida de otros organismos. El fenómeno es comúnmente conocido como eutrofización.

- *Nitrógeno Total (mg/l)*: Los humanos han cambiado radicalmente los suministros de nitratos y nitritos. La mayor causa de la adición de nitratos y nitritos es el uso intensivo de fertilizantes. Los procesos de combustión pueden también realzar los suministros de nitrato y nitrito, debido a la emisión de óxidos de nitrógeno que puede ser convertidos en nitratos y nitritos en el ambiente.

La adición de Nitrógeno enlazado en el ambiente tiene varios efectos. Primeramente, puede cambiar la composición de especies debido a la susceptibilidad de ciertos organismos a las consecuencias de los compuestos de nitrógeno. Segundo, la mayoría del nitrito puede tener varios efectos sobre la salud de los humanos así como en animales. La comida que es rica en compuestos de Nitrógeno puede causar una pérdida en el transporte de oxígeno en la sangre, lo que puede tener consecuencias serias para el ganado).

- *Oxígeno Disuelto (mg/l)*: es un elemento indispensable en la vida de los animales y las plantas, tanto terrestres como acuáticas, en los cuerpos de agua destinados para consumo humano la presencia de Oxígeno disuelto es un indicador de una calidad de agua buena.
- *Potencial de Hidrógeno (pH)*: medida de la acidez o basicidad de una solución. El pH es la concentración de iones o cationes hidrógeno $[H^+]$ presentes en determinada sustancia. El término significa potencial de hidrógeno para pondus Hydrogenii o potentia Hydrogenii (del latín *pondus*, n. = peso; *potentia*, f. = potencia; *hydrogenium*, n. = hidrógeno). Este fue acuñado por el químico danés Sørensen, quien lo definió como el logaritmo negativo de base 10 de la actividad de los iones hidrógeno. Esto es: $pH = -\log_{10} [a_{H^+}]$
El pH típicamente va de 0 a 14 en disolución acuosa, siendo ácidas las disoluciones con pH menores a 7, y básicas las que tienen pH mayores a 7. El pH = 7 indica la neutralidad de la disolución (siendo el disolvente agua)
- *Temperatura (°C)*: es una medida del calor y se produce principalmente a consecuencias de las radiaciones calóricas por capas de aguas superficiales.
- *Sólidos Suspendidos Totales (mg/l)*: son la totalidad de los sólidos orgánicos e inorgánicos, es decir los sólidos suspendidos y disueltos.

Glosario Capítulo 5

- *Coefficiente de Adsorción de Carbono Orgánico*: también conocido como coeficiente de adsorción suelo/agua o el coeficiente de adsorción, es una medida de la tendencia de un compuesto orgánico a ser adsorbido (retenido) por los suelos o sedimentos.
- *Coefficiente de partición octanol/agua (K_{ow})*: es una medida de cómo una sustancia química puede distribuirse entre dos solventes inmiscibles, agua (es un solvente polar) y octanol (es un solvente relativamente no polar, que representa a las grasas).

- *Presión de Vapor:* es una medida de volatilidad de una sustancia química (plaguicida) en estado puro y es un determinante importante de la velocidad de volatilización al aire desde suelos o cuerpos de agua superficiales contaminados.
- *Solubilidad:* es una medida de la capacidad de una determinada sustancia para disolverse en otra.
- *Biota:* conjunto de especies de plantas, animales y otros organismos que ocupan un área dada. Se dice, por ejemplo, biota europea para referirse a la lista de las especies que habitan ese territorio.
- *Persistencia:* se define como la capacidad de cualquier plaguicida para retener sus características físicas, químicas y funcionales en el medio, en el cual es transportado o distribuido, durante un período limitado después de su emisión.
- *Medio:* es el lugar en que puede estar presente el plaguicida como: materiales o sustancias de desecho, agua subterránea o superficial, aire, suelo, subsuelo, sedimento y biota.

Glosario Capítulo 6

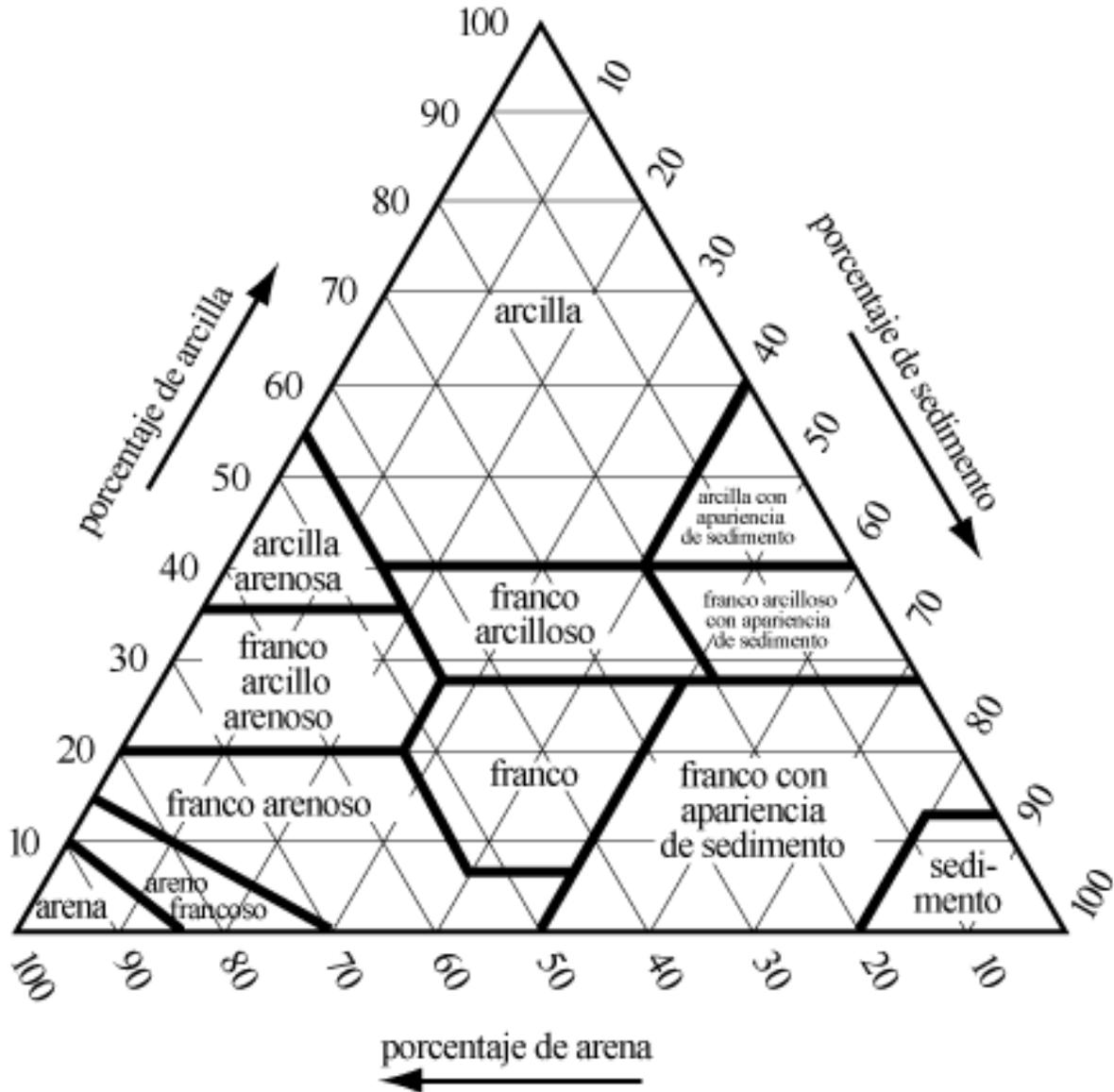
- *Población:* es un grupo de personas, u organismos de una especie particular, que vive en un área geográfica, o espacio, y cuyo número de habitantes se determina normalmente por un censo.
- *Geografía:* (del griego γεια, "Tierra", y γραφειν, "describir" o "representar gráficamente") es la ciencia que estudia la superficie terrestre, manifestados en su principal objeto de estudio que es el espacio geográfico, las sociedades que lo habitan y como otros objetos también aparecen los territorios, paisajes, lugares o regiones, ambientes, medio ambiente, fronteras, límites que forman al relacionarse entre sí.
- *Cultura:* es el conjunto de todas las formas, los modelos o los patrones, explícitos o implícitos, a través de los cuales una sociedad regula el comportamiento de las personas que la conforman.
- *Demografía:* (del griego δῆμος *dēmos* 'pueblo' y γραφία *grafía* 'trazo, descripción') es la ciencia que tiene como objetivo el estudio de las poblaciones humanas y que trata de su dimensión, estructura, evolución y características generales, considerados desde un punto de vista cuantitativo. Por tanto la demografía estudia estadísticamente la estructura y la dinámica de las poblaciones humanas y las leyes que rigen estos fenómenos.
- *Distrito:* (del latín medieval *districtus*) se refiere a cada una de las demarcaciones en que se subdivide un territorio o una población, ya sea en forma administrativa, estadística o jurídica con la finalidad de obtener una distribución adecuada de sus servicios administrativos y organizar el ejercicio de su gobierno.

- *Corregimiento*: es una división territorial o población dirigida por un *corregidor*. También del mismo modo se designa el ejercicio de las funciones de corregidor, como el territorio jurisdiccional donde estas se ejercen.
- *Densidad*: (también denominada formalmente *población relativa*, para diferenciarla de la *absoluta*) se refiere a la distribución del número de habitantes a través del territorio de una unidad funcional o administrativa (continente, país, estado, provincia, departamento, distrito, condado, etc.).
- *Muestra*: (también llamada muestra aleatoria o simplemente muestra) es un subconjunto de casos o individuos de una población estadística.
- *Muestreo*: es la técnica para la selección de una muestra a partir de una población.
- *Encuesta*: es un conjunto de preguntas normalizadas dirigidas a una muestra representativa de la población o instituciones, con el fin de conocer estados de opinión o hechos específicos.
- *Comunidad*: es un grupo o conjunto de individuos, seres humanos, o de animales que comparten elementos en común, tales como un idioma, costumbres, valores, tareas, visión del mundo, edad, ubicación geográfica (un barrio por ejemplo), estatus social, roles.

ANEXOS

Capítulo 1

Anexo 1.1. Triángulo de Textura para el cálculo de parámetros faltantes de tipo de suelo.



Anexo 1.2. Uso de suelo por subcuenca.

Subcuenca	Área de la subcuenca	Uso de suelo (siglas)	Área de uso de suelo
1	436.9923	BPRI	214.0370
1	436.9923	BPRI	214.0370
1	436.9923	PAST	8.9182
1	436.9923	BSIN	80.2639
1	436.9923	BSIN	80.2639
1	436.9923	CDN	133.7732
2	1336.1879	BPRI	453.7997
2	1336.1879	BPRI	453.7997
2	1336.1879	PAST	25.2111
2	1336.1879	PAST	25.2111
2	1336.1879	PAST	25.2111
2	1336.1879	BSIN	613.4699
2	1336.1879	BSIN	613.4699
2	1336.1879	CDN	109.2481
2	1336.1879	CDN	109.2481
2	1336.1879	SUGC	25.2111
2	1336.1879	SUGC	25.2111
2	1336.1879	CFF	25.2111
2	1336.1879	BRIB	75.6333
2	1336.1879	BRIB	75.6333
2	1336.1879	BRIB	75.6333
2	1336.1879	RST	8.4037
3	638.6810	URHD	8.4037
3	638.6810	CDN	352.9553
3	638.6810	CDN	352.9553
3	638.6810	CDN	352.9553
3	638.6810	BRIB	67.2296
3	638.6810	RST	142.8629
3	638.6810	RST	142.8629
3	638.6810	URML	67.2296
3	638.6810	URML	67.2296
4	352.9553	URHD	33.6148
4	352.9553	CDN	84.0370
4	352.9553	BRIB	25.2111
4	352.9553	RST	193.2850
4	352.9553	URML	16.8074
5	1865.6208	URHD	8.4417
5	1865.6208	BPRI	481.1782
5	1865.6208	PAST	270.1351
5	1865.6208	PAST	270.1351
5	1865.6208	PAST	270.1351
5	1865.6208	BSIN	422.0862
5	1865.6208	BSIN	422.0862

HERRAMIENTAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE CUENCAS UTILIZANDO
 COMO BASE DE RESPUESTA LA UNIDAD ECOSISTÉMICA DEL RÍO DAVID

Subcuenca	Área de la subcuenca	Uso de suelo (siglas)	Área de uso de suelo
5	1865.6208	CDN	413.6444
5	1865.6208	CDN	413.6444
5	1865.6208	CDN	413.6444
5	1865.6208	SUGC	8.4417
5	1865.6208	BRIB	143.5093
5	1865.6208	BRIB	143.5093
5	1865.6208	BRIB	143.5093
5	1865.6208	URLD	118.1841
5	1865.6208	URLD	118.1841
6	1470.6470	BPRI	33.8080
6	1470.6470	BPRI	33.8080
6	1470.6470	PAST	625.4476
6	1470.6470	PAST	625.4476
6	1470.6470	PAST	625.4476
6	1470.6470	PAST	625.4476
6	1470.6470	CORN	33.8080
6	1470.6470	BSIN	109.8759
6	1470.6470	BSIN	109.8759
6	1470.6470	CDN	388.7917
6	1470.6470	CDN	388.7917
6	1470.6470	CDN	388.7917
6	1470.6470	SUGC	101.4239
6	1470.6470	SUGC	101.4239
6	1470.6470	CFF	33.8080
6	1470.6470	BRIB	42.2600
6	1470.6470	BRIB	42.2600
6	1470.6470	URLD	33.8080
6	1470.6470	URLD	33.8080
6	1470.6470	URMD	67.6160
6	1470.6470	URMD	67.6160
7	92.4407	PAST	67.2296
7	92.4407	CDN	25.2111
8	789.9475	URHD	84.0370
8	789.9475	PAST	109.2481
8	789.9475	CDN	268.9183
8	789.9475	CDN	268.9183
8	789.9475	BRIB	243.7072
8	789.9475	BRIB	243.7072
8	789.9475	RST	84.0370
9	92.4407	PAST	84.0370
9	92.4407	RST	8.4037
10	117.6518	PAST	33.6148
10	117.6518	BRIB	8.4037
10	117.6518	RST	75.6333
11	487.4144	URHD	42.0185

HERRAMIENTAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE CUENCAS UTILIZANDO
 COMO BASE DE RESPUESTA LA UNIDAD ECOSISTÉMICA DEL RÍO DAVID

Subcuenca	Área de la subcuenca	Uso de suelo (siglas)	Área de uso de suelo
11	487.4144	PAST	16.8074
11	487.4144	CDN	42.0185
11	487.4144	BRIB	42.0185
11	487.4144	RST	344.5516
12	327.7442	PAST	8.4037
12	327.7442	SUGC	58.8259
12	327.7442	BRIB	100.8444
12	327.7442	RST	159.6703
13	588.2588	BPRI	261.4484
13	588.2588	PAST	37.3498
13	588.2588	BSIN	37.3498
13	588.2588	RST	252.1109
14	361.3590	BPRI	94.2676
14	361.3590	RST	267.0914
15	126.0555	BRIB	84.0370
15	126.0555	BRIB	84.0370
15	126.0555	URLD	8.4037
15	126.0555	RST	33.6148
15	126.0555	RST	33.6148
16	453.7996	PAST	109.2481
16	453.7996	PAST	109.2481
16	453.7996	BSIN	126.0554
16	453.7996	BSIN	126.0554
16	453.7996	SUGC	42.0185
16	453.7996	BRIB	84.0370
16	453.7996	BRIB	84.0370
16	453.7996	URLD	8.4037
16	453.7996	RST	84.0370
17	336.1479	CDN	142.8629
17	336.1479	CDN	142.8629
17	336.1479	RST	193.2850
17	336.1479	RST	193.2850
18	621.8736	CDN	529.4329
18	621.8736	CDN	529.4329
18	621.8736	URLD	33.6148
18	621.8736	URLD	33.6148
18	621.8736	RST	50.4222
18	621.8736	RST	50.4222
18	621.8736	URMD	8.4037
19	294.1294	RST	294.1294
20	184.8813	CDN	8.4037
20	184.8813	RST	151.2665
20	184.8813	URML	25.2111
21	1697.5468	BPRI	33.6148
21	1697.5468	BSIN	294.1294

HERRAMIENTAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE CUENCAS UTILIZANDO
COMO BASE DE RESPUESTA LA UNIDAD ECOSISTÉMICA DEL RÍO DAVID

Subcuenca	Área de la subcuenca	Uso de suelo (siglas)	Área de uso de suelo
21	1697.5468	CDN	201.6887
21	1697.5468	BRIB	142.8628
21	1697.5468	BRIB	142.8628
21	1697.5468	RST	966.4252
21	1697.5468	RST	966.4252
21	1697.5468	URMD	25.2111
21	1697.5468	URMD	25.2111
21	1697.5468	URML	33.6148
22	756.3328	URHD	176.4777
22	756.3328	PAST	151.2666
22	756.3328	BSIN	92.4407
22	756.3328	CDN	75.6333
22	756.3328	BRIB	184.8814
22	756.3328	RST	75.6333
23	1621.9136	URHD	147.4467
23	1621.9136	PAST	17.3467
23	1621.9136	BSIN	199.4867
23	1621.9136	BSIN	199.4867
23	1621.9136	BRIB	26.0200
23	1621.9136	BRIB	26.0200
23	1621.9136	RST	1110.1868
23	1621.9136	RST	1110.1868
23	1621.9136	URMD	121.4267
24	268.9183	RST	226.8998
24	268.9183	URMD	33.6148
24	268.9183	URML	8.4037
25	50.4222	RST	42.0185
25	50.4222	URMD	8.4037
26	84.0370	RST	84.0370
27	882.3882	RST	882.3882
27	882.3882	RST	882.3882
28	1092.4806	RST	949.6178
28	1092.4806	RST	949.6178
28	1092.4806	URMD	58.8259
28	1092.4806	URML	84.0370
29	1310.9768	URHD	16.8074
29	1310.9768	PAST	403.3775
29	1310.9768	BSIN	16.8074
29	1310.9768	CDN	16.8074
29	1310.9768	BRIB	8.4037
29	1310.9768	URLD	8.4037
29	1310.9768	RST	798.3513
29	1310.9768	URML	42.0185
30	949.6178	PAST	394.9738
30	949.6178	BSIN	67.2296

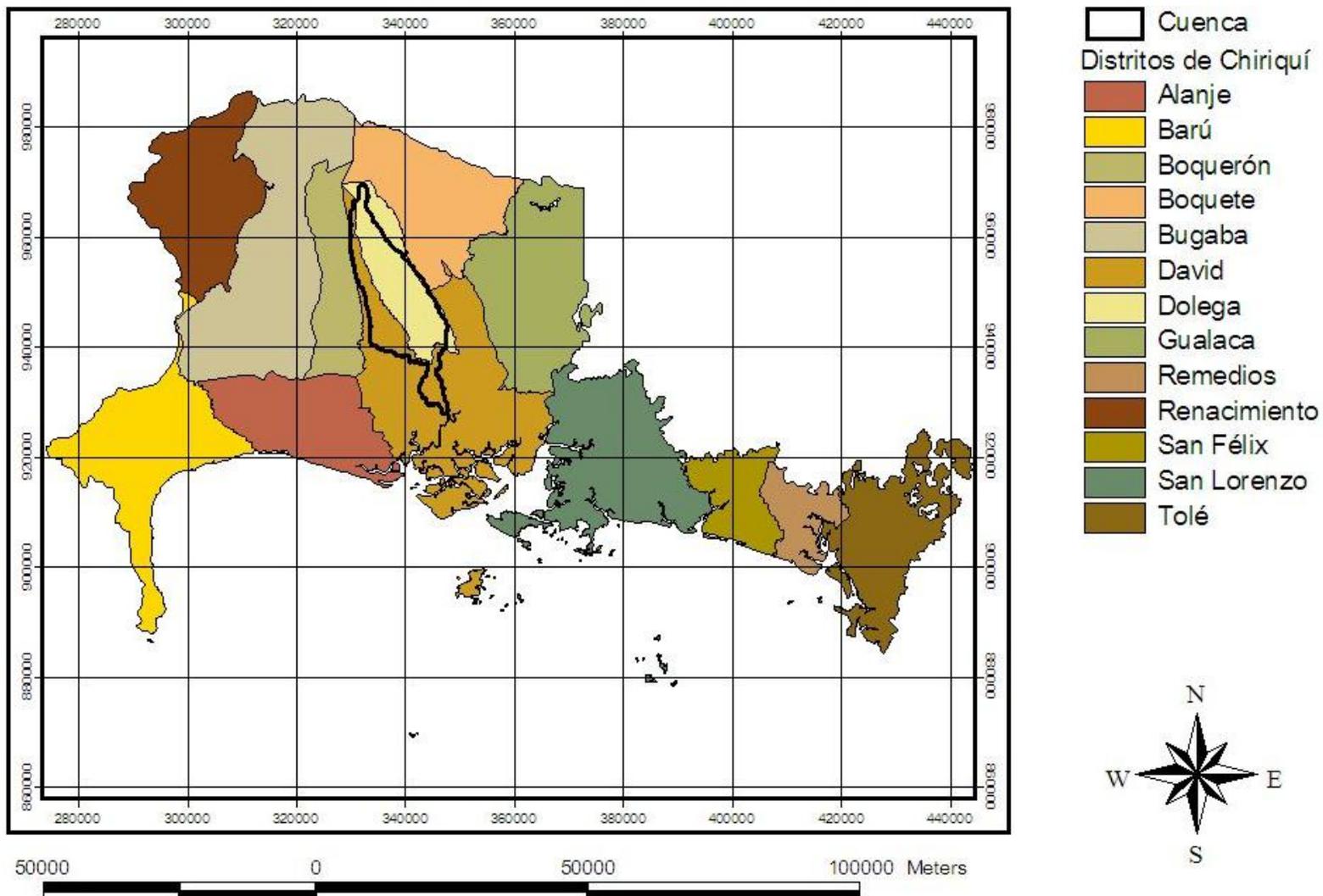
HERRAMIENTAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE CUENCAS UTILIZANDO
 COMO BASE DE RESPUESTA LA UNIDAD ECOSISTÉMICA DEL RÍO DAVID

Subcuenca	Área de la subcuenca	Uso de suelo (siglas)	Área de uso de suelo
30	949.6178	BSIN	67.2296
30	949.6178	CDN	159.6702
30	949.6178	BRIB	16.8074
30	949.6178	URLD	25.2111
30	949.6178	RST	285.7257
31	327.7442	PAST	17.2497
31	327.7442	BRIB	155.2473
31	327.7442	RST	155.2473
32	605.0662	BRIB	34.0882
32	605.0662	RST	426.1030
32	605.0662	URMD	144.8750
33	168.0740	PAST	16.8074
33	168.0740	BRIB	8.4037
33	168.0740	RST	142.8629
34	647.0847	RST	647.0847
35	916.0030	PAST	92.4407
35	916.0030	BRIB	8.4037
35	916.0030	RST	739.5254
35	916.0030	URML	75.6333
36	327.7442	URHD	33.6148
36	327.7442	PAST	75.6333
36	327.7442	BRIB	67.2296
36	327.7442	RST	151.2666
37	479.0107	PAST	67.2296
37	479.0107	BRIB	84.0370
37	479.0107	RST	327.7442
38	1210.1324	PAST	176.4776
38	1210.1324	BRIB	33.6148
38	1210.1324	RST	974.8289
38	1210.1324	URML	25.2111
39	67.2296	PAST	42.0185
39	67.2296	BRIB	8.4037
39	67.2296	RST	16.8074
40	1840.4096	URHD	17.1201
40	1840.4096	PAST	299.6016
40	1840.4096	PAST	299.6016
40	1840.4096	CDN	393.7621
40	1840.4096	CDN	393.7621
40	1840.4096	CDN	393.7621
40	1840.4096	BRIB	85.6004
40	1840.4096	RST	984.4051
40	1840.4096	URMD	8.5600
40	1840.4096	URML	51.3603
41	890.7919	PAST	33.6148
41	890.7919	BSIN	109.2481

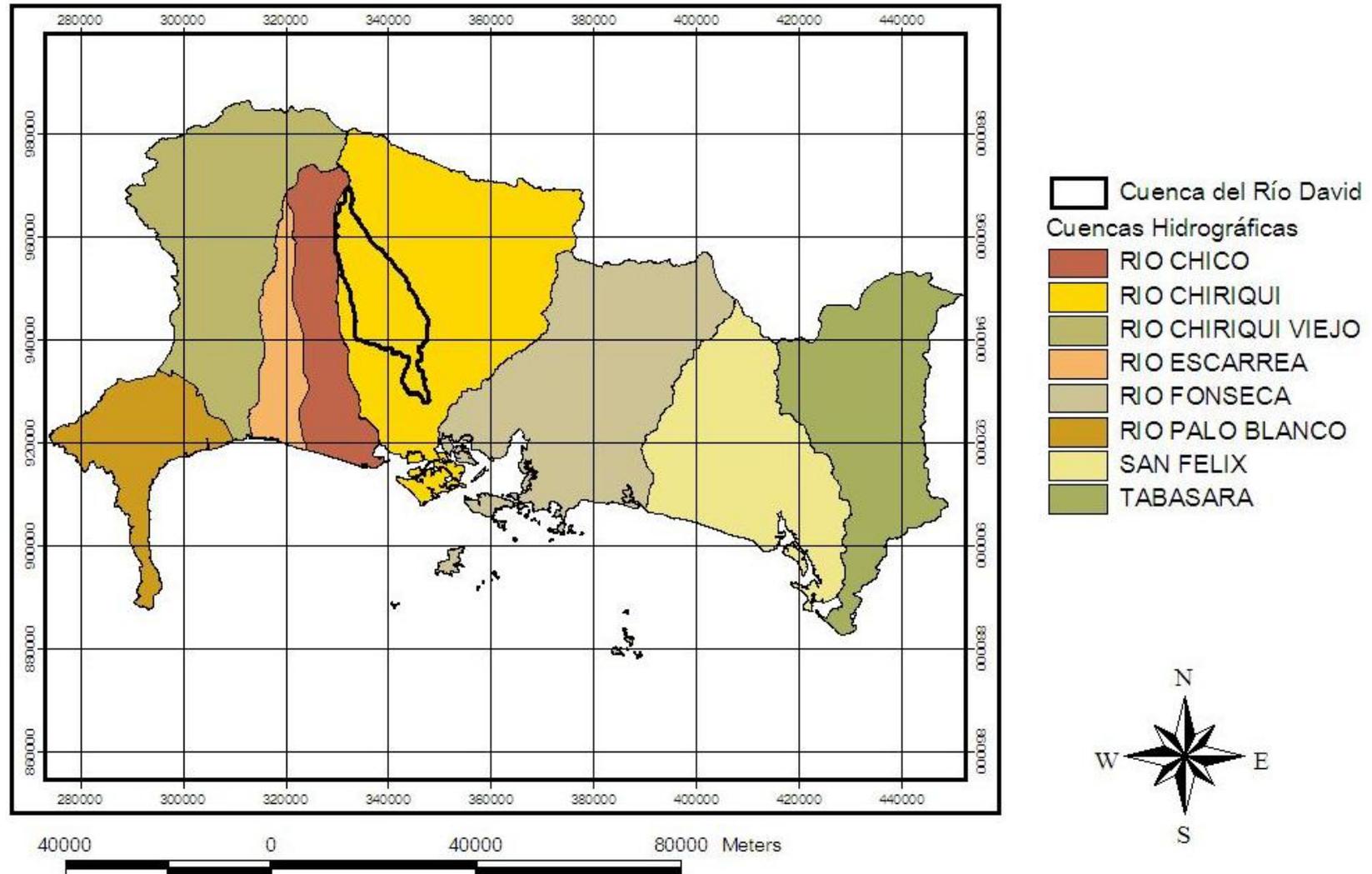
HERRAMIENTAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE CUENCAS UTILIZANDO
 COMO BASE DE RESPUESTA LA UNIDAD ECOSISTÉMICA DEL RÍO DAVID

Subcuenca	Área de la subcuenca	Uso de suelo (siglas)	Área de uso de suelo
41	890.7919	BRIB	109.2481
41	890.7919	URLD	8.4037
41	890.7919	RST	605.0662
41	890.7919	URML	25.2111
42	907.5993	URHD	152.6803
42	907.5993	PAST	169.6447
42	907.5993	PAST	169.6447
42	907.5993	CDN	16.9645
42	907.5993	BRIB	313.8427
42	907.5993	BRIB	313.8427
42	907.5993	RST	212.0559
42	907.5993	RST	212.0559
42	907.5993	URMD	42.4112
43	277.3220	URHD	58.8259
43	277.3220	PAST	67.2296
43	277.3220	PAST	67.2296
43	277.3220	BRIB	16.8074
43	277.3220	RST	134.4592
43	277.3220	RST	134.4592
44	8.4037	BRIB	8.4037
45	512.6255	PAST	116.0662
45	512.6255	PAST	116.0662
45	512.6255	BRIB	87.0496
45	512.6255	BRIB	87.0496
45	512.6255	URLD	29.0165
45	512.6255	RST	280.4932
45	512.6255	RST	280.4932
46	2714.3942	URHD	1083.9660
46	2714.3942	URHD	1083.9660
46	2714.3942	PAST	340.4191
46	2714.3942	PAST	340.4191
46	2714.3942	BRIB	313.5439
46	2714.3942	BRIB	313.5439
46	2714.3942	URLD	53.7504
46	2714.3942	RICE	331.4607
46	2714.3942	RST	591.2542
46	2714.3942	RST	591.2542

Anexo 1.3. Mapa de Ubicación por Distrito de Chiriquí y Ubicación de la Cuenca del Río David.



Anexo 1.4. Mapa de Ubicación por Cuenca Hidrográfica de Chiriquí y Ubicación de la Cuenca del Río David.



Capítulo 3

Anexo 3.1. Análisis de las propiedades ambientales de los plaguicidas organoclorados, que permiten predecir su transporte y destino en el ambiente.

3.1.1. Generalidades y clasificación de los plaguicidas

Los agroquímicos son sustancias químicas que comprenden a los fertilizantes y a los plaguicidas. Los fertilizantes son sustancias o mezclas de ellas que se utilizan como insumo de nutrición vegetal pues contienen los nutrientes esenciales para el crecimiento y/o desarrollo de las plantas. Por su parte, la Agencia Estadounidense para la Protección del Medioambiente (EPA) define a los plaguicidas como aquellas sustancias o mezclas de ellas utilizadas para prevenir, destruir, repeler o mitigar alguna peste, parásito o plaga, y cualquier sustancia o mezcla de sustancias intencionadas para emplearlas como reguladores de plantas, defoliantes o desecantes (EPA, 2003).

Según la EPA (2003), los plaguicidas pueden ser clasificados en diferentes grupos:

- Insecticidas
- Herbicidas
- Fungicidas
- Moluscicidas
- Avicidas
- Hormonas de crecimiento
- Rodenticidas
- Organometálicos
- Acaricida
- Bactericidas

Esta clasificación puede obedecer a su aplicación e incluso a la estructura química molecular de las sustancias que lo componen. De acuerdo a la especie objetivo del plaguicida, los *insecticidas* se aplican a insectos, los *herbicidas* a plantas o vegetales para matarlas o inhibir su crecimiento, en especial a aquellas no deseadas y que comúnmente se les conoce como hierbajos, hierbamala o malezas, los *fungicidas* son aplicados a hongos, principalmente aquellos que causan daños a las plantas, los *moluscicidas* a moluscos como caracoles y babosas, los *acaricidas* a ácaros, los *avicidas* a aves o pájaros, los *rodenticidas* se aplican para matar a roedores especialmente a las ratas y ratones, como también los hay específicamente para inhibir el crecimiento de las plantas actuando sobre su metabolismo, por ejemplo: los plaguicidas enlistados como *Hormonas de crecimiento*, y los *organometálicos* que son aquellos cuya estructura molecular del componente principal es un compuesto organometálico. Igualmente, para hacer la clasificación más simple, cada uno de los grupos se subdivide en diferentes subgrupos, obedeciendo principalmente a su estructura molecular. Como ejemplos: carbamatos, compuestos organofosforados, compuestos organoclorados, hidrocarburos halogenados, dinitrofenol, ureas, triazinas y triazoles, entre otros (Extension Toxicology Network, 2007)

Los plaguicidas también pueden clasificarse de acuerdo a su pureza como:

Grado técnico: es una sustancia que posee una pureza del proceso de síntesis entre 40% a 90%, lo que quiere decir que puede contener impurezas procedentes del proceso de síntesis como isómeros, subproductos no intencionados o by-Products.

Grado analítico: es una sustancia purificada, con pureza entre 99.0 % y más.

Grado comercial o formulaciones: que es un formulado con ingrediente activo de 1% y menos por ciento hasta 80% (Espinosa, 2003).

3.1.1.1. Formulaciones de Plaguicidas

Generalmente se habla de *formulación de plaguicidas*. La formulación es el proceso que se relaciona con la preparación de materias biológicamente activas en forma conveniente para su uso en cierta aplicación. Aunque, también se refiere a la mezcla de sustancias con actividad biológica y algunos aditivos, que mejoran la eficacia del preparado y facilitan el manejo y la aplicación final del mismo. Desde este último punto de vista, la formulación de un plaguicida no es más que su composición. Es así que un plaguicida está constituido por uno o más *ingredientes activos* y uno o más *ingredientes inertes*. El ingrediente activo (i.a.), es decir la sustancia con actividad biológica en un plaguicida formulado prevendrá, destruirá, repelerá o mitigará cualquier peste o plaga. Y el ingrediente inerte o aditivo es aquel que no posee ninguna acción plaguicida, y aún así está incluido intencionalmente en el producto con la finalidad de mejorar su eficacia y facilitar su manejo y aplicación. Es importante señalar que todas las sustancias químicas son tóxicas en algún grado de exposición y por ende, estos ingredientes de plaguicidas llamados “inertes”, deben ser manejados de forma segura (Hassall, 1990). Dicho en forma resumida, la formulación es el proceso que sufren los ingredientes activos, con la finalidad de poner a disposición del usuario un producto que resulte fácil y uniformemente aplicable.

El agua es el aditivo de plaguicidas de mayor disponibilidad, menor costo y más inocuo; sin embargo, su baja afinidad por las superficies de las plantas principalmente, constatado por la tensión superficial de 78 dynes/cm, hace necesario el uso de otros aditivos en las formulaciones de plaguicidas. Según Espinosa (2003), las formulaciones pueden tener los siguientes componentes básicos:

Ingrediente activo (i.a.): Es el compuesto que realiza directamente la función de plaguicida.

Solvente orgánico: Es un compuesto con características hidrofóbicas capaz de disolver ingredientes activos con esa misma característica y, por lo tanto, que no son solubles en soluciones acuosas.

Emulsificantes y dispesantes: Su función es hacer miscibles y distribuir al ingrediente activo en el campo.

Ampliadores humectantes: Sirven para incrementar el contacto entre la gota y la superficie sobre la cual se aplica en el campo.

Surfactante/tensoactivo o detergente: Recubridor que reduce la tensión superficial. Pueden ser aniónicos (alcoholes sulfatados e hidrocarburos sulfonados), catiónicos (amonios cuaternarios: bromuro de cetil trimetil amonio; heterociclos cuaternarios: piridílicos), no iónicos (derivados del óxido de polietileno: nonil fenolato de polioxietileno).

Estabilizador: Sirven para hacer estable la emulsión o preparación.

Adherente: Mejora la adhesión del plaguicida a la superficie (caseína, aceites, gelatina, goma, resinas, polímeros sintéticos).

Humectante: Incrementa el tiempo de evaporación de la gota aplicada (propilenglicol).

Sinergista: Inhibe las encimas oxidasas microsomales (butóxido de piperonilo).

Activador: Se usa para alterar el estado físico de la mezcla aplicada, permitiendo un mejor ingreso del i.a. al organismo (bisulfato).

3.1.1.2. Presentaciones de los Pesticidas

Según Espinosa (2003), Un pesticida puede presentarse en las siguientes formulaciones:

- Líquidos concentrados

Los plaguicidas líquidos se pueden dividir a su vez en:

Soluciones acuosas: Son las más comunes. El solvente es el agua. Esta formulación se diluye directamente en agua, resultando fácilmente dispersable en cualquier equipo pulverizador.

Concentrado emulsionable: Son insolubles en agua, pero solubles en solventes orgánicos, generalmente disolviéndolos en estos y agregando un agente emulsificante, para poder dispersarlos con agua en forma de emulsiones. Su aplicación en campo no presenta dificultades, ya que el producto se mezcla fácilmente con el agua, formando una emulsión de aspecto lechoso.

- Polvos y gránulos

Los polvos y gránulos pueden ser clasificados como:

Floables: Está constituido por dos fases, una de ellas es el herbicida en forma de líquido sólido, suspendido en un vehículo líquido, que generalmente es el agua. Se presentan como concentrados en suspensión, su apariencia física es de un líquido viscoso bastante estable, se aplica con agua, mediante equipos provistos de sistema de agitación, aunque no es tan importante como cuando se aplican polvos humectables o mojables.

Polvos Humectables o Mojables: Son poco solubles en agua y en aceite, es decir que son polvos dispersables en agua (están divididos en partículas muy pequeñas), un diluyente finamente dividido y un humectante. Contienen un polvo de arcilla que adsorbe al pesticida y un agente mojable para facilitar la mezcla con el agua. Para su aplicación en campo, se diluye en agua, formando una suspensión cuya estabilidad se mantiene mediante la agitación permanente en los equipos, lo que implica el uso de pulverizadores provistos de un adecuado sistema de agitación.

Polvos Solubles: son polvos que se disuelven totalmente en agua con bastante facilidad y una vez disueltos no requieren de agitación, ya que la solución es estable.

Granulados dispersables: se fijan en la superficie de una sustancia inerte, bajo la forma de un polvo grueso, con partículas cerca de 1000 micras y como material inerte se usa vermiculita, arcilla, etc. La concentración del herbicida oscila entre 5, 10 y hasta 20%. La aplicación puede hacerse a mano, cuando la superficie es pequeña o en manchones y mediante equipo de espolvoreo (para aplicación de granulados).

Gases bajo presión: Son los que contienen el pesticida disuelto bajo presión en substitutos de Clorofluorocarbonos (CFC), como dimetiléter, hidrocarburos, o nitrógeno. El bromuro de metilo es un ejemplo de plaguicida en estado gaseoso.

3.1.2. Tipos de formulaciones de plaguicidas más usadas en Panamá

En Panamá, las formulaciones líquidas de uso más común son el *Concentrado Emulsionable*, y los *Concentrados Solubles*, siendo estos últimos, las soluciones acuosas más comunes en las que el solvente es el agua (MIDA, 2002). Esta formulación se diluye directamente en agua, resultando fácilmente dispersable en cualquier equipo pulverizador.

En tanto que los ingredientes inertes principales en un pesticida formulado como concentrado emulsionable son: un agente emulsificante y un solvente de petróleo, como el kerosene. El agente emulsificante es una sustancia parecida a un detergente que hace posible que el ingrediente activo se disuelva en el solvente y pueda entonces mezclarse con el agua y poder así dispersarlo. Su aplicación en campo no presenta dificultades ya que el producto se mezcla fácilmente con el agua, formando una emulsión de aspecto lechoso (Espinosa, 2003).

Entre las formulaciones sólidas de uso frecuente en Panamá tenemos: *gránulo o tableta dispersante en agua* (WG), *gránulo soluble en agua* (SG), *polvo mojable* (WP), *cebo granulado* (GB), *concentrado suspendible o fotalbe* (SC), *polvo para espolvoreo* (DP), *polvo soluble en agua* (SP), *concentrado de aceite flotable* (OF), *granulado* (GR), *tableta* (TB), *gel emulsionable* (GL) (MIDA, 2002).

Entre las formulaciones gaseosas, una de las más utilizadas en Panamá es el bromuro de metilo (MIDA, 2002).

Otras formulaciones que podemos encontrar en el mercado son: *gránulo encapsulado* (CG), *suspensión en cápsula* (CS), *polvo para tratamiento seco de semillas* (DS), *emulsión, agua en aceite* (EO), *emulsión, aceite en agua* (EW), *granulado fino* (FG), *concentrado flotable para tratamiento de semillas* (FS), *macro granulado* (GG), *solución para tratamiento de semillas* (LS), *concentrado para nebulización: fría* (KN) - *caliente* (HN), *suspensión miscible en aceite* (OF), *líquido miscible en aceite* (OL), *polvo dispersable en aceite* (OP), *pasta* (PA), *semilla impregnada con un plaguicida* (PS), *cebo - listo para su uso-* (RB), *concentrado en suspensión o concentrado floable* (SC), *polvo soluble para tratamiento de semillas* (SS), *suspensión ULV* (SU), *material técnico* (TC), *concentrado técnico* (TK), *líquido ULV* (UL) (MIDA, 2002).

3.1.3. Propiedades fisicoquímicas de los pesticidas

De acuerdo con Hassall (1990), las *propiedades físico-químicas* más importantes de los pesticidas son:

- Peso molecular
- Punto de fusión
- Punto de ebullición
- Presión de vapor
- Coeficiente de distribución entre las fases de octanol y agua
- Solubilidad en agua, solventes orgánicos de diferentes polaridad como hexano, benceno, acetona, metanol / etanol (MeOH/EtOH)
- Estabilidad en medio neutro (pH = 7)
- Estabilidad en medio ácido
- Corrosividad

A continuación se presentan las definiciones de las propiedades fisicoquímicas de los plaguicidas en el ambiente:

- Peso molecular

También llamado Masa Molar de una sustancia es la masa en gramos de 1 mol de la sustancia y se obtiene al sumar las masas atómicas de cada uno de los átomos de la fórmula empírica de una sustancia (Skoog *et al.*, 2005).

Mientras mayor es el valor del peso molecular del plaguicida, éste será más difícil de biodegradar, debido a que un peso molecular alto sugiere una estructura molecular grande u átomos más pesados, lo que se traduce en dificultad de la molécula para evaporarse, pues al ser una molécula pesada no puede ser volátil ni arrastrada por el vapor de agua. Igualmente una molécula grande presenta más dificultades para que las condiciones medioambientales como por ejemplo la radiación solar intensa con longitudes de onda adecuadas pueda lograr romper a esa molécula, es decir pueda degradarla, convertirla en una molécula más simple (Skoog *et al.*, 2005).

- Solubilidad en Agua

La solubilidad es una medida de la cantidad máxima de plaguicida que se disolverá en una cantidad de agua, a una temperatura específica. Comúnmente se expresa como la cantidad máxima de plaguicida (en miligramos mg o microgramos µg) disuelta en un (1) litro (L) de agua a 25 °C. Las unidades de concentración respectivas son mg/L (partes por millón ppm) y µg/L (partes por billón ppb) (Skoog *et al.*, 2005).

Si un pesticida es muy soluble en agua, fácilmente es llevado con el agua de lluvia, como derrame o a través del suelo como un contaminante de aguas subterráneas potencial (la lixiviación). Además, el pesticida soluble en agua es más probable de que se quede en el agua superficial donde puede tener efectos adversos sobre los peces y otros organismos, de la columna de agua. Si el pesticida es muy insoluble en el agua, por lo general tiende a adherirse al suelo y también sedimenta sobre el fondo de los cuerpos de agua superficial, haciéndolo menos disponible a los organismos (Hassall, 1990).

Un plaguicida que sea muy soluble en agua (solubilidad mayor de 3 ppm o 3mg/L) por ejemplo puede ser arrastrado por las lluvias y causar la contaminación de las aguas superficiales. Igualmente, presenta un alto potencial de lixiviación, lo que puede ocasionar la contaminación de las aguas subterráneas (Hassall, 1990).

- Coeficiente de Adsorción K_{ad}

Es una medida de la fuerza de una sustancia química para adherirse al suelo en contraste con la cantidad que permanece disuelta en agua o la solución del suelo (en el que se establece un equilibrio) (Skoog *et al.*, 2005).

La ecuación 3.1 expresa matemáticamente la relación plaguicida adsorbido al suelo entre plaguicida disuelto en agua (K_{ad}):

$$K_{ad} = \text{Cantidad de plaguicida adsorbido al suelo} / \text{Cantidad de plaguicida disuelto en agua} \quad (3.1)$$

El valor de K_{ad} depende del tipo y del pH del suelo. Así, los plaguicidas con valores altos de K_{ad} no son muy solubles en agua y tienen la preferencia de adsorberse al suelo (Hassall, 1990).

- Presión de Vapor

La presión de vapor es una medida de la capacidad que tiene un plaguicida para evaporarse o volatilizarse (Skoog *et al.*, 2005). Con este parámetro se puede predecir cuán volátil es un plaguicida, y determinar qué plaguicida tiene la capacidad de evaporarse fácilmente y movilizarse del sitio donde fue aplicado.

Los plaguicidas con una alta tensión de vapor (mayor de 10^{-6} mm Hg, tomando en cuenta que $1 \text{ Pa} = 7.5 \times 10^{-3} \text{ mm Hg}$ o Torr) pueden ser volatilizados y movidos del sitio. Además, a mayor temperatura más alta es la presión. Los plaguicidas más volátiles tienen el mayor potencial para entrar en la atmósfera y, de ser persistentes, se mueven largas distancias (Hassall, 1990).

- Coeficiente de Partición Octanol / Agua (K_{ow})

Es una medida de la capacidad de distribución de una sustancia plaguicida entre dos solventes inmiscibles entre sí como el agua (polar) y el octanol (relativamente apolar) (Skoog *et al.*, 2005).

El coeficiente de partición K_{ow} provee información acerca de la polaridad del plaguicida y se usa con frecuencia para estimar cómo se distribuye un plaguicida en el agua/suelo. El K_{ow} guarda relación con la K_{ad} debido a que mientras menos soluble sea un compuesto en el agua (es decir, con relación K_{ow} elevadas, mayores a 1) mayor será su tendencia a adherirse a los sedimentos presentes en el agua (Verschueren, 1983).

- Volatilidad de Solutos Acuosa (Constante de Henry)

La constante de Henry es una medida del equilibrio de una sustancia entre el estado de vapor y el agua (Ley de Henry). La ecuación 3.2 muestra la relación entre la concentración del plaguicida en fase de vapor (C_{vapor}) y en fase acuosa (C_{agua}), con la constante de Henry para dicha sustancia (K_{Henry}):

$$C_{vapor} = K_{Henry} \times C_{agua} \quad (3.2)$$

Donde C representa las concentraciones del plaguicida.

La constante de Henry es alta para sustancias con una tendencia a migrar del agua al aire y baja para compuestos con un comportamiento contrario. Por ejemplo, el DDT, con una baja presión de vapor o volatilidad, y una baja solubilidad en agua, tiene una alta K_{Henry} igual a 9.5×10^{-4} atm L/ mol, mientras que el 2,4D tiene un valor bajo para esta constante (5.6×10^{-9} atm L/ mol) (Espinosa, 2003), por lo cual es de predecir que el 2,4D, tienda a volatilizarse de la fase acuosa a la fase gaseosa mucho más lentamente que el DDT.

3.1.4. Destino ambiental de los plaguicidas

El empleo extendido de plaguicidas por agricultores, instituciones y el público en general, proporcionan muchas fuentes posibles de plaguicidas en el ambiente (Palm, 2007).

Después de la liberación en el ambiente, los plaguicidas pueden tener muchos destinos diferentes. Los plaguicidas que son rociados pueden moverse por el aire y tarde o temprano pueden terminar en otras partes del ambiente, como en el suelo o el agua (Larry, 1998).

Los plaguicidas que son aplicados directamente al suelo pueden ser lavados del suelo a los cuerpos cercanos de agua superficial o pueden percolarse (filtrarse) a través del suelo hacia las capas más baja del suelo y de las aguas subterráneas (Gao *et al.*, 1998).

Para entender el potencial del movimiento del plaguicida hacia las aguas subterráneas o en la escorrentía, deben evaluarse las propiedades de los plaguicidas, los factores de aplicación, el suelo y las condiciones del sitio. Las lluvias, las prácticas de irrigación y la evapotranspiración también influyen significativamente en el potencial del plaguicida para moverse en el agua.

El uso de plaguicidas directamente en los cuerpos de agua para el control de maleza, o indirectamente como consecuencia de la lixiviación de la pintura de barco, derrames desde el suelo u otras rutas, puede conducir no sólo al aumento de plaguicidas en el agua, si no también puede contribuirse a los niveles en el aire por la evaporación (Larry, 1998).

Esta lista incompleta de posibilidades sugiere que el movimiento de plaguicidas en el ambiente es muy complejo con transferencias que ocurren continuamente entre los diferentes compartimentos ambientales. En algunos casos, estos cambios ocurren no sólo entre las áreas que están muy cercas unas de otras (como una charca local que recibe un poco de los herbicida

que se aplican sobre la tierra adyacente) pero también pueden implicar el transporte de plaguicidas sobre largas distancias (Palm, 2007).

El destino final del plaguicida está determinado por cómo y dónde entra al medioambiente, cuánto tiempo permanece en él y a dónde se va (Larry, 1998). La distribución inicial está determinada por el método de aplicación, la cantidad, el momento, la frecuencia y la locación. Las condiciones del tiempo durante la aplicación pueden también afectar la distribución inicial. La forma de la tierra (topografía), la densidad y el tipo de vegetación, las condiciones del suelo y la proximidad de los cuerpos de agua también son importantes. Todos estos factores juntos ayudan a determinar cuánto un plaguicida es distribuido en el aire, suelo, agua, plantas y animales. Es importante señalar que el destino del plaguicida aplicado en áreas cerradas tales como jardines, edificios públicos y privados, diferirá de las aplicaciones en exteriores (Larry, 1998).

Conforme vaya transcurriendo el tiempo después de la aplicación del plaguicida este puede persistir por determinado tiempo, degradarse o removerse del ambiente.

La degradación de un plaguicida implica su Transformación en otras sustancias bajo la acción de las condiciones ambientales, microbiológicamente o por interacción con otras sustancias. Un plaguicida puede degradarse y dar origen a otras sustancias orgánicas, y a este proceso se le llama mineralización. Los productos de la mineralización son el dióxido de carbono, agua y minerales que contienen elementos como azufre, fósforo, nitrógeno y halógenos como cloro, flúor y bromo (Exttoxnet, 2007).

Generalmente, los productos de la degradación del plaguicida no son de gran importancia, ya que ellos no son biológicamente activos, es decir no son tóxicos, y usualmente los productos iniciales de la degradación son mucho menos tóxicos que el plaguicida, aunque algunas veces, ellos son de igual o mayor toxicidad (NLM, 2005).

La remoción de un plaguicida involucra el movimiento hacia las aguas subterráneas, las aguas superficiales y la atmósfera. También incluye el plaguicida que se retiene en la cosecha o en el ganado, cuando éstos son cambiados de sitios. La degradación y la remoción ocurren simultáneamente y en la mayoría de los casos, los dos procesos juntos determinan la disipación en el punto de medida (Dickson, 1983).

La resistencia a la degradación de un plaguicida determina cuánto tiempo éste permanece o persiste en el medioambiente. Una de las formas más comunes como se degradan los plaguicidas es reaccionando en el medioambiente para formar nuevos químicos y de hecho todos los plaguicidas reaccionan en el medioambiente para formar nuevos químicos (Hassall, 1990).

Existen muchas formas como los plaguicidas pueden reaccionar, pero la mayoría reaccionan con oxígeno (oxidación) o agua (hidrólisis). Además, todos los plaguicidas están sujetos a la degradación en presencia de la luz solar (fotólisis) en el suelo y en el sedimento, los microorganismos (bacterias, hongos, etc.) son los responsables de degradar a los plaguicidas. Algunos plaguicidas pueden entrar a las raíces de las plantas o follaje y degradarse a través del metabolismo de la planta. Y aquellos aplicados directamente a los animales están también sujetos a su asimilación y metabolismo (Exttoxnet, 2007).

Mientras que las posibilidades anteriormente citadas existan, no significa que todos los plaguicidas viajan distancias largas o que todos los compuestos son amenazas para las aguas subterráneas. Para entender cuál de cada una es la más importante, es necesario entender como los plaguicidas se mueven en el ambiente y que características deben ser consideradas en la

evaluación del potencial de contaminación. Por ejemplo, para viajar largas distancias los plaguicidas se mueven por transferencia de masa, usualmente en el movimiento del agua o aire. La tendencia de un plaguicida para moverse en el agua o en el aire está determinada por cuánto éste es retenido por las superficies en las cuales es depositado. Los plaguicidas pueden sujetarse o unirse al suelo, a la vegetación u otras superficies, según un mecanismo llamado adsorción. La fuerza de la adsorción frecuentemente determina la disponibilidad del plaguicida a la transferencia de masa y por lo tanto su disponibilidad para moverse en el medio en el que se encuentra.

Al proceso mediante el cual el plaguicida es transferido desde el agua, desde el suelo o desde una planta al aire se conoce como volatilización. La volatilización ocurre cuando el residuo superficial del plaguicida cambia del estado sólido o líquido al estado gaseoso. Los vapores de los plaguicidas se difunden a muy cortas distancias, sin embargo pueden ser llevados lejos por las corrientes de aire. Bajo condiciones ideales, cada plaguicida tiene una tendencia para convertirse en gas, lo cual se conoce como su presión de vapor. La temperatura también afecta la presión de vapor, las temperaturas más altas resultan en las tendencias más grandes para volatilizar, resultando en una presión de vapor más alta. Los plaguicidas también pueden moverse en el aire como partículas, adsorbidas en el polvo, como gotitas o aerosoles durante la aplicación. Otras propiedades de los plaguicidas que son importantes para el movimiento son la solubilidad en el agua, la tendencia de adsorción al suelo y la tendencia de asimilación por las plantas. En la tendencia para moverse desde el agua al aire, para plaguicidas con presiones de vapor similares, aquel con la solubilidad en agua más alta tendrá la volatilidad más baja.

En cuanto al movimiento de los plaguicidas hacia las aguas superficiales y subterráneas podemos añadir lo siguiente, la solubilidad en agua y la adsorción al suelo son importantes en la determinación de la tendencia del plaguicida para moverse a través del perfil del suelo con el agua de infiltración y sobre el suelo por escorrentía. La mayoría de los plaguicidas que tienen baja solubilidad en agua también tienden a adsorberse fuertemente al suelo, pero hay excepciones. El plaguicida fuertemente adsorbido al suelo, es el de menos tendencia a moverse con el agua de infiltración.

Dos cosas pueden pasarle a los plaguicidas una vez que ellos son liberados en el ambiente. En primer lugar, ellos pueden ser descompuestos, o degradados, por la acción de la luz del sol, el agua u otras sustancias químicas, o microorganismos, tales como las bacterias. Este proceso de degradación por lo general conduce a la formación de productos de descomposición menos dañinos, pero en algunos casos se pueden producir productos más tóxicos. La segunda posibilidad consiste en que el plaguicida será muy resistente a la degradación por cualquier medio y así permanecerá inalterado en el ambiente durante largos períodos de tiempo. Los que más rápidamente son descompuestos son los que tienen el tiempo más corto para moverse o tener efectos adversos sobre la gente u otros organismos. Los que tienen más larga duración, a los que se llaman plaguicidas persistentes, pueden moverse a través de largas distancias y pueden aumentar en el ambiente lo que conduce a un mayor potencial para que ocurran efectos adversos (Exttoxnet, 2007).

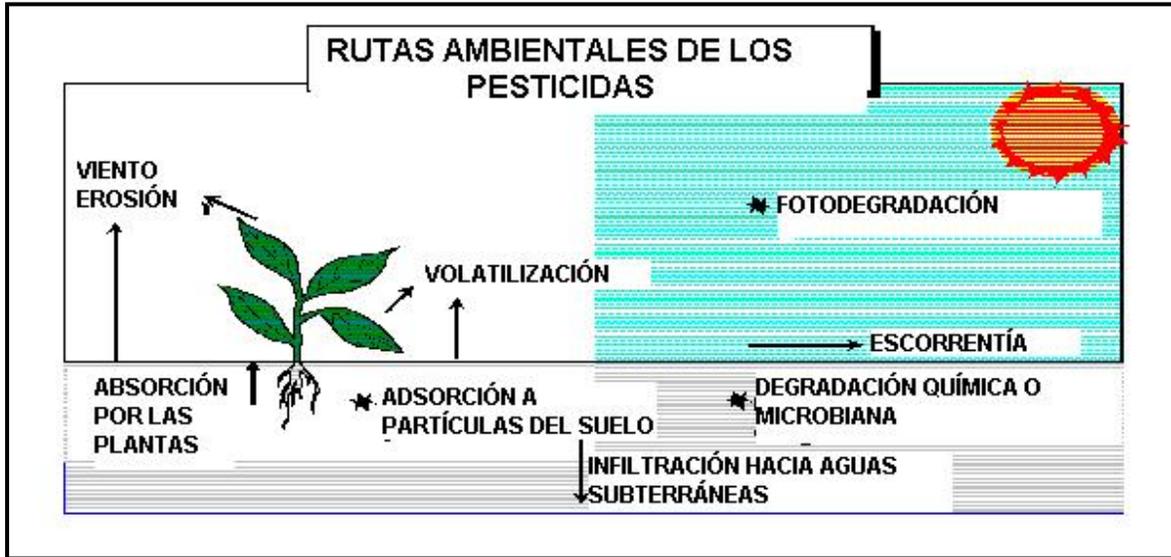


Figura 1 de Anexo 3. Rutas Ambientales de los plaguicidas.

Fuente: Extoxnet (2007).

En la Figura 1 del Anexo 3 se presenta un esquema sobre los diferentes destinos que pueden tomar los plaguicidas aplicados.

3.1.4.1. Influencia de las Características Ambientales en el Movimiento y Persistencia de los Plaguicidas.

Las condiciones medioambientales también determinan cuán rápido se degrada el plaguicida (Palm, 2007). En la atmósfera, la mayoría de los plaguicidas se degradan rápidamente por reacción con el oxígeno o radicales libres, catalizados por la luz del sol (fotólisis indirecta). Algunos se degradan por la absorción directa de la luz solar (fotólisis).

Aquellos que persisten, pueden viajar largas distancias en la atmósfera. En el agua, la degradación es usualmente por hidrólisis, frecuentemente mediados por el pH. En sistemas acuáticos, la degradación de los plaguicidas por los microorganismos de los sedimentos puede ser importante (Hassall, 1990). La vía predominante en el suelo es la degradación microbiana, aunque para algunos plaguicidas la degradación química también es importante. Los plaguicidas son susceptibles a la fotólisis en el suelo y en la superficie foliar. Incluso, se degradan en las plantas y animales (incluyendo microorganismos) mediante el metabolismo, en el que se llevan a cabo reacciones metabólicas catalizadas por enzimas. Las condiciones del medioambiente pueden influir en la velocidad de la reacción y por lo tanto en la rapidez de la degradación del plaguicida. Para el aire, esas condiciones incluyen temperatura, humedad, intensidad de la luz del sol y radicales libres. Para el suelo, las condiciones incluyen temperatura, tipo de suelo, materia orgánica, humedad, pH, aireación y actividad microbiana. Para las plantas y animales las condiciones incluyen velocidad de asimilación, metabolismo y eliminación. El metabolismo puede depender de la temperatura (Hassall, 1990).

Conociendo las características de los plaguicidas, así como las características del ambiente con el que interactúan, es posible predecir en un sentido general como un plaguicida se comportará. Lamentablemente, la predicción más exacta no es posible porque el ambiente mismo es muy complejo. Hay, por ejemplo, los enormes números de tipos de suelo que varían

en cantidad de la arena, la materia orgánica, el contenido metálico, la acidez, etc. Todas estas características del suelo influyen en el comportamiento de un plaguicida de modo que un plaguicida que, contamine las aguas subterráneas en un suelo pueda que no sea así con respecto a otro suelo (Exttoxnet, 2007).

Asimismo, las aguas superficiales varían en sus propiedades, como la acidez, la profundidad, la temperatura, la claridad (partículas de suelo suspendidas u organismos biológicos), el caudal, y la química general. Estas propiedades y otros pueden afectar el movimiento y el destino del plaguicida (Palm, 2007).

Con esta complejidad, los científicos no pueden determinar exactamente qué le pasará a un plaguicida en particular una vez que este ha entrado en el ambiente. Sin embargo, ellos pueden dividir a los plaguicidas en categorías generales con respecto a, por ejemplo, la persistencia y el potencial para la contaminación de aguas subterráneas y ellos también pueden proporcionar alguna idea en cuanto a dónde el plaguicida liberado será encontrado en sus niveles más altos, con más probabilidad (Dickson, 1983). Así, es posible juntar la información que puede ayudar a hacer decisiones informadas sobre qué plaguicidas usar en tal situación y qué riesgos posibles están siendo afrontados debido a un empleo particular (Palm, 2007).

3.1.4.2. Movimiento de los Plaguicidas en el Suelo

La Tabla 1 del Anexo 3 cataloga algunos de los plaguicidas comúnmente usados, junto con una estimación de su persistencia en el suelo. En esta tabla, la persistencia es medida como el tiempo que le toma a la mitad de la cantidad inicial de un plaguicida para degradarse. Así, si la vida media de un plaguicida es 30 días, la mitad será dejada después de 30 días, un cuarto después de 60 días, un octavo después de 90 días, etc. Podría parecer que una media vida corta significaría que un plaguicida no tenga posibilidad para moverse lejos en el ambiente. Esto es generalmente cierto; sin embargo, si es muy soluble en el agua y las condiciones son propicias, éste puede moverse rápidamente a través de ciertos suelos. Como esto lo aleja de la superficie, éste se aleja de los agentes que lo degradan como la luz del sol y las bacterias. Como se hace más profundo en el suelo, éste se degrada más despacio y así tiene una posibilidad para entrar en las aguas subterráneas. Nuestras medidas de la persistencia en el suelo sólo describen el comportamiento del plaguicida en o cerca de la superficie (Exttoxnet, 2007).

Tabla 1 del Anexo 3. Plaguicidas persistentes en el suelo

Plaguicidas con baja persistencia (vida media: 30 días)	Plaguicidas con persistencia moderada (vida media: 30-100 días)	Plaguicidas con alta persistencia (vida media >100 días)
Aldicarb	Aldrin	TCA
Captan	Atrazina	Picloram
Dalapon	Carbaril	Bromacil
Dicamba	Carbofuran	Trifluralin
Malatión	Diazinon	Clordano
Metil Paratión	Endrin	Paraquat
Oxamil	Fonofos	Lindano
2,4-D	Glifosato	
2,4,5-T	Heptacloro	
	Linuron	

Plaguicidas con baja persistencia (vida media: 30 días)	Plaguicidas con persistencia moderada (vida media: 30-100 días)	Plaguicidas con alta persistencia (vida media >100 días)
	Paration	
	Forato	
	Simazina	
	Terbacil	

Fuente: Extoxnet (2007).

El movimiento de los plaguicidas no persistentes hacia abajo de las capas del suelo puede ser posible, y varios plaguicidas con vidas medias cortas, como aldicarb, han sido encontrados extensamente en aguas subterráneas (Extoxnet, 2007). Por el contrario, plaguicidas muy persistentes pueden tener otras propiedades que limitan su potencial para moverse en todas partes del ambiente. Muchos de los hidrocarburos clorinados son muy persistentes y lentos a la degradación, pero también muy insolubles en agua y tienden a no bajar por el suelo hasta las aguas subterráneas. Ellos; sin embargo, pueden tener problemas en otras vías ya que ellos permanecen sobre la superficie durante mucho tiempo donde pueden estar sujetos a escorrentías y a la posible evaporación. Incluso si ellos no son muy volátiles, el tiempo de persistencia extremadamente largo puede causar, eventualmente, concentraciones mensurables que se mueven por la atmósfera y se acumulan en áreas remotas (Extoxnet, 2007).

Las propiedades del suelo son muy importantes en la dinámica del movimiento de los plaguicidas (Gao *et al.*, 1998). Así, cada suelo tiene una habilidad característica para adsorber plaguicidas. Los suelos con alto contenido de arcilla y materia orgánica sorben plaguicidas mejor que los suelos arenosos bajos en materia orgánica. La estructura del suelo también es importante pues determina la velocidad de infiltración. Las aguas de rápida infiltración pueden mover a los plaguicidas sobre la superficie de más espesor en el suelo así que ellos tienen menos tiempo para la adsorción. Los suelos que más débilmente adsorben a los plaguicidas y tienen una velocidad de infiltración rápida son más sensibles para la contaminación del agua subterránea que los suelos que adsorben más fuertemente a los plaguicidas y tiene una velocidad de infiltración lenta. La adsorción en el suelo y la velocidad de infiltración también determinan la pérdida de plaguicidas por escorrentía. Los suelos con velocidad de infiltración lenta pueden ser más propensos a la escorrentía, pues más agua permanecerá sobre la superficie. Los plaguicidas sorbidos al suelo no serán perdidos por escorrentía. Sin embargo, si de la escorrentía resulta la erosión del suelo, los plaguicidas sorbidos a la superficie del suelo también se removerán con la escorrentía (Tebbutt, 2002).

3.1.4.3. Persistencia de los Plaguicidas

La persistencia de un plaguicida en el medioambiente está determinada por un número de factores que incluyen, cuánto es introducido, cómo éste se distribuye y su reactividad en el medioambiente y las condiciones del medio (Extoxnet, 2007).

La persistencia del plaguicida es frecuentemente expresada en términos de vida-media. Éste es el tiempo requerido para que la mitad de la cantidad original se degrade.

Los plaguicidas pueden dividirse en tres categorías basados en su vida media:

No persistentes (vida media menor de 30 días)

Moderadamente persistentes (vida media de 30 a 100 días); y

Persistentes (vida media de más de cien 100 días).

Debido a que los valores de vida-media pueden variar considerablemente dependiendo de las condiciones medioambientales, frecuentemente se reportan como rangos para cada media (Exttoxnet, 2007).

Cuando un plaguicida es muy persistente, las probabilidades son altas de que afecte o se inserte en la cadena alimenticia de muchas especies. Por ejemplo, si es absorbido por una planta, el plaguicida no puede moverse sobre el agua superficial o sobre el suelo o ser transferido a la atmósfera, sin embargo, si puede ser removido y por lo tanto cambiado de sitio si la planta que lo absorbió es cosechada y trasladada a otro lugar. E incluso, existe otro riesgo, el que sea ingerido por otro ser vivo y pase así a formar parte de una cadena trófica, bioacumulándose, almacenándose, bioconcentrándose o biomagnificándose en estos organismos (Exttoxnet, 2007).

3.1.4.4. Bioacumulación

La Bioacumulación es el aumento, con el tiempo, de la concentración de una sustancia química en un organismo biológico, comparado a la concentración de esa sustancia química en el ambiente. Es un proceso importante por el cual las sustancias químicas pueden afectar a los organismos vivos, pues se trata de la entrada de una sustancia química a un organismo, al respirar, al tragar o al ser absorbida por la piel, con su subsecuente almacenaje, metabolismo y excreción por aquel organismo (Hassall, 1990).

La bioacumulación es un proceso normal y esencial para el crecimiento y nutrición de los organismos, es el resultado neto de la interacción de respuesta, almacenaje y eliminación de una sustancia química. Todos los animales, incluyendo a los humanos, diariamente bioacumulan muchas sustancias nutritivas vitales, como la vitamina A, la D y la K, trazas de minerales, aminoácidos y grasas esenciales. Las preocupaciones de los toxicólogos radican en que la bioacumulación de sustancias a estos niveles en el cuerpo puede causar daño.

La bioacumulación comienza cuando una sustancia química pasa del ambiente a las células de un organismo. La respuesta de ese organismo a este hecho es un proceso complejo que todavía no es entendido totalmente. Los científicos han aprendido que las sustancias químicas tienden a moverse, o difundirse pasivamente de un lugar de alta concentración a uno de concentración baja. A la fuerza o presión para la difusión le llaman potencial químico, y trabaja para mover una sustancia química de afuera al interior de un organismo (Exttoxnet, 2007).

Otro factor que afecta la bioacumulación es, si un organismo puede degradar y/o excretar a la sustancia química. La degradación biológica de sustancias químicas es llamada metabolismo. Esta capacidad varía entre organismos individuales y especie, y también depende de las propias características de la sustancia química. Los compuestos que se acumulan en los seres vivos son tomados del ambiente, pero son absorbidos y almacenados por el organismo más rápido de lo que son metabolizados o excretados por ese organismo (Exttoxnet, 2007).

Un número de factores pueden aumentar el potencial químico de ciertas sustancias. Por ejemplo, las sustancias que no se mezclan bien con el agua (lipofílicas o hidrofóbicas), tienden a mudarse del agua y a entrar en las células de un organismo, donde hay microambientes lipofílicos (NLM, 2005).

Las sustancias químicas que se disuelven fácilmente en la grasa, pero no en el agua tienden a ser lentamente eliminadas por el cuerpo y así tener un potencial mayor para acumularse. Muchas reacciones metabólicas cambian a las sustancias químicas en formas más solubles en

agua llamados metabolitos, que fácilmente son excretados. Pero hay excepciones; por ejemplo, las piretrinas naturales, los insecticidas que se derivan de la planta crisantemo, son plaguicidas altamente solubles en grasas, pero son fácilmente degradados y no se acumulan; pero el insecticida clorpirifos, que es menos soluble en grasas, pero pobremente degradado, tiende a bioacumularse. Los factores que afectan el metabolismo a menudo determinan si una sustancia química alcanza su potencial de bioacumulación en un organismo dado (Exttoxnet, 2007).

Una sustancia química ambiental en un organismo al principio se moverá más rápido que su almacenamiento, degradado y excretado. Con la exposición constante, su concentración dentro del organismo aumenta gradualmente. Tarde o temprano, la concentración de la sustancia química en el interior del organismo alcanzará un equilibrio con la concentración de la sustancia química en el exterior del organismo y la cantidad de la sustancia química que entra en el organismo será la misma que la cantidad que sale de éste.

Aunque la cantidad dentro del organismo permanezca constante, la sustancia química sigue siendo captada, almacenada, degradada y excretada. Si la concentración ambiental de las sustancias químicas aumenta, la cantidad dentro del organismo aumentará hasta que alcanza un nuevo equilibrio. La exposición a cantidades grandes de una sustancia química durante un período de tiempo largo, puede abrumar el equilibrio potencialmente causando efectos dañinos (Hassall, 1990). De la misma manera, si la concentración en el ambiente disminuye, la cantidad dentro del organismo también disminuirá, de manera que si el organismo se mueve a un ambiente limpio, de modo que la exposición cese, entonces la sustancia química tarde o temprano será eliminada del cuerpo.

Otro de los factores que puede influir en la bioacumulación es la duración de exposición. La mayor parte de las exposiciones a sustancias químicas en el ambiente varían continuamente en la concentración y en la duración, incluyendo a veces períodos de ninguna exposición. En estos casos, el equilibrio nunca se alcanza y la acumulación es menos que la esperada.

La bioacumulación varía entre organismos individuales así como entre la especie. Los individuos o especies grandes, gordos, de larga vida, con bajas tasas de metabolismo o excreción de una sustancia química bioacumulan más que organismos pequeños, delgados, de vida corta (Exttoxnet, 2007).

El ser humano está a la cabeza de la cadena de alimentos y de esta forma pueden estar expuestos a estos altos niveles cuando ellos consumen los alimentos que tienen plaguicidas bioacumulados y otras sustancias químicas orgánicas. Esto no sólo se aplica a los peces, sino también al ganado y otros animales de cría que pueden acumular plaguicidas (Exttoxnet, 2007). Por consiguiente, las medidas deben ser de prevención de la contaminación por plaguicidas, más que de control en las fincas agropecuarias (Palm, 2007).

3.1.4.5. Bioconcentración

La bioconcentración es el proceso de bioacumulación específico por el cual la concentración de una sustancia química en un organismo llega a ser más alta que su concentración en el aire o el agua alrededor del organismo. Aunque el proceso sea el mismo tanto para sustancias químicas naturales como para artificiales, el término bioconcentración por lo general se refiere a sustancias químicas extrañas al organismo. Para el pescado y otros animales acuáticos, la bioconcentración después de ser tomados a través de las agallas (o a veces a través de la piel) es por lo general el proceso de bioacumulación más importante (Exttoxnet, 2007).

3.1.4.6. Biomagnificación

La biomagnificación describe un proceso que causa la acumulación de una sustancia química en un organismo en niveles más altos de los que son encontrados en su alimento (Exttoxnet, 2007). Esto ocurre cuando una sustancia química se hace cada vez más concentrada ya que esta sustancia química se mueve por una cadena alimenticia. Una cadena típica de alimentos incluye algas ingeridas por la pulga de agua, la cual a su vez es comida por un pez de agua dulce, el cual luego es comido por una trucha y finalmente esta es consumido por un ave pescadora (o el ser humano). Si cada paso resulta en un aumento de la bioacumulación, es decir, la biomagnificación, entonces un animal en lo alto de la cadena de alimentos, por su dieta regular, puede acumular una concentración mucho mayor de la sustancia química que un organismo que esté presente en el nivel más bajo de la cadena alimenticia (Dickson, 1983).

A través de la biomagnificación la concentración de una sustancia química en un animal que se encuentre en el nivel más alto de la cadena trófica de alimentos puede ser lo bastante alta como para causar la muerte o efectos adversos sobre el comportamiento, la reproducción o enfermedades resistentes y así poner en peligro a esa especie, incluso cuando los niveles en el agua, el aire o el suelo son bajos. Afortunadamente, la bioacumulación no siempre da como resultado la biomagnificación (NLM, 2005).

3.1.4.7. El Almacenaje

El almacenaje, un término a veces confundido con bioacumulación, significa el depósito temporal de una sustancia química en un tejido del cuerpo o en un órgano. El almacenaje es solamente una faceta de la bioacumulación de una sustancia química. (El término también se aplica a otros procesos naturales, como el almacenaje de grasa en animales que hibernan o el almacenaje de almidón en semillas) (NLM, 2005).

Un factor importante en la respuesta y el almacenaje de una sustancia es su solubilidad en agua. Por lo general, los compuestos que son altamente solubles en agua tienen un potencial bajo para bioacumularse. Muchas sustancias químicas lipofílicas pasan a las células del organismo a través de la capa grasa de la membrana celular más fácilmente que las sustancias químicas solubles en agua. Una vez dentro del organismo, estas sustancias químicas lipofílicas pueden moverse a través de numerosas membranas hasta que sean almacenadas en tejidos grasos y comiencen a acumularse (Exttoxnet, 2007).

El almacenaje de sustancias químicas tóxicas en las reservas grasas sirve como mecanismo para desintoxicar al organismo de ellas, o al menos para removerlas de las vías dañadas. Sin embargo, cuando reservas grasas son llamadas para proporcionar energía a un organismo, los materiales almacenados en la grasa pueden ser movilizados de nuevo dentro del organismo y otra vez pueden ser potencialmente tóxicos. Si las cantidades apreciables de una toxina son almacenadas en las grasas y las reservas grasas son rápidamente usadas, pueden observarse efectos significativamente tóxicos a partir de la nueva movilización de la sustancia química (Exttoxnet, 2007).

3.1.4.8. Toxicología de los Plaguicidas

La toxicología es una ciencia que está basada en el principio que hay una relación entre una reacción tóxica (la respuesta) y la cantidad de veneno recibido (la dosis). Una suposición importante en esta relación es que hay casi siempre una dosis debajo, la cual ninguna respuesta

ocurre o puede ser medida. Una segunda suposición es que una vez que una respuesta máxima es alcanzada cualquier aumento adicional en la dosis no causará ningún efecto aumentado (NLM, 2005). Un caso particular en el cual esta relación de respuesta-dosis no sostiene esta verdad, es con respecto a reacciones alérgicas verdaderas. Las reacciones alérgicas son clases especiales de cambios en el sistema inmunológico; ellas no son realmente respuestas tóxicas. La diferencia entre las alergias y las reacciones tóxicas es que un efecto tóxico es directamente el resultado de la acción de la sustancia química tóxica sobre las células. Las respuestas alérgicas son el resultado de una sustancia química que estimula el cuerpo a liberar las sustancias químicas naturales que son en efecto directamente responsables de los efectos observados. Así, en una reacción alérgica, la sustancia química actúa simplemente como un gatillo, no como la bala (Exttoxnet, 2007).

Para todos los otros tipos de toxicidad, sabiendo que la relación de dosis-respuesta es una parte necesaria para entender la causa y la relación de efecto entre la exposición a la sustancia química y la enfermedad. Esta es una aseveración real en la cual se entiende que la relación entre concentración, cualidades físicas y químicas del pesticida, tiempo de exposición, vías de contacto, y capacidad metabólica del organismo afectado, determinarán la magnitud de cualquier reacción tóxica hacia estas sustancias (Verschueren, 1983).

3.1.4.8.1. Medidas de Exposición

Los efectos de la exposición a los venenos varían con la cantidad de exposición, que es otro modo de decir " la dosis". La contaminación de los alimentos o el agua con sustancias químicas pueden proporcionar una dosis de sustancias químicas cada vez que se come o bebe. Algunas unidades de medida comúnmente utilizadas para expresar los niveles de contaminantes están enlistadas en la Tabla 5.2. Estas medidas presentan cuánto de la sustancia química está en el alimento, el agua, el suelo o el aire. La cantidad que se come, bebe, o respira determina la dosis real que se recibe.

Las concentraciones de sustancias químicas en el ambiente son expresadas comúnmente como ppm y ppb. Los límites de tolerancia regulados para varios venenos por lo general usan estas abreviaturas.

De las unidades mencionadas, en la Tabla 2 del Anexo 3, las expresiones miligramos (mg), microgramos (μg) y nanogramos (ng), son unidades derivadas del gramo (g) equivalentes a valores de 10^{-3}g , 10^{-6}g y 10^{-9}g , respectivamente.

Tabla 2 en Anexo 3. Medidas para expresar niveles de concentración de contaminantes en alimentos, suelo, aire y agua

Dosis	Abreviatura	Equivalente métrico	Abreviatura
Partes por millón	ppm	Miligramos por kilogramos	mg/kg
Partes por billón	ppb	Microgramos por kilogramo	$\mu\text{g}/\text{kg}$
Miligramos por litro	mg/L	Miligramos por kilogramos	mg/kg
Microgramos por litro	$\mu\text{g}/\text{L}$	Microgramos por kilogramo	$\mu\text{g}/\text{kg}$
Nanogramos por	ng/L	Nanogramos por	ng/kg

litro		kilogramo	
-------	--	-----------	--

Fuente: (Larry, 1998)

3.1.4.8.2. Relaciones Dosis-Efecto

Una de las medidas comúnmente usadas de toxicidad es el LD₅₀. EL LD₅₀ (la dosis mortal para el 50 por ciento de los animales probados) de un veneno por lo general es expresado en los miligramos de sustancia química por kilogramo de peso del cuerpo (mg/kg). Una sustancia química con pequeño LD₅₀ (como 5 mg/kg) es sumamente tóxica. Una sustancia química con LD₅₀ grande (1,000 a 5,000 mg/kg) es prácticamente no tóxica (NLM, 2005). Aunque el LD₅₀ no dice nada sobre efectos no mortales tóxicos. Una sustancia química puede tener un LD₅₀ grande, pero puede producir enfermedades en muy pequeños niveles de exposición. Es incorrecto decir que las sustancias químicas con pequeño LD₅₀ son más peligrosas que sustancias químicas con LD₅₀ grande, ellas son simplemente más tóxicas. El peligro o el riesgo de efectos adversos de sustancias químicas, es mayormente determinado por como ellos son usados, no por la toxicidad inherente de la misma sustancia química (NLM, 2005).

Los LD₅₀ de diferentes venenos pueden ser comparados fácilmente; sin embargo, es siempre necesario conocer cuáles especies fueron usadas para las pruebas y cómo fue administrado el veneno (la ruta de exposición), ya que el LD₅₀ de un veneno puede variar bastante basado en la especie de animal y el modo en que ocurre la exposición. Algunos venenos pueden ser extremadamente tóxicos de ser tragados (exposición oral) y no muy tóxicos de ser salpicado sobre la piel (exposición dermal). Si el LD₅₀ oral de un veneno fuera 10 mg/kg, se esperaría que el 50 por ciento de los animales que tragaron 10 mg/kg morirían y el 50 por ciento restante vivirían. El LD₅₀ es determinado matemáticamente, y en pruebas reales que usan el LD₅₀, sería insólito conseguir una respuesta exacta del 50 %. Una prueba podría producir la mortalidad del 30 % y otra podría producir la mortalidad del 70 %. Haciendo un promedio sobre muchas pruebas, los números se acercarían al 50 %, si la determinación LD₅₀ original fuera válida (Exttoxnet, 2007).

La potencia de un veneno es una medida de su fuerza comparada a otros venenos. Las potencias de los venenos a menudo son comparadas usando palabras de señal o categorías como se muestra en la tabla 5.3. La designación de la dosis tóxica (TD) es usada para indicar la dosis (la exposición) que producirá los signos de toxicidad en un cierto porcentaje de animales. El TD₅₀ es la dosis tóxica para el 50 por ciento de los animales probados. El valor más grande de TD del más venenoso se toma para producir los signos de toxicidad. La dosis tóxica no presenta ninguna información sobre la dosis mortal porque los efectos tóxicos (por ejemplo, náuseas y vómitos) no pueden ser directamente relacionados a la vía por la que la sustancia química causa la muerte. La toxicidad de una sustancia química es una propiedad inherente de la misma sustancia química.

Es también cierto que las sustancias químicas pueden causar diferentes tipos de efectos tóxicos, en niveles de dosis diferentes, dependiendo de la especie animal probada. Por esta razón, cuando se usa la designación de dosis tóxica es útil definir con precisión el tipo de toxicidad medida, la especie animal probada, la dosis y la ruta de administración (Exttoxnet, 2007).

Tabla 3 en Anexo 3. Escala de posición de toxicidad y requerimientos de etiquetado para plaguicidas.

Categoría	Palabra señal requerida en la etiqueta	LD₅₀ oral mg/kg (ppm)	LD₅₀ dermal mg/kg (ppm)	Dosis letal oral probable
I Altamente tóxico	Danger- Poison Peligro- Veneno	menos que 50	menos que 200	unas pocas gotas a una cucharita
II Moderadamente tóxico	Cuidado	51 a 500	200 a 2000	de 1 cucharita a 1 onza
III Ligeramente tóxico	Precaución	más de 500	más de 2000	más de 1 onza
IV Prácticamente no tóxico	No requerido			

Fuente: (Exttoxnet, 2007)

Existen diversas formas de identificar o alertar sobre el nivel de toxicidad de una sustancia, por ejemplo, como se muestra en la clasificación para etiquetado mostrada en la Tabla 3 del Anexo 3. Sin embargo, la evaluación de toxicidad es bastante compleja, muchos factores pueden afectar los resultados de pruebas de toxicidad. Algunos de estos factores incluyen variables como la temperatura, el alimento, la luz, y condiciones ambientales adversas y estrés. Otros factores relacionados con el animal mismo incluyen la edad, el sexo, la salud, y el estado hormonal (La Grega et al., 2001).

El NOEL (Ningún Nivel de Efecto Observable-del inglés No Observable Effect Level) es la dosis más alta o el nivel de exposición de un veneno que no produce ningún efecto sensible tóxico sobre animales. Se conoce que hay una dosis por debajo de la cual no se observa ningún efecto. En toxicología, los niveles de tolerancia del residuo de los venenos que se permiten alimentos o en el agua potable, por ejemplo, por lo general son puestos de 100 a 1,000 veces menos que el NOEL para proporcionar un amplio margen de seguridad para los humanos (NLM, 2005).

El TLV (el valor de límite de umbral-del inglés Threshold Limit Value) para una sustancia química es la concentración aerotransportada de la sustancia química (expresado en ppm) que no produce ningunos efectos adversos en trabajadores expuestos durante ocho horas por día, cinco días por semana (EPA, 2003). El TLV por lo general es puesto para prevenir efectos menores tóxicos como la irritación de ojos o la piel.

Una verdadera evaluación de la toxicidad de sustancias químicas implica las comparaciones de numerosas curvas de dosis-respuesta que cubren muchos tipos diferentes de efectos tóxicos. La determinación de tales plaguicidas será para Plaguicidas de Empleo Restringidos que implican este acercamiento. Algunos Plaguicidas de Empleo Restringidos tienen LD₅₀ muy

grandes (baja toxicidad aguda oral), sin embargo, ellos pueden ser fuertes irritantes de la piel u ojos, los cuales requieren de un manejo especial (Hassall, 1990).

3.1.4.8.3. Efectos Adversos de los Plaguicidas Sobre los Ecosistemas

Las sustancias químicas liberadas al ambiente pueden producir un sinnúmero de efectos ecológicos adversos. Los efectos ecológicos pueden ser cambios, a largo plazo o efímeros, del funcionamiento normal de un ecosistema, causando pérdidas económicas, sociales y estéticas. Estos efectos potenciales son una razón importante de la regulación de plaguicidas, sustancias tóxicas y otras fuentes de contaminación (Hassall, 1990).

El ambiente físico junto con los organismos (biota) habitando o viviendo en ese espacio, constituye un ecosistema. Algunos ejemplos típicos de ecosistemas incluyen: una laguna de granja, un prado de montaña y una selva tropical (Seoáñez, 1995). Un ecosistema sigue una cierta secuencia de procesos y acontecimientos durante los días, estaciones y años. Los procesos incluyen no sólo el nacimiento, el crecimiento, la reproducción y la muerte de biota en aquel ecosistema particular, sino también las interacciones entre la especie y las características físicas del ambiente geológico. De estos procesos el ecosistema gana una estructura y función reconocible, y la materia y la energía son ciclos y fluyen a través del sistema. Con el tiempo, domina la especie mejor adaptada; la especie completamente nueva puede cambiar, quizás en un ecosistema nuevo o cambiado.

Muchas fuerzas naturales, la sequía, el fuego, la inundación, la helada o la migración de especies pueden afectar el ecosistema pero, por lo general seguirá funcionando de un modo reconocible. Por ejemplo, un ecosistema de una charca puede experimentar la inundación o la sequía, pero sigue siendo una charca. Esta resistencia natural de los ecosistemas les permite resistirse al cambio y recuperarse rápidamente de la perturbación. Por otra parte, agentes contaminadores tóxicos y otros fenómenos artificiales pueden abrumar la estabilidad natural de un ecosistema y causar cambios irreversibles y pérdidas serias, como es ilustrado por los ejemplos siguientes:

- Disminución de bosques, debido a la contaminación atmosférica y la deposición ácida;
- Pérdida de producción de pescado en una corriente, debido a la muerte de invertebrados por contaminación con cobre;
- Pérdida de crecimiento de madera, debido a pérdidas nutritivas causadas por envenenamiento con mercurio de microbios e insectos del suelo;
- Disminución y cambios en la edad de poblaciones de águila y halcón (u otro depredador superior), debido a los efectos del DDT en su suministro de alimentos sobre la supervivencia del huevo;
- Pérdidas en los números de especies (diversidad) en canales de barcos sujetos a derramamientos de petróleo repetidos;
- Pérdida de salmón comercialmente valioso y especie en vías de extinción (águila imperial, águila pescadora) por los usos forestales de DDT (Exttoxnet, 2007).

Generalmente, los efectos ecológicos adversos ocurren durante un período largo de tiempo o aún a alguna distancia del punto de liberación de una sustancia química. Por ejemplo, DDT, aunque prohibido para el empleo en los Estados Unidos durante más de veinte años, todavía entra en el ecosistema de los Grandes Lagos por la precipitación y el polvo proveniente de diversas fuentes en el mundo entero (Tebbutt, 2002). Los efectos a largo plazo y en general

los impactos de sustancias químicas nuevas y existentes sobre ecosistemas sólo pueden ser evaluadas parcialmente según procedimientos de pruebas de laboratorios corrientes. Sin embargo, a través de estudios en el campo y de la supervisión o monitoreo cuidadoso del empleo de sustancias químicas y el resultado biológico, es posible evaluar los efectos a corto y a largo plazo de plaguicidas y otras sustancias químicas, aunque los efectos a corto plazo y temporales son mucho más fácilmente medidos que los efectos a largo plazo de agentes contaminadores sobre comunidades del ecosistema. El entendimiento del impacto de los efectos requiere el conocimiento del curso de tiempo y la variabilidad de estos cambios a corto plazo (Larry, 1988).

La interdependencia de las especies en un ecosistema es un factor crítico para su conservación, y si un contaminante, por ejemplo un plaguicida, puede eliminar una especie esencial para el funcionamiento de la comunidad entera, se puede favorecer el predominio de especies indeseables o simplemente puede disminuir el número y la variedad de especies presentes en la comunidad. Esto también puede interrumpir la dinámica de la cadena alimenticia en la comunidad rompiendo los acoplamientos dietéticos que existen entre las especies. La mayor parte de estos efectos adversos en las comunidades pueden ser medidos por cambios de la productividad en el ecosistema (Larry, 1998).

3.1.4.8.4. Efectos Adversos de los Plaguicidas Sobre las Especies

La mayor parte de la información sobre efectos ecológicos ha sido obtenida de estudios sobre la especie individual de la biota. Estas pruebas han sido realizadas en laboratorios en condiciones controladas y exposiciones químicas, por lo general con organismos criados en el laboratorio que representan a los habitantes de los sistemas naturales. La mayor parte de las pruebas son exposiciones a corto plazo, solas (ensayos de toxicidad agudos), pero también son utilizadas las exposiciones a largo plazo (crónicas). Aunque tales pruebas revelan cuales sustancias químicas son relativamente más tóxicas, y cuáles especies son relativamente más vulnerables a sus efectos, estas pruebas no revelan mucho sobre las interacciones importantes notables arriba o sobre el papel de la gama de condiciones naturales afrontadas por los organismos en el ambiente (NLM, 2005).

Generalmente, los efectos observados en estas pruebas de toxicidad incluyen índices reducidos de supervivencia o índices de mortalidad aumentados; crecimiento reducido y desarrollo alterado; capacidades reproductivas reducidas, incluyendo defectos de nacimiento; cambios en los sistemas del cuerpo, incluyendo comportamiento; y cambios genéticos. Cualquiera de estos efectos puede influir en la capacidad de la especie de adaptarse y responder a otras tensiones ambientales e interacciones con la comunidad (Exttoxnet, 2007).

Estudios de toxicología ambientales realizados sobre la especie en el laboratorio proporcionan la base para la mayor parte de la regulación corriente de agentes contaminadores y han permitido las principales mejoras en la calidad ambiental (Espinosa, 2003). Sin embargo, estas pruebas ceden sólo unas pistas para efectos sobre sistemas más complejos. Estudios a largo plazo y supervisión de los efectos ecológicos de sustancias químicas nuevas y existentes liberadas en el ambiente son necesarios para crear el entendimiento sobre los efectos ecológicos adversos potenciales y sus consecuencias (Palm, 2007).

3.1.5. Entrada y destino de las sustancias químicas en los humanos

Las sustancias químicas, incluyendo a los plaguicidas, están extensamente distribuidas en el ambiente. Por lo tanto hay muchas fuentes posibles de exposición a estas sustancias químicas para los humanos.

Una sustancia química suele entrar en el cuerpo por tres rutas de exposición, la inhalación, la ingestión y la penetración por la piel (exposición dermal), tal como se ejemplifica en la figura 5.2. Las sustancias químicas que se encuentran en el ambiente y en el aire interior pueden ser inhaladas hacia los pulmones, y aquellas que están en el agua o en los alimentos pueden ser ingeridos o inhalados a través de la niebla o el vapor (como en la ducha) (Exttoxnet, 2007). El contacto directo con la sustancia química es el camino más frecuente como las sustancias químicas contenidas en el ambiente pueden penetrar la piel, pero la exposición por la piel también puede ocurrir como consecuencia del contacto con contaminantes químicos en el aire y el agua (por ejemplo durante el baño o la natación).

Un compuesto, como el cloroformo, que se evapora fácilmente y que puede ser encontrado en el agua potable ilustra este punto. Cuando esta agua es usada para bebidas, la ingestión es la ruta de exposición. Cuando ésta es usada para regar, la exposición puede ocurrir debido a la inhalación del vapor o la niebla y del contacto directo por la piel. Asimismo el empleo de plaguicidas puede implicar más que una ruta de exposición si no son tomadas precauciones (Palm, 2007). Un plaguicida que es rociado puede inhalarse durante su empleo; penetra por la piel durante la mezcla y la aplicación; y se ingiere por el alimento si no se lavan las manos o el alimento antes de comer (Figura 2 en Anexo 3).

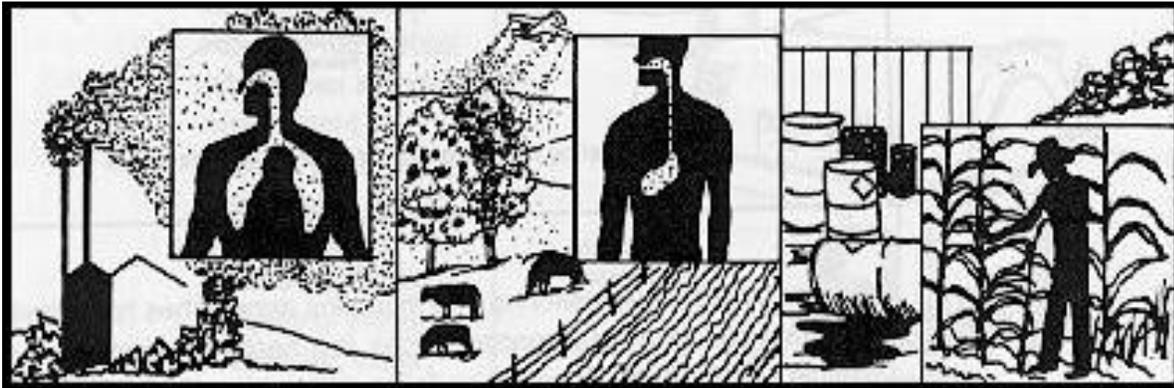


Figura 2 en Anexo 3. Vías de entrada por las que las sustancias peligrosas pueden ingresar al cuerpo humano.

Fuente: Exttoxnet (2007)

3.1.5.1. Absorción, Distribución y Destino

Una vez que una sustancia química entra en el cuerpo, a menudo es absorbido en el torrente sanguíneo y puede moverse en todas partes del cuerpo. La cantidad absorbida y la velocidad de absorción dependen de la sustancia química y de la ruta de exposición. A través de esta distribución, una sustancia química puede entrar en contacto con todas las partes del cuerpo, no sólo en el sitio original de entrada. En algunos casos, tal contacto, distante del sitio de entrada, puede conducir a efectos de salud adversos. Por ejemplo, la ingestión del plaguicida paraquat en el estómago puede conducir a dañar a los pulmones (NLM, 2005).

Una vez que una sustancia química es absorbida en la corriente sanguínea, esta puede tener varios destinos. En muchos casos, es rápidamente removida del cuerpo por medio de la orina o

el excremento. En otras situaciones, puede ser almacenado en varias partes del cuerpo, como la grasa o los huesos, y permanecer en el individuo por muchos años. Un compuesto también puede conducir a un efecto tóxico por la interacción con ciertos órganos o tejidos en el individuo o con otros compuestos en el cuerpo (Exttoxnet, 2007).

A menudo, una sustancia que es absorbida en el cuerpo actúa recíprocamente con sustancias químicas particulares del cuerpo y es metabolizada o cambiada a otras sustancias químicas. El metabolismo puede conducir a productos que son más fáciles de excretar para el cuerpo y también pueden proteger el cuerpo de posibles efectos adversos. En otros casos, sin embargo, el metabolito puede ser más tóxico que la sustancia química original que fue absorbida (NLM, 2005). La variedad de productos que resultan del metabolismo pueden tener los mismos destinos posibles que la sustancia química original - el almacenaje, la excreción o la toxicidad. Las características del individuo que es expuesto son también muy importantes en el destino de la sustancia química. La edad, el sexo, la genética, las exposiciones anteriores, la dieta y otros factores juegan papeles importantes en la forma en que el cuerpo actúa recíprocamente con una sustancia química e incrementa el potencial para efectos adversos. Así, las características tanto de la sustancia química como del individuo expuesto son factores importantes que determinan el destino de la sustancia química en el cuerpo (Exttoxnet, 2007).

3.1.5.2 Propiedades Químicas

Las propiedades particulares de la sustancia química absorbida son bastante críticas para su destino en el cuerpo. Ciertas sustancias químicas son muy resistentes al metabolismo y fácilmente se disuelven en la grasa de modo que ellas tiendan a ser almacenadas. El Dieldrin es un ejemplo de este tipo de compuesto (NLM, 2005). Otras sustancias químicas son rápidamente metabolizadas y excretadas y son liberadas antes de que ellas puedan causar efectos adversos. Los plaguicidas organofosforados tienden a comportarse de esta forma en dosis bajas (Palm, 2007).

3.1.5.3 Tiempo de Exposición

En el caso de una sola exposición eventual, la cantidad total de la sustancia química a la cual una persona es expuesta determina la severidad del efecto tóxico, si existe (Exttoxnet, 2007).

A mayor cantidad de exposición, mayor es el potencial para efectos adversos a la salud. En algunos casos, está prevista únicamente la toxicidad inherente de la sustancia química y, en otros, también la capacidad del cuerpo para responder. En el último caso, el cuerpo no puede ser capaz de metabolizar a la sustancia química lo bastante rápido para prevenir un aumento de la concentración a niveles tóxicos. En tal situación, hay un umbral claro por encima del cual los signos y síntomas tóxicos aparecen (NLM, 2005).

Anexo 3.2. Tabla guía de la norma EPA 1656 para el análisis de plaguicidas organoclorados mediante Cromatografía de Gases con detector específico de haluros*

PUESTO	N° DE REGISTRO (CAS)	TIEMPO DE RETENCIÓN (minutos)		LÍMITE DE DETECCIÓN DEL MÉTODO (ng/L)	CONCENTRACIONES SUGERIDAS PARA LOS PATRONES DE CALIBRACIÓN (ng/mL)		
		EN COLUMNA DB-608	EN COLUMNA DB-1701		RANGO BAJO	RANGO MEDIO	RANGO ALTO
ACLORO	23184-66-9	15,03	15,69	30	50	250	1000
OSULFÁN I	959-98-8	15,25	13,87	11	10	50	200
OSULFÁN II	33213-65-9	18,45	18,57	8	10	50	200
PANIL	709-98-8	11,60	14,10	10	200	1000	4000
DIMETALINA	40467-42-1	14,21	13,46	30	50	250	1000

Condiciones operacionales de referencia: una columna de capilar de sílice fundida, detector de captura de electrones, flujo del gas portador a 7 ml/minuto, rampa de temperatura iniciando en 150 C por 0,5 minutos, luego ascendiendo hasta 270 C a razón de 20 C/minuto, y manteniendo la temperatura a 270 C hasta el final de la corrida cromatográfica.

Anexo 3.3.



Cámara de Gases AGILENT 6890



Cromatógrafo de Extracción de gases



Cromatógrafo de Gases AGILENT 6890 con Detector de Microcaptura de Electrones (equipo completo).

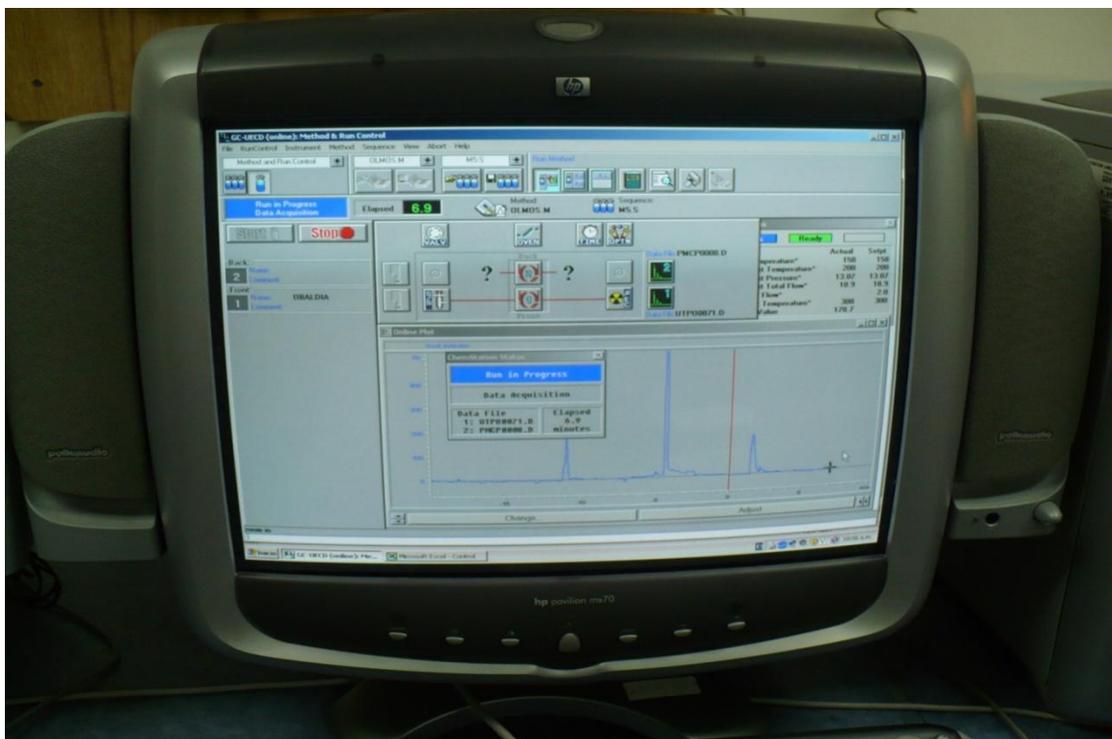
HERRAMIENTAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE CUENCAS UTILIZANDO COMO BASE DE RESPUESTA LA UNIDAD ECOSISTÉMICA DEL RÍO DAVID



Microjeringuilla microlitros



Limpiador de Jeringuillas de 10 Acoplado a Bomba de Succión



Programa VECTRA: software de control y aplicaciones del equipo de cromatógrafo de gases.

Capítulo 4

Anexo 4.1a. Estaciones de Estudio: PR, PD1 y PD2.



Anexo 4.1c. Estaciones de estudio: PD6 y PD7.



Anexo 4.1d. Estaciones de Estudio: PM, PQS y PQQ.



Anexo 4.2. Puntajes asignados a las diferentes familias de macroinvertebrados acuáticos para la obtención del BMWP/Colombia, Modificado de Roldán por Álvarez (2006).

El color en los puntajes han sido adicionados en este trabajo y corresponden a los colores de calidad de agua establecidos según la norma de Normandía, esto nos permitirá resaltar las familias en nuestros cuadros con los colores correspondientes.

COLOR	CALIDAD
	EXCELENTE
	BUENA
	BUENA A REGULAR
	REGULAR A DEFICIENTE
	DEFICIENTE

Familias			Puntajes
Anomalopsychidae, Atriplectididae, Blephariceridae, Ptilodactylidae,	Chordodidae, Gripopterygidae, Lampyridae, Odontoceridae,	Perlidae, Polymitarcyidae, Polythoridae, Psephenidae	<u>10</u>
Coryphoridae, Ephemeridae, Euthyplociidae, Gomphidae,	Hydrobiosidae, Leptophlebiidae, Limnephilidae, Oligoneuriidae,	Philopotamidae, Platystictidae, Polycentropodidae, Xiphocentronidae	<u>9</u>

HERRAMIENTAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE CUENCAS UTILIZANDO
COMO BASE DE RESPUESTA LA UNIDAD ECOSISTÉMICA DEL RÍO DAVID

Familias			Puntajes
Atyidae, Calamoceratidae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydraenidae, Hydroptilidae,	Leptoceridae, Limnephilidae, Lymnaeidae, Naucoridae, Palaemonidae,	Planorbidae (cuando es dominante Biomphalaria), Pseudothelphusidae, Saldidae, Sialidae, Sphaeriidae	<u>8</u>
Ancylidae, Baetidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Dicteriidae,	Dixidae, Glossosomatidae, Hyalellidae, Hydrobiidae, Hydropsychidae,	Leptohyphidae, Lestidae, Pyrilidae, Simuliidae, Veliidae	<u>7</u>
Aeshnidae, Ampullariidae, Caenidae, Corydalidae, Dryopidae,	Dugesidae, Elmidae, Hyriidae, Limnichidae, Lutrochidae,	Megapodagrionidae, Mycetopodidae, Pleidae, Staphylinidae.	<u>6</u>
Ceratopogonidae, Corixidae, Gelastocoridae, Glossiphoniidae,	Gyrinidae, Libellulidae, Mesoveliidae, Nepidae,	Notonectidae, Tabanidae, Thiaridae	<u>5</u>
Belostomatidae, Chrysomelidae, Curculionidae, Ephydriidae, Haliplidae,	Hydriidae, Muscidae Scirtidae, Empididae,	Dolichopodidae, Hydrometridae, Noteridae. Sciomyzidae	<u>4</u>

HERRAMIENTAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE CUENCAS UTILIZANDO
COMO BASE DE RESPUESTA LA UNIDAD ECOSISTÉMICA DEL RÍO DAVID

Familias			Puntajes
Chaoboridae, Cyclobdellidae,	Hydrophilidae (larvas), Physidae,	Stratiomyidae, Tipulidae.	<u>3</u>
Chironomidae (cuando es la familia dominante),	Culicidae, Psychodidae,	Syrphidae	<u>2</u>
Tubificidae			<u>1</u>

Anexo 4.3. Índice BMWP-Costa Rica (Biological Monitoring Working Party modificado para Costa Rica). Puntajes para las familias identificadas. Las letras en mayúsculas y en negrita corresponden al orden al cual pertenece la familia {Ejemplo: O [(ODONATA) Polythoridae]}.

El color en los puntajes ha sido adicionado en este trabajo y corresponde a los colores de calidad de agua establecidos según la norma de Normandía, esto nos permitirá resaltar las familias en nuestros cuadros con los colores correspondientes.

Color	CALIDAD
	EXCELENTE
	BUENA
	BUENA A REGULAR
	REGULAR A DEFICIENTE
	DEFICIENTE

10

O Polythoridae

D Blephariceridae; Athericidae

E Heptageniidae

P Perlidae

T Lepidostomatidae; Odontoceridae; Hydrobiosidae; Ecnomidae

8

E Leptophlebiidae

O Cordulegastridae; Corduliidae; Aeshnidae; Perilestidae

T Limnephilidae; Calamoceratidae; Leptoceridae; Glossosomatidae

B Blaberidae

7

C Ptilodactylidae; Psephenidae; Lutrochidae

O Gomphidae; Lestidae; Megapodagrionidae; Protoneuridae; Platystictidae

T Philopotamidae

Cr Talitridae; Gammaridae

6

O Libellulidae

M Corydalidae

T Hydroptilidae; Polycentropodidae; Xiphocentronidae

E Euthyplociidae; Isonychidae

5

L Pyralidae

T Hydropsychidae; Helicopsychidae

C Dryopidae; Hydraenidae; Elmidae; Limnichidae

E Leptohiphidae; Oligoneuriidae; Polymitarcyidae; Baetidae

Cr Crustacea

Tr Turbellaria

4

C Chrysomelidae; Curculionidae; Haliplidae; Lampyridae; Staphylinidae ; Dytiscidae;
Gyrinidae; Scirtidae; Noteridae

D Dixidae; Simulidae ; Tipulidae; Dolichopodidae; Empididae; Muscidae; Sciomyzidae;
Ceratopogonidae; Stratiomyidae; Tabanidae

H Belostomatidae; Corixidae; Naucoridae; Pleidae; Nepidae; Notonectidae

O Calopterygidae; Coenagrionidae

E Caenidae

Hi Hidracarina

3

C: Hydrophilidae

D: Psychodidae

M: Valvatidae; Hydrobiidae; Lymnaeidae; Physidae; Planorbidae; Bithyniidae;

Bythinellidae; Sphaeridae

A: Hirudinea: Glossiphonidae; Hirudidae; Erpobdellidae

Cr: Asellidae

2

D: Chironomidae; Culicidae; Ephydriidae

1

D: Syrphidae

A: Oligochatea (todas las clases)

Nota: D, Diptera; E, Ephemeroptera; P, Plecoptera; T, Trichoptera; O, Odonata; C, Coleoptera; M, Megaloptera; H, Hemiptera; L, Lepidoptera; B, Blattodea; Tr, Tricladida; Cr, Crustacea; A, Annelida; Mo, Mollusca

Anexo 4.4. Normas Secundarias de Calidad Ambiental para Aguas Continentales Superficiales (Chile).

Grupo de Compuestos o Elementos	Unidad	Clase de Excepción	Clase 1	Clase 2	Clase 3
Indicadores Físicos y Químicos					
Cobductividad eléctrica	μS/cm	<600	750	1.500	2.250
DBO5	mg/L	<2	5	10	20
Color aparente	Pt-Co	<16	20	100	>100
Oxígeno disuelto (1)	mg/L	>7,5	7,5	5,5	5
pH (2)	Unidad	6,5-8,5	6,5-8,6	6,5-8,7	6,5-8,8
RAS (3)	-	<2,4	3	6	9
Sólidos dicueltos	mg/L	<400	500	1.000	1.500
Sólidos suspendidos	mg/L	<24	30	50	80
Temperatura	ΔT°C	<,5	1,5	1,5	3
Inorgánicos					
Amonio	mg/L	<,5	1	1,5	2,5
Cianuro	μg/L	<4	5	10	50
Cloruro	mg/L	<80	100	150	200
Fluoruro	Mg/L	<0,8	1	1,5	2
Nitrito	mg/L	<0,05	0,06	>0,06	>0,06
Sulfato	mg/L	<120	150	500	1000
Sulfuro	mg/L	<0,04	0,05	0,05	0,05
Orgánicos					
Aceites y grasas	mg/L	<4	5	5	10
Bifenilos (PCBs)	μg/L	*	0,04	0,045	>0,045

HERRAMIENTAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE CUENCAS UTILIZANDO
COMO BASE DE RESPUESTA LA UNIDAD ECOSISTÉMICA DEL RÍO DAVID

Grupo de Compuestos o Elementos	Unidad	Clase de Excepción	Clase 1	Clase 2	Clase 3
policlorados					
Detergentes (SAAM) (5)	mg/L	<0,16	0,2	0,5	0,5
Índice de fenol	µg/L	<1,6	2	2	10
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos	µg/L	<0,16	0,2	1	1
Hidrocarburos	mg/L	<0,04	0,05	0,2	1,0
Tetracloroetano	mg/L	*	0,26	0,26	>0,26
Tolueno	mg/L	*	0,3	0,3	>0,3
Orgánicos Plaguicidas					
Ácido 2,4 diclorofenoxiacético (2,4-D)	µg/L	*	4	4	100
Aldicarb (6)	µg/L	*	1	11	11
Aldrín (3)	µg/L	*	0,004	0,004	0,7
Atrazina + N-dealkyl metabolitos	µg/L	*	1	1	1
Captán	µg/L	*	3	10	10
Carbofurano	µg/L	*	1,65	45	45
Clordano (6)	µg/L	*	0,006	0,006	7
Clorotalonil	µg/L	*	0,2	6	6
Cyanazina	µg/L	*	0,5	0,5	10
Demetón	µg/L	*	0,1	0,1	0,1
DDT (6)	µg/L	*	0,001	0,001	30
Diclofop-metil	µg/L	*	0,2	0,2	9
Dieldrín (6)	µg/L	*	0,5	0,5	0,5

HERRAMIENTAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE CUENCAS UTILIZANDO
COMO BASE DE RESPUESTA LA UNIDAD ECOSISTÉMICA DEL RÍO DAVID

Grupo de Compuestos o Elementos	Unidad	Clase de Excepción	Clase 1	Clase 2	Clase 3
Dimetoato	µg/L	*	6,2	6,2	6,2
Heptaclor (6)	µg/L	*	0,01	0,01	3
Lindano	µg/L	*	4	4	4
Paratión	µg/L	*	35	35	35
Pentaclorofenol (7)	µg/L	*	0,5	0,5	0,7
Simazina	mg/L	*	0,005	0,1	0,01
Trifluralina	µg/L	*	0,1	45	45
Metales Esenciales (disuelto)					
Boro	mg/L	<0,4	0,5	0,75	0,75
Cobre (8)	µg/L	<7,2	9	200	1000
Cromo total	µg/L	<8	10	100	100
Hierro	mg/L	<0,8	1	5	5
Manganeso	mg/L	<0,04	0,05	0,2	0,2
Molibdeno	mg/L	<0,008	0,01	0,15	0,5
Níquel (8)	µg/L	<42	52	200	200
Selenio	µg/L	<4	5	20	50
Zinc (8)	mg/L	<0,096	0,12	1	5
Metales no Esenciales (disuelto)					
Aluminio	mg/L	<0,07	0,09	0,1	5
Arsénico	mg/L	<0,04	0,05	0,1	0,1
Cadmio (8)	µg/L	<1,8	2	10	10
Estaño	µg/L	<4	5	25	50
Mercurio	µg/L	<0,04	0,05	0,05	1

Grupo de Compuestos o Elementos	Unidad	Clase de Excepción	Clase 1	Clase 2	Clase 3
Plomo (8)	mg/L	<0,002	0,0025	0,2	5
Indicadores Microbiológicos					
Coliformes Feclaes (NMP)	gérmenes100 ml	/ <10	1.000	2.000	5.000
Coliformes Feclaes (NMP)	gérmenes100 ml	/ <200	2.000	5.000	10.000

Nota: *: La determinación de estos compuestos o elementos deberá estar bajo el límite de detección del instrumental analítico más sensible.

(1): Expresado en términos de valor mínimo.

(2): Expresado en términos de valor máximo y mínimo.

(3): Razón de adsorción de sodio (RAS). Relación utilizada para expresar la actividad relativa de los iones de sodio en las reacciones de intercambio con el suelo cuantitativamente como miliequivalentes:

$$RAS = Na / [(Ca + Mg) / 2]^{1/2}$$

En que, Na, Ca y Mg son respectivamente las concentraciones, en miliequivalentes por litro, de iones sodio, calcio y magnesio.

(4): Diferencia de temperatura entre la zona monitoreada y la temperatura natural del agua.

(5): Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)

(6): Con prohibición de uso agrícola establecida por el Servicio Agrícola Ganadero.

(8): Las concentraciones de estos compuestos o elementos para las clases de excepción y la clase 1, son calculados para una dureza de 100 mg/L de CaCO₃. Para otras durezas, la concentración máxima del compuesto o elemento, para la clase 1, expresada en microgramos por litro, se obtendrá a partir del 80% del valor obtenido en la clase 1.

Fuente: Decreto N° 87/01, Establece Normas de Calidad para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales, Stgo., 2001. Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República, República de Chile.

Tabla de Calidad de agua de los ríos tomando en cuenta la concentración Oxígeno Disuelto en el agua (Tebbutt, 2002)

Saturación de oxígeno	%	Clase	Usos
>	80	1a	Agua de alta calidad, apta para todos los usos (vida acuática y consumo humano)
>	60	1b	Agua de calidad menos alta que la clase 1a, pero que igual se puede utilizar para todo (vida acuática y consumo humano)
>	40	2	Agua adecuada para abastecimiento potable después de tratamiento avanzado.
>	10	3	Aguas con cierto deterioro, sin embargo es posible encontrar escasa vida acuática y es utilizada para procesos industriales de baja calidad
<	10	4	Aguas muy deterioradas.
>	5	x	Aguas en avanzado grado de deterioro, y no recomendable para uso humano.

Capítulo 5

Anexo 5.1. Definiciones para Tablas de Escenarios de Plaguicidas.

SOLPST_IN Pesticida soluble transportado con agua en alcance durante el paso del tiempo (mg de ingrediente activo)

SOLPST_OUT Pesticida soluble transportado con agua fuera del alcance durante el paso del tiempo (mg de ingrediente activo).

SORPST_IN Pesticida absorbido al sedimento transportado con agua en alcance durante el paso del tiempo (mg de ingrediente activo).

SORPST_OUT Pesticida absorbido al sedimento transportado con agua fuera del alcance durante el paso del tiempo (mg de ingrediente activo).

REACTPST Pérdida de pesticida del agua por la reacción durante el paso del tiempo (mg de ingrediente activo).

VOLPST Pérdida de pesticida del agua por la volatilización durante el paso del tiempo (mg de ingrediente activo).

SETTLPST Transferencia del pesticida del agua al sedimento de la cama del río colocando durante el paso del tiempo (mg de ingrediente activo).

RESUSP_PST Transferencia del pesticida del sedimento de la cama del río a regar por la resuspensión durante el paso del tiempo (mg de ingrediente activo).

DIFFUSEPST Transferencia del pesticida del agua al sedimento de la cama del río por la difusión durante el paso del tiempo (mg de ingrediente activo).

REACBEDPST Pérdida de pesticida del sedimento de la cama del río por la reacción durante el paso del tiempo (mg de ingrediente activo).

BURYPST Pérdida de pesticida del sedimento de la cama del río por entierro durante el paso del tiempo (mg de ingrediente activo).

BED_PST Pesticida en el sedimento de la cama del río durante el paso del tiempo (mg de ingrediente activo).

Anexo 5.2. Primer escenario de aplicación de plaguicidas en cultivos de maíz, arroz, caña de azúcar y café. Endosulfan1.

Plaguicida: Endosulfan		Día: 26 de septiembre de 1996		PLTPST=1	SOLPST=0	PSTENR=1						
Subcuenca	SOLPST_IN	SOLPST_OUT	SORPST_IN	SORPST_OUT	REACTPST	VOLPST	SETTLPST	RESUSP_PST	DIFFUSEPST	REACBEDPST	BURYPST	BED_PST
22	0.00002	0.00002	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00002	0.00002	0.00030
30	0.00001	0.00002	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00001	-0.00001	0.00001	0.00002	0.00027
31	0.00002	0.00003	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00001	0.00002	0.00025
36	0.00002	0.00003	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00001	0.00001	0.00016
37	0.00003	0.00003	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00001	0.00002	0.00022
45	0.00006	0.00006	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00002	0.00002	0.00029
46	0.00007	0.00334	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00165	-0.00163	0.01559	0.02228	0.29630

HERRAMIENTAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE CUENCAS UTILIZANDO COMO BASE DE RESPUESTA LA UNIDAD ECOSISTÉMICA DEL RÍO DAVID

Plaguicida: Endosulfan		Día: 4 de octubre de 1996		PLTPST=1		SOLPST=0		PSTENR=1				
Subcuenca	SOLPST_IN	SOLPST_OUT	SORPST_IN	SORPST_OUT	REACTPST	VOLPST	SETTLPST	RESUSP_PST	DIFFUSEPST	REACBEDPST	BURYPST	BED_PST
22	0.00659	0.00590	0.00000	0.00000	0.00005	0.00060	0.00000	0.00001	0.00005	0.00002	0.00003	0.00036
29	0.00031	0.00028	0.00000	0.00000	0.00000	0.00003	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00002
30	0.00324	0.00286	0.00000	0.00000	0.00002	0.00032	0.00000	0.00000	0.00002	0.00001	0.00002	0.00021
31	0.00590	0.00541	0.00000	0.00000	0.00004	0.00042	0.00000	0.00000	0.00003	0.00002	0.00002	0.00031
36	0.00314	0.00279	0.00000	0.00000	0.00002	0.00031	0.00000	0.00000	0.00002	0.00001	0.00001	0.00017
37	0.00541	0.00493	0.00000	0.00000	0.00004	0.00041	0.00000	0.00000	0.00003	0.00001	0.00002	0.00027
42	0.00058	0.00054	0.00000	0.00000	0.00000	0.00003	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00002
44	0.00054	0.00048	0.00000	0.00000	0.00000	0.00005	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00003
45	0.00772	0.00714	0.00000	0.00000	0.00005	0.00048	0.00000	0.00000	0.00004	0.00002	0.00002	0.00031
46	0.46970	0.59970	0.15440	0.00000	0.00437	0.02479	0.00000	0.00385	-0.00142	0.02219	0.03170	0.42160

SOLPST: cantidad inicial del pesticida en suelo (mg/kg)

PSTENR: cociente del enriquecimiento para el pesticida en el suelo (mg/kg)

PLTPST: cantidad inicial del pesticida en follaje (kg/ha)

Anexo 5.3. Segundo escenario de aplicación de plaguicidas en cultivos de maíz, arroz, caña de azúcar y café. Endosulfan2.

Plaguicida: Endosulfan Día: 26 de septiembre de 1996 												
PLTPST=5 SOLPST=0 PSTENR=5												
Subcuenca	SOLPST_IN	SOLPST_OUT	SORPST_IN	SORPST_OUT	REACTPST	VOLPST	SETTLPST	RESUSP_PST	DIFFUSEPST	REACBEDPST	BURYPST	BED_PST
22	4.61200	4.35400	0.00000	0.00000	0.03229	0.20820	0.00000	0.00237	0.01754	0.01286	0.01837	0.24430
30	4.13200	3.64600	0.00000	0.00000	0.02892	0.41030	0.00000	0.00479	0.03228	0.01245	0.01779	0.23650
31	4.35400	4.15000	0.00000	0.00000	0.03048	0.16010	0.00000	0.00168	0.01376	0.01115	0.01593	0.21180
36	3.64600	3.23100	0.00000	0.00000	0.02552	0.36200	0.00000	0.00414	0.02856	0.01080	0.01543	0.20530
37	4.15000	3.93600	0.00000	0.00000	0.02905	0.17170	0.00000	0.00169	0.01479	0.01009	0.01441	0.19160
42	0.74220	0.70940	0.00000	0.00000	0.00520	0.02541	0.00000	0.00027	0.00219	0.00189	0.00269	0.03583
44	0.70940	0.65990	0.00000	0.00000	0.00497	0.04144	0.00000	0.00043	0.00348	0.00184	0.00264	0.03505
45	7.16600	6.83000	0.00000	0.00000	0.05017	0.26360	0.00000	0.00252	0.02289	0.01682	0.02403	0.31970
46	7.49000	7.27000	0.00000	0.00000	0.05243	0.18140	0.00000	0.01856	-0.00073	0.17670	0.25240	3.35700

HERRAMIENTAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE CUENCAS UTILIZANDO COMO BASE DE RESPUESTA LA UNIDAD ECOSISTÉMICA DEL RÍO DAVID

Plaguicida: Endosulfan		Día: 4 de octubre de 1996					PLTPST=5	SOLPST=0	PSTENR=5			
Subcuenca	SOLPST_IN	SOLPST_OUT	SORPST_IN	SORPST_OUT	REACTPST	VOLPST	SETTLPST	RESUSP_PST	DIFFUSEPST	REACBEDPST	BURYPST	BED_PST
22	4.21700	3.77800	0.00000	0.00000	0.02952	0.38070	0.00000	0.00431	0.03042	0.01227	0.01753	0.23320
29	0.00154	0.00137	0.00000	0.00000	0.00001	0.00015	0.00000	0.00000	0.00001	0.00000	0.00001	0.00009
30	3.86200	3.41700	0.00000	0.00000	0.02703	0.38350	0.00000	0.00440	0.03025	0.01147	0.01639	0.21800
31	3.77800	3.46300	0.00000	0.00000	0.02644	0.26790	0.00000	0.00298	0.02197	0.01060	0.01515	0.20150
36	3.41800	3.03000	0.00000	0.00000	0.02393	0.33940	0.00000	0.00383	0.02683	0.01002	0.01432	0.19040
37	3.46300	3.15400	0.00000	0.00000	0.02424	0.26450	0.00000	0.00286	0.02162	0.00955	0.01364	0.18140
42	0.69370	0.64490	0.00000	0.00000	0.00486	0.04052	0.00000	0.00039	0.00343	0.00169	0.00242	0.03218
44	0.64490	0.57200	0.00000	0.00000	0.00451	0.06404	0.00000	0.00070	0.00509	0.00183	0.00261	0.03473
45	6.18500	5.72700	0.00000	0.00000	0.04329	0.38380	0.00000	0.00372	0.03233	0.01522	0.02175	0.28920
46	8.48800	11.61000	3.65900	0.00000	0.08503	0.48250	0.00000	0.04338	0.00346	0.25120	0.35880	4.77200

PLTPST: cantidad inicial del pesticida en follaje (kg/ha)

SOLPST: cantidad inicial del pesticida en suelo (mg/kg)

PSTENR: cociente del enriquecimiento para el pesticida en el suelo (mg/kg)

HERRAMIENTAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE CUENCAS UTILIZANDO COMO BASE DE RESPUESTA LA UNIDAD ECOSISTÉMICA DEL RÍO DAVID

Anexo 5.4. Tercer escenario de aplicación de plaguicidas en cultivos de maíz, arroz, caña de azúcar y café. Propanil.

Plaguicida: Propanil		Día: 26 de septiembre de 1996										
Subcuenca	SOLPST_IN	SOLPST_OUT	SORPST_IN	SORPST_OUT	REACTPST	VOLPST	SETTLPST	RESUSP_PST	DIFFUSEPST	REACBEDPST	BURYPST	BED_PST
36	0.00011	0.00013	0.00000	0.00000	0.00000	0.00001	0.00000	0.00002	-0.00001	0.00004	0.00005	0.00068
42	0.24200	0.23130	0.00000	0.00000	0.00169	0.00829	0.00000	0.00009	0.00071	0.00063	0.00089	0.01189
44	0.23130	0.21510	0.00000	0.00000	0.00162	0.01351	0.00000	0.00014	0.00113	0.00061	0.00087	0.01162
45	0.00013	0.00013	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00001	-0.00001	0.00004	0.00005	0.00073
46	4.05300	3.91600	0.00000	0.00000	0.02837	0.09817	0.00000	0.00077	0.00882	0.00770	0.01099	0.14620

Plaguicida: Propanil		Día: 4 de octubre de 1996										
Subcuenca	SOLPST_IN	SOLPST_OUT	SORPST_IN	SORPST_OUT	REACTPST	VOLPST	SETTLPST	RESUSP_PST	DIFFUSEPST	REACBEDPST	BURYPST	BED_PST
36	0.00003	0.00004	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00001	0.00001	0.00019
42	0.21870	0.20340	0.00000	0.00000	0.00153	0.01278	0.00000	0.00013	0.00108	0.00055	0.00078	0.01042
44	0.20340	0.18040	0.00000	0.00000	0.00142	0.02019	0.00000	0.00023	0.00160	0.00059	0.00084	0.01121
45	0.00004	0.00004	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00001	0.00002	0.00022
46	3.76300	3.57200	0.00000	0.00000	0.02634	0.14950	0.00000	0.00106	0.01330	0.00678	0.00968	0.12870

PLTPST: cantidad inicial del pesticida en follaje (kg/ha)

SOLPST: cantidad inicial del pesticida en suelo (mg/kg)

PSTENR: cociente del enriquecimiento para el pesticida en el suelo (mg/kg)

Anexo 5.5. Cuarto escenario de aplicación de plaguicidas en cultivos de maíz, arroz, caña de azúcar y café. Propanil2.

Plaguicida: Propanil		Día: 26 de septiembre de 1996										
		PLTPST=5			SOLPST=0			PSTENR=5				
Subcuenca	SOLPST_IN	SOLPST_OUT	SORPST_IN	SORPST_OUT	REACTPST	VOLPST	SETTLPST	RESUSP_PST	DIFFUSEPST	REACBEDPST	BURYPST	BED_PST
22	2.54700	2.40500	0.00000	0.00000	0.01783	0.11500	0.00000	0.00135	0.00964	0.00733	0.01047	0.13930
29	0.65470	0.57840	0.00000	0.00000	0.00458	0.06501	0.00000	0.00077	0.00510	0.00200	0.00286	0.03804
30	6.73700	5.94400	0.00000	0.00000	0.04716	0.66900	0.00000	0.00797	0.05247	0.02069	0.02955	0.39300
31	2.40500	2.29200	0.00000	0.00000	0.01683	0.08843	0.00000	0.00096	0.00757	0.00636	0.00908	0.12080
36	6.52300	5.78100	0.00000	0.00000	0.04566	0.64770	0.00000	0.00755	0.05097	0.01964	0.02806	0.37320
37	2.29200	2.17400	0.00000	0.00000	0.01604	0.09483	0.00000	0.00097	0.00813	0.00575	0.00822	0.10930
42	1.21000	1.15600	0.00000	0.00000	0.00847	0.04143	0.00000	0.00044	0.00356	0.00313	0.00447	0.05947
44	1.15600	1.07600	0.00000	0.00000	0.00809	0.06754	0.00000	0.00071	0.00566	0.00306	0.00437	0.05808
45	7.95400	7.58200	0.00000	0.00000	0.05568	0.29250	0.00000	0.00300	0.02521	0.01991	0.02845	0.37840
46	27.85000	26.90000	0.00000	0.00000	0.19490	0.67450	0.00000	0.00514	0.06070	0.05175	0.07393	0.98330

HERRAMIENTAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE CUENCAS UTILIZANDO COMO BASE DE RESPUESTA LA UNIDAD ECOSISTÉMICA DEL RÍO DAVID

Plaguicida: Propanil		Día: 4 de octubre de 1996										
		PLTPST=5			SOLPST=0			PSTENR=5				
Subcuenca	SOLPST_IN	SOLPST_OUT	SORPST_IN	SORPST_OUT	REACTPST	VOLPST	SETTLPST	RESUSP_PST	DIFFUSEPST	REACBEDPST	BURYPST	BED_PST
22	2.18900	1.96100	0.00000	0.00000	0.01532	0.19760	0.00000	0.00235	0.01568	0.00666	0.00952	0.12660
29	0.59180	0.52400	0.00000	0.00000	0.00414	0.05877	0.00000	0.00069	0.00462	0.00179	0.00255	0.03396
30	6.09000	5.38800	0.00000	0.00000	0.04263	0.60480	0.00000	0.00714	0.04750	0.01855	0.02649	0.35240
31	1.96100	1.79800	0.00000	0.00000	0.01373	0.13910	0.00000	0.00163	0.01132	0.00577	0.00824	0.10950
36	5.91200	5.24200	0.00000	0.00000	0.04139	0.58710	0.00000	0.00682	0.04622	0.01776	0.02537	0.33740
37	1.79800	1.63800	0.00000	0.00000	0.01258	0.13730	0.00000	0.00156	0.01115	0.00519	0.00741	0.09859
42	1.09400	1.01700	0.00000	0.00000	0.00766	0.06388	0.00000	0.00064	0.00539	0.00274	0.00392	0.05211
44	1.01700	0.90180	0.00000	0.00000	0.00712	0.10100	0.00000	0.00113	0.00799	0.00295	0.00421	0.05604
45	6.88000	6.37100	0.00000	0.00000	0.04816	0.42700	0.00000	0.00434	0.03577	0.01766	0.02523	0.33560
46	25.18000	23.91000	0.00000	0.00000	0.17630	1.00000	0.00000	0.00711	0.08901	0.04530	0.06472	0.86070

PLTPST: cantidad inicial del pesticida en follaje (kg/ha)

SOLPST: cantidad inicial del pesticida en suelo (mg/kg)

PSTENR: cociente del enriquecimiento para el pesticida en el suelo (mg/kg)

HERRAMIENTAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE CUENCAS UTILIZANDO COMO BASE DE RESPUESTA LA UNIDAD ECOSISTÉMICA DEL RÍO DAVID

Anexo 5.6. Quinto escenario de aplicación de plaguicidas en cultivos de maíz, arroz, caña de azúcar y café. Pendimetalin1.

Pendimetalina		Día: 26 de septiembre de 1996										
		PLTPST=1			SOLPST=0			PSTENR=1				
Subcuenca	SOLPST_IN	SOLPST_OUT	SORPST_IN	SORPST_OUT	REACTPST	VOLPST	SETTLPST	RESUSP_PST	DIFFUSEPST	REACBEDPST	BURYPST	BED_PST
1	73.87000	65.23000	0.00000	0.00000	0.51710	7.33600	0.00000	0.10060	0.56270	0.25620	0.36600	4.86800
2	175.00000	154.30000	0.00000	0.00000	1.22500	17.38000	0.00000	0.63250	0.95050	1.49100	2.12900	28.32000
3	264.70000	233.80000	0.00000	0.00000	1.85300	26.28000	0.00000	0.91120	1.48100	2.15300	3.07500	40.90000
4	53.21000	48.97000	0.00000	0.00000	0.37240	5.28300	0.00000	1.10000	-0.59180	2.48800	3.55500	47.28000
5	1119.00000	986.90000	0.00000	0.00000	7.83600	111.20000	0.00000	2.35000	7.72500	5.73400	8.19100	108.90000
6	509.60000	450.70000	0.00000	0.00000	3.56700	50.60000	0.00000	3.86100	0.80900	8.86600	12.67000	168.40000
7	1453.00000	1295.00000	0.00000	0.00000	10.17000	144.30000	0.00000	5.27400	7.86600	12.43000	17.75000	236.10000
8	199.90000	176.20000	0.00000	0.00000	1.40000	19.85000	0.00000	0.63900	1.16700	1.51600	2.16500	28.80000
9	1471.00000	1310.00000	0.00000	0.00000	10.30000	146.10000	0.00000	4.86700	8.42300	11.52000	16.46000	218.90000
10	282.80000	250.90000	0.00000	0.00000	1.97900	28.08000	0.00000	0.88170	1.67200	2.09400	2.99200	39.79000
11	16.96000	17.91000	0.00000	0.00000	0.11870	1.68400	0.00000	1.70600	-1.50300	3.83000	5.47200	72.78000
12	20.55000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	19.10000	0.00000	362.80000
15	17.91000	17.26000	0.00000	0.00000	0.12540	1.77800	0.00000	0.84680	-0.66130	1.90500	2.72200	36.20000
16	1576.00000	1402.00000	0.00000	0.00000	11.03000	156.50000	0.00000	5.59600	8.65900	13.20000	18.86000	250.80000
17	51.58000	58.29000	0.00000	0.00000	0.36110	5.12200	0.00000	6.53700	-5.88000	14.67000	20.96000	278.80000
18	195.90000	180.50000	0.00000	0.00000	1.37100	19.45000	0.00000	4.03800	-2.16600	9.13300	13.05000	173.50000

HERRAMIENTAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE CUENCAS UTILIZANDO COMO BASE DE RESPUESTA LA UNIDAD ECOSISTÉMICA DEL RÍO DAVID

20	241.10000	214.30000	0.00000	0.00000	1.68800	23.94000	0.00000	0.93670	1.24600	2.20000	3.14300	41.80000
21	299.80000	261.50000	0.00000	0.00000	2.09900	29.77000	0.00000	0.64160	2.05700	1.56300	2.23300	29.70000
22	1535.00000	1356.00000	0.00000	0.00000	10.74000	152.40000	0.00000	5.20400	8.66600	12.30000	17.58000	233.80000
25	261.50000	231.70000	0.00000	0.00000	1.83100	25.97000	0.00000	0.55450	1.80000	1.35200	1.93100	25.69000
26	214.30000	190.50000	0.00000	0.00000	1.50000	21.28000	0.00000	0.83900	1.10200	1.97000	2.81400	37.43000
29	9.53300	8.40900	0.00000	0.00000	0.06673	0.94670	0.00000	0.01102	0.07451	0.02868	0.04097	0.54490
30	98.10000	86.37000	0.00000	0.00000	0.68670	9.74200	0.00000	0.11410	0.76610	0.29660	0.42380	5.63600
31	1356.00000	1202.00000	0.00000	0.00000	9.49200	134.70000	0.00000	4.27800	7.96900	10.15000	14.51000	192.90000
36	94.78000	83.96000	0.00000	0.00000	0.66340	9.41100	0.00000	0.10720	0.74310	0.27980	0.39970	5.31600
37	1202.00000	1070.00000	0.00000	0.00000	8.41700	119.40000	0.00000	4.34000	6.53700	10.23000	14.61000	194.30000
38	422.20000	372.50000	0.00000	0.00000	2.95500	41.93000	0.00000	1.07000	2.73500	2.57500	3.67800	48.92000
39	372.50000	331.40000	0.00000	0.00000	2.60800	36.99000	0.00000	1.09900	2.26300	2.61900	3.74100	49.76000
40	118.40000	104.10000	0.00000	0.00000	0.82880	11.76000	0.00000	1.37300	-0.27360	3.12700	4.46700	59.41000
42	453.20000	401.60000	0.00000	0.00000	3.17200	45.00000	0.00000	1.14800	2.93700	2.76100	3.94400	52.46000
44	401.60000	358.20000	0.00000	0.00000	2.81100	39.87000	0.00000	1.54300	2.09200	3.62600	5.18000	68.90000
45	1154.00000	1026.00000	0.00000	0.00000	8.07800	114.60000	0.00000	3.82300	6.60500	9.05100	12.93000	172.00000
46	1511.00000	1381.00000	0.00000	0.00000	10.57000	107.10000	0.00000	3.21600	6.80200	10.67000	15.25000	202.80000

PLTPST: cantidad inicial del pesticida en follaje (kg/ha)

SOLPST: cantidad inicial del pesticida en suelo (mg/kg)

PSTENR: cociente del enriquecimiento para el pesticida en el suelo (mg/kg)

HERRAMIENTAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE CUENCAS UTILIZANDO COMO BASE DE RESPUESTA LA UNIDAD ECOSISTÉMICA DEL RÍO DAVID

Anexo 5.7. Sexto escenario de aplicación de plaguicidas en cultivos de maíz, arroz, caña de azúcar y café. Pendimetalin2.

Plaguicida: Pendimetalina		Día: 26 de septiembre de 1996										
Subcuenca	SOLPST_IN	SOLPST_OUT	SORPST_IN	SORPST_OUT	REACTPST	VOLPST	SETTLPST	RESUSP_PST	DIFFUSEPST	REACBEDPST	BURYPST	BED_PST
1	376.10000	332.10000	0.00000	0.00000	2.63200	37.34000	0.00000	0.52290	2.85400	1.32900	1.89800	25.25000
2	882.50000	778.60000	0.00000	0.00000	6.17700	87.63000	0.00000	3.36400	4.62300	7.90900	11.30000	150.30000
3	1323.00000	1169.00000	0.00000	0.00000	9.25900	131.30000	0.00000	4.62300	7.33700	10.91000	15.59000	207.40000
4	265.90000	244.80000	0.00000	0.00000	1.86100	26.41000	0.00000	5.51100	-2.96900	12.46000	17.81000	236.80000
5	5594.00000	4932.00000	0.00000	0.00000	39.16000	555.50000	0.00000	11.89000	38.47000	28.97000	41.39000	550.50000
6	2495.00000	2218.00000	0.00000	0.00000	17.46000	247.70000	0.00000	24.77000	-1.73500	56.57000	80.81000	1075.00000
7	7225.00000	6448.00000	0.00000	0.00000	50.58000	717.50000	0.00000	30.95000	34.55000	72.39000	103.40000	1375.00000
8	999.30000	880.60000	0.00000	0.00000	6.99500	99.23000	0.00000	3.23600	5.79200	7.67000	10.96000	145.70000
9	7329.00000	6537.00000	0.00000	0.00000	51.30000	727.80000	0.00000	28.18000	38.17000	66.21000	94.59000	1258.00000
10	1413.00000	1254.00000	0.00000	0.00000	9.89400	140.30000	0.00000	4.46600	8.29900	10.60000	15.14000	201.40000
11	84.77000	89.53000	0.00000	0.00000	0.59340	8.41800	0.00000	8.53500	-7.52100	19.17000	27.38000	364.10000
12	102.70000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	95.88000	0.00000	1822.00000
15	89.53000	86.40000	0.00000	0.00000	0.62670	8.89000	0.00000	4.27800	-3.35000	9.62700	13.75000	182.90000
16	7866.00000	7004.00000	0.00000	0.00000	55.07000	781.10000	0.00000	31.68000	39.57000	74.30000	106.10000	1412.00000
17	264.50000	299.60000	0.00000	0.00000	1.85100	26.26000	0.00000	33.88000	-30.50000	76.04000	108.60000	1445.00000
18	1006.00000	927.60000	0.00000	0.00000	7.04200	99.90000	0.00000	21.09000	-11.47000	47.70000	68.14000	906.20000
20	1239.00000	1101.00000	0.00000	0.00000	8.67200	123.00000	0.00000	4.84100	6.37700	11.37000	16.24000	216.00000

HERRAMIENTAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE CUENCAS UTILIZANDO COMO BASE DE RESPUESTA LA UNIDAD
ECOSISTÉMICA DEL RÍO DAVID

21	1526.00000	1331.00000	0.00000	0.00000	10.68000	151.50000	0.00000	3.38200	10.35000	8.21600	11.74000	156.10000
22	7667.00000	6781.00000	0.00000	0.00000	53.67000	761.30000	0.00000	28.98000	40.41000	68.15000	97.36000	1295.00000
25	1331.00000	1180.00000	0.00000	0.00000	9.31800	132.20000	0.00000	2.92300	9.06200	7.10600	10.15000	135.00000
26	1101.00000	978.80000	0.00000	0.00000	7.71000	109.40000	0.00000	4.33600	5.63700	10.18000	14.54000	193.40000
29	47.65000	42.03000	0.00000	0.00000	0.33360	4.73200	0.00000	0.05510	0.37240	0.14340	0.20480	2.72400
30	490.40000	431.70000	0.00000	0.00000	3.43200	48.69000	0.00000	0.57040	3.82900	1.48300	2.11800	28.18000
31	6781.00000	6017.00000	0.00000	0.00000	47.46000	673.30000	0.00000	23.79000	37.53000	56.14000	80.20000	1067.00000
36	473.70000	419.70000	0.00000	0.00000	3.31600	47.04000	0.00000	0.53580	3.71400	1.39800	1.99800	26.57000
37	6017.00000	5360.00000	0.00000	0.00000	42.12000	597.50000	0.00000	24.32000	30.19000	57.02000	81.46000	1083.00000
38	2158.00000	1905.00000	0.00000	0.00000	15.11000	214.30000	0.00000	5.57400	13.88000	13.39000	19.13000	254.50000
39	1905.00000	1695.00000	0.00000	0.00000	13.33000	189.10000	0.00000	5.73100	11.46000	13.64000	19.48000	259.10000
40	600.30000	528.20000	0.00000	0.00000	4.20200	59.61000	0.00000	7.02600	-1.45000	16.00000	22.85000	304.00000
42	2311.00000	2048.00000	0.00000	0.00000	16.18000	229.50000	0.00000	5.92600	14.90000	14.25000	20.35000	270.70000
44	2048.00000	1827.00000	0.00000	0.00000	14.33000	203.30000	0.00000	7.98000	10.56000	18.74000	26.77000	356.10000
45	5779.00000	5143.00000	0.00000	0.00000	40.46000	573.90000	0.00000	21.44000	30.85000	50.48000	72.11000	959.10000
46	7591.00000	6944.00000	0.00000	0.00000	53.14000	538.40000	0.00000	19.10000	31.31000	62.95000	89.93000	1196.00000

Plaguicida: Pendimetalin			Día: 4 de octubre de 1996					PLTPST=5	SOLPST=0			PSTENR=5	
Subcuenca	SOLPST_IN	SOLPST_OUT	SORPST_IN	SORPST_OUT	REACTPST	VOLPST	SETTLPST	RESUSP_PST	DIFFUSEPST	REACBEDPST	BURYPST	BED_PST	
1	309.30000	274.00000	0.00000	0.00000	2.16500	30.71000	0.00000	0.38930	2.38600	1.00100	1.43100	19.03000	
2	1785.00000	1685.00000	125.90000	0.00000	13.38000	189.80000	0.00000	1.69100	15.44000	4.58700	6.55300	87.16000	

HERRAMIENTAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE CUENCAS UTILIZANDO COMO BASE DE RESPUESTA LA UNIDAD ECOSISTÉMICA DEL RÍO DAVID

3	920.90000	816.90000	0.00000	0.00000	6.44700	91.45000	0.00000	1.72500	6.55700	4.25100	6.07300	80.77000
4	205.30000	183.80000	0.00000	0.00000	1.43700	20.39000	0.00000	1.14800	0.72090	2.66000	3.79900	50.53000
5	4471.00000	3984.00000	39.49000	0.00000	31.58000	447.90000	0.00000	5.98200	34.51000	15.29000	21.84000	290.50000
6	6909.00000	9355.00000	3678.00000	0.00000	74.10000	1051.00000	0.00000	9.14400	85.74000	24.91000	35.59000	473.30000
7	13400.00000	11870.00000	0.00000	0.00000	93.78000	1330.00000	0.00000	12.86000	107.30000	34.42000	49.17000	653.90000
8	709.40000	629.20000	0.00000	0.00000	4.96600	70.45000	0.00000	1.26800	5.11100	3.13800	4.48200	59.61000
9	12500.00000	11090.00000	0.00000	0.00000	87.53000	1242.00000	0.00000	11.88000	100.20000	31.84000	45.49000	605.00000
10	1001.00000	888.40000	0.00000	0.00000	7.00500	99.37000	0.00000	1.77000	7.22700	4.38400	6.26300	83.30000
11	70.28000	65.13000	0.00000	0.00000	0.49200	6.97900	0.00000	1.53700	-0.86300	3.47500	4.96400	66.02000
12	2132.00000	1937.00000	29.31000	0.00000	15.13000	214.70000	0.00000	13.04000	6.67000	30.13000	43.04000	572.50000
15	2002.00000	1773.00000	0.00000	0.00000	14.02000	198.80000	0.00000	1.46200	16.48000	4.11100	5.87300	78.11000
16	13500.00000	11980.00000	20.90000	0.00000	94.63000	1342.00000	0.00000	13.12000	108.10000	35.04000	50.06000	665.80000
17	231.80000	216.80000	0.00000	0.00000	1.62300	23.02000	0.00000	6.01500	-3.76300	13.58000	19.40000	258.00000
18	877.00000	783.80000	0.00000	0.00000	6.13900	87.08000	0.00000	4.43500	3.53600	10.31000	14.72000	195.80000
20	1012.00000	897.90000	0.00000	0.00000	7.08100	100.50000	0.00000	1.79700	7.29800	4.45000	6.35800	84.56000
21	2312.00000	2042.00000	0.00000	0.00000	16.19000	229.60000	0.00000	2.03500	18.69000	5.52600	7.89400	105.00000
22	14280.00000	12780.00000	0.00000	0.00000	99.93000	1289.00000	0.00000	11.35000	106.10000	33.54000	47.92000	637.30000
25	2042.00000	1810.00000	0.00000	0.00000	14.29000	202.80000	0.00000	1.77800	16.52000	4.83800	6.91100	91.92000
26	897.90000	797.30000	0.00000	0.00000	6.28500	89.16000	0.00000	1.60200	6.47100	3.96500	5.66400	75.33000
29	44.24000	39.16000	0.00000	0.00000	0.30970	4.39300	0.00000	0.04931	0.34750	0.12900	0.18420	2.45100
30	455.20000	402.70000	0.00000	0.00000	3.18600	45.20000	0.00000	0.51230	3.57100	1.33800	1.91200	25.43000

HERRAMIENTAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE CUENCAS UTILIZANDO COMO BASE DE RESPUESTA LA UNIDAD ECOSISTÉMICA DEL RÍO DAVID

31	12780.00000	11710.00000	0.00000	0.00000	89.47000	906.50000	0.00000	7.50300	76.83000	27.74000	39.64000	527.20000
36	441.90000	391.70000	0.00000	0.00000	3.09300	43.88000	0.00000	0.48990	3.47400	1.28200	1.83200	24.37000
37	11710.00000	10660.00000	0.00000	0.00000	81.97000	894.50000	0.00000	7.84700	74.90000	26.93000	38.47000	511.70000
38	2607.00000	2335.00000	0.00000	0.00000	18.25000	235.30000	0.00000	2.56400	18.90000	7.34300	10.49000	139.50000
39	2335.00000	2070.00000	0.00000	0.00000	16.34000	231.80000	0.00000	2.68900	18.26000	7.00000	10.00000	133.00000
40	519.40000	461.30000	0.00000	0.00000	3.63600	51.58000	0.00000	1.70200	2.99100	4.03100	5.75800	76.58000
42	2613.00000	2430.00000	0.00000	0.00000	18.29000	152.70000	0.00000	1.61900	12.78000	6.94100	9.91600	131.90000
44	2430.00000	2156.00000	0.00000	0.00000	17.01000	241.30000	0.00000	3.23000	18.58000	8.25300	11.79000	156.80000
45	11060.00000	10240.00000	0.00000	0.00000	77.39000	686.20000	0.00000	5.70100	58.73000	23.76000	33.94000	451.40000
46	13360.00000	12940.00000	256.60000	0.00000	95.34000	541.00000	0.00000	7.57300	44.45000	45.89000	65.56000	872.00000

PLTPST: cantidad inicial del pesticida en follaje (kg/ha)

SOLPST: cantidad inicial del pesticida en suelo (mg/kg)

PSTENR: cociente del enriquecimiento para el pesticida en el suelo (mg/kg)

Anexo 5.8. Séptimo escenario de aplicación de plaguicidas en cultivos de maíz, arroz, caña de azúcar y café. Dieldrin1.

Plaguicida: Dieldrin Día: 26 de septiembre de 1996 												
 PLTPST=1 												
 SOLPST=0 												
 PSTENR=1 												
Subcuenca	SOLPST_IN	SOLPST_OUT	SORPST_IN	SORPST_OUT	REACTPST	VOLPST	SETTLPST	RESUSP_PST	DIFFUSEPST	REACBEDPST	BURYPST	BED_PST
22	0.00006	0.00014	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00004	-0.00004	0.00019	0.00028	0.00366
30	0.00003	0.00014	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00005	-0.00005	0.00012	0.00018	0.00233
31	0.00014	0.00018	0.00000	0.00000	0.00000	0.00001	0.00000	0.00003	-0.00003	0.00017	0.00024	0.00315
36	0.00015	0.00021	0.00000	0.00000	0.00000	0.00001	0.00000	0.00004	-0.00004	0.00009	0.00013	0.00179
37	0.00018	0.00022	0.00000	0.00000	0.00000	0.00001	0.00000	0.00003	-0.00002	0.00014	0.00020	0.00272
42	0.00001	0.00001	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00001	0.00002	0.00025
44	0.00001	0.00002	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00002	0.00002	0.00029
45	0.00044	0.00047	0.00000	0.00000	0.00000	0.00002	0.00000	0.00003	-0.00003	0.00018	0.00025	0.00336
46	0.00052	0.08328	0.00000	0.00000	0.00000	0.00001	0.00000	0.04158	-0.04127	0.39390	0.56270	7.48400

HERRAMIENTAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE CUENCAS UTILIZANDO COMO BASE DE RESPUESTA LA UNIDAD ECOSISTÉMICA DEL RÍO DAVID

Plaguicida: Dieldrin		Día: 4 de octubre de 1996					PLTPST=1	SOLPST=0	PSTENR=1			
Subcuenca	SOLPST_IN	SOLPST_OUT	SORPST_IN	SORPST_OUT	REACTPST	VOLPST	SETTLPST	RESUSP_PST	DIFFUSEPST	REACBEDPST	BURYPST	BED_PST
22	0.10960	0.09815	0.00000	0.00000	0.00077	0.00989	0.00000	0.00010	0.00080	0.00029	0.00041	0.00544
29	0.00523	0.00463	0.00000	0.00000	0.00004	0.00052	0.00000	0.00001	0.00004	0.00001	0.00002	0.00026
30	0.05383	0.04761	0.00000	0.00000	0.00038	0.00534	0.00000	0.00006	0.00043	0.00015	0.00021	0.00285
31	0.09815	0.08995	0.00000	0.00000	0.00069	0.00696	0.00000	0.00007	0.00058	0.00025	0.00035	0.00469
36	0.05224	0.04630	0.00000	0.00000	0.00037	0.00519	0.00000	0.00005	0.00042	0.00013	0.00019	0.00255
37	0.08995	0.08193	0.00000	0.00000	0.00063	0.00687	0.00000	0.00006	0.00057	0.00022	0.00031	0.00418
42	0.00967	0.00898	0.00000	0.00000	0.00007	0.00056	0.00000	0.00000	0.00005	0.00002	0.00003	0.00035
44	0.00898	0.00796	0.00000	0.00000	0.00006	0.00089	0.00000	0.00001	0.00007	0.00002	0.00003	0.00045
45	0.12820	0.11870	0.00000	0.00000	0.00090	0.00796	0.00000	0.00006	0.00069	0.00024	0.00034	0.00458
46	7.75100	17.34000	10.28000	0.00000	0.12620	0.71630	0.00000	0.11540	-0.04521	0.66540	0.95060	12.64000

PLTPST: cantidad inicial del pesticida en follaje (kg/ha)

SOLPST: cantidad inicial del pesticida en suelo (mg/kg)

PSTENR: cociente del enriquecimiento para el pesticida en el suelo (mg/kg)

HERRAMIENTAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE CUENCAS UTILIZANDO COMO BASE DE RESPUESTA LA UNIDAD ECOSISTÉMICA DEL RÍO DAVID

Anexo 5.9. Octavo escenario de aplicación de plaguicidas en cultivos de maíz, arroz, caña de azúcar y café. Dieldrin2

Plaguicida: Dieldrin Día: 26 de septiembre de 1996 PLTPST=5 SOLPST=0 PSTENR=5												
Subcuenca	SOLPST_IN	SOLPST_OUT	SORPST_IN	SORPST_OUT	REACTPST	VOLPST	SETTLPST	RESUSP_PST	DIFFUSEPST	REACBEDPST	BURYPST	BED_PST
22	23.25000	20.44000	0.00000	0.00000	0.16270	2.30900	0.00000	0.02465	0.18390	0.06495	0.09278	1.23400
29	1.61700	1.42600	0.00000	0.00000	0.01132	0.16060	0.00000	0.00181	0.01270	0.00472	0.00675	0.08971
30	16.64000	14.65000	0.00000	0.00000	0.11650	1.65200	0.00000	0.01869	0.13060	0.04884	0.06977	0.92790
31	20.44000	18.04000	0.00000	0.00000	0.14310	2.03000	0.00000	0.02129	0.16200	0.05625	0.08036	1.06900
36	16.08000	14.24000	0.00000	0.00000	0.11250	1.59600	0.00000	0.01765	0.12650	0.04626	0.06608	0.87890
37	18.04000	15.96000	0.00000	0.00000	0.12630	1.79100	0.00000	0.01919	0.14260	0.05054	0.07220	0.96030
42	2.98900	2.63900	0.00000	0.00000	0.02092	0.29680	0.00000	0.00291	0.02389	0.00776	0.01109	0.14750
44	2.63900	2.34000	0.00000	0.00000	0.01847	0.26210	0.00000	0.00279	0.02088	0.00735	0.01050	0.13970
45	30.20000	26.71000	0.00000	0.00000	0.21140	2.99900	0.00000	0.03019	0.24060	0.08027	0.11470	1.52500
46	29.05000	30.54000	0.00000	0.00000	0.20340	2.06100	0.00000	2.09000	-1.85400	6.64400	9.49100	126.20000

HERRAMIENTAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE CUENCAS UTILIZANDO COMO BASE DE RESPUESTA LA UNIDAD ECOSISTÉMICA DEL RÍO DAVID

Plaguicida: Dieldrin		Día: 4 de octubre de 1996										
		PLTPST=5			SOLPST=0				PSTENR=5			
Subcuenca	SOLPST_IN	SOLPST_OUT	SORPST_IN	SORPST_OUT	REACTPST	VOLPST	SETTLPST	RESUSP_PST	DIFFUSEPST	REACBEDPST	BURYPST	BED_PST
22	24.21000	21.68000	0.00000	0.00000	0.16950	2.18600	0.00000	0.02240	0.17690	0.06471	0.09244	1.22900
29	1.67000	1.47800	0.00000	0.00000	0.01169	0.16580	0.00000	0.00174	0.01323	0.00460	0.00658	0.08748
30	17.18000	15.20000	0.00000	0.00000	0.12030	1.70600	0.00000	0.01812	0.13600	0.04778	0.06826	0.90780
31	21.68000	19.87000	0.00000	0.00000	0.15180	1.53800	0.00000	0.01548	0.12770	0.05579	0.07970	1.06000
36	16.67000	14.78000	0.00000	0.00000	0.11670	1.65600	0.00000	0.01734	0.13220	0.04583	0.06547	0.87070
37	19.87000	18.10000	0.00000	0.00000	0.13910	1.51800	0.00000	0.01486	0.12560	0.05024	0.07178	0.95460
42	3.08500	2.86800	0.00000	0.00000	0.02160	0.18020	0.00000	0.00160	0.01539	0.00700	0.01001	0.13310
44	2.86800	2.54300	0.00000	0.00000	0.02008	0.28480	0.00000	0.00287	0.02285	0.00764	0.01091	0.14510
45	32.88000	30.44000	0.00000	0.00000	0.23020	2.04100	0.00000	0.01797	0.17370	0.07437	0.10620	1.41300
46	69.58000	304.10000	246.80000	0.00000	2.21500	12.57000	0.00000	2.02100	-0.78990	11.66000	16.65000	221.40000

PLTPST: cantidad inicial del pesticida en follaje (kg/ha)

SOLPST: cantidad inicial del pesticida en suelo (mg/kg)

PSTENR: cociente del enriquecimiento para el pesticida en el suelo (mg/kg)

HERRAMIENTAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE CUENCAS UTILIZANDO COMO BASE DE RESPUESTA LA UNIDAD ECOSISTÉMICA DEL RÍO DAVID

Anexo 5.10. Noveno escenario de aplicación de plaguicidas en cultivos de maíz, arroz, caña de azúcar y café. Lindano1.

Plaguicida: Lindano Día: 26 de septiembre de 1996 												
PLTPST=1 SOLPST=0 PSTENR=1												
Subcuenc a	SOLPST_I N	SOLPST_OUT	SORPST_I N	SORPST_O UT	REACTPS T	VOLPS T	SETTLPS T	RESUSP_PS T	DIFFUSEPST	REACBEDPS T	BURYPS T	BED_PS T
22	14.95000	14.11000	0.00000	0.00000	0.10460	0.67470	0.00000	0.00776	0.05675	0.04213	0.06018	0.80040
29	1.41900	1.25400	0.00000	0.00000	0.00994	0.14090	0.00000	0.00165	0.01108	0.00429	0.00613	0.08159
30	14.61000	12.89000	0.00000	0.00000	0.10220	1.45000	0.00000	0.01706	0.11400	0.04434	0.06334	0.84250
31	14.11000	13.45000	0.00000	0.00000	0.09878	0.51900	0.00000	0.00551	0.04453	0.03654	0.05220	0.69430
36	14.14000	12.53000	0.00000	0.00000	0.09899	1.40400	0.00000	0.01618	0.11070	0.04216	0.06023	0.80110
37	13.45000	12.76000	0.00000	0.00000	0.09416	0.55650	0.00000	0.00555	0.04785	0.03306	0.04723	0.62810
42	2.63600	2.51900	0.00000	0.00000	0.01845	0.09025	0.00000	0.00095	0.00777	0.00675	0.00964	0.12820
44	2.51900	2.34300	0.00000	0.00000	0.01763	0.14710	0.00000	0.00153	0.01234	0.00659	0.00942	0.12530
45	25.29000	24.10000	0.00000	0.00000	0.17700	0.93000	0.00000	0.00905	0.08061	0.06033	0.08618	1.14600
46	48.58000	46.95000	0.00000	0.00000	0.34000	1.17700	0.00000	0.01945	0.09548	0.18960	0.27080	3.60200

HERRAMIENTAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE CUENCAS UTILIZANDO COMO BASE DE RESPUESTA LA UNIDAD ECOSISTÉMICA DEL RÍO DAVID

Plaguicida: Lindano		Día: 4 de octubre de 1996											
		PLTPST=1				SOLPST=0				PSTENR=1			
Subcuenc a	SOLPST_I N	SOLPST_OUT	SORPST_I N	SORPST_O UT	REACTPS T	VOLPS T	SETTLPS T	RESUSP_PS T	DIFFUSEPST	REACBEDPS T	BURYPS T	BED_PS T	
22	13.43000	12.03000	0.00000	0.00000	0.09398	1.21200	0.00000	0.01392	0.09664	0.03959	0.05656	0.75230	
29	1.31100	1.16100	0.00000	0.00000	0.00918	0.13020	0.00000	0.00150	0.01027	0.00390	0.00557	0.07406	
30	13.49000	11.94000	0.00000	0.00000	0.09446	1.34000	0.00000	0.01553	0.10550	0.04044	0.05777	0.76840	
31	12.03000	11.02000	0.00000	0.00000	0.08418	0.85300	0.00000	0.00962	0.06980	0.03422	0.04889	0.65020	
36	13.10000	11.62000	0.00000	0.00000	0.09170	1.30100	0.00000	0.01484	0.10270	0.03874	0.05534	0.73600	
37	11.02000	10.04000	0.00000	0.00000	0.07717	0.84210	0.00000	0.00924	0.06870	0.03080	0.04401	0.58530	
42	2.43500	2.26400	0.00000	0.00000	0.01704	0.14220	0.00000	0.00139	0.01202	0.00600	0.00857	0.11400	
44	2.26400	2.00800	0.00000	0.00000	0.01585	0.22480	0.00000	0.00247	0.01784	0.00647	0.00924	0.12290	
45	21.66000	20.05000	0.00000	0.00000	0.15160	1.34400	0.00000	0.01323	0.11300	0.05404	0.07720	1.02700	
46	47.08000	44.85000	0.11970	0.00000	0.33040	1.87500	0.00000	0.03652	0.14390	0.21810	0.31150	4.14300	

PLTPST: cantidad inicial del pesticida en follaje (kg/ha)

SOLPST: cantidad inicial del pesticida en suelo (mg/kg)

PSTENR: cociente del enriquecimiento para el pesticida en el suelo (mg/kg)

Anexo 5.11. Décimo escenario de aplicación de plaguicidas en cultivos de maíz, arroz, caña de azúcar y café. Lindano2.

HERRAMIENTAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE CUENCAS UTILIZANDO COMO BASE DE RESPUESTA LA UNIDAD ECOSISTÉMICA DEL RÍO DAVID

Plaguicida: Lindano		Día: 26 de septiembre de 1996										
		PLTPST=5			SOLPST=0			PSTENR=5				
Subcuenc a	SOLPST_I N	SOLPST_OUT	SORPST_I N	SORPST_O UT	REACTPS T	VOLPS T	SETTLPS T	RESUSP_PS T	DIFFUSEPST	REACBEDPS T	BURYPS T	BED_PS T
22	74.30000	70.14000	0.00000	0.00000	0.52010	3.35400	0.00000	0.03858	0.28210	0.20940	0.29910	3.97900
29	7.09800	6.27200	0.00000	0.00000	0.04969	0.70480	0.00000	0.00826	0.05542	0.02148	0.03068	0.40800
30	73.04000	64.45000	0.00000	0.00000	0.51130	7.25300	0.00000	0.08534	0.57000	0.22180	0.31680	4.21300
31	70.14000	66.86000	0.00000	0.00000	0.49100	2.58000	0.00000	0.02740	0.22130	0.18160	0.25950	3.45100
36	70.72000	62.67000	0.00000	0.00000	0.49500	7.02200	0.00000	0.08092	0.55350	0.21090	0.30120	4.00600
37	66.86000	63.40000	0.00000	0.00000	0.46800	2.76600	0.00000	0.02759	0.23780	0.16430	0.23480	3.12200
42	13.12000	12.54000	0.00000	0.00000	0.09181	0.44910	0.00000	0.00473	0.03869	0.03357	0.04796	0.63780
44	12.54000	11.66000	0.00000	0.00000	0.08775	0.73220	0.00000	0.00764	0.06141	0.03281	0.04687	0.62340
45	126.10000	120.20000	0.00000	0.00000	0.88250	4.63700	0.00000	0.04511	0.40190	0.30090	0.42980	5.71600
46	241.50000	233.50000	0.00000	0.00000	1.69100	5.85000	0.00000	0.10200	0.46940	0.99340	1.41900	18.87000

HERRAMIENTAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE CUENCAS UTILIZANDO COMO BASE DE RESPUESTA LA UNIDAD ECOSISTÉMICA DEL RÍO DAVID

Plaguicida: Lindano		Día: 4 de octubre de 1996										
Subcuena	SOLPST_IN	SOLPST_OUT	SORPST_IN	SORPST_OUT	REACTPS_T	VOLPS_T	SETTLPS_T	RESUSP_PS_T	DIFFUSEPST	REACBEDPS_T	BURYPS_T	BED_PS_T
22	66.73000	59.77000	0.00000	0.00000	0.46710	6.02300	0.00000	0.06919	0.48030	0.19680	0.28110	3.73900
29	6.55700	5.80500	0.00000	0.00000	0.04590	0.65110	0.00000	0.00748	0.05135	0.01949	0.02784	0.37030
30	67.47000	59.69000	0.00000	0.00000	0.47230	6.70000	0.00000	0.07767	0.52770	0.20220	0.28890	3.84200
31	59.77000	54.79000	0.00000	0.00000	0.41840	4.23900	0.00000	0.04780	0.34690	0.17010	0.24300	3.23200
36	65.50000	58.07000	0.00000	0.00000	0.45850	6.50400	0.00000	0.07423	0.51340	0.19370	0.27670	3.68000
37	54.79000	49.91000	0.00000	0.00000	0.38350	4.18500	0.00000	0.04593	0.34140	0.15310	0.21870	2.90900
42	12.12000	11.26000	0.00000	0.00000	0.08481	0.70770	0.00000	0.00691	0.05982	0.02987	0.04266	0.56740
44	11.26000	9.99000	0.00000	0.00000	0.07885	1.11900	0.00000	0.01227	0.08877	0.03219	0.04599	0.61160
45	108.00000	99.99000	0.00000	0.00000	0.75590	6.70200	0.00000	0.06596	0.56360	0.26950	0.38500	5.12000
46	233.20000	224.30000	2.84900	0.00000	1.65200	9.37500	0.00000	0.19500	0.70740	1.16100	1.65900	22.07000

PLTPST: cantidad inicial del pesticida en follaje (kg/ha)

SOLPST: cantidad inicial del pesticida en suelo (mg/kg)

PSTENR: cociente del enriquecimiento para el pesticida en el suelo (mg/kg)

Anexo 5.12. Décimo primer escenario de aplicación de plaguicidas en cultivos de maíz, arroz, caña de azúcar y café. 2,4 D1.

HERRAMIENTAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE CUENCAS UTILIZANDO COMO BASE DE RESPUESTA LA UNIDAD ECOSISTÉMICA DEL RÍO DAVID

Plaguicida: 2,4 D		Día: 26 de septiembre de 1996											
		PLTPST=1				SOLPST=0				PSTENR=1			
Subcuencia	SOLPST_IN	SOLPST_OUT	SORPST_IN	SORPST_OUT	REACTPTS	VOLPTS	SETTLPTS	RESUSPTS	DIFFUSEPTS	REACBEDPTS	BURYPTS	BEDPTS	
22	12.99000	12.27000	0.00000	0.00000	0.09095	0.58650	0.00000	0.00690	0.04918	0.03739	0.05341	0.71040	
29	3.22400	2.84900	0.00000	0.00000	0.02257	0.32010	0.00000	0.00380	0.02513	0.00986	0.01409	0.18730	
30	33.18000	29.27000	0.00000	0.00000	0.23220	3.29400	0.00000	0.03927	0.25840	0.10190	0.14550	1.93500	
31	12.27000	11.69000	0.00000	0.00000	0.08586	0.45110	0.00000	0.00490	0.03860	0.03244	0.04635	0.61640	
36	32.12000	28.47000	0.00000	0.00000	0.22490	3.19000	0.00000	0.03717	0.25100	0.09672	0.13820	1.83800	
37	11.69000	11.09000	0.00000	0.00000	0.08184	0.48380	0.00000	0.00494	0.04149	0.02935	0.04193	0.55760	
42	5.95600	5.69300	0.00000	0.00000	0.04169	0.20400	0.00000	0.00217	0.01754	0.01541	0.02201	0.29280	
44	5.69300	5.29600	0.00000	0.00000	0.03985	0.33250	0.00000	0.00351	0.02785	0.01505	0.02150	0.28590	
45	39.56000	37.70000	0.00000	0.00000	0.27690	1.45500	0.00000	0.01489	0.12540	0.09894	0.14130	1.88000	
46	137.40000	132.80000	0.00000	0.00000	0.96210	3.32900	0.00000	0.02535	0.29960	0.25530	0.36480	4.85100	

HERRAMIENTAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE CUENCAS UTILIZANDO COMO BASE DE RESPUESTA LA UNIDAD ECOSISTÉMICA DEL RÍO DAVID

Plaguicida: 2,4 D		Día: 4 de octubre de 1996										
Subcuencia	SOLPST_I N	SOLPST_OU T	SORPST_I N	SORPST_OU T	REACTPS T	VOLPS T	SETTLPS T	RESUSP_PS T	DIFFUSEPS T	REACBEDPS T	BURYPS T	BED_PS T
22	11.17000	10.00000	0.00000	0.00000	0.07817	1.00800	0.00000	0.01201	0.07997	0.03400	0.04857	0.64600
29	2.91400	2.58000	0.00000	0.00000	0.02040	0.28940	0.00000	0.00338	0.02276	0.00880	0.01257	0.16720
30	29.99000	26.54000	0.00000	0.00000	0.20990	2.97800	0.00000	0.03517	0.23390	0.09133	0.13050	1.73500
31	10.00000	9.17100	0.00000	0.00000	0.07003	0.70960	0.00000	0.00830	0.05777	0.02941	0.04201	0.55880
36	29.12000	25.82000	0.00000	0.00000	0.20380	2.89100	0.00000	0.03359	0.22760	0.08744	0.12490	1.66100
37	9.17100	8.35500	0.00000	0.00000	0.06420	0.70050	0.00000	0.00797	0.05687	0.02647	0.03781	0.50290
42	5.38500	5.00600	0.00000	0.00000	0.03769	0.31450	0.00000	0.00313	0.02653	0.01350	0.01929	0.25660
44	5.00600	4.44000	0.00000	0.00000	0.03504	0.49710	0.00000	0.00555	0.03936	0.01452	0.02074	0.27590
45	34.17000	31.64000	0.00000	0.00000	0.23920	2.12100	0.00000	0.02155	0.17770	0.08772	0.12530	1.66700
46	124.20000	117.90000	0.00000	0.00000	0.86970	4.93500	0.00000	0.03508	0.43910	0.22350	0.31930	4.24600

PLTPST: cantidad inicial del pesticida en follaje (kg/ha)

SOLPST: cantidad inicial del pesticida en suelo (mg/kg)

PSTENR: cociente del enriquecimiento para el pesticida en el suelo (mg/kg)

Anexo 5.13. Décimo segundo escenario de aplicación de plaguicidas en cultivos de maíz, arroz, caña de azúcar y café. 2,4 D2,

HERRAMIENTAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE CUENCAS UTILIZANDO COMO BASE DE RESPUESTA LA UNIDAD ECOSISTÉMICA DEL RÍO DAVID

Plaguicida: 2,4 D					Día: 26 de septiembre de 1996		PLTPST=5		SOLPST=0		PSTENR=5	
Subcuenca	SOLPST_IN	SOLPST_OUT	SORPST_IN	SORPST_OUT	REACTPST	VOLPST	SETTLPST	RESUSP_PST	DIFFUSEPST	REACBEDPST	BURYPST	BED_PST
22	12.99000	12.27000	0.00000	0.00000	0.09095	0.58650	0.00000	0.00690	0.04918	0.03739	0.05341	0.71040
29	3.22400	2.84900	0.00000	0.00000	0.02257	0.32010	0.00000	0.00380	0.02513	0.00986	0.01409	0.18730
30	33.18000	29.27000	0.00000	0.00000	0.23220	3.29400	0.00000	0.03927	0.25840	0.10190	0.14550	1.93500
31	12.27000	11.69000	0.00000	0.00000	0.08586	0.45110	0.00000	0.00490	0.03860	0.03244	0.04635	0.61640
36	32.12000	28.47000	0.00000	0.00000	0.22490	3.19000	0.00000	0.03717	0.25100	0.09672	0.13820	1.83800
37	11.69000	11.09000	0.00000	0.00000	0.08184	0.48380	0.00000	0.00494	0.04149	0.02935	0.04193	0.55760
42	5.95600	5.69300	0.00000	0.00000	0.04169	0.20400	0.00000	0.00217	0.01754	0.01541	0.02201	0.29280
44	5.69300	5.29600	0.00000	0.00000	0.03985	0.33250	0.00000	0.00351	0.02785	0.01505	0.02150	0.28590
45	39.56000	37.70000	0.00000	0.00000	0.27690	1.45500	0.00000	0.01489	0.12540	0.09894	0.14130	1.88000
46	137.40000	132.80000	0.00000	0.00000	0.96210	3.32900	0.00000	0.02535	0.29960	0.25530	0.36480	4.85100

Plaguicida: 2,4 D					Día: 4 de octubre de 1996		PLTPST=5		SOLPST=0		PSTENR=5	
Subcuenca	SOLPST_IN	SOLPST_OUT	SORPST_IN	SORPST_OUT	REACTPST	VOLPST	SETTLPST	RESUSP_PST	DIFFUSEPST	REACBEDPST	BURYPST	BED_PST
22	11.17000	10.00000	0.00000	0.00000	0.07817	1.00800	0.00000	0.01201	0.07997	0.03400	0.04857	0.64600
29	2.91400	2.58000	0.00000	0.00000	0.02040	0.28940	0.00000	0.00338	0.02276	0.00880	0.01257	0.16720
30	29.99000	26.54000	0.00000	0.00000	0.20990	2.97800	0.00000	0.03517	0.23390	0.09133	0.13050	1.73500
31	10.00000	9.17100	0.00000	0.00000	0.07003	0.70960	0.00000	0.00830	0.05777	0.02941	0.04201	0.55880

HERRAMIENTAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE CUENCAS UTILIZANDO COMO BASE DE RESPUESTA LA UNIDAD ECOSISTÉMICA DEL RÍO DAVID

Plaguicida: 2,4 D		Día: 26 de septiembre de 1996										
		PLTPST=5			SOLPST=0			PSTENR=5				
Subcuenca	SOLPST_IN	SOLPST_OUT	SORPST_IN	SORPST_OUT	REACTPST	VOLPST	SETTLPST	RESUSP_PST	DIFFUSEPST	REACBEDPST	BURYPST	BED_PST
36	29.12000	25.82000	0.00000	0.00000	0.20380	2.89100	0.00000	0.03359	0.22760	0.08744	0.12490	1.66100
37	9.17100	8.35500	0.00000	0.00000	0.06420	0.70050	0.00000	0.00797	0.05687	0.02647	0.03781	0.50290
42	5.38500	5.00600	0.00000	0.00000	0.03769	0.31450	0.00000	0.00313	0.02653	0.01350	0.01929	0.25660
44	5.00600	4.44000	0.00000	0.00000	0.03504	0.49710	0.00000	0.00555	0.03936	0.01452	0.02074	0.27590
45	34.17000	31.64000	0.00000	0.00000	0.23920	2.12100	0.00000	0.02155	0.17770	0.08772	0.12530	1.66700
46	124.20000	117.90000	0.00000	0.00000	0.86970	4.93500	0.00000	0.03508	0.43910	0.22350	0.31930	4.24600

PLTPST: cantidad inicial del pesticida en follaje (kg/ha)

SOLPST: cantidad inicial del pesticida en suelo (mg/kg)

PSTENR: cociente del enriquecimiento para el pesticida en el suelo (mg/kg).

Capítulo VI

Anexos 6.1. Encuesta Socioeconómica

Encuesta Socioeconómica

Análisis Sanitario y Agropecuario sobre la cuenca del Rio David

Elaborada por: *Vianeth Mojica Mojica*.

Asesores: *Viccelda Domínguez Lecky* y *Noriel Alfredo Franco*.

De Vivienda _____

1) ¿Cuántos miembros de su familia viven en su casa? _____

2) ¿Cuál es la edad de cada uno?

< 1		10-15		30 - 50	
1 - 5		15 - 20		< 50	
5-10		20 - 30			

3) ¿Cuántos trabajan? _____

4) ¿A qué se dedican los que trabajan?

No	Oficio

5) ¿Cuál es el ingreso familiar mensual en dólares?

< 100	201- 250	401 - 500	
100 – 150	251 - 300	500 - 1000	
151- 200	301 - 400	> 1000	

6) Recibe un servicio de abastecimiento de agua potable de manera.

Continuo en el día	Intermitente En el día	Continuo en el mes	Intermitente en el mes	No tiene servicio
-----------------------	---------------------------	-----------------------	---------------------------	----------------------

7) ¿Quién ofrece el servicio de abastecimiento de agua?

IDAAN	MINSA	Municipio	Privado	No tiene servicio
-------	-------	-----------	---------	----------------------

8) ¿Cómo dispone actualmente sus desechos fecales?

Letrina	En el río*
Tanque séptico	Comparte su sistema con otra familia
Sobre el suelo	En bolsas
Alcantarillado	Otras

*Especifique el nombre del río, quebrada, riachuelo u otros.

9) ¿Donde descarga el agua utilizada en: baño, lavado de manos y fregado de trastes (platos, cubiertos, ollas, pailas, etc.)?

Letrina	En el río*
Tanque séptico	Pozo ciego
Sobre el suelo	Comparte su sistema con otra familia
Alcantarillado	Otras

*Especifique el nombre del río, quebrada, riachuelo u otros.

10) ¿Cuenta usted con un servicio de recolección de basura en su comunidad?

Sí	<input type="checkbox"/>
No	<input type="checkbox"/>

a. De ser no su respuesta diga:

11) ¿Qué hace usted con los papeles higiénicos, pampers, condones y toallas higiénicas una vez usado?

Los quema	<input type="checkbox"/>	Los tira al patio	<input type="checkbox"/>
Los tira en el cesto de basura	<input type="checkbox"/>	Los tira en la letrina	<input type="checkbox"/>
Los tira en el servicio higiénico	<input type="checkbox"/>	otras	<input type="checkbox"/>

12) ¿Sabe usted que es un sistema de recolección de aguas negras?

Sí	<input type="checkbox"/>
No	<input type="checkbox"/>

13) ¿Sabe usted que es un sistema de tratamiento de aguas negras?

Sí	<input type="checkbox"/>
No	<input type="checkbox"/>

14) ¿Existe en su comunidad algún sistema de recolección de aguas negras?

Sí	<input type="checkbox"/>
No	<input type="checkbox"/>

a. De ser No su respuesta; estarían dispuestos a crear un comité para el

desarrollo, operación y mantenimiento del sistema de alcantarillado y la planta de tratamiento de las aguas negras?

Sí	<input type="checkbox"/>
No	<input type="checkbox"/>

15) ¿Sabe usted sobre las enfermedades que puede causar la mala disposición de los desechos líquidos?(explique)

Sí	<input type="checkbox"/>
No	<input type="checkbox"/>

Sí _____

No _____

16) ¿En su familia han habido casos de enfermedades gastrointestinales (amebiasis, giardiasis, lombrices, etc.) o infecciones en la piel?

Sí	<input type="checkbox"/>
No	<input type="checkbox"/>

a. Si la respuesta es SI, ¿cuántos? _____

17) ¿El diagnóstico de la enfermedad se lo ha determinado un médico, en algún centro de salud u hospital?

Sí	<input type="checkbox"/>
No	<input type="checkbox"/>

1.

18) ¿Quién / es y cuantos, han sufrido con mayor frecuencia enfermedades gastrointestinales o de la piel?

Lactantes (0 – 1)	<input type="checkbox"/>
Infantes (2 – 5)	<input type="checkbox"/>
Niños (6 – 12)	<input type="checkbox"/>
Adolescentes	<input type="checkbox"/>

(13 – 19)	
Adultos (20 – 55)	
Tercera edad (55 y más)	

19) ¿Cuántas veces al año han sufrido de enfermedades gastrointestinales o de la piel?

1	
1 – 2	
Mas de 2	

20) ¿Cómo considera usted la relaciones en su comunidad?

Excelente	
Buenas	
Regular	
Malas	

Explique _____

21) ¿Esta su comunidad organizada?

Sí	
No	

22) ¿Estaría dispuesto a contribuir en la mejora de su comunidad?

Sí	
No	

23) ¿Sabe usted que es un plaguicida?

Sí	
----	--

No	<input type="checkbox"/>
----	--------------------------

a. De ser Sí su respuesta:

24) ¿Utiliza usted plaguicidas?

Sí	<input type="checkbox"/>
No	<input type="checkbox"/>

a. De ser Sí su respuesta, ¿Cuál es el nombre del plaguicida que utiliza? :

25) ¿sabe usted la existencia de cultivos en su comunidad?

Sí	<input type="checkbox"/>
No	<input type="checkbox"/>

a. De ser Sí su respuesta:

26) ¿Conoce usted qué tipo de cultivos hay?

Arroz	<input type="checkbox"/>	Habichuelas	<input type="checkbox"/>
Maíz	<input type="checkbox"/>	Chayote	<input type="checkbox"/>
Fríjol	<input type="checkbox"/>	Zapallo	<input type="checkbox"/>
Tomates	<input type="checkbox"/>	Lechuga	<input type="checkbox"/>
Café	<input type="checkbox"/>	Repollo	<input type="checkbox"/>
Otoe	<input type="checkbox"/>	Pepino	<input type="checkbox"/>
Ñame	<input type="checkbox"/>	Caña de Azúcar	<input type="checkbox"/>
Yuca	<input type="checkbox"/>	Otros	<input type="checkbox"/>

27) En su familia han habido casos de enfermedades como:

Cáncer	<input type="checkbox"/>
Malformaciones	<input type="checkbox"/>
Discapacidades	<input type="checkbox"/>

físicas	
No han habido	

- a. Si eligió una de las enfermedades; diga cuantos son los que han padecido _____.

2.

28) El doctor le ha diagnosticado que las enfermedades son por causas:

Hereditaria	
Otras causas	

- a. Si su respuesta es otras causas diga:

29) ¿Qué causas han sido mencionados por el doctor en su diagnóstico?

Mencione:

.....Gracias por su atención.....