

Estudio Fenológico de la Comunidad de Ephemeroptera como Indicador de
Calidad de Agua en la Subcuenca del Río Albarregas

Por

Melvys Jacqueline Vega Quintero

Tesis para optar al Grado de Magister Scientiae en Gestión de Recursos
Naturales Renovables y Medio Ambiente.

(Con Énfasis en Estudios de Impacto Ambiental)

Centro Interamericano de Desarrollo e Investigaciones Ambiental y Territorial
Universidad de los Andes
Mérida, Venezuela
1998

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a las siguientes personas e instituciones :

Al Profesor Pedro Durant quien hizo posible la realización de este trabajo, por su apoyo y dedicación en la conducción de esta tesis

Al Ing. Miguel Cabeza por su valioso asesoramiento

Al Profesor Guillermo Bianchi por su aporte y gran disposición

A la Lic. Elida Arellano por su apoyo y afecto permanente

A la Profesora Amelia Díaz de Pascual por su continua colaboración

Al personal del Grupo de Ecología Animal, en especial al personal del Laboratorio # 6 , por la amistad solidaria e incondicional brindada.

A la familia Rivas-González por su apoyo y amistad

Al Banco Interamericano de Desarrollo (BID) por el otorgamiento de la beca para el estudio en la Maestría

Al personal del Centro Interamericano de Desarrollo Ambiental y Territorial (CIDIAT).



INDICE

| | Pág. |
|--|-------------|
| AGRADECIMIENTO | iii |
| LISTA DE TABLAS | ix |
| LISTA DE FIGURAS | xi |
| RESUMEN | xv |
| Capítulo | |
| I INTRODUCCIÓN | 1 |
| Justificación..... | 1 |
| Hipótesis..... | 2 |
| Objetivos..... | 2 |
| General..... | 2 |
| Específicos..... | 2 |
| II REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA | 5 |
| Comunidades de invertebrados y el ambiente acuático..... | 5 |
| Indicadores biológicos..... | 5 |
| La mesofauna béntica. Definiciones..... | 6 |
| Principios y conceptos relativos a nivel de comunidad..... | 9 |
| Estimación y análisis de la comunidad..... | 10 |
| Estructura..... | 11 |
| La diversidad biológica..... | 11 |
| La abundancia..... | 13 |
| Fluctuaciones de poblaciones..... | 14 |
| Distribución..... | 14 |
| Significado e importancia del Grupo Ephemeroptera..... | 16 |
| Generalidades sobre el Orden Ephemeroptera..... | 16 |
| Caracteres generales..... | 17 |
| Biología..... | 21 |
| Reproducción..... | 21 |
| Metamorfosis..... | 22 |
| Ecología..... | 22 |
| Distribución..... | 23 |
| Clasificación..... | 23 |
| III ÁREA DE ESTUDIO | 27 |
| Ubicación..... | 27 |
| Red hidrográfica..... | 27 |
| Características ambientales..... | 29 |
| Zonas de vida..... | 29 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| | Clima | 31 |
| | Geología..... | 31 |
| | Relieve..... | 34 |
| | Geomorfología..... | 35 |
| | Suelos..... | 35 |
| | El problema de la contaminación | 37 |
| | Marco legal e institucional..... | 39 |
| | El Proyecto S1 - 2253 | 40 |
| IV | METODOLOGÍA | 43 |
| | Revisión bibliográfica | 43 |
| | Visita al área de estudio..... | 43 |
| | Entrevistas personales..... | 45 |
| | Trabajo de laboratorio..... | 45 |
| | Determinación de la composición taxonómica..... | 45 |
| | Cuantificación | 46 |
| | Caracterización taxonómica..... | 46 |
| | Procesamiento de datos..... | 46 |
| | Estimación de la abundancia | 47 |
| | Determinación de la variación espacial de la abundancia..... | 48 |
| | Determinación de la fluctuación temporal de la abundancia | 48 |
| | Estimación de la similaridad..... | 49 |
| | Aplicación del análisis de varianza..... | 50 |
| | Aplicación del análisis de correlación..... | 51 |
| | Comparación de la abundancia del Grupo Ephemeroptera con otros indicadores biológicos identificados en las estaciones de muestreo..... | 53 |
| V | RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 55 |
| | Composición taxonómica de los Ephemeropteros..... | 55 |
| | Cuantificación..... | 56 |
| | Caracterización taxonómica..... | 60 |
| | Abundancia de los Ephemeropteros..... | 66 |
| | Río Albarregas | 66 |
| | Río La Pedregosa | 69 |
| | Discusión..... | 76 |
| | Variación espacial de la abundancia de los Ephemeropteros | 76 |
| | Río Albarregas..... | 76 |
| | Río La Pedregosa..... | 78 |
| | Discusión | 78 |
| | Fluctuación temporal de la abundancia de los Ephemeropteros | 81 |
| | Río Albarregas..... | 81 |
| | Río La Pedregosa..... | 91 |
| | Discusión | 102 |

| | |
|---|------------|
| Similaridad..... | 102 |
| Discusión..... | 104 |
| Análisis de varianza..... | 105 |
| Río Albarregas..... | 105 |
| Río La Pedregosa..... | 106 |
| Análisis de correlación..... | 106 |
| Discusión..... | 106 |
| Abundancia del Grupo Ephemeroptera y otros indicadores biológicos identificados en las estaciones de muestreo del río Albarregas | 108 |
| VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 115 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 117 |
| APÉNDICES | |
| 1. Resumen climatológico. Subcuenca Albarregas. Año - 1993 | 123 |
| 2. Registros de parámetros físico-químicos en la subcuenca del río Albarregas. Proyecto S1 - 2253 C.O.N.I.C.I.T. Mérida - Año 1993 ... | 127 |
| 2.1. Río Albarregas | 129 |
| 2.2. Río La Pedregosa | 132 |

LISTA DE TABLAS

| Tabla | Pag. |
|---|-------------|
| 1 Principales grupos de macroinvertebrados béticos presentes en aguas dulces..... | 7 |
| 2 Calidad de agua Clasificación de Staub..... | 13 |
| 3 Columna estratigráfica de la subcuenca del río Albarregas..... | 33 |
| 4 Caracterización de la pendiente y relieve de la subcuenca del río Albarregas..... | 34 |
| 5 Caracterización geomorfológica de la subcuenca del río Albarregas..... | 36 |
| 6 Tipos de suelos de la subcuenca del río Albarregas..... | 37 |
| 7 Lista taxonómica de los Ephemeropteros colectados en la subcuenca del río Albarregas. Mérida - Año 1993..... | 55 |
| 8 Cuantificación de los Ephemeropteros colectados en el río Albarregas y La Pedregosa. Mérida - Año 1993..... | 58 |
| 9 Caracterización taxonómica del Grupo Ephemeroptera..... | 60 |
| 10 Abundancia relativa de Familias y de Géneros por Familia del Orden Ephemeroptera colectados en el río Albarregas. Mérida - Año 1993..... | 67 |
| 11 Abundancia relativa mensual de Géneros de Ephemeroptera colectados en el río Albarregas. Mérida - Año 1993..... | 70 |
| 12 Abundancia relativa de Familias y de Géneros por Familia del Orden Ephemeroptera colectados en el río La Pedregosa. Mérida - Año 1993..... | 72 |
| 13 Abundancia relativa mensual de Géneros de Ephemeroptera colectados en el río La Pedregosa. Mérida - Año 1993..... | 74 |
| 14 Abundancia relativa de Géneros de Ephemeroptera colectados por sitio de muestreo en el río Albarregas. Mérida - Año 1993..... | 77 |
| 15 Abundancia relativa de Géneros de Ephemeroptera colectados por sitio de muestreo en el río La Pedregosa. Mérida - Año 1993..... | 79 |
| 16 Abundancia relativa de <i>Baetis sp</i> por estación de muestreo en el río Albarregas. Mérida - Año 1993..... | 82 |
| 17 Abundancia relativa de <i>Baetodes sp</i> por estación de muestreo en el río Albarregas. Mérida - Año 1993..... | 84 |
| 18 Abundancia relativa de <i>Dactylobaetis sp</i> por estación de muestreo en el río Albarregas. Mérida - Año 1993..... | 86 |

| | | |
|----|---|-----|
| 19 | Abundancia relativa de <i>Thraulodes sp</i> por estación de muestreo en el río Albarregas. Mérida - Año 1993..... | 87 |
| 20 | Abundancia relativa de <i>Terpides sp</i> por estación de muestreo en el río Albarregas Mérida - Año 1993 | 89 |
| 21 | Abundancia relativa de <i>Leptohyphes sp</i> por estación de muestreo en el río Albarregas Mérida - Año 1993 | 91 |
| 22 | Abundancia relativa de <i>Baetis sp</i> por estación de muestreo en el río La Pedregosa. Mérida - Año 1993 | 93 |
| 23 | Abundancia relativa de <i>Baetodes sp</i> por estación de muestreo en el río La Pedregosa. Mérida - Año 1993 | 94 |
| 24 | Abundancia relativa de <i>Dactylobaetis sp</i> por estación de muestreo en el río La Pedregosa Mérida - Año 1993 | 96 |
| 25 | Abundancia relativa de <i>Thraulodes sp</i> por estación de muestreo en el río La Pedregosa Mérida - Año 1993 | 97 |
| 26 | Abundancia relativa de <i>Terpides sp</i> por estación de muestreo en el río La Pedregosa Mérida - Año 1993 | 99 |
| 27 | Abundancia relativa de <i>Leptohyphes sp</i> por estación de muestreo en el río La Pedregosa. Mérida - Año 1993 | 100 |
| 28 | Abundancia relativa de <i>Tricorythodes sp</i> por estación de muestreo en el río La Pedregosa. Mérida - Año 1993 | 101 |
| 29 | Índices de similaridad (Sorensen y Jaccard) de los sitios de muestreo en el río Albarregas y La Pedregosa | 103 |
| 30 | Abundancia relativa e índices de diversidad de indicadores biológicos registrados en el río Albarregas... | 109 |

LISTA DE FIGURAS

| Figura | Pag. |
|---|------|
| 1 Grupos taxonómicos como indicadores de la calidad del agua y el porcentaje de distribución en las literaturas consultadas | 6 |
| 2 Tipos de distribución que caracterizan a una población | 15 |
| 3 Ninfa de Ephemeroptera (vista dorsal) | 18 |
| 4 Apéndices bucales de Ephemeroptera (vista ventral) | 19 |
| 5 Ephemeroptera adulto (vista lateral) | 20 |
| 6 Ubicación relativa del área de estudio. Subcuenca del río Albarregas | 28 |
| 7 Superficie relativa de las zonas de vida que componen la subcuenca del río Albarregas | 31 |
| 8 Climadiagrama de la Estación Experimental "Santa Rosa" | 32 |
| 9 Ubicación de los sitios de colecta en el río Albarregas y el río La Pedregosa | 41 |
| 10 Flujograma de la metodología aplicada | 44 |
| 11 Esquema del Sistema de Cloacas de Mérida | 57 |
| 12 Morfología de <i>Baetis sp.</i> | 62 |
| 13 Morfología de <i>Baetodes sp.</i> | 62 |
| 14 Morfología de <i>Dactylobaetis sp.</i> | 63 |
| 15 Morfología de <i>Thraulodes sp.</i> | 63 |
| 16 Morfología de <i>Terpides sp.</i> | 64 |
| 17 Morfología de <i>Leptohyphes sp.</i> | 64 |
| 18 Morfología de <i>Tricorythodes sp.</i> | 65 |
| 19 Representatividad de la abundancia relativa de Familias de Ephemeroptera colectados en el río Albarregas | 67 |
| 20 Representatividad de la abundancia relativa de Géneros de la Familia Baetidae (Ephemeroptera) colectados en el río Albarregas | 68 |
| 21 Representatividad de la abundancia relativa de Géneros de la Familia Tricorythidae (Ephemeroptera) colectados en el río Albarregas | 68 |

| | |
|---|-----|
| 22 Representatividad de la abundancia relativa de Géneros de la Familia Leptophlebiidae (Ephemeroptera) colectados en el río Albarregas | 68 |
| 23 Representatividad de la abundancia relativa de Géneros de Ephemeroptera colectados en el río Albarregas | 71 |
| 24 Representatividad de la abundancia relativa de Familias de Ephemeroptera colectados en el río La Pedregosa | 72 |
| 25 Representatividad de la abundancia relativa de Géneros de la Familia Baetidae (Ephemeroptera) colectados en el río La Pedregosa | 73 |
| 26 Representatividad de la abundancia relativa de Géneros de la Familia Tricorythidae (Ephemeroptera) colectados en el río La Pedregosa | 73 |
| 27 Representatividad de la abundancia relativa de Géneros de la Familia Leptophlebiidae (Ephemeroptera) colectados en el río La Pedregosa | 73 |
| 28 Representatividad de la abundancia relativa de Géneros de Ephemeroptera colectados en el río La Pedregosa | 75 |
| 29 Variación espacial de la abundancia relativa de Géneros de Ephemeroptera colectados en el río Albarregas | 77 |
| 30 Variación espacial de la abundancia relativa de Géneros de Ephemeroptera colectados en el río La Pedregosa | 79 |
| 31 Fluctuaciones de <i>Baetis sp.</i> en las estaciones de muestreo del río Albarregas | 82 |
| 32 Fluctuaciones de <i>Baetodes sp.</i> en las estaciones de muestreo del río Albarregas | 84 |
| 33 Fluctuaciones de <i>Dactylobaetis sp.</i> en las estaciones de muestreo del río Albarregas | 86 |
| 34 Fluctuaciones de <i>Thraulodes sp.</i> en las estaciones de muestreo del río Albarregas | 87 |
| 35 Fluctuaciones de <i>Terpides sp.</i> en las estaciones de muestreo del río Albarregas | 89 |
| 36 Fluctuaciones de <i>Leptohyphes sp.</i> en las estaciones de muestreo del río Albarregas | 91 |
| 37 Fluctuaciones de <i>Baetis sp.</i> en las estaciones de muestreo del río La Pedregosa | 93 |
| 38 Fluctuaciones de <i>Baetodes sp.</i> en las estaciones de muestreo del río La Pedregosa | 94 |
| 39 Fluctuaciones de <i>Dactylobaetis sp.</i> en las estaciones de muestreo del río La Pedregosa | 96 |
| 40 Fluctuaciones de <i>Thraulodes sp.</i> en las estaciones de muestreo del río La Pedregosa | 97 |
| 41 Fluctuaciones de <i>Terpides sp.</i> en las estaciones de muestreo del río La Pedregosa | 99 |
| 42 Fluctuaciones de <i>Leptohyphes sp.</i> en las estaciones de muestreo del río La Pedregosa | 100 |

| | | |
|----|--|-----|
| 43 | Fluctuaciones de <i>Tricorythodes sp.</i> en las estaciones de muestreo del río La Pedregosa | 101 |
| 44 | Comparación del grupo más relevante de Ephemeroptera con otros indicadores biológicos y los índices de diversidad registrados en las estaciones de muestreo del río Albarregas ... | 110 |
| 45 | Comportamiento de la abundancia de Ephemeroptera y otros indicadores biológicos de acuerdo con los factores físico-químicos con los que más interactúan | 112 |

RESUMEN

El presente trabajo consistió en el estudio fenológico del grupo Ephemeroptera como indicador de la calidad del agua en la subcuenca del río Albarregas. Para la realización de este trabajo se elaboró una metodología que consistió en el desarrollo de seis actividades: revisión bibliográfica, visita al área de estudio, entrevistas personales, trabajo de laboratorio (determinación de la composición taxonómica, cuantificación y caracterización taxonómica), procesamiento de datos (estimación de la abundancia, determinación de la variación espacial y fluctuación temporal de la abundancia, estimación de la similitud, aplicación de análisis de varianza y de correlación) e interpretación de los resultados.

La ejecución de las tres primeras actividades permitió obtener un conocimiento integral sobre el tema de estudio y sobre el proyecto S1-2253 "Calidad de agua del río Albarregas", del cual se obtuvo parte de los datos requeridos en este estudio (registros físico-químicos) y las colectas de la mesofauna béntica. De la realización de las siguientes actividades se generó los datos faltantes.

De acuerdo con esta metodología se obtuvieron los resultados de composición, cuantificación, caracterización taxonomía y abundancia de los Ephemeropteros que caracterizan la subcuenca del río Albarregas. Además, la variación temporal y espacial de la abundancia del grupo Ephemeroptera, las similitudes y las relaciones de los grupos Ephemeropteros con los factores físico-químicos registrados en el ambiente dulceacuicola.

Con el análisis e interpretación de estos resultados se logró definir las respuestas de los Ephemeropteros estudiados *in situ* como indicadores de la calidad del agua frente a posibles impactos ecológicos negativos en el área de estudio y, posteriormente, se dedujeron las conclusiones del respectivo estudio.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

Justificación

La subcuenca del río Albarregas, ubicada en el Municipio Libertador, Estado Mérida, forma parte de la gran cuenca del río Chama y además es una de las principales fuentes abastecedoras de agua potable para el área metropolitana de Mérida. Esta subcuenca presenta graves problemas de deterioro ecológico, principalmente de los cuerpos de agua que conforman la red hidrográfica y cuyo problema representa un riesgo de contaminación para el río Chama, que como se conoce desemboca en el sur del Lago de Maracaibo.

El río Albarregas es el principal de la red hidrográfica y en su trayectoria por la ciudad de Mérida recibe los desechos líquidos y sólidos de todas las actividades que el género humano realiza en el área. La condición que ha adquirido como colector de aguas negras es alarmante si se toma en cuenta el daño ecológico irreversible que la contaminación puede causar y los riesgos a las enfermedades epidemiológicas.

Los estudios sobre la calidad del agua realizados hasta la fecha en el río Albarregas demuestran el poco interés sobre los impactos ecológicos en los cuerpos de agua, aspecto que es muy importante en la evaluación de la calidad del agua porque muestra el efecto de la contaminación. Estos impactos pueden detectarse a través de un estudio de la composición y estructura de la mesofauna béntica en el cuerpo de agua. De allí la importancia de esta comunidad como indicador de la calidad del agua.

Cabe destacar que esta situación no sólo es característica en las investigaciones realizadas en la subcuenca del río Albarregas y otras de la región andina, sino también en toda Venezuela, ya que son escasos los reportes de la literatura sobre las bioevaluaciones donde se utiliza la mesofauna béntica como indicador de la calidad del agua. Se observa pues la poca actualización y avance sobre este sistema de evaluación en el país.

Actualmente la prueba mencionada es la más desarrollada en otras regiones, especialmente en las zonas templadas donde los estudios comenzaron a realizarse a partir de la década de los 30 y hoy día la literatura disponible es extensa. En tales referencias se muestra como la mesofauna béntica se usa para evaluar en forma independiente la calidad del agua o para reforzar las evaluaciones basadas en parámetros físico-químicos y microbiológicos.

Los grupos que componen la amplia comunidad dulceacuícola son diversos y cada grupo responde a una situación en particular en el medio acuático. Uno de estos grupos es el Orden Ephemeroptera, considerado como un excelente indicador de la calidad ambiental de los sistemas dulceacuícolas debido a su sensibilidad y a las variaciones estacionales y espaciales que presentan en cuanto a su abundancia y diversidad.

los sistemas dulceacuícolas debido a su sensibilidad y a las variaciones estacionales y espaciales que presentan en cuanto a su abundancia y diversidad.

A través de este trabajo se pretende evaluar la calidad del agua de la subcuenca del río Albarregas desde el punto de vista biológico, es decir, se analiza el grado de deterioro de los cuerpos de agua a través de la fenología de la abundancia, diversidad y similitud que caracterizan al Orden Ephemeroptera y se derivan algunas sugerencias para mejorar las condiciones ecológicas que presentan los cuerpos de agua. Como se sabe, el número de individuos que presenta un grupo (abundancia), la riqueza de especies (diversidad), la distribución y el grado de asociación entre sitios desde el punto de vista de su composición mesofaunística, pueden variar de acuerdo con las condiciones del medio, ya que los organismos presentan rangos de tolerancia.

La importancia de este trabajo radica en la extensión de aplicación a otras áreas con problemas de contaminación.

El estudio que proporciona las bases para el presente trabajo (Proyecto S1-2253; "Calidad de agua del río Albarregas"), comprende un conjunto de datos como resultado de un programa de muestreo mensual de variables físico-químicas y las colectas de la mesofauna o macroinvertebrados bénticos en el año 1993 y cuya información es ampliada en el capítulo III.

De acuerdo con las consideraciones anteriormente mencionadas y la necesidad de llevar a cabo el presente trabajo, se ha formulado la siguiente hipótesis y se han propuesto los siguientes objetivos :

Hipótesis

Varios sectores de la subcuenca del río Albarregas (Parte alta, media y baja) se encuentran intervenidos por las diferentes actividades humanas (agrícola, pecuaria, industrial, asentamiento urbano), en consecuencia, la composición y estructura de la mesofauna béntica, entre ésta el grupo Ephemeroptera, varía de una estación a otra dependiendo de la calidad de agua.

Objetivos

General

Estudiar la fenología del Orden Ephemeroptera como indicador de la calidad del agua en la Subcuenca del río Albarregas.

Específicos

- Identificar y caracterizar los especímenes del Orden Ephemeroptera colectados en las estaciones de muestreo del río Albarregas y La Pedregosa.
- Estimar la abundancia y similitud de los Ephemeropteros.

- Determinar las fluctuaciones temporales y espaciales de la abundancia de los grupos Ephemeropteros y de los parámetros físico-químicos registrados en el ambiente acuático.
- Establecer las posibles relaciones entre la abundancia de los Ephemeropteros y los parámetros físico-químicos registrados en el ambiente acuático.
- Comparar la abundancia del grupo Ephemeroptera con la abundancia de otros indicadores biológicos y la diversidad registrada en las estaciones de muestreo del río Albarregas.



CAPITULO II

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

A continuación se presenta una breve reseña de los temas que han sido consultados para la definición y elaboración de este trabajo tales como: conceptos, significado e importancia de las comunidades de la mesofauna béntica como indicadores biológicos, en especial del Orden Ephemeroptera, aspectos sobre la biología, ecología y taxonomía a nivel de Familias del Orden Ephemeroptera, aspectos relacionados con la estructura, diversidad, abundancia y distribución de las comunidades, fluctuaciones de las poblaciones y su relación con el ambiente acuático; así como temas relacionados con el análisis estadístico de poblaciones.

Comunidades de invertebrados y el ambiente acuático

Las comunidades de invertebrados que viven en un ambiente acuático son muy variadas. Ellas mantienen constante interacción con el medio donde se encuentran, de manera que las condiciones del hábitat marcan algunas de las pautas en sus comportamientos y adaptaciones. Algunos de los organismos que conforman las comunidades pueden adaptarse y vivir en un ambiente desfavorable, mientras que otros no son capaces de adaptarse. El organismo que expresa esa cualidad de adaptación favorable, de acuerdo con su capacidad de tolerancia a los factores del medio, es conocido como un indicador biológico.

Indicadores biológicos

Un indicador biológico es un organismo, en particular, que vive en un hábitat y que se caracteriza por tolerar ciertos rangos de parámetros biofísico - químicos del medio, dada su condición morfológica y ecológica para la adaptabilidad (Mellanby, 1986).

La presencia o ausencia de un indicador se usa para determinar el grado de contaminación de un cuerpo de agua ; al igual que la expresión de su diversidad. Algunos indicadores pueden continuar existiendo en ambientes contaminados, pero sufren stress fisiológico, por lo que los cambios en la tasa de crecimiento, capacidad reproductiva y/o comportamiento, denotan cambios en el medio donde se desenvuelven (Mellanby, op. cit.).

Hellawell, 1977 b, citado por Mellanby (1986), revisa la extensa literatura sobre los indicadores biológicos para evaluar la calidad del agua; presenta los grupos taxonómicos usados como indicadores biológicos y el porcentaje de distribución en la literatura citada (Figura 1).

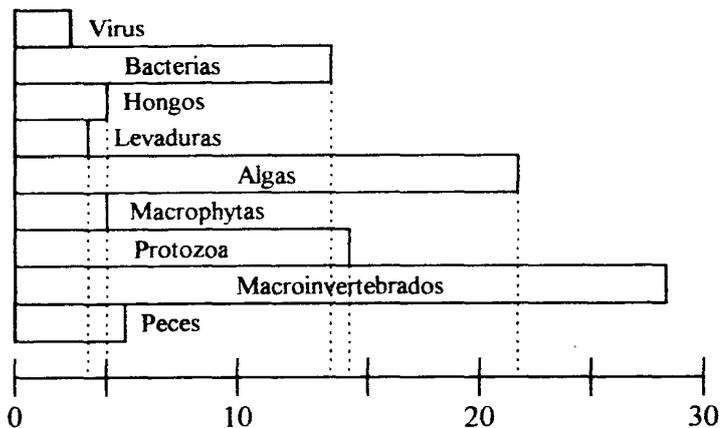


Figura 1. Grupos taxonómicos como indicadores de la calidad de agua y el porcentaje de distribución en las literaturas consultadas.

Fuente: Hellawell (1977 b), citado por Mellanby (1986).

Según Friedrich *et al.* (1992) estos grupos son reconocidos como indicadores de la calidad del agua por las siguientes razones:

1. **Virus y bacterias:** Responden a los cambios producidos en un cuerpo de agua por la presencia de materia fecal y de desechos de industria láctea, etc; por lo que se reconocen como indicadores de contaminación fecal e industrial.
2. **Hongos y levaduras:** Responden a la presencia de materia orgánica en un ambiente acuático. Son reconocidos como indicadores de materia orgánica.
3. **Algas:** Responden a la presencia de fósforo, nitrógeno y al incremento de turbidez, por lo que son considerados como indicadores de eutroficación de un ecosistema acuático.
4. **Macrophytas:** Son organismos vegetales reconocidos como indicadores de sólidos y nutrientes, ya que responden al enriquecimiento de estos agentes en un cuerpo de agua.
5. **Protozoa:** Estos organismos se consideran indicadores de contaminación orgánica, ya que responden a la presencia de este agente en el agua.
6. **Macroinvertebrados:** Muestran los efectos integrados de contaminación a lo largo del tiempo. Se les consideran indicadores de aguas limpias o contaminadas, ya que responden a la presencia de materia orgánica y nutrientes en el ambiente acuático.
7. **Peces:** Se reconocen como indicadores de aguas limpias o contaminadas, ya que responden a los cambios en el agua por la presencia de materia orgánica o de sustancias tóxicas.

Los grupos de algas y macroinvertebrados son los grupos más utilizados dada su variedad representativa en los ecosistemas acuáticos y la versatilidad para su identificación, dominando el uso de los macroinvertebrados o mesofauna béntica como indicadores de la calidad de agua (Hellawell, 1977 b, citado por Mellanby, 1986).

Mesofauna béntica. Definiciones

Según Roldán (1988), la mesofauna béntica se define como el conjunto de organismos adherido al sustrato de sedimentos, escombros, troncos, macrofitas y filamentos de algas, que

se pueden ver a simple vista, es decir, todos aquellos organismos que tienen tamaños superiores a 0,5 mm. Generalmente los individuos que componen esta comunidad son organismos invertebrados que habitan los ambientes lóticos y lénticos, por lo que caracterizan biológicamente a los cuerpos de agua.

Los organismos que constituyen las comunidades mesofaunísticas son variadas y propias de cada hábitat, ya que poseen características fisioecológicas que le permiten adaptarse a las condiciones naturales que refleja el ambiente (Roldán, 1988). La Tabla 1 señala los principales grupos de macroinvertebrados que se pueden encontrar en el béntos considerados como indicadores biológicos. Cabe destacar que muchos de ellos viven en forma permanente en el hábitat y otros en forma temporal en alguna etapa del ciclo de vida.

Tabla 1. Principales grupos de macroinvertebrados bénticos presentes en aguas dulces.

| Phyllum | Clase | Orden |
|--------------------------|------------------------------|--|
| Coelenterata | Hydrozoa | Hidroida |
| Platyhelminthes | Turbellaria | Tricladida |
| Aschelminthes | Nematomorpha | Gordioidea |
| Oligochaeta Hirudinea | | Haplotaxida Glossiphoniiformes Hirudiniformes |
| Arthropoda | Arachnoidea (Hidracarina) | Acari |
| | Insecta | Coleoptera Diptera Ephemeroptera Hemiptera Lepidoptera Neuroptera Odonata Plecoptera Trichoptera |
| Mollusca | Gastropoda | Mesogastropoda Basomatophora |
| | Bivalvia (Pelecypoda) | Unionoida Veneroida |

Fuente : Roldán, (1988).

Las funciones que cumplen los macroinvertebrados en los ecosistemas acuáticos son diversas, entre las más importantes se pueden señalar: la reducción y transformación de compuestos carbonados derivados de la materia orgánica, la fijación de carbono por elaboración de elementos carbonados como aminoácidos y proteínas en sus tejidos y la producción de dióxido de carbono durante el proceso respiratorio (Godoy, 1988).

Los macroinvertebrados bénticos viven en su ambiente natural. Sin embargo, ellos pueden ser afectados por los cambios producidos en la calidad de agua. Algunos son capaces de tolerar altas concentraciones de cargas contaminantes, por lo que pueden vivir en ambientes contaminados; mientras que otros organismos desaparecen (Friedrich *et al.* 1992).

La contaminación opera en los cambios de la calidad del agua, modifica la estructura de las comunidades, es decir, promueve el aumento o disminución de la abundancia y riqueza de las especies; de allí que el impacto sobre la estructura, composición y diversidad que expresan las comunidades mesofaunísticas asociadas al medio béntico, han sido ampliamente estudiadas en las zonas templadas, ya que juegan un papel importante en la evaluación del grado de contaminación de los cuerpos de agua. Igualmente, se han estudiado aspectos ecológicos, fisiológicos y adaptaciones morfológicas frente a los efectos producidos por la contaminación del agua (Friedrich *et al.* 1992).

Hynes (1957) demostró la importancia del uso de los invertebrados como indicadores de contaminación de los ríos, al determinar la sensibilidad de nueve grupos de invertebrados de acuerdo con diferentes tipos de contaminación. Wilhm y Dorris (1968) indagaron sobre los indicadores biológicos de contaminación y Wilhm (1975) investigó algunos parámetros biológicos que determinan la calidad del agua. Igualmente, Pearce (1971) con su estudio sobre la exposición de los polichaetas tubícolas en las aguas cloacales, demostró la importancia del uso de indicadores de desechos tóxicos. Cummins (1975) realizó una caracterización ecológica de los macroinvertebrados en algunos ríos de la zona templada, en tanto que, Webster (1983) resaltó la importancia de los macroinvertebrados bénticos en la dinámica de detritos.

Investigaciones como las de Cummins (1962), Hynes (1971), Clare y Edwards (1983), Jenkins y Wade (1984), Pridmore y Roper (1985) ; prestaron especial atención a los aspectos ecológicos de los macroinvertebrados en los ríos e hicieron comparaciones entre los organismos.

En Venezuela, las investigaciones sobre la estructura y composición de los macroinvertebrados bénticos han sido realizadas por Solabarrieta y Weibezahn (1980), Rincón (1985), Péfaur (1986), Delgado (1987), Godoy (1988) y Durant (1996).

Dentro de los grupos que conforman los macroinvertebrados como indicadores biológicos, los insectos ocupan un lugar importante en la investigación a nivel mundial ; quizás porque la Clase Insecta es un grupo muy diversificado en sus hábitats, presentan modificaciones extremas en sus estructuras, fisiología y comportamiento. Las cualidades particulares que presentan, les han permitido invadir casi todos los medios terrestres habitables ; algunos viven en el agua dulce, normalmente durante la etapa larvaria, y otros viven en aguas salobres durante toda la vida, o al menos, en las primeras etapas de su vida (Marshall y Williams, 1980).

Entre los grupos de insectos más importantes como indicadores de la calidad del agua, se señala el Orden Ephemeroptera. Según Freuling (1964), constituyen el grupo de mayor

sensibilidad a los cambios producidos en el agua por la contaminación. Por lo tanto, todo un sistema de comportamientos y hábitos alimenticios es modificado en estos organismos. Muchos investigadores han demostrado gran interés por el estudio de estos grupos, fenómeno que se refleja en los trabajos realizados recientemente.

Brittain (1990) investigó sobre la evolución de los Ephemeropteros y Plecopteros, e hizo una comparación entre los dos taxa, basándose en estudios sobre el D.N.A. y fisioecológicos; mientras que Wenzel *et al.* (1990) realizaron estudios sobre la morfometría y la biomasa de las larvas dominantes de los ephemeropteros del bentos. Lugo - Ortiz y Mc. Cafferty (1995) dedicaron esfuerzos a la taxonomía de la familia Leptohyphidae de América Central y Waringer (1996) estudió la fenología y abundancia de los grupos Ephemeropteros, Plecopteros y Trichopteros en el río Weidlingbach de Viena, Austria.

Estudios sobre la filogenia, morfología, revisiones taxonómicas, sistemática y diversidad de los ephemeropteros, han sido realizadas en el neotrópico por Traver y Edmunds (1967), Edmunds *et al.* (1976), Allen y Cohen (1977), Edmunds (1982), Mc. Cafferty (1984), Roldán (1985), Wolda y Flowers (1985) y Flowers (1987 a).

Para el caso específico de Venezuela, los estudios referentes al grupo Ephemeroptera son muy escasos y los intentos han sido pocos, dado el poco interés que se le ha asignado al grupo.

Principios y conceptos relativos a nivel de la comunidad

El concepto de comunidad es uno de los principios más importantes de la teoría y la práctica ecológica, ya que destaca el hecho de que diversos organismos viven normalmente asociados y no independientes. Según Odum (1972), la comunidad es un conjunto de poblaciones que viven en un hábitat físico determinado, en forma organizada y funciona como una unidad mediante transformaciones metabólicas acopladas; es decir, la comunidad se compone de una unidad funcional precisa y organizada llamada población, con estructura de composición taxonómica definida, trófica y tipos de corriente de energía característica.

Una modificación adversa o favorable a la estructura de la comunidad, conlleva a controlar una población en particular. Los organismos o las poblaciones constituyen un excelente potencial para el monitoreo ambiental; por lo que muchos factores asociados a los mismo pueden ser usados en las evaluaciones de la calidad ambiental (Margalef, 1974).

El conjunto de atributos tradicionales que caracterizan a una comunidad revisten significado a nivel de integración comunitaria, ya que estos atributos son susceptibles de estudio en las comunidades que están en equilibrio o las que se encuentran en constante cambio. Entre estos atributos que caracterizan la comunidad se señalan: la diversidad de especies, la abundancia relativa, la estructura y el predominio. Los cambios en los atributos mencionados pueden ser espaciales o temporales, de acuerdo con la influencia de los gradientes ambientales asociados a la comunidad, por ejemplo: la forma en que la abundancia de un organismo resulta alterada a lo largo de un gradiente de humedad o temperatura.

El predominio se refiere a los organismos dominantes en una comunidad de acuerdo con la abundancia numérica o de biomasa, en particular. El grado de dominancia de algunos organismos en una comunidad suele estar vinculado con la posición de la comunidad en un gradiente físico o químico y guarda relación inversamente proporcional con la diversidad de especies (Krebs, 1995).

La abundancia, diversidad y distribución de las especies en el ecosistema acuático dependen de la influencia de los diversos factores que operan en el medio como: temperatura, oxígeno, pH, salinidad, luz, corrientes de agua y otros. Cuando estos factores son alterados, desencadenan una serie de efectos en los organismos, porque ellos responden a ciertos límites de tolerancia a las situaciones existentes en la naturaleza, de manera que existe estrecha relación entre las especies y los factores físico-químicos. Por ejemplo: la temperatura máxima de supervivencia para el pez gato (*Ameiurus nebulosus*) en el medio acuático es de 36 ° C y mínima de 29 ° C, fuera de esos rangos perece (Krebs, op. cit.).

Estimación y análisis de la comunidad

Los atributos que caracterizan la comunidad acuática como la diversidad y la abundancia relativa se estiman mediante la determinación de los taxa que componen la comunidad y el conteo de los organismos que contiene cada taxa (Krebs, op. cit.).

La forma en que se analiza una comunidad depende de los objetivos planteados en un estudio y del campo de investigación que se trate, por ejemplo: ecológico, genético, demográfico u otros.

En una investigación sobre la calidad de un ecosistema acuático, el análisis de una comunidad se fundamenta en las correlaciones de la diversidad y la abundancia de los organismos, respecto a los parámetros físico-químicos que varían en el medio, ya que la diversidad y la abundancia representan las características más relevantes de la comunidad que demuestran la condición del medio donde se desenvuelven los organismos (Krebs, op. cit.).

Según Odum (1972), el análisis de la comunidad en una región geográfica o en un área determinada, puede realizarse a través de dos métodos de estudio : el método de zonas, en el que se consideran, se clasifican y se relacionan comunidades separadas, en una especie de lista de control de tipos de comunidades ; y el método del análisis del gradiente, que implica la disposición de las poblaciones a lo largo de un gradiente o eje ambiental unidimensional o multidimensional, con la consideración de la comunidad basada en coeficientes de frecuencia, distribución, índices de diversidad, equidad, similitud, afinidad y asociación o en otras comparaciones estadísticas tales como : análisis de correlación simple o múltiple, análisis de varianza, análisis de regresión, comparación parcial o múltiple, etc.

Los índices de diversidad, equidad y similitud muestran el valor de la variedad, distribución, presencia o ausencia de los organismos en un sitio determinado; mientras que los estadísticos mencionados muestran la significancia de los grupos de organismos que más varían y donde se producen esas variaciones respecto a la espacialidad y temporalidad.

Además, indican el grado de correlación que existe entre las variables que se estudian.

Estructura

La relación ecológica que mantienen los ephemeropteros en un ecosistema acuático ha conducido al estudio de la estructura de su comunidad. La estructura de ésta la conforman la variedad de organismos pertenecientes a un taxa en particular (Dominguez *et al.* 1992 a). La variedad de organismos que caracteriza a una comunidad es una función del número de individuos y especies, y es estudiada a través de índices de estructuras como: índices de predominio y diversidad (Margalef, 1974).

Una comunidad puede sufrir modificaciones en cuanto a su estructura y en cuanto a su composición. Entre las posibles opciones de cambio se tiene: la primera, cuando una comunidad aumenta o disminuye la biomasa sin modificación de la proporción relativa de especies ; la segunda opción, cuando en la comunidad se modifica el tamaño de la biomasa y además se incrementa o disminuye la proporción relativa de especies ; y la tercera opción cuando aparecen nuevas especies en la comunidad o desaparecen algunas especies. Los cambios en la estructura y variación de la biomasa total pueden ser dinámicas o funcionales (Mellanby, 1986). El conocimiento sobre la estructura de una comunidad permite conocer cómo se desenvuelven los organismos en un ecosistema en particular, es decir el aspecto ecológico que opera en los mismos.

La diversidad biológica

Se refiere a la variedad de especies de una comunidad por la integración de varias poblaciones que coexisten en el espacio. El concepto incluye dos componentes importantes : **la riqueza de especies**, entiéndase como el total de especies en un número de individuos o en un área determinada, y **la uniformidad**, como la contribución proporcional de cada especie a la comunidad ya sea en números, biomasa o productividad (Segnini, 1995).

La diversidad de especies es la característica principal de los ecosistemas estables, ya que expresan la calidad del medio ambiente. Cuando la diversidad de especies es pobre en un determinado sitio, significa deterioro del medio donde se emplazan las especies, mientras que cuando la diversidad es rica, caracteriza a un medio favorable. La diversidad de especies aumentará conforme lo haga la estabilidad de los parámetros ambientales (temperatura, humedad, salinidad, oxígeno, dureza, pH y otros), ya que estos parámetros influyen en las adaptaciones y limitan la presencia de las especies en muchos sitios (Krebs, 1995) de manera que la diferencia en la diversidad de especies se usa para detectar los cambios en la calidad del agua en el tiempo, en un mismo sitio y también para comparar diferentes sitios (Friedrich *et al.* 1992). Significa entonces, que las variaciones relevantes que se producen en los parámetros físico-químicos son seguidos por los cambios significativos en la estructura de la biota, es decir en la diversidad, la cual disminuye cuando las condiciones del hábitat están limitadas por los efectos que producen las sustancias vertidas a los cuerpos de agua.

Las apreciaciones cualitativas y cuantitativas sobre las variaciones químicas, físicas y biológicas que se producen en los cuerpos de agua son indicadores de cambios asociados a las actividades antrópicas realizadas en o cerca de los cauces. Estos cambios pueden determinar la disminución de la diversidad de las comunidades, por dos causas que operan con distinta efectividad según los casos : por una parte se determina la reducción o extinción de una gran parte de las especies, excepto de las más resistentes, que son unas pocas y, por otro lado, los efectos fertilizantes simultáneos o subsiguientes favorecen a contadas especies capaces de una rápida multiplicación que en su hábitat pueden ser perjudiciales para otras biotas (Margalef, 1974). Tales cambios constituyen la base para las evaluaciones de la calidad del agua usando la biota como indicadores de la intensidad de la contaminación (Friedrich *et al.* 1992). Según Durant y Arellano (1995), esta evaluación se fundamenta en el hecho de que la distribución y abundancia de los organismos acuáticos cambian (aumentan o disminuyen) en respuesta a los cambios que se producen en el ambiente. De allí que la diversidad biológica es indicador de la calidad ambiental de las cuencas hidrográficas, de la cual forma parte el cauce o el cuerpo de agua que se estudia, y de la calidad del agua para el consumo humano.

La diversidad se mide en base a índices. Estos examinan la abundancia numérica de cada especie en una comunidad. Los más usados para evaluar la contaminación acuática están basados en índices de la comunidad, en índices de diversidad o en índices de similaridad. Un índice de diversidad intenta combinar los datos de abundancia de especies en una comunidad en un número simple. Un índice de similaridad es obtenido comparando dos muestras, una de las cuales es el control. Es también posible comparar el índice de un sitio particular con otro, que actuaría como control. De acuerdo con algunos autores los dos sitios comparados deben ser similares con respecto a sus aspectos físicos y químicos (Friedrich *et al.* 1992). Sin embargo, no siempre se cumple esta condición, pues depende de los objetivos particulares de la investigación que se haya planificado.

Segnini (1995) describe una extensa gama de índices para medir la biodiversidad, y la estimación de la misma se desarrolla a través de dos enfoques : uno que se ha denominado **paramétrico**, en el cual se presume que la distribución de las abundancias relativas sigue un determinado modelo de distribución teórica, pudiéndose utilizar los parámetros de estos modelos como índices de diversidad. Entre estos modelos se señalan como ejemplo: la serie geométrica, la serie logarítmica, la distribución lognormal y el modelo de la vara partida. El segundo enfoque, llamado **no paramétrico**, no presume ningún tipo de distribución teórica para las abundancias relativas de las especies, y son simples valores numéricos que intentan medir en forma separada o conjunta los componentes de la diversidad. Estas pueden evaluar dos variables: la riqueza de especies y la heterogeneidad. Por ejemplo: los índices de Margalef (R_1), Menhinick (R_2), Sanders(S), miden la riqueza de especies o la cantidad de especies en un determinado número de individuos; mientras que los índices de Simpson (λ), Shannon-Wiener (H'), los números de Hill (N_o), miden la heterogeneidad, es decir, la diversidad en función de la riqueza y la abundancia relativa de las especies.

Staub *et al.* (1970) a través de los resultados de un estudio de los efectos de las cargas industriales sobre el planckton, elaboró una escala de rangos para determinar el grado de contaminación del agua de acuerdo con el índice de diversidad. Esta tabla se utiliza de la

siguiente forma: los índices de diversidad calculados para un área en particular se comparan con los rangos que la tabla presenta y se determina el grado de contaminación del agua para el sitio en estudio. Ver Tabla 2.

Tabla 2. Calidad de agua. Clasificación de Staub *et al.*

| Indice (H') | Condición del agua |
|---------------|----------------------------------|
| 3,0 - 4,5 | Aguas no contaminadas |
| 2,0 - 3,0 | Aguas ligeramente contaminadas |
| 1,0 - 2,0 | Aguas moderadamente contaminadas |
| 0,0 - 1,0 | Aguas altamente contaminadas |

Fuente : Staub *et al.* (1970)

La relación mencionada se explica a través del siguiente ejemplo de acuerdo con los resultados preliminares del estudio de la calidad del agua del río Mucujún (Díaz *et al.*, 1990, citado por Durant y Arellano, 1995). Los índices de diversidad calculados para las estaciones II, III, IV, en la parte alta de la subcuenca, correspondieron a valores de 2,8 2,1 y 1,2 respectivamente; mientras que para las estaciones VII y IX , en la parte baja de la subcuenca correspondieron a valores de 0,5 y 0,6. Comparando estos valores con las categorías de Staub, *et al* 1970, las aguas de las estaciones II y III, ya están ligeramente contaminadas, las aguas de la estación IV moderadamente contaminada y las aguas de las estaciones VII y IX altamente contaminadas. Este es el criterio a seguir con los Ephemeropteros del presente estudio.

La abundancia relativa

Es la magnitud de un determinado grupo de organismos en relación con la totalidad de un grupo colectivo de organismos. Se suele verificar y expresar normalmente como el número de individuos, o como la biomasa de la población en forma porcentual, en un área determinada y en un tiempo dado. Por ejemplo: Según estudios realizados por Godoy (1988), la comunidad de macroinvertebrados bénticos en el río Potosí-Tachira, la abundancia de Hydropsychidae y Leptoceridae fue de 182 y 6868, respectivamente, de un total de 9685 organismos colectados en ocho estaciones en un periodo de 10 meses. Por lo tanto, la abundancia para Hydropsychidae fue de 1,88% y para Leptoceridae fue de 70,90%. La abundancia también puede expresarse como la densidad de la población. Esta es la magnitud en relación con alguna unidad de espacio; o como la contribución energética de una muestra poblacional a la comunidad de la cual forma parte. (Odum, 1972). Esta abundancia es utilizada generalmente cuando se analiza la abundancia de la vegetación, de animales, o del planckton, dependiendo de los objetivos de la investigación.

El efecto que una población ejerce sobre la comunidad depende no sólo de cuál clase de organismo se trate, sino también del número de éstos y su relación con las condiciones del medio. Los cambios que éstos confieren a la comunidad pueden ser medidos y comparados mediante la abundancia relativa. Este es el primer atributo de atención al estudiar una comunidad (Odum, op. cit.).

Fluctuaciones de las poblaciones

Cualquier investigación repetida en un ecosistema, basada en censos de distintos organismos, muestran que las poblaciones fluctúan, sin alejarse demasiado de cierto valor promedio. También se presentan fluctuaciones en los ciclos reproductivos, productividad, distribución, diversidad y otros aspectos característicos de las poblaciones. Tales fluctuaciones podrán resultar de los cambios que se producen en el medio físico, originados por factores ambientales naturales o por la intervención del hombre (Margalef, 1974).

Las fluctuaciones de las poblaciones pueden ser de carácter espacial o temporal. Estas pueden analizarse de acuerdo con dos enfoques : a) las fluctuaciones regidas ante todo por la influencia de factores sobre el medio físico donde se emplaza la población, es decir, por factores extrínsecos, esto es, en la esfera exterior a la población. Este tipo de fluctuaciones propenden a ser irregulares y están relacionadas con la variación de uno o más factores limitativos físico-químicos del medio, como por ejemplo: temperatura, pH, etc ; b) y las fluctuaciones dependientes del dinamismo de la población, o de factores intrínsecos, esto es, factores dentro de las poblaciones mismas como por ejemplo: depredación, ciclo de vida y el tipo inherente de crecimiento. Esta forma de fluctuación es regular. Tanto los factores extrínsecos como intrínsecos influyen sobre las fluctuaciones, de manera que es importante apreciar cada uno de estos factores y averiguar cuál es la causa principal de variación en casos específicos (Odum, 1972).

Las fluctuaciones se producen en todos los organismos, los más pronunciados tienen lugar, entre los organismos que tienen estaciones limitadas de cría, tipos pronunciados de dispersión estacional (migración) y ciclos breves de vida, como por ejemplo los grupos ephemeropteros. En los trópicos las fluctuaciones se relacionan a menudo con la intensidad de lluvia, pero pueden relacionarse también con los cambios físico-químicos en el ambiente o periodicidades inherente a la comunidad (Margalef, 1974).

Según Odum (1972) mientras más organizada esté y más madura sea la comunidad, y cuanto más estable sea el medio, tanto más baja será la amplitud de las fluctuaciones, con el tiempo, en la densidad de la población. Por ejemplo: En un estudio realizado en el embalse Uribante-Tachira se encontró, en la estación La Trampa, que las fluctuaciones para la comunidad de Hidracarina en los diez meses de muestreo eran casi nulas (Sierra, 1989). Se supone que la baja fluctuación de estos organismos se debe a la estabilidad del medio, ya que las fluctuaciones de los parámetros físico-químicos para la misma estación variaron poco (Marquéz, 1991).

Distribución

Los individuos de una población pueden estar distribuidos respecto al espacio en tres tipos: al azar, uniformemente (más regularmente que al azar) y amontonados o agregados (irregularmente, no al azar). La distribución al azar es relativamente rara en la naturaleza, y tiene lugar donde el medio es muy uniforme y no existe tendencia alguna a agregarse. La

distribución uniforme podrá ocurrir donde la competencia entre individuos es activa o donde exista un antagonismo positivo que provoca un espaciamiento regular. Por ejemplo: las comunidades de Odonata. Finalmente, el amontonamiento, en grado variable, representa el tipo más corriente y aun casi la regla, cuando se consideran los individuos (Odum, 1972), como por ejemplo: las comunidades de Macrophytas que crecen en forma puntual en algún sitio de un río.

El tipo de distribución que caracteriza a una población se determina a través de métodos estadísticos y estas distribuciones son muy importantes para conocer la dinámica poblacional de una comunidad y su situación natural. La distribución también se puede representar en gráficos, de forma tal que un polígono simétrico (curva normal en forma de campana) indica distribución al azar; un polígono oblicuo hacia la derecha, una distribución uniforme, y un polígono inclinado hacia la izquierda, una distribución amontonada (Odum, 1972). Estas distribuciones se ilustran en la Figura 2.

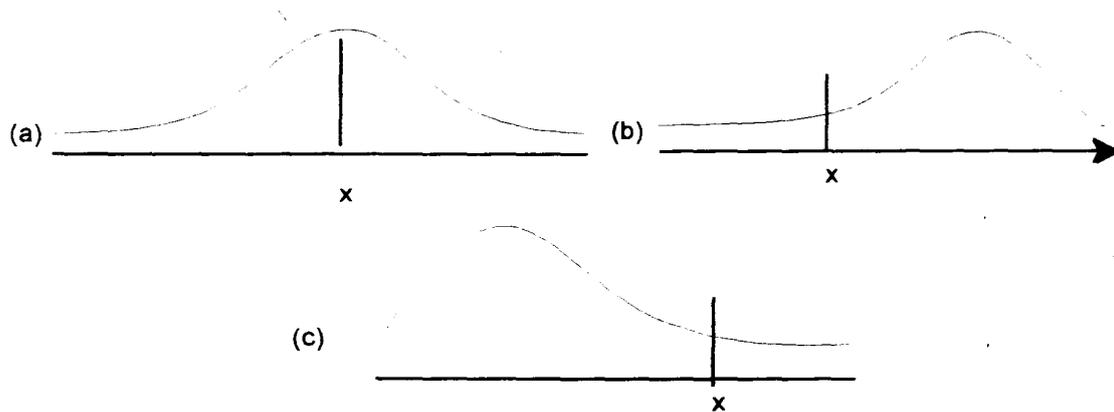


Figura 2. Tipos de distribución que caracterizan a una población. a) Distribución al azar
b) Distribución uniforme c) Distribución amontonada o agregada

La simetría de las curvas es de acuerdo con la media de la población y el área total bajo la curva representa una unidad de área (Wayne, 1993). Krebs (1995) indica que las distribuciones de las poblaciones ocurren en el tiempo y espacio. Las distribuciones de las poblaciones en un sitio o espacio dependen de las respuestas de los organismos a los factores físico-químicos del ambiente y de la adaptabilidad o aclimatación fisiológica de los organismos. El autor mencionado también señala que la dispersión de los organismos, la conducta, la relación de éstos con otros organismos, la temperatura, la humedad y otros factores físico-químicos limitan la distribución en un lugar en particular, por tal razón, el estudio de la distribución espacial depende de los objetivos planteados en una investigación.

Significado e importancia

Según Friedrich *et al.* (1992), la mayoría de las comunidades de ephemeropteros que viven en los cuerpos de agua son sensibles a los cambios en su ambiente, ya sean naturales o causados por el hombre. Las respuestas de los ephemeropteros acuáticos particulares, frente a algún cambio, son identificadas y usadas para determinar la calidad de agua con respecto a su adecuabilidad para la vida acuática. De allí que los ephemeropteros estudiados *in situ* pueden mostrar los efectos integrados de todos los impactos sobre un cuerpo de agua y se pueden usar para comparar los cambios relativos en la calidad del agua de un sitio a otro, o en un período de tiempo. Algunas de las respuestas más comunes de los ephemeropteros son : cambios en la composición de las comunidades acuáticas, cambios en los grupos dominantes en un hábitat, empobrecimiento de especies y cambios en el comportamiento de los organismos. Estas respuestas se usan en los métodos biológicos para evaluar la calidad del ambiente acuático, es decir, constituyen un instrumento en la interpretación de potenciales impactos ambientales debido a las actividades antrópicas. También la presencia o ausencia de ciertos organismos, como resultado de muerte o migración han sido aprovechados como instrumento de medición de la degradación ambiental. Dos aproximaciones principales se han usado para cuantificar estas respuestas: los métodos basados en la estructura de las comunidades y los métodos basados en los organismos indicadores(Friedrich *et al.* op. cit.).

Las evaluaciones biológicas frecuentemente se utilizan para indicar si hay un efecto sobre un ecosistema considerando el uso particular del cuerpo de agua. Esto ayuda a determinar la extensión de un daño ecológico, ya que muchas formas de daño pueden no ser vistas sin un exámen detallado de la biota acuática o de la comunidad acuática (Friedrich *et al.* op. cit.).

Generalidades sobre el Orden Ephemeroptera

Este grupo fue reconocido por Latreille en 1806 y descrito por primera vez por Leach en 1817. Desde entonces son muchos los científicos alrededor del mundo que han dedicado esfuerzos a la taxonomía del grupo y al estudio de su filogenia y morfología.

Etimología : El nombre Ephemeroptera deriva de dos vocablos del latín para referirse a insectos con alas y de vida muy corta.

Efímero (fugaz) + pteron (ala) = Ephemeroptera

Sinonimia : ODONTOTA (Latreille,1806), EPHEMERIDAE (Leach,1817), EPHEMERINA (Burmeister,1829), AGNATHA (Meinert(1883), PLECTOPTERA (Packard,1886), EPHEMEROPTERA (Haeckel,1896), ARCHIPTERYGOTA(Börner,1909).

Nombres Vernaculares : En Español efeméridos, en Inglés mayflies o Ephemerids, en Alemán eintagsfliegen o Hafte, en Francés ephemères.

Filogenia : El Orden Ephemeroptera es el más primitivo del grupo PTERYGOTA. Ellos son derivados de los grupos PROTOEPHEMERIDA con fósiles conocidos desde el carbonífero

superior (más o menos 250 millones de años), conjuntamente con el Orden ODONATA constituyen el “grupo” de los PALEOPTERA.

Caracteres Generales

Tamaño : Usualmente de 20 mm.

Forma : Peculiar, deprimidos y alargados.

Color : Más frecuentemente grisáceo claro, sin embargo variable.

Ectoesqueleto : Delicado, glabro, algunas veces con escamas.

Según Domínguez *et al.* (1992), los ephemeropteros adultos tienen cuatro (a veces dos) alas membranosas que se mantienen unidas y verticales cuando el insecto está descansando. Las alas posteriores son mucho más pequeñas que las anteriores (o faltan). Hay dos o tres filamentos terminales, generalmente largos, que salen del extremo del abdomen. Las ninfas se distinguen por las branquias laterales que llevan en el abdomen y que varían mucho en tamaño y forma. (Ver Figura 3). Como los adultos, tienen dos o tres filamentos terminales. Los tres pares de patas, las antenas y los ojos compuestos son muy fáciles de distinguir.

Cabeza: La cabeza presenta dimorfismo sexual, debido al desarrollo de los ojos, es prognatha o hipognatha, más o menos globular. Los ojos son grandes, ocupando casi toda la cabeza. Algunas veces divididos en dos lóbulos externamente bien separados. En el macho generalmente están muy desarrollados tocándose, o casi, en la parte dorsal de la cabeza, mientras que los de la hembra son más pequeños y están alejados. Los ocelli usualmente son 3, bien definidos y ubicados en el vertex. Las antenas son cortas, setiformes, apenas más largas que la cabeza. Los apéndices bucales son clásicamente mandibulatos, las mandíbulas son frecuentemente laminares, no funcionales, es decir, el aparato bucal es vestigial. Ver Figura 4. (Korythkowski, 1994).

Tórax: El tórax consiste en 3 regiones : un protorax pequeño, un mesotorax más desarrollado que los otros segmentos, formado dorsalmente por dos escleritos (el escutun y el escutelo) y un metatorax fusionado al mesotorax.

Las alas son usualmente macropteras. Las alas anteriores siempre más largas y amplias. Las posteriores reducidas y algunas veces obliteradas; algunas especies son apteras. La venación de las alas es reticulada, primitiva, triádica y con el área anal relativamente reducida. Las abreviaturas usadas para las venas longitudinales son : C = costa ; Sc = subcosta ; R1, R2, R3 = radial 1, radial 2, etc. En general R2 a R5 son llamadas sector radial ; MA1, MA2 = media anterior 1, etc ; MP1, MP2 = media posterior 1 , etc ; CuA = cubital anterior, CuP = cubital posterior ; A = anal. Las venas intercalares se ubican entre las venas longitudinales principales. El área estigmática es la zona apical entre las venas C y Sc. Ver Figura 5. (Domínguez *et al.* 1992 a).

Las patas con segmentación usual, formadas por seis segmentos : la coxa y el tocárter que son cortos, el fémur grande y aplanado, la tibia delgada y cilíndrica y el tarso también cilíndrico

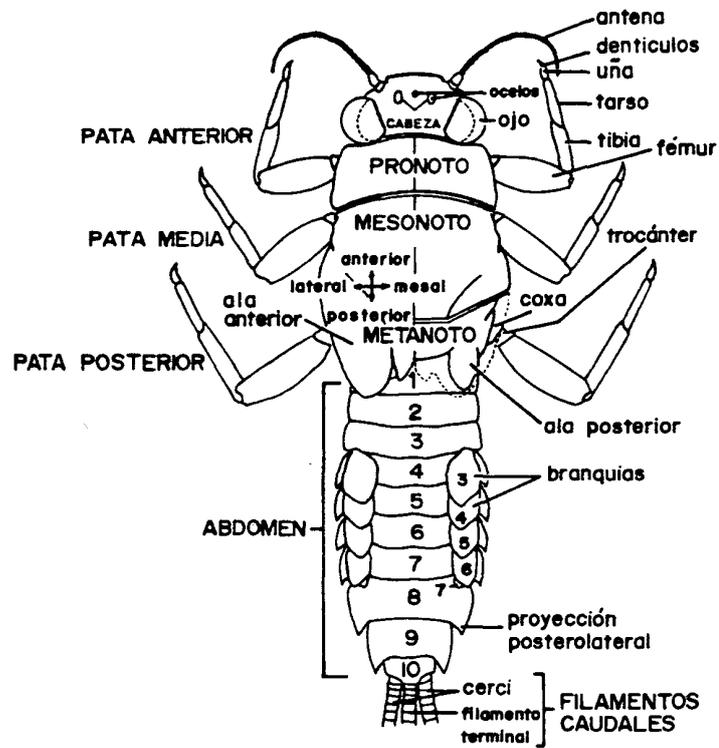


Figura 3 - Ninfas de Ephemeroptera (vista dorsal).

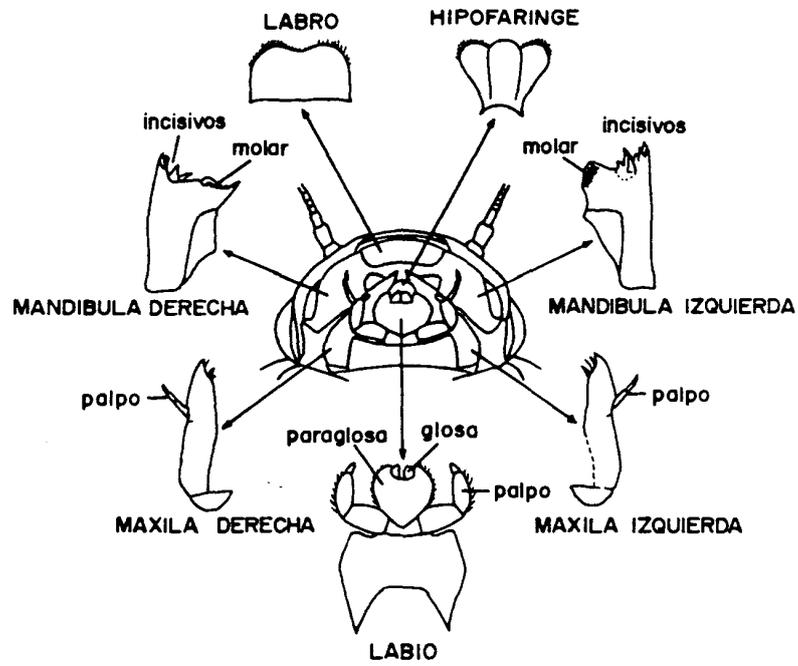


Figura 4 - Apéndices bucales de Ephemeroptera (vista ventral).

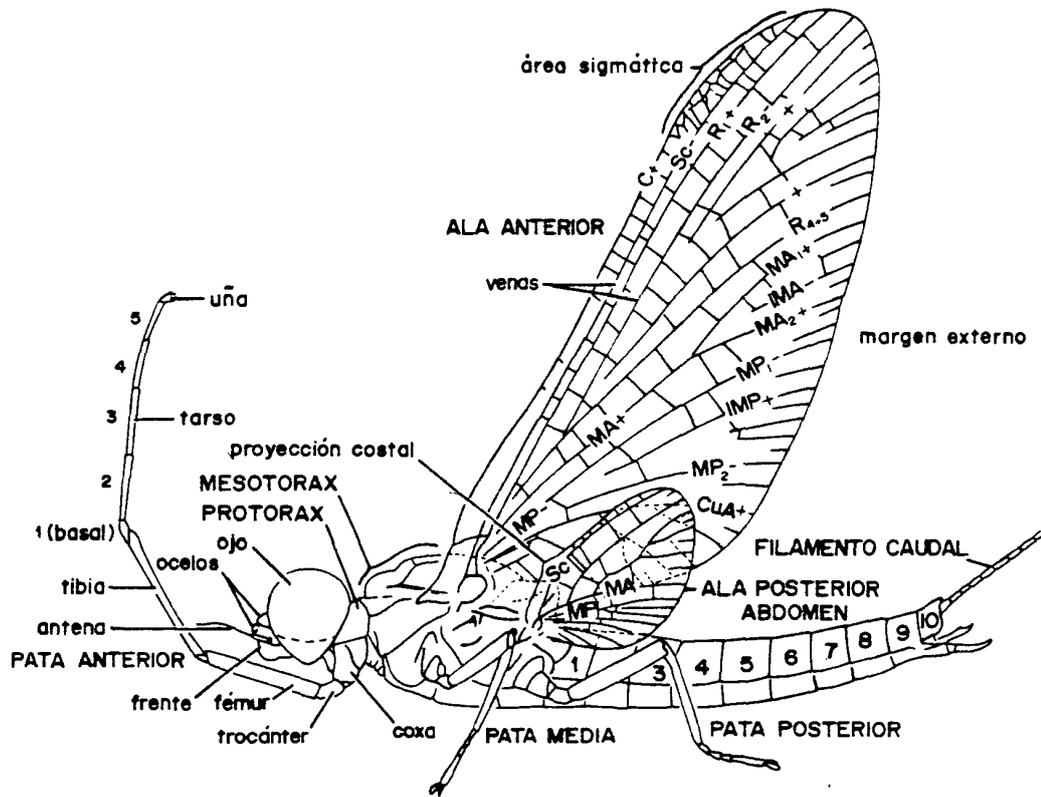


Figura 5 - Ephemeroptera adulto (vista lateral).

constituido de 1 a 5 segmentos (usualmente 4 o 5). Las patas anteriores frecuentemente alargadas y las posteriores a veces atrofiadas (Korythkowski, 1994.).

Abdomen: Consta de 10 segmentos, 10 tergitos y 9 esternitos. La porción posterior del noveno esternito es llamada en los machos placa subgenital o estilígera y en la hembra placa subanal. Cerci largos y filamento caudal medio presente. Las genitalias de machos y hembras son biporas.

Biología

Los ephemopteros reciben el nombre debido a su vida corta o efímera que llevan como adulto. Algunos pueden vivir en este estado sólo cinco minutos, pero la mayoría viven entre tres y cuatro días ; durante este tiempo alcanzan la madurez sexual y se reproducen (Roldán, 1988).

Reproducción

Por oviparidad. Las hembras depositan gran número de huevos (hasta 10.000) en forma de masa compacta generalmente sobre la superficie del agua. La fijación se efectúa por medio de la cápsula polar, filamentos o directamente por una capa de sustancia adhesiva. El período de oviposición se produce en 24 horas (Korythkowski, 1994).

La cópula es absolutamente necesaria y se realiza en pleno vuelo, denominado **vuelo nupcial**. Según Domínguez *et al.* (1992 a), el vuelo nupcial es una de las características más sobresalientes y llamativas del grupo. Tiene por finalidad la cópula e inseminación de las hembras. Esta consiste en una danza que comienza con algún individuo macho aislado, el cual realiza un vuelo ascendente y descendente en un lugar apropiado, al mismo se le van agregando nuevos machos hasta conformar un grupo. Cuando el vuelo se realiza en lugares sin viento o con brisa muy tenue, el vuelo consiste en una parte activa de ascenso con fuertes aleteos y una pasiva en la que, llegados a la altura deseada, el aleteo cesa y se deja caer lentamente hacia tierra con las alas extendidas hacia arriba y afuera con las patas anteriores y los cercos sirviendo como estabilizadores. Cuando corre algo de viento, los individuos se hallan siempre orientados hacia él y el vuelo activo se hace hacia arriba y adelante. Para poder mantenerse en la misma área.

Luego de formado un grupo comienzan a acercarse las hembras, que vuelan por sobre los machos siendo rápidamente apresadas por éstos. El tiempo de cópula varía, y en algunos casos se lleva a cabo exclusivamente en vuelo, mientras que en otros se dejan caer sobre la vegetación cercana. Para que tenga lugar la cópula, las hembras deben volar por encima de los machos, así éstos pueden verla estable y lo hacen paralelo al río, pasando por sobre el grupo. Aparentemente este tipo de vuelo permite a los machos diferenciarlas de los individuos de su mismo sexo (Domínguez *et al.*, op. cit.).

Una vez el macho reconoce a una hembra, se acerca por debajo en uno de sus vuelos ascendentes, se agarra con sus patas anteriores al pronoto o articulación de las alas de la

hembra, curva su abdomen hacia arriba y lo fija al de la hembra mediante sus fórceps, al mismo tiempo que inserta los penes en los ductos genitales femeninos. Los individuos se separan, los machos vuelven al grupo, ya que normalmente pueden copular varias veces y las hembras fecundadas generalmente abandonan la zona hasta el momento de la oviposición (Dominguez *et al.* op cit.).

Metamorfosis

Es hemimetabola. Las ninfas son muy características y deprimidas. Pasan por numerosas mudas que en algunas especies llegan hasta 24. La duración de ciclo inmaduro varía de un mes a usualmente 1 a 3 años. En este orden se encuentra un estadio alado supernumerario, entre la ninfa y el imago, único entre los insectos y que se denomina subimago (Korytkowski, 1994).

Según Domínguez *et al.* (1992), la ninfa es el primer estadio del ciclo de vida, por lo que es muy difícil determinar el número de mudas que sufre desde el momento de emerger del huevo hasta su transformación en subimago. Es en el estadio de subimago donde se producen las modificaciones tan marcadas que se presentan entre las ninfas y el imago, su significado según algunos autores, sería la de posibilitar al individuo llegar a las medidas definitivas.

Las hembras, en algunos casos, no pasan de este estadio y oviparen como subimago, pero el macho, que sufre las modificaciones más marcadas, siempre realiza la muda. Por otro lado, el estadio de imago es muy especializado, casi exclusivamente para la reproducción y la morfología se encuentra bien definida. El macho se caracteriza por presentar ojos compuestos desde los no divididos y relativamente pequeños hasta los completamente divididos en una gran porción dorsal y otra más pequeña ventrolateral. Las patas anteriores son muy largas y tienen una articulación invertida que le permite doblar los tarsos hacia atrás para asir a la hembra. El aparato digestivo está transformado en un órgano aerostático, que le ayuda en el vuelo nupcial. Las hembras llevan gran cantidad de huevos, los que no sólo ocupan la totalidad del abdomen sino que se encuentran en el tórax y hasta la base misma de la cabeza.

Ecología

Las ninfas frecuentan ambientes acuáticos muy diversos, desde pequeños charcos hasta grandes lagos y ríos con o sin vegetación (Korytkowski, 1994). Viven por lo regular en aguas corrientes, limpias y bien oxigenadas; sólo algunas especies parecen resistir cierto grado de contaminación. En general, se consideran individuos de buena calidad del agua. Sus ninfas se encuentran normalmente adheridas a rocas, troncos, hojas o vegetación sumergida ; algunas pocas especies se encuentran enterradas en fardos lodosos o arenosos (Roldán, 1988). Son frecuentemente fitófagas, se alimentan de algas y tejidos de plantas ; pero algunas pocas son depredadoras (Familia Baetidae).

Según Roldán (1988), las ninfas constituyen una parte importante en la dieta alimenticia de los peces, especialmente la trucha (*Salmo sp.*) y la sabaleta (*Brycon sp.*).

Distribución

Es un grupo cosmopolita, relativamente grande y escasamente estudiado en el cual han sido descritas 2.100 especies para todo el mundo, y cerca de 200 han sido reportadas para la región neotropical (Korytkowski, 1984). Sólo se encuentran ausentes en Nueva Zelanda y algunas pequeñas islas. La familia Euthyplociidae es típicamente neotropical (Roldán, 1988).

Clasificación

Ha sido recientemente revisada por Mc Cafferty (1985) y Edmunds (1982), quienes reconocen 17 familias aunque muchas de ellas sólo pueden ser reconocidas en su forma inmadura. Comstock, Barror y White (1989) citado por Korytkowski (1994), sólo reconocen 3 familias; mientras que Roldán (1988) reporta seis familias; Hilsenhoff (1991) reporta 17 familias; Domínguez *et al.* (1992 a) reconocen 13 familias y Flowers (1992), reporta 8 familias.

Roldán (1988) refiere que el aparato bucal, el número, la forma y la disposición de las branquias, el número y la disposición de los filamentos caudales son, entre otras, las características que se utilizan para la clasificación de las ninfas.

Según Hilsenhoff (1991) el Orden Ephemeroptera se encuentra dividido en dos subordenes : La **Pannota** representada por larvas corpulentas, de movimientos lentos, cuyas branquias en el abdomen son usualmente protegidas por un opérculo, y la **Schistonota** que es la más diversa, y excelente nadadora. Además posee modificaciones para hacer madrigueras dentro de substratos suaves. A continuación se presentan las familias más frecuentes para Sur América :

Phyllum Artropoda

Clase Insecta

Orden Ephemeroptera

Suborden Pannota

Familia Caenidae. Se carecterizan por poseer las branquias en el segundo segmento abdominal operculadas, cuadrangulares, que se juntan, o casi, en la línea media dorsal del abdomen. Las ninfas son comunes de los ambientes lóticos y lénticos y son generalmente más tolerantes a los bajos niveles de oxígeno disuelto que algunas otras familias de ephemeropteras (Hilsenhoff, 1991).

Tricorythidae. Las larvas son reconocidas por las branquias operculadas triangulares u ovals, que nunca se juntan en la línea media dorsal del abdomen. Inhabitan substratos de detritus, cascajo o limo. Algunas especies son resistentes a niveles bajos de oxígeno disuelto (Hilsenhoff, op. cit.).

Suborden Schistonota

Baetidae. Presentan antenas largas, dos o más veces el ancho de la cabeza ; branquias en forma ovalada acorazonadas en los segmentos abdominales 1-2, 1-7 ó 2-7 lamelas simples, dobles o triples, que nunca terminan en filamentos. Los márgenes interiores de las branquias usualmente enteras, raramente divididas (Roldán, 1988). Los ángulos posterolaterales de los segmentos abdominales no se encuentran expandidos en proyecciones laterales planas, o si están presentes, se encuentran poco desarrolladas.

Las ninfas son relativamente pequeñas, constituyen la familia más abundante y variada de los ambientes lóticos y lénticos de los ríos y lagos (Hilsenhoff, 1991).

Ephemeridae. Las ninfas son reconocidas por su tamaño relativamente grande y con branquias filamentosas. El ápice ventral de las tibiae posteriores se encuentra proyectado en una punta aguda y los colmillos mandibulares curvados hacia arriba apicalmente (Domínguez, *et al.*, 1992). Son minadores de arroyos tranquilos y lagos.

Heptageniidae. Se distinguen por la apariencia aplanada del cuerpo y la localización dorsal de los ojos y antenas. Además presentan las branquias abdominales formadas por una lamela simple, por lo regular con penachos fibriliformes cerca a la base, raramente puntiagudas y con ramas lanceoladas estrechas bifurcadas. Las mandíbulas se encuentran escondidas por la cápsula aplanada de la cabeza y los palpos labiales son bisegmentados. Algunos géneros carecen de filamento caudal medio (Roldán, 1988). Habitan generalmente en los substratos arenosos de las orillas de los ríos.

Leptophlebiidae. Presentan el clipeo fusionado a la frente, con una cabeza usualmente prognata (Domínguez, *et al.*, 1992). Las branquias abdominales en los segmentos 2 a 7 bifurcadas, en penachos, con todos los márgenes orlados o con doble lamela terminada en filamento. Son especies que habitan en los escombros, rocas, gravas de los ríos.

Oligoneuriidae. Las ninfas se caracterizan por presentar largas setas en el margen interior de las patas anteriores o protorácicas, lo que les permite distinguirse de otros ephemeropteros. Estas setas tienen la función de filtrar diatomeas y otras algas para la alimentación. Los palpos maxilares y labiales se encuentran bisegmentados. Además, las branquias ventrales se encuentran en el primer segmento abdominal y los penachos de las branquias se encuentran ausentes en la base de la coxa anterior (Roldán, 1988). Algunas especies se encuentran en el fondo de la arena.

Polymitarcyidae. Se distinguen porque los colmillos mandibulares se presentan casi rectos o curvados hacia abajo apicalmente ; las tibiae y los tarsos son más o menos aplanados con numerosos pelos y las branquias del primer segmento abdominal se presentan ovaladas. Son habitantes de substratos arcillosos, arenosos y sienosos (Hilsenhoff, 1991).

Siphoneuriidae. Las ninfas se reconocen porque presentan branquias dorsales en el primer segmento abdominal y los penachos de las branquias se encuentran presentes en la base de las coxas (Roldán, 1988). Las especies habitan ambientes lóticos y lénticos de los ríos.

Euthyplociidae. Se caracterizan por tener las mandíbulas más largas que la cabeza y los colmillos mandibulares con numerosas setas largas. Las tibia y los tarsos se presentan cilíndricos. Las branquias del primer segmento abdominal son vestigiales (Dominguez *et al.* 1992 a).

Especies reportadas para Venezuela

En Venezuela han sido reportadas un total de 17 especies distribuidas en 3 familias, de las cuales la familia de mayor representatividad en especies es Baetidae.

Familia Baetidae:

- *Baetodes arawak* (Traver, 1943)
- *Pseudocloeon arawak* (Traver, 1943)
- *Baetodes spimiferum* (Traver, 1943)
- *Baetodes spinifer* (Traver, 1943)
- *Cloeodes anduzei* (Traver, 1943)
- *Pseudocloeon anduzei* (Traver, 1943)
- *Pseudocloeon venezuelensis* (Traver, 1943)
- *Baetodes peniculus* (Mayo, 1973)
- *Campylocia anceps* (Eaton, 1983)

Familia Euthyplociidae

- *Euthyplocia hecuba* (Hangen, 1861)

Familia Leptophlebiidae

- *Thraulodes venezuelana* (Ulmer, 1943)
- *Miroculis (Miroculis) fittkai* (Savage & Peters, 1983)
- *Microphlebia surinamensis* (Savage & Peters, 1983)
- *Miroculis (Atroari) nebulosus* (Savage, 1987)
- *Miroculis (Miroculis) bicoloratus* (Savage, 1987)
- *Massartella venezuelensis* (Pescador & Peters, 1990)

CAPITULO III

ÁREA DE ESTUDIO

En este capítulo se tratan los aspectos más importantes y relevantes de la subcuenca del río Albarregas, como la ubicación y la red hidrográfica que conforma la subcuenca, las características ambientales como las zonas de vida, aspectos geológicos, geomorfológicos, el relieve y los tipos de suelos que caracterizan el área de estudio. Además, se aborda el problema de la contaminación de los cuerpos de agua de la red hidrográfica, los aspectos legales e institucionales involucrados y algunos aspectos sobre el Proyecto S1-2253 C.O.N.I.C.I.T. realizado en el área de estudio. Tales referencias han surgido de las revisiones bibliográficas realizadas y de comentarios propios, de acuerdo con las visitas efectuadas al área de estudio y las entrevistas realizadas a los técnicos que participaron en la ejecución del proyecto mencionado. Dichas actividades han permitido conocer en forma integral los antecedentes y la condición ecológica actual de la subcuenca.

Ubicación

La subcuenca del río Albarregas se encuentra localizada entre los $08^{\circ} 30' 08''$ y $08^{\circ} 45' 00''$ de latitud norte y los $71^{\circ} 07' 30''$ y $71^{\circ} 15' 00''$ de longitud oeste en el Estado Mérida, Venezuela. La subcuenca tiene una superficie cercana a las 15.000 hectáreas (Lugo, 1995 citado por Durant, 1996) y forma parte de la cuenca del río Chama. Ver Figura 6.

Límites :

Norte : Páramo de los Conejos

Sur : El eje urbano de Mérida - La Parroquia y Ejido

Este : Subcuenca del río Mucujúm

Oeste : Los sectores medio y bajo de la quebrada Las González

Red hidrográfica

La red hidrográfica de la subcuenca está conformada por el río principal el Albarregas, el cual nace en la laguna del mismo nombre en el páramo Sierra La Culata a unos 4,200 msnm y desemboca en el río Chama. El río Albarregas tiene una longitud total de 31 km con un caudal medio anual de $1,070 \text{ m}^3/\text{seg}$ y coeficiente de escorrentía de 0,712 (MARNR, 1993). En su recorrido recibe los afluentes de la quebrada Milla, Montalbán, Carvajal y el río La Pedregosa.

El agua del río Albarregas, en la región alta, es utilizada para abastecer una fracción de la ciudad, cuya toma de agua se encuentra ubicada en Santa Rosa a una cota de 1900 m.s.n.m. (MARNR, op. cit.). Sin embargo, en la región baja de la subcuenca, el río Albarregas recibe las aguas negras de los colectores de la ciudad al atravesar en su totalidad la zona urbana de Mérida.

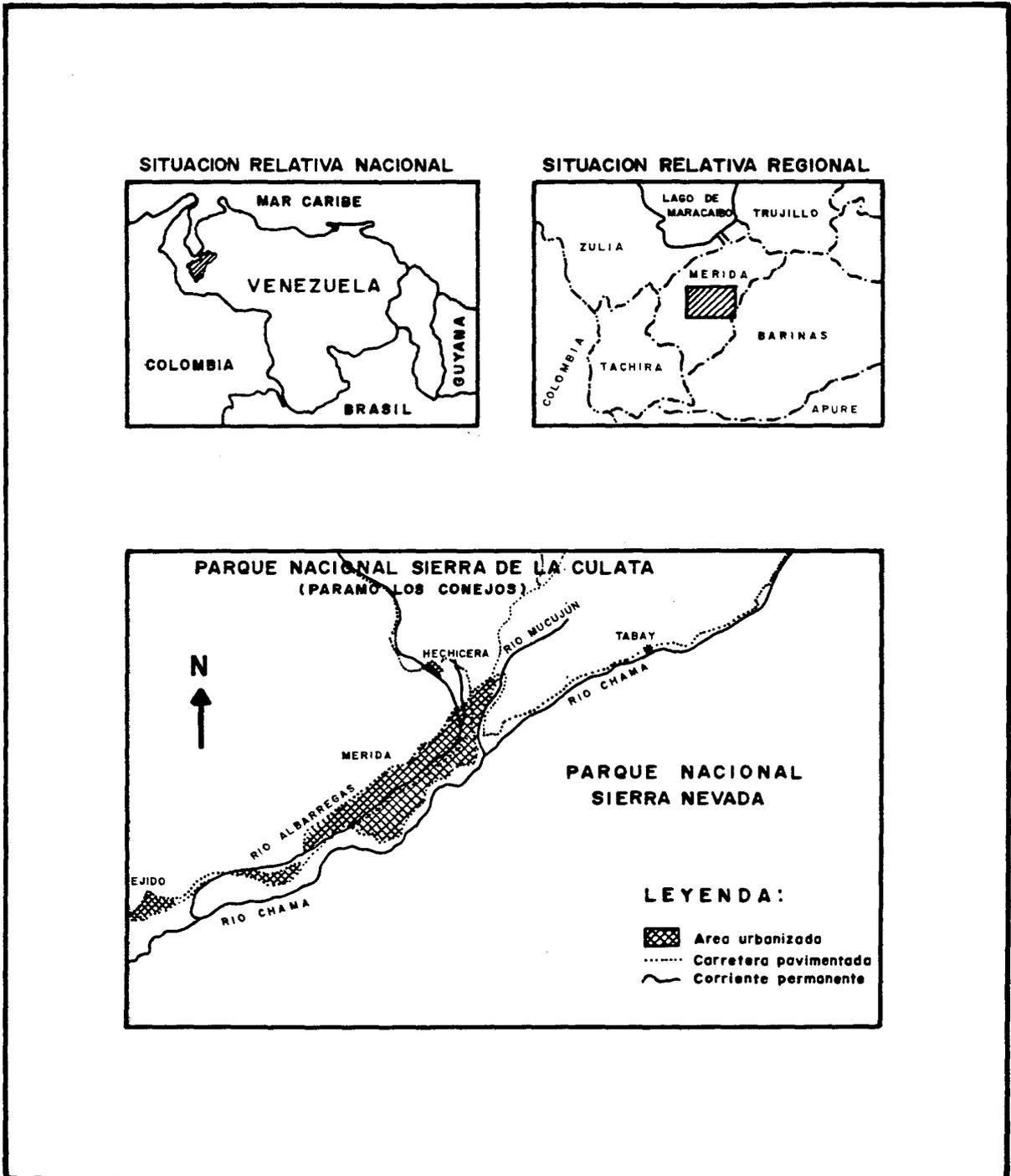


Figura 6 - Ubicación relativa del área de estudio Subcuenca del Río Albarregas.

El afluente del río Albarregas de mayor importancia es el río La Pedregosa, ya que presenta una superficie de 4,146 ha equivalentes al 27,64 % de la superficie total de la subcuenca (Durant, 1996), con un caudal promedio anual de 0,773 m³/seg y coeficiente de escorrentía de 0,696 (MARNR, op. cit.). Al igual que el río Albarregas, el río La Pedregosa abastece de agua a una fracción del área metropolitana de Mérida. La toma de agua de este río se encuentra ubicada en la cuenca alta a una cota de 1.850 msnm.

Características ambientales

Zona de vida

Según Pérez (1986), las zonas de vida presentes en la subcuenca Albarregas son las siguientes:

a) Páramo Pluvial Andino: Esta zona abarca una superficie de 96,33 ha (0,75 %) y se extiende a partir de los 4.000 msnm hasta el límite superior del área. La temperatura media anual es menor a 3°C y la precipitación media anual es de 1.400 mm. La vegetación arbustiva está formada por individuos del género *Espeletia* (frailejón) y por representantes de la Familia Hypericaceae, como *Hypericum sp.* (chispeador), que crecen en forma dispersa y aislada, quedando entre ellos suelos cubiertos de vegetación pequeña o sustrato herbáceo, propia de las condiciones climáticas que imperan en el área.

Esta vegetación natural aparece intacta en la zona, pues no ha sido intervenida, ya que la zona presenta restricciones de utilización por las condiciones microclimáticas extremas en el área. Por esta razón, la zona es considerada de uso protector-conservacionista.

b) Páramo Pluvial Sub-Andino: Ocupa una superficie de 1.573,5 ha (12,18 %), con una extensión que abarca desde los 4.100 msnm hasta los 3.600 msnm. La temperatura fluctúa entre los 3 °C y 6 °C. La precipitación es menor de 1.500 mm. La vegetación natural se presenta en forma similar a la anterior, pero con pequeños bosques de coloradito (*Polylepis sericea*) y frailejón de árbol (*Espeletia neriifolia*), debido a condiciones microclimáticas. El suelo se encuentra cubierto por la capa vegetal en su totalidad.

Al igual que la zona anterior, la vegetación que caracteriza el área sigue intacta, ha recibido poca influencia antrópica por las restricciones que presenta el área para su utilización.

c) Bosque muy húmedo montano: Con una superficie de 3.244,6 ha (25,12 %) y se extiende desde los 3.600 msnm hasta los 2.690 msnm. La temperatura oscila entre los 6 °C y 12 °C y la precipitación entre 1.500 a 1.900 mm. La vegetación está representada por asociaciones densas, con intenso epifitismo y abundancia de helechos, musgos y líquenes, con árboles de copas redondeadas y troncos muy ramificados. En el límite superior de la zona se forma un bosque bajo, achaparrado, con especies que marcan una transición con los páramos. Por debajo de éste, la vegetación presenta árboles de mediana a baja altura (pino aparrado o

***Pedocarpus oleifolius* y el laurel, *Ocotea calophy*).**

Esta zona es importante para la subcuenca porque presenta una vegetación variada, abundante y poco intervenida, que actúa como regulador de la reserva hidráulica y de la evolución natural del relieve.

d) Bosque húmedo montano bajo: Presenta una superficie de 3.996,2 ha (30,94 %) y comprende una extensión que va desde los 2.690 msnm hasta los 2.050 msnm. La temperatura fluctúa entre los 12 °C y 16 °C; la precipitación entre los 1.400 mm y 1.900 mm, respectivamente. Bosque de buen desarrollo y alta densidad. Crecimiento vigoroso del sotobosque. Epifitismo menos abundante pero mucho más diverso. Especies siempre verdes con lianas, helechos, bromelias y orquídeas.

Este bosque se presenta bastante intervenido, ya que es la zona donde se emplaza gran parte del elemento humano. Además, esta zona tiene importancia por el potencial escénico-paisajístico que presenta.

e) Bosque húmedo Sub-tropical: Este tipo de zona de vida tiene una superficie de 4.005,0 ha (31,01 %) y se extiende desde los 2.050 msnm hasta los 1.400 msnm. La temperatura varía entre los 16 °C y 19 °C; la precipitación entre los 1.300 mm y 2.000 msnm. La vegetación natural ha desaparecido, quedando algunos remanentes boscosos. Epifitismo notorio. Donde el bosque natural ha desaparecido y se encuentra sin uso, se forman arbustales altos y densos; hay pastoreo e invasión de especies leñosas, obteniéndose sabanas secundarias, conjuntamente con ciertas malezas. Igualmente, encontramos pequeñas plantaciones de pinos, y eucaliptos (especies exóticas). Ver Figura 7.

Esta zona de vida es la que presenta mayor influencia antrópica, por el asentamiento humano de tipo urbano y el desarrollo de algunas actividades agrícolas y pecuarias sin medidas de conservación, por lo que es evidente la deforestación acelerada en la zona. Esta acción ha traído como consecuencia la pérdida de la cobertura vegetal, impidiendo de esta forma la protección de los suelos y de los cuerpos de agua en los cauces de la subcuenca. Son notorios los procesos erosivos que se producen en los suelos y la sedimentación en los cauces.

El bosque húmedo sub-tropical es la zona de vida de mayor superficie en la subcuenca, Figura 7, y es la zona de mayor importancia por las condiciones climáticas que la caracterizan y que pueden favorecer el desarrollo de una vegetación natural muy diversa. Sin embargo, es la que presenta los más graves problemas de desequilibrio y deterioro ecológico, precisamente por la eliminación de la cobertura vegetal en las planicies que circundan al río Albarregas desde Santa Rosa (Monte Zerpa) hasta la desembocadura en el río Chama y cuya acción se extiende progresivamente hacia la parte alta de la subcuenca.

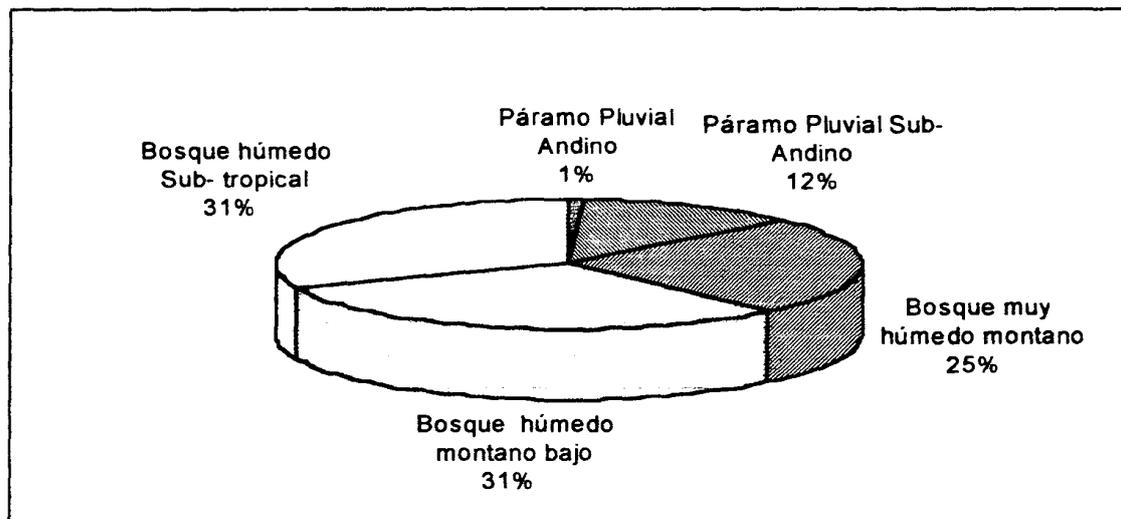


Figura 7. Superficie relativa de las zonas de vida que componen la subcuenca del río Albarregas.
Fuente : Elaboración propia con información de Pérez, (1986).

Clima

La subcuenca tiene un rango de temperatura de 5 °C en los páramos y 24 °C en los sectores bajos. La precipitación fluctúa entre 1.600 y 2.000 mm como promedio anual (Durant, 1996). La Figura 8 muestra las variaciones de temperatura y precipitación tomadas para el área de estudio comprendidas entre los 1,100 y los 2,200 msnm durante el período de muestreo y cuyos datos se presentan en el Apéndice 1.

Geología

La subcuenca está conformada por varias unidades estratigráficas, de diferentes orígenes y pertenecientes a varios períodos o eras, Tabla 3. Estas unidades se caracterizan por un intenso fallamiento y plegamiento del sustrato geológico (Pérez,1986), originadas por la gran actividad tectónica, procesos erosivos y sedimentación intensiva. Grimaldo (1990) señala que estos procesos también han permitido la meteorización intensa, es decir, el alto grado de alteración de las rocas.

Entre las unidades de mayor significación para el sustrato del ecosistema en referencia estarían: la unidad estratigráfica Palmarito y la unidad Sabaneta, ya que las dos presentan un máximo riesgo sísmico; la unidad Palmarito por su composición de rocas de lutitas laminadas y calizas, que son susceptibles a escarpaciones y fracturaciones formando una estructura inestable; la unidad Sabaneta por la composición de rocas conglomeráticas lenticulares y lutitas arenosas los cuales forman una estructura inestable en la unidad mencionada.

Santa Rosa (1960 msnm)
Año 1993

17,5 °C

2122,2 mm

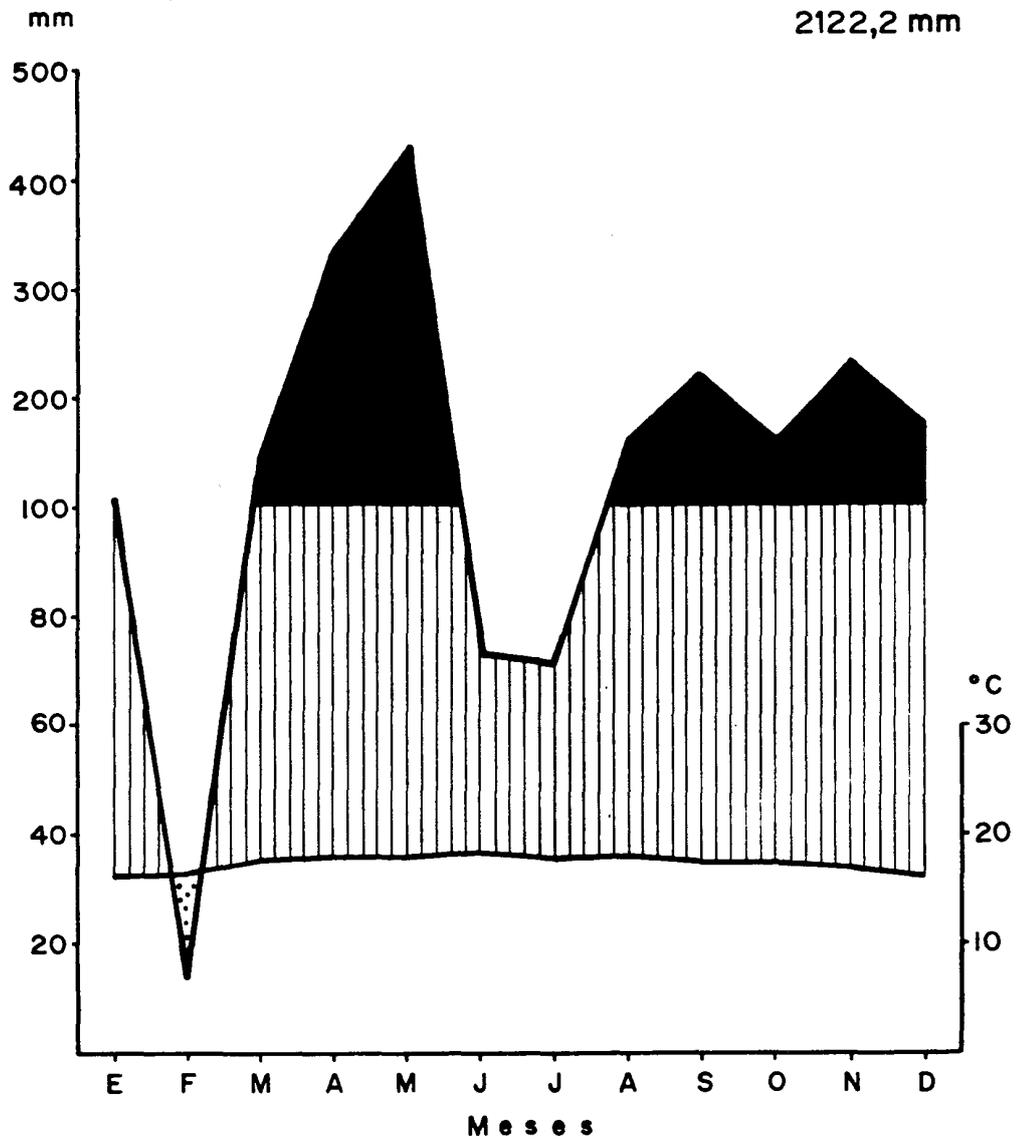


Figura 8 - Climadiagrama de la Estación Experimental "Santa Rosa", cercana al área de estudio.

Tabla 3. Columna estratigráfica de la subcuenca del río Albarregas.

| Unidad estratigráfica | Era (Período) | Origen | Litología | Estructura | Permeabilidad/ riesgo sísmico | Localización Superficie |
|--|----------------------------|-------------------------|--|--|-------------------------------------|--|
| Conos - terrazas cuaternarios (Depósitos cuaternarios) | Cuaternario | Acumulaciones aluviales | Rocas ígneas y metamórficas provenientes del grupo Iglesias y de otros materiales depositados aguas arriba | Fragmentos subirregulares a redondeados de gneises y granitos; duros y sanos | Alta - media, alto riesgo sísmico | Parte inferior a media, en dirección N - S y S - E, con una superficie de 1.236,73 ha. (9,51%) |
| Mucujún | Cenozoico (Mioceno) | Sedimentario | Limolitas, areniscas y mudstone | Estratificada con rumbo y buzamiento que varía entre 10° y 60° | Baja - media, alto riesgo sísmico | Parte inferior, margen derecha, con una superficie de 1.783 ha. (13,82%) |
| Capacho | Mesozoico (cretáceo medio) | Sedimentario | Lutitas, limolitas y calizas | Rocas sumamente duras y compactas | Baja. Medio a alto riesgo sísmico | Parte suroeste, con una superficie de 121,04 ha. (0,94%) |
| La Quinta | Mesozoico (Jurásico) | Sedimentario | Arenisca de grano grueso y fino conglomerado | Rocas bien estratificadas, con rumbo y buzamiento entre 19° y 60° | Media. Medio a alto riesgo sísmico | Parte suroeste, con una superficie de 268,56 ha. (2,08%) |
| Palmarito | Paleozoico (Pérmico) | Metamórfico | Estratificación de lutitas laminadas y calizas | Roca muy fracturada, sus diaclasas están muy conjuntas, con rumbo y buzamiento entre 32° y 72° | Baja a media. Máximo riesgo sísmico | Parte inferior en dirección S-E, con una superficie de 1.820,37 ha. (14,09%) |
| Sabaneta | Paleozoico (carbónico) | Metamórfico | Arenisca conglomeráticas lenticulares, lutitas arenosas micáceas y calizas afaníticas | Rocas sumamente compactas y duras, rumbo y buzamiento que varía entre 18° y 75°. Diaclasas generalmente abiertas | Media a baja. Máximo riesgo sísmico | Parte inferior suroeste, con una superficie de 272,52 ha. (2,15%) |

Fuente : Pérez (1987)

Las condiciones locales de las unidades estratigráficas de intervención antrópica y poca protección natural eleva el riesgo sísmico, trayendo como consecuencia directa movimientos en masa, inundaciones, sedimentación en el cauce del río por los deslizamientos, destrucción de la cobertura vegetal que aún existe y la muerte de la biota acuática. Los lugares o sitios más vulnerables a estas posibles consecuencias son los conos del Albarregas, Milla, La Pedregosa y Carvajal.

También es importante señalar que el intenso fallamiento del complejo geológico de la subcuenca juega un papel importante en la configuración de su red hidrográfica, ya que presenta un sistema de quebradas debido a las líneas de mayor debilidad geológica.

Relieve

La zona de la subcuenca se caracteriza por presentar relieve de contrastes, abarcando desde superficies semiplanas, que constituyen los valles intermontanos individualizados en dirección norte - sur y ubicados a todo lo largo de la parte inferior del área, hasta cumbres de altitud considerable que forman parte de macizos montañosos denominados Páramo Los Conejos y el Páramo Los Leones, que bordean la parte superior de la misma (Pérez, 1987). La Tabla 4 muestra la expresión del relieve de acuerdo con el rango de pendientes y su ubicación en el área.

Tabla 4. Caracterización de la pendiente y relieve de la subcuenca del río Albarregas

| Rango | Tipo de pendiente | Ubicación en el área | Correspondencia con la expresión del relieve | Superficie Ha. | % |
|-----------|--|--|---|-------------------|-------|
| 0 - 35 % | Suaves, moderadas y moderadamente pronunciadas | En la parte inferior del valle donde se emplaza la Laguna Albarregas, parte EN del área en la loma de Las Iglesias, loma La Pelota, El monte y el cerro Cacute | Sectores deposicionales, valles y algunas colinas de poca altura | 3.362,6 | 26,04 |
| 35 - 50 % | Pronunciadas | En toda el área | Colinas y laderas que llegan a los valles y en algunas vertientes | 9.553,03 | 73,96 |
| > 50 % | Muy pronunciadas, escarpadas y muy escarpadas | En la parte superior, a partir de los 2.600 msnm. y en dirección NO - SO, páramos Los Conejos, La Pedregosa y Los Leones, Cerro La Pelota, La Hechicera y en la línea de los Troncones | En la parte de páramos y en la zona montañosa. Cumbres y colinas de altitudes considerables | | |

Fuente : Pérez (1986)

Las formas de relieve semiplanas (valles y colinas) son las de menor extensión en la subcuenca y se caracterizan porque sus pendientes varían de suaves a moderadas, por lo tanto, constituyen territorios inundables como la zona donde se ubica la laguna Albarregas; mientras que las zonas de laderas, vertientes, macizos y cumbres montañosas (Páramo Los Conejos, La Pedregosa, La Hechicera y otros), en su conjunto, son las de mayor extensión y de altas

pendientes (mayores de 50 %). Esta condición muy inclinada de la pendiente del relieve contribuye a acelerar el proceso de erosión natural, ya que propicia una escorrentía más rápida e intensa y por ende, una mayor deposición y el arrastre de partículas del suelo, cuya acumulación o sedimentación se dan en las zonas bajas.

La intervención antrópica en las laderas y montañas sin métodos de conservación eficiente, también ha contribuido a acelerar el proceso de erosión por la agricultura y la cría de animales. La conveniencia de aplicar métodos conservacionistas para evitar la erosión y sedimentación, especialmente en las zonas de alta pendiente como las mencionadas en la Tabla 4, ayudarán a reducir el problema. Además, los métodos conservacionistas contribuirían a la conservación de los valores escénicos del relieve en la zona. Entre estos métodos conservacionistas se señalan: los sistemas de cultivo de contorno, de terrazas y reforestación con plantas adecuadas en áreas que lo ameriten.

Geomorfología

La morfología externa de la capa litológica presenta una dinámica fluvio - glacial en la parte superior, seguida de un área de escurrimientos y soliflucción por la presencia de los depósitos aluviales en su parte inferior (Pérez, 1987). Estas características se muestran en la Tabla 5.

Los agentes morfológicos fluvio-glaciares y la soliflucción son los de mayor riesgo por los procesos y formas que presentan dichos agentes, como los deslizamientos, coluvionamientos, fracturamiento de rocas por gelifración, desprendimientos activos, etc. En la subcuenca estos procesos pueden ser acelerados debido a factores desestabilizadores como la pendiente, condiciones climáticas extremas, poca protección de la cobertura vegetal y la intervención antrópica negativa. De hecho, los factores naturales que influyen sobre los agentes morfológicos no se pueden controlar, pero sí los factores antrópicos, de manera de retardar los procesos y formas de los agentes morfológicos.

Los procesos y formas de los agentes morfológicos evidencian los cambios continuos que se presentan en la zona y que se dan en la capa litológica del suelo a determinada ubicación altitudinal.

La importancia que tiene la geomorfología en la subcuenca es de haber influido en el modelado del relieve muy particular, originando una topografía muy abrupta propia del área de estudio.

Suelo

La variabilidad de los suelos que caracteriza a la subcuenca, obedece a la diversidad y a la naturaleza cambiante de los factores pedogenéticos como : las condiciones climáticas, relieve, altitud, materiales geológicos y los procesos geomorfológicos. Estos varían desde los suelos formados a partir de materiales originarios residuales, hasta los formados a partir de

materiales originarios transportados (Pérez, 1987). La variabilidad de los suelos y sus características se presentan en la Tabla 6.

Tabla 5. Caracterización geomorfológica de la subcuenca del río Albarregas

| Ubicación altitudinal | Principales agentes morfológicos | Procesos y Formas | Factores desestabilizadores |
|---------------------------------|--|---|--|
| 4.200 msnm hasta los 3.600 msnm | La actividad glaciar y en menor proporción el escurrimiento | Circos glaciares, rocas aborregadas, fracturamiento de las rocas por gelifración, depresiones de excavación glaciar o antiguas lagunas y pequeños valles de origen glaciar. - Coluvionamientos y deslizamientos - Esguimientos intensos | - Pendientes - Condiciones climáticas extremas - La poca protección de la cobertura vegetal |
| 3.600 msnm hasta los 2.600 msnm | El escurrimiento y en menor proporción los movimientos de reptación y deslizamiento | - Esguimiento de débil a intenso - Deslizamiento | - Fracturamiento de las rocas - La pendiente - Condiciones climáticas |
| 2.600 msnm hasta los 1.400 msnm | La soliflucción conjuntamente con los esguimientos | - soliflucción pelicular y profunda - Esguimientos débiles a intensos - deslizamientos líquidos - Deslizamientos rotacionales - Reptación continua - Desprendimientos activos - Cárcavas recolonizadas - Cicatrices de desprendimiento | - Buzamiento a favor de la pendiente - La pendiente - Fracturamiento y diaclasamiento del material - Socavación basal - Cicatrices de cizalla que han engendrado movimientos en masas - Intervención antrópica negativa |
| | Sectores de acumulaciones aluviales, representados por los conos de deyección y conos terrazas de la quebrada Carvajal, La Pedregosa y del río Albarregas y por las acumulaciones entre el río Montalbán y la quebrada La Pedregosa y entre ésta última y la quebrada Milla. | | |

Fuente : Pérez (1986).

Tabla 6. Tipos de suelo de la subcuenca del río Albarregas

| Tipos de suelos | | Características |
|---|--|--|
| Suelos formados a partir de materiales originarios residuales | Grupo Iglesias | Suelos ácidos con pocas bases cambiables y alto contenido de nitrógeno, hidrógeno y aluminio. Textura franco - arenosa. Poco desarrollo del perfil, poca materia orgánica y abundante pedregosidad superficial |
| | Formación Sabaneta y Palmarito | Suelos ácidos, muy superficiales, de texturas finas, consistencia firme y permeabilidad moderadamente lenta con poca materia orgánica y abundante pedregosidad superficial |
| | Formación La Quinta | Suelos ácidos, muy superficiales de textura arenosa - franco a arcillo - arenosa, alto contenido de materia orgánica y pocas bases cambiables. |
| | Formación Capacho | Suelos menos ácidos, con muy pocas bases cambiables. Textura franco a franco - arcillosa. |
| Suelos formados a partir de materiales originarios | Sección geológica no consolidada (Cuaternario) | Suelos ácidos, alto contenido de hidrógeno, bases cambiables muy bajas, a excepción de los suelos cultivados donde se han empleado fertilizantes. Abundante pedregosidad superficial. |

Fuente : Pérez (1986).

Entre los suelos formados a partir de materiales originarios residuales se señalan: la formación del Grupo de Iglesias, la formación Sabaneta, Palmarito, La Quinta y la formación Capacho; entre las que sobresalen la formación del Grupo Iglesias, por el poco desarrollo de su perfil y alto contenido de nitrógeno, y la formación La Quinta por el alto contenido de materia orgánica y la textura arcillo-arenosa que reduce la permeabilidad de su suelo.

Estas dos formaciones son importantes para la subcuenca, pues son suelos que por lixiviación aportan gran parte de nitrógeno y materia orgánica a los cauces, acelerando la eutroficación del ecosistema acuático.

La mayoría de los suelos que caracterizan la subcuenca son ácidos, de pocas bases cambiables y abundante pedregosidad, por lo que presentan restricciones a la actividad agrícola. Grimaldo (1990) se refiere a estas tierras como suelos de clase VII y VIII recomendables para la protección de la vida silvestre, recreación e investigación debido a su naturaleza inestable.

El problema de la contaminación

Pérez (1987) señala que la contaminación del río Albarregas y La Pedregosa es consecuencia, principalmente, de un proceso de ocupación desordenada del espacio de la subcuenca. Dicha ocupación, dentro del contexto histórico, obedece a dos razones: primeramente al rápido crecimiento y expansión física de la ciudad de Mérida, que ha rebasado los límites demarcados para el poblamiento dentro de la poligonal del área metropolitana Mérida-Ejido, dada la escasez de tierras planas y los altos costos de urbanización; y, en segundo lugar, por la construcción de la carretera Panamericana, hecho

que activa el desarrollo de nuevas áreas residenciales y, por ende, reduce las tierras cultivables.

Actualmente se observa como se ha incrementado el asentamiento humano por encima del área demarcada por la poligonal Urbana Mérida-Ejido, extendiéndose aproximadamente desde los 1.400 msnm hasta los 2.400 msnm ocupando tanto áreas de montañas medias y lomas, como sectores deposicionales.

Un estudio realizado por Moreno (1980) sobre el grado de contaminación del río Albarregas desde una cota de 1.982 msnm (Monte Zerpa), abarcando todo el curso a través de la ciudad hasta al puente cruce entre la población La Punta y Ejido, a una cota de 1.189 msnm; indica que el río Albarregas y sus tributarios están contaminados; esta contaminación tiene su origen en los residuos domiciliarios y las aguas servidas cloacales que son vertidas diariamente a la red hidrográfica. El autor mencionado señala, además, que la creciente construcción de viviendas, la remoción del suelo y la descomposición de desechos sólidos, que en forma dispersa son dejados en las áreas aledañas al río, contribuyen al deterioro de la calidad de las aguas; asimismo, la diversidad de formaciones geológicas, el intenso fallamiento y plegamiento de la subcuenca, la hacen susceptible a alteraciones fisiográficas que contribuyen con materiales sólidos, afectando la calidad de agua; además deja explícito que la actividad agrícola y pecuaria no generan problemas de atención.

Burguera *et al.* (1986) trata la contaminación físico-química y bacteriológica del río Albarregas, llegando a la conclusión de que dichas aguas, desde el puente La Hechicera hasta su desembocadura en el río Chama, no cumplen los requisitos mínimos para ser destinadas al uso doméstico, agropecuario, industrial o para balnearios.

En el tiempo transcurrido desde que se hizo dicha investigación hasta la fecha, han ocurrido aumentos en la concentración de la población y en otras actividades, fenómeno que se observa en la urbe metropolitana, y cuyo ascenso hacia las zonas más altas de la subcuenca representan un peligro para las tomas de agua que están por encima de los sitios afectados por la contaminación.

Recientemente un estudio realizado por Durant (1996) demostró, a través de las características de la comunidad de macroinvertebrados bénticos, el alto grado de contaminación del río Albarregas desde el área de Corpoandes hasta su desembocadura en el río Chama.

Las consideraciones antes mencionadas, desde el punto de vista histórico hasta el presente, y las observaciones realizadas en la zona demuestran el deterioro progresivo de la subcuenca y por ende de la calidad de agua. El grave problema que representa la creciente contaminación ha convertido al río Albarregas en un canal recolector de aguas negras, cuyo problema puede acentuar los efectos irreversibles en la biota acuática, así como la aparición de enfermedades infecto-contagiosas en la zona y el incremento de la contaminación del efluente mayor, el río Chama.

Marco legal e institucional

Según Pérez (1987), mediante el decreto N° 1379 del 22 de agosto de 1973, aparecido en la Gaceta Oficial de la República de Venezuela, se declaró oficialmente la subcuenca del río Albarregas como Zona Protectora de Aguas, Suelos y Bosques.

Ramírez (1985) señala que la declaratoria de Zona Protectora de la subcuenca del río Albarregas estuvo fundamentada en la Ley Forestal de Suelos y Aguas (LFSA) y en la Ley Orgánica para la Ordenación del Territorio (LOOT).

La declaratoria de la Zona Protectora nació de la necesidad de controlar, orientar y limitar la expansión física de la ciudad de Mérida, ya que las presiones ejercidas por el crecimiento urbanístico de Mérida-La Parroquia-Ejido originaban dos tipos de ocupamiento poblacional: uno de carácter disperso en las zonas altas y otro concentrado en las partes bajas (Pérez, 1987). Esta declaratoria de Zona Protectora, según el autor mencionado, tiene dos objetivos primordiales:

1. “ Que el área cumpla con la función de reguladora ambiental y recurso hidráulico”.
2. “El de establecer límites físico-naturales a la expansión urbana del eje Mérida-La Parroquia-Ejido y su utilización en función de la conservación de suelos, bosques y agua”.

En la Gaceta Oficial del 22 de agosto de 1973, donde se dicta dicha declaratoria, no se especifican los usos a los cuales puede ser sometida la Zona Protectora ; sin embargo, se señala el nombramiento de una comisión interinstitucional constituida por un representante de la Corporación de Desarrollo de Los Andes (Corpoandes), representantes de los ministerios de la Defensa, Obras Públicas, Sanidad y Asistencia Social, Agricultura y Cría; representantes de la Gobernación del Estado Mérida, del Consejo Distritorial Libertador del Estado Mérida y de la Universidad de Los Andes, para elaborar un reglamento de uso de la Zona Protectora y presentarlo al Ejecutivo Nacional para su aprobación.

Actualmente no ha existido voluntad por parte de las instituciones mencionadas para la formalización de una unidad de criterio para elaborar el reglamento de uso y discutir las orientaciones del manejo de la Zona Protectora, administración y cumplimiento del reglamento.

La institución encargada hasta el momento de la administración de la Zona Protectora es el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables.

Pérez (1987) refiere que la complejidad de la administración de la Zona Protectora requiere de la cooperación de varios organismos, pero la división política-administrativa en la cual se enmarca la Zona Protectora ha constituido un factor determinante para la disgregación de criterios en cuanto a la administración y el manejo. Además, señala que para la elaboración del reglamento de uso es necesario, primero, instrumentar la Ordenanza Municipal de Zonificación de la Zona Protectora dictada el 8 de agosto de 1974. La cuenca baja del río Albarregas incluye además un área crítica con Prioridad de Tratamiento dictado bajo el

decreto No. 194 del 2 de Julio de 1979 y un Parque Metropolitano dictado mediante el decreto No. 1515 del 9 de Julio de 1982.

El Proyecto S1-2253 (Calidad de agua del río Albarregas) CONICIT

A continuación se abordan algunos aspectos importantes sobre el mencionado proyecto, para el conocimiento de la fuente de datos que sirvió de base en la elaboración del presente trabajo. Dicha información surgió de las consultas realizadas a los técnicos involucrados en el mencionado proyecto.

El proyecto S1-2253 fue propuesto en 1993 y fue financiado parcialmente por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICIT). La ejecución del proyecto de investigación fue realizada por el personal del Laboratorio N°6 del Grupo de Ecología Animal, Facultad de Ciencias de la Universidad de Los Andes. Este proyecto surgió de la necesidad de mejorar algunas condiciones ecológicas del río Albarregas en vista a su integración como fuente de agua para consumo humano y a su progresivo deterioro. El proyecto mencionado consistió en un programa de muestreo de macroinvertebrados bénticos, reforzado con el muestreo de algunos parámetros físico-químicos para determinar la calidad del agua.

El programa de muestreo se llevó a cabo en 10 estaciones de dos ríos de la ciudad de Mérida (Albarregas y La Pedregosa), por un período de 12 meses (Enero a Diciembre de 1993). En el río Albarregas se seleccionaron 8 sitios de muestreo (A1-Monte Zerpa, A2-Progal, A3-Planta de Tratamiento, A4-Corpoandes, A5- Plaza de toros, A6-Cruz Verde, A7-Puente Belenzate, A8-Zumba) y en el río La Pedregosa se seleccionaron 2 sitios de muestreo (P1-Pedregosa Alta y P2- Pedregosa Baja). La estación A1 se ubicó en el bosque nublado Monte Zerpa, zona de menos intervención antrópica y A8 en el sector cercano a la desembocadura del río Albarregas en el río Chama. Las estaciones A4 - A7 se establecieron en la zona de alta densidad poblacional de la ciudad de Mérida, Figura 9.

Los sitios de muestreo fueron seleccionados de acuerdo con la altitud y con la accesibilidad. En cada estación se realizó un muestreo mensual; cada muestreo estuvo constituido por 4 colectas en un área aproximada de 150 x 10 m. Los muestreos incluían colectas simultáneas de la mesofauna béntica y mediciones de variables físico-químicas. Las variables físico-químicas fueron seleccionadas de acuerdo con los problemas ecológicos, la importancia para el análisis y el costo económico (Durant, 1996).

La colecta de la mesofauna béntica se efectuó a través del método de extracción por electricidad, la fijación o preservación del material biológico por métodos convencionales como la fijación en formaldeído al 10% y el procesamiento de las muestras (limpieza del material biológico) se realizó por el método de flotación. Según Durant (1996), sólo se procesó el 10 % de la homogenización de las cuatro colectas efectuadas por muestreo en cada estación, debido al gran volumen del material zoológico colectado y al limitado tiempo. Las

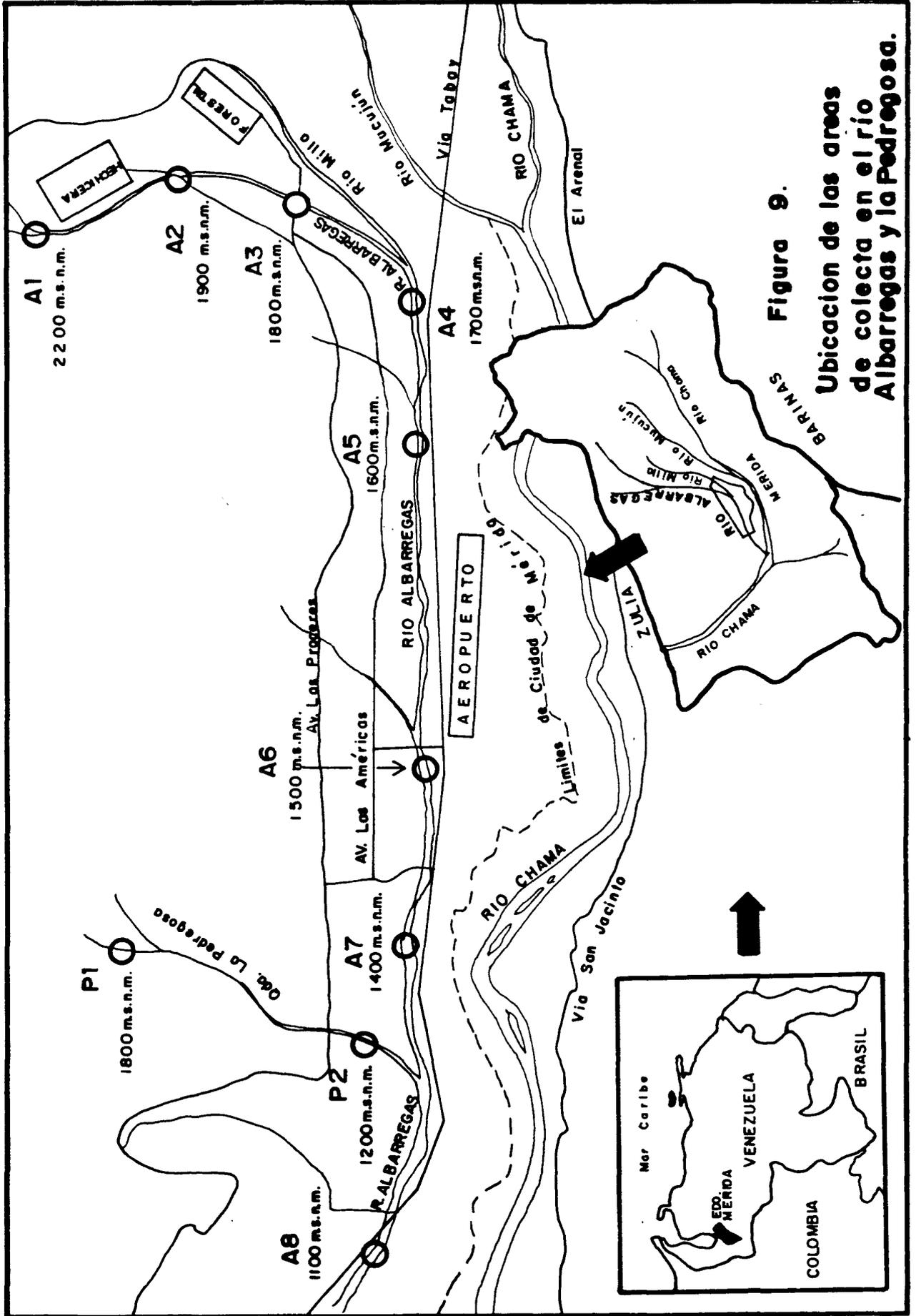


Figura 9.
Ubicación de las áreas de colecta en el río Albarregas y la Pedregosa.

muestras procesadas fueron depositadas en el Laboratorio N° 6 del Grupo de Ecología Animal para su posterior análisis.

También durante el muestreo se registraron datos sobre la temperatura máxima y mínima del agua, velocidad de la corriente, caudal, dureza total, oxígeno disuelto, alcalinidad, anhídrido carbónico y pH, para el cual se obtuvo un promedio de las 10 lecturas realizadas por parámetro (Ver Apendice 2). Las medidas registradas excepto la velocidad de la corriente fueron efectuadas a través de un equipo portátil de Ecología de Agua, marca HACH-TEST-KIT, modelo AL-36B y un Ph-metro portátil, tipo Ph ep-1.

La velocidad de la corriente fue medida por el método del corcho, ancho y profundidad del cauce y de cuyos datos se calcularon los caudales (Durant, op. cit.)

Los datos fisico-químicos y el material biológico colectado proporcionados por el programa de muestreo, han sido utilizados para la elaboración del presente estudio y cuya metodología de trabajo se muestra en el siguiente capítulo.

CAPITULO IV

METODOLOGÍA

Para lograr la consecución de los objetivos propuestos y realizar el Estudio Fenológico del Orden Ephemeroptera como indicador de la calidad del agua en la subcuenca (río Albarregas y La Pedregosa), se diseñó una metodología apropiada que consistió en el desarrollo de seis actividades, cada una de las cuales estuvo constituida por una serie de pasos (Ver Figura 10). Estas actividades fueron:

- Revisión bibliográfica
- Visita al área de estudio
- Entrevistas personales
- Trabajo de laboratorio
- Procesamiento de datos
- Análisis e interpretación de los resultados

Revisión bibliográfica

Consistió en la consulta de material bibliográfico literario existente sobre las investigaciones realizadas con base al Orden Ephemeroptera como indicador de la calidad del agua (taxonomía, abundancia, diversidad, distribución, fenología y aspectos ecológicos). Además se consultaron los modelos estadísticos existentes para el análisis e interpretación de la composición y estructura de la comunidad como los modelos paramétricos y no paramétricos. También se consultaron aspectos relacionados con la contaminación de los cuerpos de agua dulce de la subcuenca del río Albarregas y algunos estudios realizados sobre el caso, así como los aspectos legales e institucionales involucrados. Se indagó además sobre las características ambientales del área de estudio.

El propósito de esta actividad fue lograr una idea integral sobre el tema, aclarar conceptos y reforzar el conocimiento sobre los mecanismos de análisis e interpretación de una investigación de esta índole. Esta actividad se llevó a cabo durante el desarrollo de este trabajo hasta su finalización.

Visita al área de estudio

La finalidad fue realizar un reconocimiento general del área de estudio (subcuenca del río Albarregas), para conocer la ubicación y las características naturales de los sitios de muestreo que fueron seleccionados en la colecta de especímenes en estudios anteriores (Durant, 1996), ubicación de algunos afluentes naturales del cauce principal, la situación de los afluentes cloacales y las actividades antrópicas asociadas a la zona.

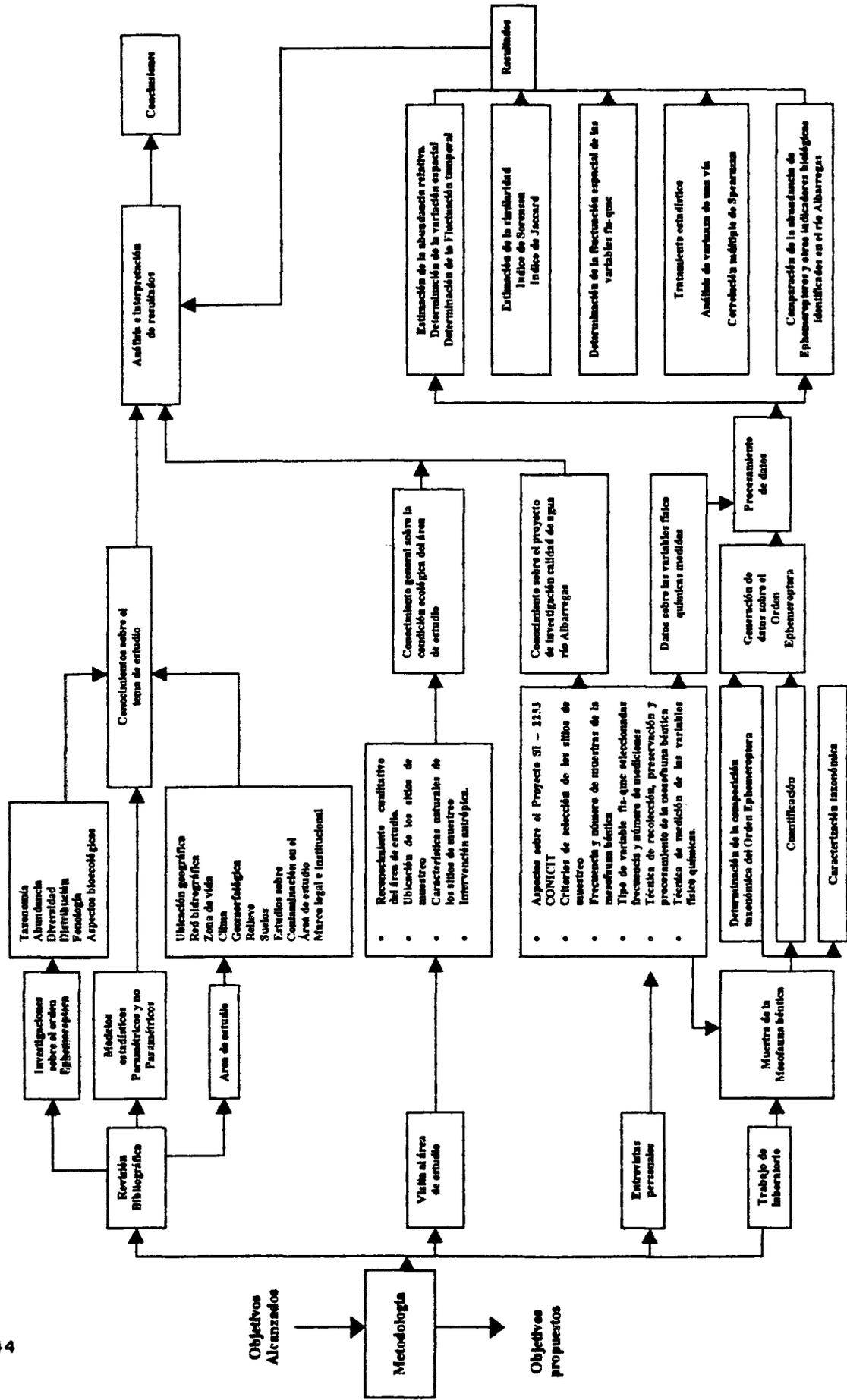


Figura 10. Flujo de la metodología aplicada

El reconocimiento cualitativo ayudó a tener una idea de la condición del área, lo que permitió explicar algunas de las interrogantes que surgieron al analizar e interpretar los resultados.

Entrevistas personales

Fueron dirigidas al personal técnico involucrado en el trabajo de campo, quienes realizaron la recolección de especímenes (macroinvertebrados bénticos) y las mediciones de las variables físico-químicas en el río Albarregas y La Pedregosa. Tenían como propósito conocer cuáles fueron los criterios de selección de los sitios de muestreo, frecuencia y número de muestras. Así mismo, la técnica de muestreo que se utilizó en la recolección, el método de preservación y la técnica de procesamiento del material biológico, así como el procedimiento que se empleó para medir las variables físico-químicas consideradas y cuales fueron estos parámetros.

El conocimiento sobre los aspectos mencionados proporcionó una idea general sobre el procesamiento del material biológico, desde su colecta hasta su almacenamiento. Además, se tuvo conocimiento de los registros en las estaciones seleccionadas de las variables físico-químicas.

Trabajo de laboratorio

Una vez que se conoció la técnica de recolección, preservación y limpieza de las muestras de material biológico que fueron almacenadas en el laboratorio N° 6 del grupo de Ecología Animal, se procedió a realizar el trabajo de laboratorio que fue la base fundamental de esta investigación. En el laboratorio se separaron los grupos de la mesofauna béntica por morfos. Luego se determinaron, cuantificaron y caracterizaron los especímenes del Orden Ephemeroptera disponibles en la muestra procesada (10 % de la muestra general) de cada estación del río Albarregas y La Pedregosa. Cabe destacar que, debido a la ausencia de los grupos ephemerópteros en las estaciones A5 - A8, no se realizó la determinación y la cuantificación en estas estaciones, por lo tanto, sólo se obtuvieron los datos de las estaciones A1 - A4. Estos datos fueron los utilizados en conjunto con las de las estaciones P1 y P2 en el estudio de estos organismos como indicadores de calidad del agua. A continuación se describen los pasos mencionados :

Determinación de la composición taxonómica

Consistió en la ubicación de los organismos en las correspondientes taxas del Orden Ephemeroptera, lo que significó caracterizar a cada grupo como perteneciente a este Orden, luego en la Familia y su correspondiente Género. La identificación se basó en la observación de los detalles morfológicos de cada individuo, utilizando, para ello, una lupa Carl Zeiss-Germany 10x y un microscopio Carl Zeiss-Germany Standard 25, serie LR 65844 C. Se utilizaron, además, claves taxonómicas adaptadas para la zona neotropical de Flowers (1992) y Roldán (1988), para realizar el trabajo sistemático.

La clasificación sistemática permitió conocer la composición taxonómica de los Ephemeropteros de la subcuenca del río Albarregas, es decir, los tipos de especímenes que constituyen el Orden y que caracterizan la zona de estudio.

Cuantificación

Una vez determinados los Géneros de Ephemeroptera, se procedió a realizar la cuantificación de los mismos. Esto consistió en el conteo de los individuos por Familia y por Géneros. Los datos obtenidos se ordenaron en tablas elaboradas para estos registros. La finalidad de la cuantificación fue generar datos para el estudio de la abundancia y similitud del grupo.

Caracterización taxonómica

Se refirió a la descripción morfológica de los Géneros identificados, ya que cada Género es característico de un hábitat y estos Géneros pueden diferir de una región a otra. La caracterización fue muy importante en este estudio ecológico, ya que permitió explicar muchas adaptaciones de los Géneros en el ambiente de acuerdo con su morfología.

En la caracterización morfológica de Géneros, se tomó en cuenta la forma, disposición, tamaño y número de las estructuras y apéndices de la región cefálica y del cuerpo. Esta se inició reconociendo la región cefálica con sus estructuras y apéndices como los apéndices bucales, las antenas, los ojos, ocellis, el clipeo y el labrum. Luego el reconocimiento del cuerpo con sus estructuras y apéndices como las patas y las branquias, hasta culminar en el extremo caudal. Esta descripción se realizó organizadamente y de la forma más sencilla. La caracterización morfológica requirió de la observación minuciosa y en detalle del espécimen, por tal razón, se utilizaron instrumentos ópticos, como los ya mencionados, pertenecientes al Laboratorio 6 del Grupo de Ecología Animal (Facultad de Ciencias, Universidad de Los Andes, Mérida). Además, se empleó una cámara clara para definir y diseñar el esquema de las estructuras corporales del espécimen. En esta forma se obtuvieron los dibujos representativos de la morfología de cada Género. Fue así como se logró el primer objetivo planteado (Ver capítulo I).

Procesamiento de datos

Se concretó la transformación de la información de campo - variables físico-químicas medidas y la abundancia de Ephemeropteros - en valores numéricos susceptibles de ser posteriormente analizados y el tratamiento estadístico respectivo.

Primero se procesaron los datos procedentes de la cuantificación de Ephemeropteros realizada en el laboratorio y luego se procesaron los datos crudos de las variables físico-químicas tomadas en el campo. Como los muestreos fueron realizados en dos ríos de la subcuenca, río Albarregas y Pedregosa (Durant, 1996) se trabajaron los datos obtenidos en cada lugar por separado, para compararlos posteriormente.

De acuerdo con el segundo y tercer objetivo planteado (Ver capítulo I), se desarrollaron los siguientes pasos para lograr dichos objetivos.

Estimación de la abundancia

La estimación de la abundancia de Ephemeropteros fue realizada para el río Albarregas y La Pedregosa y en ambos casos se aplicó el mismo procedimiento, por lo tanto, se ha descrito la estimación de la abundancia sólo para el caso del río Albarregas. Cabe destacar que la abundancia se estimó tomando en consideración el número de organismos colectados por Familia y por Género en dichos biotopos. Este procedimiento fue realizado con la intención de comparar la abundancia de los grupos identificados (Familia y Géneros).

La abundancia en el río Albarregas se calculó por Familia, Géneros por Familia y la abundancia de Géneros respecto al total colectado en la siguiente forma :

- La abundancia por Familia se estimó realizando la sumatoria de los individuos pertenecientes a cada Familia identificada en la estación A1 - A4. Una vez obtenida la abundancia por Familia se procedió a expresarla en porcentajes (abundancia relativa). Para ello se hizo la relación de los totales de organismos por Familia colectados en el río Albarregas y el total de organismos colectados. El coeficiente que se obtuvo se multiplicó por 100

$$\text{Abundancia/Familia} = \frac{\text{Total de organismos /Familia}}{\text{Total de organismos colectados}} * 100 \quad (1)$$

Posteriormente las abundancias relativas fueron representadas en un gráfico de torta tridimensional para detectar más fácilmente las Familias de mayor proporción presentes en el río Albarregas. Los siguientes cálculos de abundancia se expresaron al igual que el caso anterior en forma porcentual (abundancia relativa).

- La abundancia relativa de Géneros por Familia se calculó por medio de la relación totales de organismos por Género colectados en el río Albarregas y los totales de organismos por Familia respectiva colectados. El coeficiente resultante se multiplicó por 100 %.

$$\text{Abundancia de Géneros/Familia} = \frac{\text{Total de organismos por Género}}{\text{Total de organismos por Familia respectiva}} * 100 \quad (2)$$

Al igual que en caso anterior las abundancias relativas se representaron en gráficos de tortas tridimensionales. En esta forma se pudo visualizar la proporción de los Géneros que fueron mayores en la Familia respectiva.

- La estimación de la abundancia relativa por Género se realizó haciendo la relación de los totales de organismos por Género colectados en el río Albarregas y el total de organismos colectados. El coeficiente que se obtuvo se multiplicó por 100.

$$\text{Abundancia de Géneros} = \frac{\text{Total de organismos por Género}}{\text{Total de organismos colectados}} * 100 \quad (3)$$

También en este caso, las abundancias relativas se representaron en gráficos de tortas tridimensionales. Esto facilitó la comparación de las proporciones de los Géneros identificados en el río Albarregas.

Determinación de la variación espacial de la abundancia

La variación espacial de la abundancia de Ephemeropteros se determinó para el río Albarregas y La Pedregosa utilizando el mismo procedimiento en ambos. Por tal razón, sólo se explica dicho procedimiento para un biotopo. El propósito de este paso fue de comparar la abundancia de los Géneros identificados de acuerdo con la calidad de agua de cada sitio de muestreo (Parámetros físico-químicos registrados en cada estación). Ésta se llevó a cabo en la siguiente forma:

- Se estimó la abundancia relativa de cada uno de los Géneros en cada una de las estaciones, haciendo la relación total de organismos por Género colectado, por estación y el total de organismos por Género respectivo colectados en el río Albarregas. El coeficiente resultante fue multiplicado por 100 .

$$\text{Abundancia de Géneros/estación} = \frac{\text{Total de orgs. por Género por estación}}{\text{Total de orgs. por Género respectivo colectado en el río Albarregas.}} * 100 \quad (4)$$

Las abundancias relativas obtenidas se representaron por estación en un gráfico de barra tridimensional (Abundancia Vs estaciones de muestreo), en la cual se mostró la variación espacial de la abundancia de cada Género identificado.

Determinación de la fluctuación temporal de la abundancia

Al igual que en los pasos anteriores, la determinación de la fluctuación temporal de la abundancia de Ephemeropteros se realizó tanto en el río Albarregas como en el río La Pedregosa. Ésta tuvo como propósito conocer la tendencia fenológica de estos grupos como indicadores de la calidad del agua. La determinación de la fluctuación temporal se realizó por Género identificado y por estación en la siguiente forma :

- Primero se estimó la abundancia mensual de cada Género identificado por estación de muestreo, es decir la estación A1- A2 - A3 y A4. Para ello se realizó la sumatoria de los organismos de un determinado Género en un mes determinado y en su correspondiente estación de muestreo.
- Cada abundancia mensual de un Género en particular, y de acuerdo con su respectiva estación, fue expresada en forma porcentual (abundancia relativa). Esta se efectuó dividiendo la abundancia mensual del Género tratado entre su total colectado. El coeficiente que se obtuvo se multiplicó luego por 100.

$$\text{Abundancia mensual} = \frac{\text{Total de orgs. / Género / mes / estación}}{\text{Total de org. / Género respectivo colectado}} \cdot 100 \quad (5)$$

- Posteriormente, se presentó en un mismo gráfico de barra tridimensional, las abundancias relativas de un Género en particular calculadas para la estación A1 - A2 - A3 y A4. Para ello se gráfico la abundancia relativa del Género Tratado Vs meses. En esta forma se determinó la fluctuación temporal de un Género en particular por estación de muestreo, es decir, las variaciones en la abundancia que dicho Género mostró a lo largo de los meses de muestreo y donde se presentaron los picos máximos y mínimos de abundancia.

Estimación de la similaridad

La similaridad es una cualidad ecológica que permite comparar comunidades de sitios diferentes desde el punto de vista de su composición y estructura. Estas comparaciones nos permiten conocer que tan parecidas son las comunidades que caracterizan los sitios en consideración y definir si existen impactos negativos que ocasionan cambios en la biota (Orden Ephemeroptera).

La estimación de la similaridad se realizó de acuerdo con los índices de Sorensen y Jaccard, cuyas expresiones matemáticas son :

$$S = 2j / (a+b) \quad (6)$$

$$I = J / (a+b) - j \quad (7)$$

donde :

S = Índice de Sorensen

I = Índice de Jaccard

j = Número de Géneros comunes a ambos biotopos

a = Número de Géneros presentes en el biotopo a.

b = Número de Géneros presentes en el biotopo b.

La estimación de la similaridad entre las estaciones de muestreo se realizó por medio de dos índices, ya que la similaridad puede presentarse significativa con un determinado

índice, mientras que con otros no. Los índices de similitud están comprendidos entre 0 y 1, mientras más cercano a cero, menos parecida será la comunidad que se compara (Mellanby, 1986).

Para realizar los cálculos se tomaron los datos de los números de Géneros comunes para los pares de las estaciones de muestreo : A1-A2, A1-A3, A1-A4, A1-P1, A1-P2, A2-A3, A2-A4, A2-P1, A2-P2, A3-A4, A3-P1, A3-P2, A4-P1, A4-P2 y P1-P2 del río Albarregas y la Pedregosa. Luego los datos de los Géneros presentes en A1-A2-A3-A4-P1 y P2. Estos datos se substituyeron en cada expresión matemática para obtener los índices.

Aplicación del análisis de varianza

El análisis de varianza fue una técnica que se empleó para averiguar la magnitud de las contribuciones de cada una de las fuentes de variación total. Esta técnica se utilizó con el fin de estimar y probar las hipótesis acerca de las medias de la abundancia de Ephemeropteros y de las variables fisico-químicas medidas en el río Albarregas y La Pedregosa. Específicamente, se empleó el análisis de varianza de una vía (ANOVA I), considerando la abundancia de los grupos taxonómicos, parámetros fisico-químicos y los factores sitios y meses de muestreo. Para dicho análisis se siguieron los siguientes pasos:

Elaboración de las hipótesis

Se formularon las hipótesis nulas (H_0) y las alternativas (H_A) sobre las medias de las abundancias de los grupos Ephemeropteros y de las variables fisico-químicas medidas en cada biotopo (río Albarregas y La Pedregosa).

Biotopo 1: Río Albarregas

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$$

H_A : no todas las μ_j son iguales

Biotopo 2: Río La Pedregosa

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

H_A : no todas las μ_j son iguales

Cálculos

Los cálculos se realizaron para probar o rechazar la hipótesis nula (H_0). Para ello se empleó el programa computacional llamado Statistical Package Social Science (SPSS). A través de este programa se realizaron estimaciones de la suma de cuadrado total (SC_{total}), suma de cuadrado entre los grupos (SC_{entre}), suma de cuadrado dentro de los grupos (SC_{dentro}), el cuadrado medio entre los grupos (CM_{entre}), el cuadrado medio dentro de los grupos (CM_{dentro}), los grados de libertad (g.l.), la razón de varianza (R. V.), y las probabilidades (P).

Decisión estadística

Para llegar a una decisión estadística sobre el rechazo o aceptación de la hipótesis nula (H_0) formulada se comparó la razón de varianzas (R.V.) calculada con el valor crítico de F; que se obtuvo consultando la tabla de distribución F (Wayne, 1993) a un nivel de significación de $\alpha = 0,05$ con el valor de los grados de libertad. Cuando el valor calculado de la razón de varianzas (R.V.) fue mayor que el valor crítico de F, se rechazó la hipótesis nula (H_0).

Aplicación de los test a posteriori (Pruebas de significación)

Los test a posteriori se llevaron a cabo siempre que el análisis de varianzas de cada variable condujo al rechazo de la hipótesis nula (H_0) de no diferencia entre las medias. Estas se aplicaron para conocer cuáles parejas de medias fueron distintas. Las pruebas de significación que se aplicaron fueron la de Scheffé, LSD y la de Duncan. Para estos cálculos se utilizó el programa estadístico mencionado anteriormente.

Cabe destacar que todo el procedimiento del análisis de varianzas se aplicó para cada variable físico-química muestreada (temperatura, alcalinidad, pH, dióxido de carbono, dureza total, oxígeno disuelto, velocidad de la corriente y caudal), así como la variable abundancia de cada Género identificado en el río Albarregas y el río La Pedregosa.

Aplicación del análisis de correlación

El análisis de correlación se refirió a la medición de la intensidad de la relación entre las variables. Esta técnica se utilizó con el propósito de medir la covariación conjunta de una variable con otra, es decir, de las variables físico-químicas y de la abundancia de Ephemeropteros medidas en el río Albarregas. Para tal finalidad, se empleó el análisis de correlación múltiple de Spearman, en cuyos análisis se estimó el coeficiente de correlación que fue la medida de la dependencia de una variable determinada con las otras.

Los pasos que se siguieron fueron los siguientes:

Elaboración de las hipótesis

Se elaboraron las hipótesis nulas (H_0) y las alternativas (H_A) sobre el grado de relación entre la variable abundancia de los grupos Ephemeropteros y las variables físico-químicas medidas en el río Albarregas y el río La Pedregosa. Estas hipótesis fueron:

Biotopo1: Río Albarregas

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = 0$$

$$H_A: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 \neq 0$$



Bitopo 2: Río La Pedregosa

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = 0$$

$$H_A: \beta_1 = \beta_2 \neq 0$$

Cálculos del coeficiente de correlación múltiple

Para realizar los cálculos de este coeficiente se utilizó el programa computacional Statistical Package Social Science (SPSS), por medio del cual se calculó el coeficiente de determinación (R^2) del cual se obtuvo el coeficiente de correlación múltiple (R) y las probabilidades. Según Wayne(1993), el coeficiente de correlación está comprendido entre 0 y -1 ó entre 0 y 1. Un coeficiente igual a cero indica la ausencia de correlación, si es igual a uno (positivo o negativo) la correlación es perfecta. La correlación negativa indica que las variables tienen sentidos opuestos.

Los coeficientes de correlación fueron calculados correlacionando el número de individuos de cada Género con cada una de las variables físico-químicas registradas en el río Albarregas.

Prueba de hipótesis

Para probar la hipótesis nula (H_0) formulada anteriormente fue necesario calcular el valor de F para el río Albarregas. Igualmente este cálculo se realizó a través del programa estadístico, mencionado anteriormente.

Decisión estadística

La decisión estadística sobre el rechazo o aceptación de la hipótesis nula (H_0) se realizó mediante la comparación de F calculada con el valor crítico de F. Este valor de F se obtuvo consultando la tabla de distribución F (Wayne, 1993) a un nivel de significación de $\alpha = 0,005$ con el valor de los grados de libertad. Cuando el valor de F calculado fue mayor que el valor crítico de F, se rechazó la hipótesis nula (H_0).

Es importante destacar que la correlación se realizó con los datos de la abundancia obtenida de los Géneros *Baetis sp*, *Baetodes sp*, *Dactylobaetis sp*, *Thraulodes sp*, *Terpides sp*, *Leptohyphes sp*, *Tricorythodes sp* y los datos de las variables físico-químicas, como temperaturas, alcalinidad, pH, dióxido de carbono, dureza total, oxígeno disuelto, velocidad de la corriente y caudal, obtenidas de las mediciones realizadas en el río Albarregas y el río La Pedregosa.

Comparación de la abundancia del Grupo Ephemeroptera con la abundancia de otros indicadores biológicos y la diversidad registrada en las estaciones de muestreo del río Albarregas.

La comparación entre la abundancia del grupo Ephemeroptera con la abundancia de otros indicadores biológicos de aguas limpias y de aguas contaminadas y también con la diversidad registrada en las estaciones de muestreo del río Albarregas, se realizó con la finalidad de mostrar evidencias de que este grupo es un buen indicador de aguas limpias de los sitios que caracterizan la subcuenca. Para tal fin, se compararon los resultados obtenidos en este estudio, acerca de la abundancia del grupo Ephemeroptera, con los resultados obtenidos por Durant, 1996, sobre otros indicadores de aguas limpias como los pertenecientes al grupo Diptera, Coleoptera y Tricoptera y también con indicadores de agua contaminada como los pertenecientes al grupo Molusca, Hirudinea y Oligochaeta; todos identificados en las estaciones de muestreo del río Albarregas. La comparación se realizó con los grupos indicadores más relevantes señalados por Durant (1996). Para ello se efectuó el siguiente procedimiento:

- Primero se seleccionó un grupo del Orden Ephemeroptera como el más representativo para la comparación. Para este caso se eligió el Género *Thraulodes*, pues fue el grupo de mayor significancia tomando en consideración el factor abundancia y las estaciones de muestreo de acuerdo con el análisis de varianza efectuado.
- Se tomaron los datos de abundancia relativa del Género *Thraulodes* calculados en cada estación de muestreo y se procedió a representarlos en un gráfico tipo barra simple. En el mismo gráfico se representó la abundancia relativa por sitio de muestreo de los indicadores de aguas limpias de los Géneros *Psephenus* (Coleoptera), *Atherix* (Diptera) y *Smicridae* (Tricoptera) y de los indicadores de aguas contaminadas como *Physa* (Molusca), *Glossiphonidae* 1 (Hirudinea) y *Nais* (Oligochaeta). Previa a esta representación de los grupos mencionados se calcularon sus abundancias relativas tomando los datos de abundancia o número de individuos registrados en cada estación de muestreo por Durant (1996). En el mismo gráfico se representaron los índices de diversidad, los cuales fueron calculados tomando los datos registrados por el autor mencionado. Para tales calculos se utilizó la expresión matemática de Shannon-Weaver:

$$\bar{H} = - \sum \frac{n_i}{N} \ln \frac{n_i}{N} * K \quad (8)$$

donde:

\bar{H} = Índice de Shannon-Weaver

K = Es una constante con valor de 3,322

n_i = Número de individuos de la especie i

N = Total de individuos muestreados

- Una vez obtenido el diagrama completo se procedió a analizar la fenología espacial de la abundancia de cada grupo representado, su asociación con las características de cada sitio y el significado de la diversidad presentada.

También se realizó la comparación entre cuatro grupos de Ephemeroptera (*Baetis sp.*, *Baetodes sp.*, *Thraulodes sp.*, y *Terpides sp.*), tres indicadores biológicos de aguas contaminadas como *Physa sp.*, *Glossiphonidae 1* y *Nais sp.* y tres parámetros físico-químicos (pH, oxígeno disuelto y temperatura) con los que más interactúan estos grupos. El propósito de esta comparación fue mostrar la fenología espacial que exhiben los grupos mencionados con respecto a la variabilidad de los factores físico-químicos más relevantes registrados en los sitios de muestreo del río Albarregas. Para esta comparación se realizaron los siguientes pasos:

- Primero se procedió a seleccionar las variables físico-químicas y Géneros identificados de Ephemeroptera más relevantes en cuanto a su asociación de acuerdo con el análisis de correlación múltiple, es decir los Géneros que tuvieron una estrecha interacción con determinada variable físico-química. Estos fueron los Géneros *Baetis*, *Baetodes*, *Thraulodes*, *Terpides* y los factores pH, oxígeno disuelto y temperatura. Luego se procedió a compararlos con los grupos más relevantes indicadores de aguas contaminadas y los que más interactúan con los parámetros físico-químicos mencionados referidos en el estudio efectuado por Durant (1996).
- Luego se procedió a tomar los valores promedios calculados espacialmente de cada variable (abundancia de Géneros y parámetros físico-químicos como temperatura, pH, y oxígeno disuelto) y se procedió a graficar los promedios de las concentraciones de las variables físico-químicas en cuestión con la abundancia relativa de los grupos mencionados en un sólo gráfico tipo lineal y de barra simple.
- A través de los gráficos se analizaron y se fijaron las fluctuaciones espaciales de la abundancia de los grupos indicadores de la calidad del agua y su relación con la variabilidad de los factores físico-químicos más relevantes.