

7. DISCUSIÓN

Los ambientes estudiados en este trabajo muestran una alta variación dentro de sus parámetros fisicoquímicos y de carga de nutrientes. Las condiciones generadas por los ambientes naturales y artificiales muestran diferencias tanto en parámetros de campo como en los de calidad del agua. De entre todas las variables medidas, las que mayor importancia presentan para los macroinvertebrados son el pH, la conductividad, y la temperatura, las cuales presentaron rangos de valores que sobrepasan las condiciones de los sistemas lénticos poco impactados de acuerdo a los límites de la NOM-001-ECOL-1996. De acuerdo a Ward (1992) estas mismas variables son las que afectan de manera más directa tanto el metabolismo como los ciclos de vida de los macroinvertebrados.

La alcalinidad observada con valores de hasta 10, se presentó principalmente en las lagunas de maduración de ambos humedales, generando con ello la presencia de organismos altamente tolerantes a estas condiciones. La enorme densidad de organismos como Corixidae puede deberse a que estos se adaptan a altas concentraciones de sodio, cloro, magnesio, calcio sulfatos, iones de carbonato y bicarbonato (Williams y Feltmate, 1994),

Estas variaciones en pH también concuerda con lo reportado por Kayombo y sus colaboradores (2002), quienes indica que a mayor incidencia de luz aumenta los valores de pH, consecuencia del intercambio gaseoso CO₂-Oxígeno.

Las lagunas de maduración son sistemas que incrementan de manera natural el pH debido a la relación que se da entre los nutrientes, productividad primaria alta y procesos de respiración (Rivas y Pozo, 2005). Este proceso de incremento en el pH es inclusive buscado por los constructores y manejadores de los humedales artificiales, ya que con ello están asegurando la reducción de bacterias patógenas así como disminución de carga de nutrientes por la presencia del fitoplancton (*op cit*).

Las variaciones en la temperatura, a pesar de que son importantes entre los sitios, se comporta de manera heterogénea, mostrando con ello que responde a los cambios naturales que acompañan al ciclo hidrológico natural. Por otro lado es importante considerar que los únicos sitios que mostraron temperaturas que sobrepasan los 30°C fueron nuevamente las lagunas de maduración. Otro punto importante a considerar es que las profundidades a las que se tomaron las muestras de invertebrados no sobrepasó lo 65 cm, es decir fueron sistemas bastante someros en donde la temperatura tiende a variar en un ciclo de 24 hrs, lo cual no fue considerado en este trabajo. En el caso de Tzintzuntzan se presentaron los valores más bajos, esto debido a que el sitio de muestreo se encontraba bajo una cubierta boscosa importante, generando con ello una baja en la temperatura.

El oxígeno disuelto es uno de los mejores indicadores de la calidad del agua debido a que la ausencia no permite el desarrollo de una comunidad de organismos diversa y saludable. Todas las localidades presentaron un periodo de anoxia a lo largo del año, en el caso del ambiente generado por el efluente del humedal de Cucuchucho y Tzintzuntzan fue en la primera temporada de secas (marzo 2006) y al inicio de la temporada de lluvias (mayo) a diferencia del ambiente natural de Santa Fe y Oponguio que lo presentan en el mes de septiembre, esto puede deberse que estos valores varíen por la hora de la del muestreo ya que el aumento del oxígeno disuelto depende de la producción primaria. En cuanto a la conductividad, salinidad, fosfatos totales y DBO₅ disminuyen en el periodo de septiembre que corresponde a la temporada de lluvias, mientras que van en aumento en la temporada de secas debido a los procesos de dilución de los contaminantes ya que en esta fecha ya pasaron las lluvias que acarrean los contaminantes. (González *et al*, 2005).

Según los valores máximos permitidos por la NOM-001-ECOL-1996 sobre los fosfatos totales (5 mg L^{-1}) y DBO_5 (30 mg L^{-1}) promedio mensual para la protección de la vida acuática, observamos que los promedios obtenidos para los ambientes generados por los efluentes de los humedales y Tzintzuntzan son mayores en el periodo de secas e inicio de lluvias, según esta comparación muestran que la localidad con menor impacto es Oponguio, el de mayor impacto Tzintzuntzan y los ambientes generados por los efluentes de los humedales se encuentran en un punto intermedio. Cabe aclarar que la metodología para calcular los promedios mensuales por la norma no es igual a la realizada por este estudio, solo se comparan los valores como referencia.

En el análisis de MANOVA confirma que los fisicoquímicos muestran diferencias significativas entre la localidad, tiempo y la asociación entre ellos.

Las lagunas de maduración se comportan de la misma forma que sus respectivos ambientes naturales con respecto a los periodos de anoxia y la dilución de los contaminantes en el periodo de lluvias.

En cuanto a la estructura de la comunidad de macroinvertebrados esta varía entre las localidades. El ambiente natural de Cucuchucho se encuentra dominada por *Hyaella azteca* que responde con un incremento en su densidad en ambientes con concentraciones altas de sulfatos, conductividad, alcalinidad y presencia de sedimento fino de materia orgánica (Gibbons y Mackie, 1991), coincidiendo con lo reportado por Alonso-EguíaLis y Huerto (2005) para las localidades Tarerio, Pacanda, Jarácuaro, Ojo de Agua y Puácuaro.

El ambiente natural de Santa Fe de la Laguna y Oponguio se encuentran dominados principalmente por la familia Corixidae, esto coincide, como se mencionó anteriormente, con sitios de valores altos de alcalinidad. Además de los corixidos y chironomidos en el ambiente generado por efluente del humedal de Santa Fe, otros

organismos que se presentan con alta densidad en este ambiente y que se adaptan a estas condiciones son la familia Ceratopogonidae y Odonata del género *Enallagma*, así como el género *Enochus* de la familia Hydrophilidae, la familia Dytiscidae y Ephydriidae que presentan bajas densidades, esto coincide con lo reportado por Williams y Feltmate (1994) para ambientes con alta concentración de salinidad. En Oponguio igualmente se encontró que estas condiciones son toleradas por *Enallagma* que es uno de los géneros con mayor densidad, así como la familia Leptoceridae (*Nectopsyche*) perteneciente al orden Trichoptera, aunque con densidades más bajas. En esta localidad otros grupos que presentaron densidades altas fueron Hyalellidae (*Hyalella azteca*) y la familia Hydrobiidae, los cuales, de acuerdo a Smith (2001) presentan una alta dependencia al carbonato de calcio, fundamental para el desarrollo de su concha, lo cual puede explicar su gran densidad ya que este sitio contiene altos niveles de iones carbonato (González et al 2005). Alonso-EguíaLis y Huerto (2005), reportan que esta localidad estaba dominada principalmente por *Hyalella azteca*, seguida de Hydrobiidae lo que se sugiere que posiblemente ha habido un aumento en la alcalinidad, generando con ello una posible sucesión y permitiendo el establecimiento de Corixidae como la dominante en la actualidad. El lago de Pátzcuaro posee como iones dominantes el sodio y bicarbonato dados por su geología (González *et al.*, 2005).

Al igual que las anteriores localidades, la estructura de la comunidad de Tzinzuntzan responde a las concentraciones de los iones antes mencionados ya que la familia dominante es Ephydriidae que se adapta a estas condiciones (Williams y Feltmate, 1994). Los demás géneros que presentan alta densidad pertenecen al orden Diptera como *Psychoda* (Psychodidae), *Eristalis* (Syrphidae) y *Culex* (Culicidae) que además poseen un valor de tolerancia de 10, lo que hace que este valor represente el

21% de lo reportado para esta localidad y que confirma que el sistema se encuentra dominado por organismos altamente tolerantes a la contaminación.

El análisis de los grupos funcionales permitió observar que en los dos ambientes creados por los efluentes de los humedales se genera una mayor número de grupos tróficos, mientras que en el resto de los sitios los sistemas están dominados por comunidades de menor complejidad, aún en Oponguio, que es de los más naturales y menos impactados dentro del lago. La presencia de una comunidad con diversos grupos funcionales permite que haya un ingreso y disposición de energía que sostiene a gran parte del sistema biótico que en él habita (Alonso-EguíaLis y Huerto, 2005), Cabe mencionar que los ambientes generados por los efluentes de los humedales artificiales no se ven influenciados por la presencia de fauna íctica, a diferencia de Oponguio, el cual se encuentra sometido a las condiciones que prevalecen en el lago.

En cuanto a los sistemas artificiales o lagunas de maduración, se observa que en Santa Fe la estructura de la comunidad está dominada por Corixidae, mientras que en Cucuchuchucho por Chironomidae, siendo ésta laguna de maduración la que presenta la mayor riqueza y diversidad.

En estos sitios se observa que el sustrato dominante es el perifiton, además de una densidad alta de fitoplancton, lo cual altera los valores de pH ya que la fotosíntesis modifica el balance entre el bióxido de carbono y el ácido carbónico (Jeffries y Mills, 1994), lo que es confirmado con los altos valores de pH en estos ambientes y que a su vez es el hábitat para los chironomidos que son los principales colonizadores de los ambientes creados por los hombres (Williams y Feltmate, 1994). De acuerdo a Merritt y Cummins, (1996) se ha observado una estrecha relación entre la presencia de los Chironomidos con los Corixidos lo cual implica una relación de depredador-presa, esto

explicaría la estructura observada en el ambiente natural de Santa Fe, Oponguio y las lagunas de maduración de ambas localidades.

Las diferencias en la estructura de la comunidad observada entre las lagunas de Cucuchucho y Santa Fe se pueden deber a un proceso de maduración y sucesión temporal debido a que este humedal tiene un mayor tiempo en operación, lo que sugiere que la laguna de maduración de Cucuchucho ha tenido una sucesión ecológica y que es probable que la laguna de Santa Fe sufra este proceso como se confirma en el estudio realizado en el humedal de tratamiento de agua de río por Gamble y sus colaboradores (2005).

Nuestros resultados son similares a lo reportado en el trabajo de Spieles y Mitsch (2000) en el humedal de tratamiento de aguas residuales construido en 1995, ya que ellos indican una dominancia de colectores; Sin embargo en los humedales de Pátzcuaro los siguientes grupos de mayor densidad fueron los depredadores mientras que el trabajo mencionado son los raspadores y posteriormente los depredadores, mostrando una mejor distribución en su proporción. Esto puede deberse a que el tiempo de funcionamiento del humedal analizado por los autores mencionados, presenta una antigüedad de cinco años, mientras que en nuestros sistemas artificiales solo contaban con un año de funcionamiento en el caso de Cucuchucho y de seis meses para Santa Fe, lo que nos indica que este mismo proceso de sucesión ecológica se puede presentar para nuestros sistemas.

Las diferencias temporales observadas en las estructuras de la comunidad de manera general para los ambientes y localidades sugieren que se encuentran determinadas por la historia de vida de las especies.

En el análisis de los índices de diversidad se confirmó que los ambientes generados por los humedales artificiales presentan una comunidad más compleja que

el resto de los sitios. Sin embargo también mostraron valores altos para sitios como Tzintzuntzan, lo cual no coincide con las condiciones encontradas en este sitio. Esto puede deberse a que los valores de diversidad, al estar conformados por la relación de densidad con la equitatividad, generan un valor que se ve modificado si la equitatividad es alta sin importar el tipo de organismos que conforman esta estructura de la comunidad, por ello Alonso-EguíaLis, (2004) sugiere utilizar estos valores con precaución, ya que pueden no reflejar correctamente las condiciones ecológicas donde se encontraron a los organismos.

Los valores obtenidos por el Índice Biótico de Hilsenhoff confirmaron las condiciones de calidad del agua que se presentan en nuestros sitios, este índice corresponde a lo esperado y conocido en ambientes con alta carga de nutrientes, ya que presentaron un grado de contaminación significativa y por lo tanto valores altos. Lo anterior sugiere que la comunidad de macroinvertebrados responde de manera diferente a las localidades y que hay una mejor calidad del agua en los dos ambientes analizados en Cucuchucho (Natural y Artificial). Por otra parte los valores del IBH para el ambiente natural de Santa Fe no muestra una buena calidad del agua, sin embargo, cuando se observa el tipo de organismos que dominan a cada una de las estaciones de muestreo de este sitio, se comprende que está claramente influenciado por las estaciones de menor riqueza y tipo de organismos, a pesar que la estación SF1 presenta una estructura más diversa y rica.

En el análisis del IBH en presencia y ausencia de la familia Corixidae, demostró que los valores del índice disminuyen de manera general. Sin embargo, al hacer este análisis se observó que las lagunas de maduración, que son los ambientes menos diversos y estructurados, al hacer el análisis sin los coríxidos provocan que se conviertan en los sitios de mejor calidad del agua, lo cual es, a la luz de todo este

trabajo un resultado incorrecto. Por ello, se determina que no se debe eliminar a ningún grupo a pesar de su alta frecuencia de aparición y alta tolerancia ya que genera resultados sesgados.

Por medio del análisis de la hipótesis nula obtenido a través de la curva de rarefacción se puede confirmar que existen diferencias significativas, en los valores de riqueza, diversidad y dominancia, entre los ambientes generados por los efluentes de los humedales artificiales y el resto de las localidades. Los ambientes naturales de los humedales también muestran en este análisis poseer una mayor riqueza, diversidad y equidad. Se corrobora que no existe un sesgo debido a diferencias en el esfuerzo de muestreo, ya que con un mínimo de 200 individuos se obtiene diferencias significativas.

El análisis del coeficiente de Jaccard mostró que la comunidad de macroinvertebrados responde diferencialmente a las condiciones de los ambientes estudiados ya que las agrupaciones confirman similitudes entre los sitios menos impactados y con mayor riqueza y diversidad, separando a los ambientes más impactados y menos diversos como fueron Tzintzuntzan y la laguna de maduración de Santa Fe. A su vez, la agrupación observada de los sitios de Cucuchucho con Santa Fe 1 corrobora que esta localidad está representada por una comunidad tan estructurada y compleja como lo encontrado en Cucuchucho, lo cual no se ve reflejado en el IBH como se mencionó anteriormente. Con ello se demuestra que los ambientes generados por los efluentes de los humedales artificiales ofrecen los requerimientos necesarios para el desarrollo de una comunidad de macroinvertebrados con una mejor estructura y que represente una mejor calidad del agua, aun si se compara con la localidad de Oponguio que es la de menor impacto dentro del lago.

Los análisis de similitud de Jaccard y de hipótesis nula se complementan y confirman que los resultados basados en los elencos de la comunidad confirmando que

la localidad de Oponguio es la que presenta valores altos de de dominancia razón por la cual sus valores de diversidad son bajas.