

# Análisis de Componentes Principales, como herramienta para interrelaciones entre variables fisicoquímicas y biológicas en un ecosistema léntico de Guerrero, México

Humberto Ávila Pérez<sup>1</sup>, Sergio García Ibañez<sup>2</sup>, José Luis Rosas-Acevedo<sup>3</sup>

Unidad Académica en Desarrollo Sustentable<sup>1</sup>, <sup>2</sup>Unidad Académica de Ecología Marina<sup>2</sup>, Unidad de Ciencias de Desarrollo Regional<sup>3</sup>

Universidad Autónoma de Guerrero

Acapulco, Gro., México

jlrosas71@yahoo.com

**Abstract**— Principal Component Analysis (PCA) applies in order to understand the interrelationships between the variables analyzed to determine the degree of alteration of the water of Coyuca de Benitez lagoon, at Guerrero, Mexico. Temperature, pH, dissolved oxygen, conductivity, TDS, salinity, diversity, abundance, class 1, 2, 3 (oxygen requirements by insects) and orders of insects collected: physicochemical and biological variables were considered. The results illustrate the application of the PCA, which allowed finding that the variables Temperature, pH and dissolved Oxygen showed higher interrelationships in this lentic system.

**Keywords**— ACP, relationships, alteration, lineal relationship, macroinvertebrates

**Resumen**— Se aplicó el Análisis de Componentes Principales (ACP), con el objeto de conocer las interrelaciones entre las variables analizadas que determinan el grado de alteración del agua de la Laguna de Coyuca de Benítez, en Guerrero, México. Se consideraron variables fisicoquímicas y biológicas como: Temperatura, pH, Oxígeno disuelto, conductividad, sólidos totales disueltos, salinidad, diversidad, abundancia, clase 1, 2, 3 (requerimientos de oxígeno por insectos) y ordenes de insectos colectados. Los resultados permiten ilustrar las aplicaciones del ACP, que permitieron encontrar que las variables Temperatura, pH y Oxígeno disuelto presentaron mayores interrelaciones en este sistema léntico.

**Palabras claves**— ACP, interrelaciones, alteración, relación lineal, macroinvertebrados

## I. INTRODUCCIÓN

La evaluación de la calidad de los ecosistemas acuáticos y el ajuste de metodologías particulares para cada región o país constituye un reto en la actualidad. De tal modo, la variedad de métodos para el estudio de las asociaciones específicas de invertebrados y los hábitats acuáticos son diversos. Por otro lado, la presencia de especies de invertebrados en un lugar determinado del bentos, está controlada por gran número de factores fisicoquímicos (O'Neill, et al., 1989; Parsons, et al., 2010; Staehr, et al., 2010).

Desde la perspectiva de las comunidades de macroinvertebrados y su relación con parámetros ambientales, por encima de una visión únicamente fisicoquímica sobre el estudio de los ecosistemas acuáticos se presentaron al final de los años 40 y principios de los 50 en países europeos como España (Margalef, 1946; 1953) y la tendencia ha continuado hasta la actualidad en diversos países (Pirex et al., 2000; Prat y Munné, 2000; Vivas et al., 2004; Baptista et al., 2011; Rosas et al., 2014).

Una determinada fuente de aguas puede tener la calidad necesaria para satisfacer los requerimientos de un uso en particular y al mismo tiempo, no ser apta para otro, como ocurre en la laguna de Coyuca. El análisis de componentes principales (ACP), es una técnica utilizada para sintetizar o reducir la dimensionalidad de un conjunto de datos, es decir, ante un banco de datos con muchas variables, para reducirlas a un menor número perdiendo la menor cantidad de información posible. Intuitivamente la técnica sirve para hallar las causas de la variabilidad de un conjunto de datos y ordenarlas por

importancia, con el objeto de conocer las interrelaciones entre las variables analizadas que determinan el grado de alteración del agua en la laguna de Coyuca.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

La Laguna de Coyuca se localiza al noroeste del Puerto de Acapulco, en la Región Hidrológica No. 19 las coordenadas geográficas y características de cada estación de colecta (Figura 1) fueron citadas en Rosas-Acevedo et al., (2014). La laguna, es un cuerpo de agua somero de volumen variable, según la época de secano y de estío, por lo que su régimen biestacional modifica la densidad del sistema acuático, con incremento de materia orgánica particulada (Delgadillo, 1986), lo que origina un fondo predominantemente fangoso, de características topográficas y superficiales muy irregulares (Aguirre, 2001).



Fig. 1. Ubicación de las 10 estaciones de muestreo en la laguna de Coyuca.

Se realizaron 13 muestreos de abril 2011 a abril 2012 en las 10 estaciones de colecta, en un horario de 8:00-12:00 hrs. Se utilizó un medidor multiparamétrico marca Hash 156 (HA 54650-015) con tres electrodos y calibrado antes de cada toma de datos. Éstos fueron los siguientes: temperatura, pH, Oxígeno Disuelto, conductividad, sólidos totales disueltos, salinidad, con base a dos estándares de calidad aceptados por las normas oficiales mexicanas para los usos de consumo, para la vida de los peces, para baño y actividades recreativas: NOM-127-SSA1-1994 (SSA, 1994) y los Criterios Ecológicos CE-CCA-01/89, para protección de vida acuática del agua dulce y marina.

Además, se determinó la diversidad y abundancia de larvas de insectos acuáticos, a nivel de orden, familia y género mediante claves taxonómica (Mc Cafferty, 1983; Jara y Mercado, 2000 y Domínguez, 2001). Los taxones identificados y su ubicación dentro de las clase I, II y III, de las tablas pictóricas de identificación rápida del Instituto Mi Río (2001) fueron descritos en Rosas-Acevedo et al., (2014), con ellos se elaboró una base de datos para el análisis estadístico, utilizando el programa de cómputo Statistical Package for Social Science (SPSS ver. 19).

Para la obtención de los grupos de los sitios a partir de los promedios de valores de los factores fisicoquímicos, así como de la diversidad y abundancia, se aplicaron las técnicas de Análisis de Varianza de una Sola Vía (ANOVA), donde previamente se obtuvo la prueba de Homogeneidad de varianzas de Levene's. Cuando las varianzas resultaron ser no homogéneas, se realizaron

transformaciones utilizando logaritmos vulgares (log) y neperianos (Ln) para lograr la estabilización de las varianzas y definición de los grupos.

La comparación múltiple de medias se llevó a cabo con los estadísticos de Scheffé y Tukey. Para conocer el grado de asociación entre las variables biológicas (diversidad y abundancia) con las variables fisicoquímicas del agua (pH, Temperatura, Oxígeno disuelto, Salinidad, Sólidos Totales Disueltos, Conductividad), se aplicó la correlación paramétrica bivariada de Pearson. Para observar la relación multivariada de los factores fisicoquímicos con los factores biológicos se aplicó un análisis multivariado de datos, a partir de la técnica de reducción de dimensiones conocida como Análisis de Componentes Principales.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### A. Variables fisicoquímicas

Con respecto a la variable Temperatura, las varianzas fueron homogéneas y de acuerdo al ANOVA (Tabla 1), no se determinaron diferencias significativas de la variable entre los sitios de colecta, lo cual fue corroborado con la prueba de contrastes múltiples de Scheffé, por lo que los valores pueden considerarse como homogéneos.

Por otro lado, con la variable pH las varianzas no fueron homogéneas (Tabla 1) a través del ANOVA, se determinaron diferencias significativas de al menos uno de los grupos, por lo que al aplicar el estadístico de Scheffé, se observaron dos grupos de valores, de tal manera que el primer grupo estuvo conformado por los sitios de muestreo: Carrizal, Playa Azul, Paraíso de los Manglares y La Barra, así mismo, en el segundo grupo por los sitios de colecta: Mogotes, Base Aérea, Luces del Mar, Embarcadero, La Playita y Pedregoso.

En lo que respecta al Oxígeno Disuelto, no se determinaron varianzas homogéneas y en lo que respecta al ANOVA (Tabla 1) se determinaron diferencias significativas de los promedios de dicha variable entre los sitios; de esta manera, con la prueba de Tukey se determinaron dos grupos, dentro de los cuales el menor valor lo presentó el sitio de colecta Carrizal, y el resto de los puntos de muestreos, registraron valores estadísticamente similares.

Referente a la variable Conductividad, se observó que las varianzas fueron homogéneas y que en función de los resultados del ANOVA (Tabla 1) al menos uno de los promedios fue diferente, éstos se determinaron en función de la prueba de Scheffé y Tukey, resultando dos grupos de los cuales el primero estuvo conformado por los valores menores de conductividad, y que correspondieron a los sitios Playa Azul, Carrizal y La Barra; el resto de los sitios formó un grupo con los valores promedio mayores de la variable.

En la variable sólidos totales disueltos (STD), las varianzas no fueron homogéneas y de acuerdo a los resultados del ANOVA (Tabla 1), se determinaron diferencias significativas en al menos uno de los promedios, por lo que con la prueba de comparación múltiple de medias de Scheffé, se determinó que los menores valores se presentaron en los sitios Playa Azul, Carrizal y La Barra, y los valores mayores en los sitios restantes.

Finalmente, para la variable Salinidad, las varianzas fueron homogéneas y la prueba de ANOVA (Tabla 1), verificó la existencia de al menos un promedio de dicha variable diferente a los restantes. De esta forma se determinaron dos grupos, en donde los menores valores se presentaron en los sitios Playa Azul, La Barra, Carrizal y Mogotes, mientras que los valores mayores se ubicaron en los demás sitios.

Sin embargo, no sólo las variables fisicoquímicas influyen en la presencia o ausencia de la biodiversidad de los macroinvertebrados, Rosine (1955) citó en ambientes lagunares, que las diferentes plantas que se desarrollan en las lagunas, son también las responsables de la diversidad y abundancia de

los organismos que se albergan en zonas con similares condiciones fisicoquímicas. De éste modo, el suministro de alimentos también es importante factor en la selección de la vegetación acuática como hábitat por los insectos (Saliu Jr, 1989).

Tabla I. Resultados del ANOVA de una sola vía para seis parámetros fisicoquímicos.

Parámetro	Homogeneidad de varianzas		Anova de una sola vía	
	Levene's	Significancia	F-Fisher	Significancia
Temperatura	0.86	0.56	0.18	0.99
pH	5.18	0.00	9.56	0.00
Oxígeno D	4.20	0.00	2.70	0.007
Conductividad	1.34	0.22	22.0	0.00
STD	2.27	0.02	22.56	0.00
Salinidad	1.88	0.06	30.37	0.00

**B. Diversidad y abundancia**

Al realizar un análisis sobre la variable Diversidad, se observó que las varianzas fueron homogéneas, y con la prueba de ANOVA (Tabla 2), se determinó que al menos uno de los grupos es diferente. Por otro lado, con la prueba de contrastes múltiples de Tukey se determinaron dos grupos, en donde los valores menores se ubicaron en los sitios Base Aérea, Mogotes, Playita, Pedregoso, Paraíso de los Manglares, La Barra y Embarcadero y, los mayores en los sitios Playa Azul, Mogotes y Carrizal.

En lo que respecta a la abundancia, las varianzas también fueron homogéneas y la prueba ANOVA (Tabla 2), permitió observar la presencia de dos grupos. El primer grupo, estuvo conformado por los valores de abundancia menores, localizados en los sitios de colecta de Playa Azul, Luces del Mar, Base Aérea, La Barra, Carrizal y Mogotes, en tanto que en el segundo grupo, se ubicaron los sitios Embarcadero, Paraíso de los Manglares, Pedregoso y La Playita, en los cuales se registró la mayor abundancia.

Tabla II. Resultados del ANOVA de una sola vía para dos variables biológicas.

Parámetro	Homogeneidad de varianzas		Anova de una sola vía	
	Levene's	Significancia	F-Fisher	Significancia
Diversidad	1.19	0.30	3.20	0.002
Abundancia	1.73	0.09	2.98	0.003

Por otro lado, se aplicó la correlación paramétrica bivariada de Pearson, para conocer entre los puntos de colecta, el grado de asociación de las variables biológicas (diversidad y abundancia) con las variables fisicoquímicas del agua (pH, Temperatura, Oxígeno disuelto, Salinidad, Sólidos Totales Disueltos y Conductividad).

Se determinó que la diversidad fue significativa y negativamente asociada con las variables Sólidos Totales Disueltos (Pearson= -0.215, P= 0.014) y Salinidad (Pearson= -0.182, P= 0.038), de tal manera que si se presenta una disminución en dichos parámetros, se observa un incremento en la diversidad biológica.

En lo que respecta a la abundancia, existió una mayor cantidad de asociaciones con los parámetros fisicoquímicos, de tal manera, que se mantuvo una asociación positiva y significativa con las variables Conductividad (Pearson=0.277, P= 0.001), Salinidad (Pearson= 0.218, P= 0.013), Sólidos Totales Disueltos (Pearson= 0.209, P= 0.017), Oxígeno disuelto (Pearson=0.194, P= 0.027) y Temperatura

(Pearson=0.193, P= 0.028). Por lo que si existe un aumento de dichos factores, también se observa en la abundancia de las especies registradas.

La variable temperatura fue la única que presento varianzas homogéneas, superiores al 0.5% y de acuerdo al ANOVA no se determinaron diferencias significativas de la variable entre los sitios, lo cual fue comprobado con la prueba de contrastes múltiples de Scheffé; a diferencia, de los parámetros de pH, oxígeno disuelto, salinidad, conductividad y STD, en los que se presentaron diferencias significativas menores al 0.5. Contrario a lo citado por Benavides et al, 2007, al realizar un comparativo de la calidad del agua en las principales lagunas del estado de Chihuahua.

Sin embargo, Rosine (1955) citó en ambientes lagunares, que las diferentes plantas que se desarrollan en las lagunas, son también las responsables de la diversidad y abundancia de los organismos que se albergan en zonas con similares condiciones fisicoquímicas, esto es con relación al suministro de alimento que proporcionan y es factor importante en la selección de la vegetación acuática como hábitat por los insectos (Saliu Jr, 1989), así como los componentes fisicoquímicos y biológicos son los responsables de la variabilidad del oxígeno disuelto en un lago (Staher, et al., 2010).

*C. Análisis de Componentes Principales (ACP):*

Los ACP se llevaron a cabo tomando en consideración a la matriz de correlaciones bivariadas generadas por n variables numéricas con la finalidad de obtener n componentes o factores ortogonales que permitieron una mejor interpretación de la relación entre las variables. De tal manera, que para el presente estudio se realizaron tres ACP.

*D. Primer análisis de componentes principales.*

Se realizó un ACP: Con 8 variables: temperatura, pH, O<sub>2</sub>, conductividad, STD, salinidad, diversidad y abundancia (Tabla 3). Se obtuvieron tres componentes, los cuales estuvieron conformados de la siguiente manera:

Tabla III. Primer Análisis de Componentes Principales

Variables	Componentes rotados		
	1	2	3
Temperatura	0.268	0.051	0.810
pH	0.464	-0.027	- 0.652
Oxígeno disuelto	0.165	0.540	-0.070
Conductividad	0.929	0.112	0.088
S.T.D.	0.936	0.036	-0.008
Salinidad	0.890	0.070	-0.009
Diversidad	-0.318	0.761	0.002
Abundancia	0.223	0.740	0.230

*Primer componente:*

“Material disuelto y conductividad”, conformado por las variables Conductividad, STD y Salinidad, de tal manera que presentaron correlaciones positivas indicando que un aumento de los Sólidos Totales Disueltos involucra un aumento de la Conductividad y Salinidad.

*Segundo componente:*

“Oxígeno disuelto y diversidad biológica”, conformado por las variables Diversidad, Abundancia y Oxígeno disuelto, de tal manera que a un aumento del Oxígeno disuelto, se observó un incremento tanto en la Diversidad como en la Abundancia de especies presentes entre los sitios.



*Tercer componente:*

“Temperatura y acidificación”, conformado por las variables Temperatura y pH, de tal manera que un incremento de la Temperatura involucra una disminución del pH, y por ende condiciones de acidificación del medio.

Por otro lado, el estadístico de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) presentó un valor de 0.734, por lo que el tamaño de muestra para el ACP fue considerado como aceptable. Por otro lado, la prueba de Esfericidad de Bartlett resultó significativa ( $\chi^2=430.25$ , g.l.=28;  $P=0.0$ ), esto hizo rechazar la hipótesis nula de que la matriz de correlaciones bivariadas es una matriz de identidad, confirmando la relación lineal entre las variables.

En lo que respecta a la correlación parcial, los valores de la diagonal principal de la matriz anti-imagen, fluctuaron entre 0.573 (Diversidad) y 0.853 (Salinidad), por lo que se consideraron como aceptables, ya que manifiestan la existencia de correlación parcial entre variables. Además, con el gráfico de sedimentación, se observó un cambio notable en la pendiente de la línea de tendencia a partir del segundo componente. De esta manera, el análisis sugiere la extracción de dos o tres componentes.

La varianza total explicada a partir de la extracción de tres componentes, fue de 69.81%, donde el primer componente aportó un 37.47%, el segundo 17.99% y el tercero 14.35%. Con lo que respecta a las Comunalidades o cantidad total de varianza explicada por cada variable, el menor valor lo presentó la variable Oxígeno Disuelto, con 0.324, y el mayor lo obtuvo la Conductividad con 0.884. De esta forma, las saturaciones de cada variable en la matriz de componentes, se observó cómo cinco variables saturaron en más de un componente, por lo que se aplicó un proceso de rotación de los ejes de los componentes (figura 2), y de esta manera cada variable saturó en uno solo.

*E. Segundo análisis de componentes principales*

Se realizó un segundo ACP con nueve variables. El pH, Temperatura, Salinidad, Oxígeno Disuelto, Sólidos Totales Disueltos, Conductividad, Clase 1, Clase 2 y Clase 3 (estas tres últimas variables fueron descritas y desarrolladas en Rosas et al., 2014). Los estadísticos descriptivos se observan en la Tabla 4, en la cual se obtuvieron cuatro componentes.

Se observó que de 36 valores de correlación bivariada de Pearson, 20 fueron positivos y significativos ( $P \leq 0.05$ ). En términos generales, los valores obtenidos de las correlaciones pueden considerarse bajos pero estadísticamente significativos, y se encontraron en una escala de 0.144 a 0.905, en donde las relaciones Conductividad-Oxígeno Disuelto así como Clase 2-S.T.D. coincidieron en presentar el menor valor, mientras que Conductividad-S.T.D. presentó el mayor valor. El valor del determinante de la matriz de correlaciones fue de 0.036, lo que confirmó la existencia de relación lineal entre variables.

El estadístico de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) presentó un valor de 0.723, por lo que el tamaño de muestra para el ACP puede ser considerado como aceptable. Por otro lado, la prueba de Esfericidad de Bartlett resultó significativa ( $\chi^2=415.313$ , g.l.=36;  $P=0.0$ ), por lo que se rechazó la hipótesis nula (matriz de correlaciones bivariadas es una matriz identidad), confirmando la relación lineal entre variables.

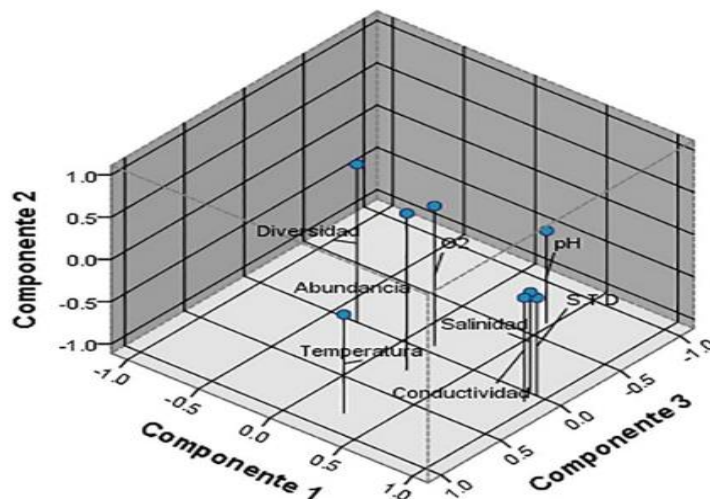


Fig. 2. Gráfico de componentes rotados en tercera dimensión del primer ACP.

En lo que respecta a la correlación parcial, los valores de la diagonal principal de la matriz anti-imagen, fluctuaron entre 0.352 (Clase 1) y 0.883 (Salinidad), por lo que pueden ser considerados como aceptables, ya que ponen de manifiesto la existencia de correlación parcial entre variables.

En el gráfico de sedimentación se observó un cambio notable en la pendiente de la línea de tendencia a partir del segundo componente. La varianza total explicada a partir de la extracción de cuatro componentes fue de 72.32%, en donde el primer componente aportó un 32.54%, el segundo 14.63%, el tercero 13.71% y el cuarto 11.44%.

Las Comunalidades o cantidad total de varianza explicada por cada variable, el menor valor lo presentó Clase 2, con 0.555, y el mayor lo obtuvo Conductividad con 0.892. En cuanto a las saturaciones de cada variable en la matriz de componentes, se observó que cinco variables saturaron en más de un componente, por lo que se aplicó un proceso de rotación de los ejes de los componentes, y de esta manera cada variable saturó en uno solo.

Se obtuvieron cuatro componentes (Tabla 4), los cuales estuvieron conformados de la siguiente manera:

*Primer componente*

“Material disuelto y conductividad”, conformado por las variables Conductividad, STD y Salinidad, de tal manera que presentaron correlaciones positivas indicando que un aumento de los STD y salinidad involucra un aumento de la conductividad.

*Segundo componente*

“Oxígeno disuelto y Clase 2”, de tal manera que a un aumento del Oxígeno disuelto, se observó un incremento en los ejemplares que integran la Clase 2.

*Tercer componente*

“Temperatura y acidificación”, conformado por las variables Temperatura, pH y organismos de la Clase 3, de tal manera que un incremento de la temperatura favorece una disminución del pH, que por ende genera condiciones de acidificación del medio, lo cual a su vez repercute en un incremento de los ejemplares de la Clase 3.

*Cuarto componente:*

Estuvo integrado exclusivamente por la variable correspondiente a los ejemplares de la Clase 1, lo que indica que no mantuvo una relación estrecha con alguna de las otras variables fisicoquímicas o biológicas (Clase 2 y 3).

Tabla IV. Segundo Análisis de Componentes Principales

Variables	Componentes rotados			
	1	2	3	4
Temperatura	0.187	0.192	<b>0.724</b>	0.095
pH	0.517	-0.043	<b>-0.605</b>	-0.073
Oxígeno dis.	0.106	<b>0.742</b>	-0.031	-0.072
Conductividad	<b>0.920</b>	0.128	0.130	0.107
S.T.D.	<b>0.933</b>	0.074	0.035	0.012
Salinidad	<b>0.886</b>	0.107	0.033	0.015
*Clase 2	0.122	<b>0.692</b>	0.235	-0.074
*Clase 3	0.284	-0.428	<b>0.506</b>	-0.437
*Clase 1	0.132	-0.177	0.112	<b>0.895</b>

\*Clase 1(organismos con mayor requerimiento de O<sub>2</sub>), 2 (organismos con regular requerimiento de O<sub>2</sub>) y 3 (organismos con bajo requerimiento de O<sub>2</sub>).

*F. Tercer análisis de componentes principales*

Se realizó un tercer ACP con catorce variables (Temperatura, pH, Oxígeno Disuelto, Conductividad, Sólidos Totales Disueltos, Salinidad, Efemeroptera, Trichoptera, Plecoptera, Megaloptera, Odonata, Coleoptera, Díptera y Hemiptera). Los estadísticos descriptivos se observan en (Tabla 5).

Se observó que de 91 valores de correlación bivariada de Pearson (datos no mostrados), 26 fueron significativos ( $P \leq 0.05$ ), presentándose 22 con una asociación positiva y cuatro con asociación negativa. En términos generales, los valores positivos de las correlaciones fluctuaron en valores bajos (0.142) a valores altos (0.905), mientras que los valores negativos fueron bajos (-0.141 a -0.177). La relación Conductividad-S.T.D. presentó la mayor asociación positiva, mientras que S.T.D–Odonata tuvo la mayor asociación negativa. El valor del determinante de la matriz de correlaciones fue de 0.009, lo que confirmó la existencia de relación lineal entre variables.

En lo que respecta a la correlación parcial, los valores de la diagonal principal de la matriz anti-imagen, fluctuaron entre 0.191 (Coleoptera) y 0.848 (Salinidad), por lo que pueden ser considerados como aceptables ya que ponen de manifiesto la existencia de correlación parcial entre variables.

En el gráfico de sedimentación se observó un cambio notable en la pendiente de la línea de tendencia a partir del segundo componente, para luego continuar un patrón de descenso que vuelve a interrumpirse en el quinto componente. De esta manera, el análisis sugirió la extracción de cinco componentes. La varianza total explicada a partir de la extracción de tres componentes fue de 62.51 %, en donde el primer componente, aportó un 21.65 %, el segundo 13.06 %, el tercero 10.05 %, el cuarto 9.13 % y el quinto componente 8.62 % En lo que respecta a las Comunidades o cantidad total de varianza explicada por cada variable, el menor valor lo presentó Megaloptera, con 0.195, y el mayor lo obtuvo Conductividad con 0.886.

Se obtuvieron cinco componentes (Tabla 5), los cuales estuvieron conformados de forma que se muestra en la siguiente tabla:



Tabla V. Tercer Análisis de Componentes Principales.

Variables	Componentes				
	1	2	3	4	5
Temperatura	0.175	0.088	<b>0.649</b>	0.293	-0.088
PH	<b>0.510</b>	-0.096	<b>-0.459</b>	-0.015	0.234
Oxígeno d.	0.213	-0.105	-0.150	<b>0.644</b>	-0.326
Conductividad	<b>0.917</b>	0.127	0.148	0.035	0.074
S.T.D.	<b>0.925</b>	0.034	0.095	-0.021	0.048
Salinidad	<b>0.882</b>	0.046	0.042	0.038	-0.034
Efemeróptera	0.052	<b>0.918</b>	0.096	-0.004	-0.006
Trichoptera	0.070	-0.123	0.137	<b>0.573</b>	0.132
Plecóptera	0.067	<b>0.897</b>	-0.100	-0.076	0.042
Megaloptera	0.065	0.161	-0.060	0.039	<b>0.400</b>
Odonata	-0.285	0.165	0.085	<b>0.639</b>	0.138
Coleóptera	0.054	-0.173	0.020	0.047	<b>0.746</b>
Díptera	0.342	-0.177	<b>0.516</b>	0.053	-0.329
Hemíptera	0.042	0.057	<b>-0.637</b>	0.160	-0.407

*Primer componente*

“Material disuelto y conductividad”, conformado por las variables Conductividad, STD, Salinidad y pH, de tal manera que presentaron correlaciones positivas indicando que un aumento de los STD y salinidad involucra un aumento de la conductividad, además con un incremento en el potencial hidrógeno. Cabe destacar que en el caso del pH, también mantuvo una saturación que puede considerarse como “alta” en el tercer componente.

*Segundo componente*

“Efemeróptera y Plecoptera”, Organismos que viven por lo regular en agua de corrientes limpias y bien oxigenadas, solo algunas especies parecen resistir cierto grado de contaminación. Pertenecen a la clase 1.

*Tercer componente*

“temperatura, acidificación y Clase 3”, en este componente también se encontró una participación importante de la variable pH, de tal manera que el análisis sugiere un incremento de la Temperatura y disminución del pH, que favorece el número de individuos del orden Díptera y genera un decremento de individuos del Orden Hemíptera. Ambos organismos de la clase 3.

*Cuarto componente*

“Oxígeno y Clases 1 y 2”, donde se observa que a un incremento del oxígeno disuelto, existe un incremento en el número de individuos de los órdenes Odonata y Trichoptera.

*Quinto componente*

“Condiciones particulares para las clases Coleóptera y Megalóptera.

De acuerdo con el análisis de componentes principales (ACP), los STD y el Oxígeno disuelto demostraron mayor influencia sobre la diversidad de los macroinvertebrados acuáticos, tal como lo registraron Rivera-Usme et al. (2013) en humedales de Colombia. La calidad biológica del agua varío en las estaciones de colecta, mostrando que los insectos son sensibles a los cambios fisicoquímicos, por otro lado la vegetación retiene sedimentos y STD, ya que por lo general en los sistemas lénticos tropicales es común la tendencia a presentar un alto déficit de oxígeno (Lewis, 2000).

#### IV. CONCLUSIÓN

En general la calidad del agua se mantiene dentro de los parámetros normativos a excepción del Oxígeno disuelto (O<sub>2</sub>) y los Sólidos totales disueltos (STD). El oxígeno disuelto es condicionante para la diversidad y abundancia de los organismos, pero se debe tomar en cuenta que la Laguna es un ecosistema lenticó.

Con respecto a los parámetros, el aumento de uno o la disminución de otro representa una correlación que puede ser positiva o negativa entre estos, por lo que resulta importante monitorear la conductividad, S.T.D., Salinidad, Temperatura, Oxígeno disuelto y pH.

Ante una disminución de los STD y Salinidad, se incrementa la diversidad, además al incrementarse la conductividad, salinidad, sólidos totales, oxígeno disuelto y temperatura se observa un aumento en la abundancia de las especies registradas.

Con el aumento del Oxígeno disuelto, se observó un incremento tanto en la diversidad como en la abundancia de especies presentes entre los sitios de colecta, además un incremento de la temperatura involucra una disminución del pH, y por ende, la generación de condiciones de acidificación del medio, lo cual a su vez repercute en un incremento de los ejemplares de la Clase 3.

A un incremento del oxígeno disuelto, existe un aumento en el número de individuos de los órdenes Odonata y Trichoptera. A su vez, el incremento de algunos órdenes favorece la disminución de otros, como por ejemplo, con el aumento de Ephemeroptera, disminuye el grupo de Plecoptera, un incremento de Megaloptera incrementa también Coleoptera y, los Díptera generan un decremento de individuos del orden Hemiptera.

La construcción de una base de datos con la información de los usos de suelo, permitirá zonificar las posibles problemáticas y las potencialidades de cada sitio de colecta.

#### RECONOCIMIENTOS

Este proyecto fue realizado con el apoyo institucional (UAGRO-125/2013). Universidad Autónoma de Guerrero, en México, y forma parte del Proyecto: Condiciones de contaminación en la Laguna de Coyuca de Benítez, Gro., por métodos alternos y simples\*.

#### REFERENCIAS

- Arcos R. R., Meza, A.J.L., Cruz, M.P. (2013). Comportamiento de la salinidad en la Laguna de Coyuca de Benítez, Gro. Resumen B-45.P. VII congreso de la red latinoamericana de ciencias ambientales del 11 al 15 de nov. 2013, San Carlos Costa Rica.
- Aguirre G. R. (2001). Caracterización óptica de la laguna costera de Coyuca de Benitez, Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM Núm. 46: 78-97.
- Baptista, D. F., R. S. G. de Souza, C. A. Vieira, R. Mugnai, A. S. Souza y R. Bley S. de Oliveira. (2011). Multimetric index for assessing ecological condition of running waters in the upper reaches of the Piabanha-Paquequer-Preto Basin, Rio de Janeiro, Brazil. *Zoología*. 28 (5): 619-628
- Benavides A, M. Moreno, M. Sosa, S. Puga, R. Soto y T. Lebgue. (2007). Evaluación de la calidad del agua en las principales lagunas del estado de Chihuahua. Memorias en extenso VI Congreso Internacional y XII Nacional de Ciencias Ambientales. ANCA. Cd. Chihuahua, Chih. 6,7 y 8 de junio de 2007. ISSN. 0187-3296.
- Delgadillo, C. E. A. (1986). Evaluación de la materia orgánica particulada en la laguna de Coyuca de Benítez, Guerrero, durante el ciclo otoño 1983- verano 1984 y su relación con percepción remota, tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM, México. 82 p.
- Domínguez, E. y Fernández, H. R. (2001). Guía para la determinación de los Artrópodos Bentónicos Sudamericanos. Editorial Universitaria de Tucumán. 282 p.

- Jara, C. (2002): Evaluación de la existencia de insectos bioindicadores de la calidad del agua en zonas retrónicas y potámicas de tres ríos de la zona semiárida de Chile, Universidad de Chile.
- Lewis, W. Jr. (2000). Basic for the protection and management of tropical lakes. *Lakes & Reservoirs*. 5:35-48.
- Instituto Mi Río - Universidad de Antioquia. (2001). Segunda evaluación biológica del río Medellín. Colección Estado Social Ecológico y Ambiental del río Medellín. Tomo II. 109 pp.
- McCafferty W.P.(1983). *Aquatic Entomology*. Jones y Bartlet Publ Inc Boston, USA 412 pp.
- Margalef, R. (1946). Contribución al conocimiento hidrobiológico del país Vasco-Navarro. En: Margalef, R., M.R. de San Miguel y J. Rodríguez-Roda (Eds.) *Aportaciones al estudio de la fauna y flora Vasco-Navarra (Sierra de Aralar)*. CSIC. Zaragoza. España.
- Margalef, R. (1953). Algunos organismos interesantes de las aguas dulces de los Pirineos. *P. Ins. Bio. Apl.* 28: 407-420.
- O'Neill, R.V., A. r. Johnson y A.W. King. (1989). A hierarchical framework for the analysis of scale. *Landsc. Ecol.* 3. 193-205.
- Parsons, B.G., S. A. Watmough, P. J. Dillon y K. M. Somers. (2010). Relationships between lake water chemistry and benthic macroinvertebrates in the Athabasca Oil Sands Region, Alberta. *J. Limnol.*, 69(Suppl. 1): 118-125.
- Pirex, A., I. Cowx y M Coelho. (2000). Benthic macroinvertebrate communities of intermittent streams in the middle reaches of the Guadiana Basin (Portugal). *Hydrobiología* 435:167-175.
- Prat, N y T. Munné. (2000). Water use and quality and stream flow in a mediterranean stream. *Water Research*. 34(15):3876-3881.
- Rivera-Usme, J.J., G. A. Pinilla-Agudelo, J. O. Rangel-Ch. (2013). Assemblage of aquatic macroinvertebrates and its relationship whit physical and chemical variables in the wetland Jaboque-Colombia. *Caldasia* 35(2): 389-408.
- Rosas-Acevedo, J. L., H. Ávila-Pérez, A. Sánchez-Infante, A. Y. Rosas-Acevedo, S. García-Ibañez, L. Sampedro-Rosas, J. G. Granados-Ramírez, A. L. Juárez-López. (2014). Índice BMWP, FBI y EPT para determinar la calidad del agua en la laguna de Coyuca de Benítez, Guerrero, México. *Revista Iberoamericana de Ciencias*. 1(2): 81-88.
- Rosine,W.W. (1955). The distribution of invertebrates on submerged aquatic plant surfaces in Muskce Lake Colorado. *Ecology* 36:308-314.
- Saliu Jr. J.K. (1989). Aquatic insects associated with plants in reservoirs at Ibadan, Nigeria. *Revista Biología Tropical*. 1: 217-219.
- Staehr, P. A., D. Bades, M. C. Van de Bogert, G. R. Koch, C. Williamson, P. Hanson, J.J. Coler y T. Kratz. (2010). Lake metabolism and the diel oxygen technique: State of the Science. *Limnol. Oceanogr.: Methods* 8: 628-644.
- Statistical Package for Social Science. (2011). (SPSS ver. 19).
- Vivas, S., J. Casas, I. Pardo, S. Robles, A. Bellado, J. Alba- Tercedor, N. Bonada, M. Álvarez, P. Jaimes, M. Suárez, M. Toro y N. Prat. (2004). Aproximación multivariante en la exploración de macroinvertebrados de los ríos mediterráneos del proyecto GUADALMED. *Limnetica*. 21(3-4): 149-173.