

## Calidad de las aguas del río Ariguanabo según índices físico-químicos y bioindicadores

Bárbara Liz Miravet Sánchez e-mail: [lizmiravet69@gmail.com](mailto:lizmiravet69@gmail.com)  
INEL, Unión Nacional Eléctrica, Ministerio de Minas y Energía, Habana, Cuba.

Alberto Enrique García Rivero e-mail: [alberto.kike2014@gmail.com](mailto:alberto.kike2014@gmail.com)  
Facultad de Geografía, Universidad de la Habana, Habana, Cuba.

Pedro López Del Castillo e-mail: [pldelcastillo@bioeco.cu](mailto:pldelcastillo@bioeco.cu)  
BIOECO, CITMA, Santiago de Cuba, Cuba.

Giraldo Alayón García e-mail: [giraldo3000@yahoo.es](mailto:giraldo3000@yahoo.es)  
Museo Nacional de Historia Natural, Agencia de Medio Ambiente, Cuba.

Eduardo Salinas Chávez e-mail: [esalinas@geo.uh.cu](mailto:esalinas@geo.uh.cu)  
Facultad de Geografía, Universidad de la Habana, La Habana, Cuba.

### RESUMEN

El índice de calidad de las aguas superficiales y el basado en la tolerancia de los macroinvertebrados arrojaron resultados muy similares caracterizando las aguas desde contaminadas hasta muy contaminadas para todos los puntos de muestreo del río Ariguanabo. Se destacan las bajas concentraciones de oxígeno disuelto provocadas por un alto nivel de estancamiento de la corriente, crecimiento desmedido de la vegetación acuática y una menor actividad fotosintética producto del alto grado de cubrimiento del bosque de galería. Aparecen valores de DQO y coliformes fecales fuera de norma, debido a la gran cantidad de aportes de aguas residuales, con altas concentraciones de materia orgánica de origen doméstico y porcino. En la fauna macroinvertebrada existe un predominio de familias con alta tolerancia a la contaminación fundamentalmente del orden Molusca.

**Palabras clave:** Ariguanabo, bioindicadores, calidad de las aguas, índices físico-químicos.

## Water quality of Ariguanabo river according to physico-chemical indices and bioindicators

### ABSTRACT

The index of surface water quality and the one based on macroinvertebrates tolerance yielded very similar results characterizing the waters as polluted to heavily polluted for all sampling points of Ariguanabo river. Low dissolved oxygen concentrations are observed caused by high level of stagnation of the current, excessive growth of aquatic vegetation and less photosynthetic activity because of the high degree of coverage of gallery forest. Chemical oxygen demand and fecal coliform values are beyond standards due to the large amount of input wastewater with high concentrations of organic matter of domestic and porcine origin. In the macroinvertebrate fauna there is a predominance of families with high tolerance to contamination mainly from Molusca order.

**Keywords:** Ariguanabo, bioindicators, water quality, physico-chemical indices.

## INTRODUCCIÓN

Las aguas terrestres están integradas por las aguas superficiales (ríos, lagos, pantanos, entre otros) y las subterráneas. La composición geoquímica y químico-física de estas depende de varios factores. En el caso de las superficiales tiene una influencia determinante la naturaleza de las fuentes de alimentación y su recorrido hasta llegar al cuerpo de agua, mientras que en el caso de las aguas subterráneas el rol mayor en la composición de las aguas lo tiene el proceso de interacción agua-roca, lo que implica que el medio geológico determina en primer lugar el tipo de agua presente en el acuífero.

Los ríos tienen una enorme importancia por conectar las cuencas terrestres con la atmósfera y el mar, funcionando como los auténticos riñones de la Tierra. De esta forma, además de agua, transportan sales, sedimentos y organismos y las complejas reacciones químicas y biológicas que se producen en los cauces fluviales son responsables en parte de las características químicas del agua retenida en los grandes reservorios, como lagos y océanos.

La contaminación del agua debe entenderse como un concepto relativo, asociado con las características físicas, químicas y biológicas que impiden o dificultan su uso según las aplicaciones a las que vaya destinada. En la naturaleza, el agua en estado líquido no se encuentra pura, sino que va incorporando diversas sustancias desde su caída a la superficie de la Tierra hasta que llega al mar, a lo largo del ciclo del agua. Durante este recorrido, el agua va disolviendo gases y compuestos minerales, y va incorporando partículas en suspensión de naturaleza inorgánica, orgánica, etc. Finalmente, el agua es utilizada por el hombre para el suministro y para usos agrícolas, industriales y recreativos.

En Cuba la creciente demanda del recurso agua, unido a su paulatino deterioro hacen que las actuaciones medioambientales por parte de las administraciones tengan que plantear nuevas metas en la gestión y control de los recursos naturales. En el caso de las aguas terrestres (superficiales y subterráneas) el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) y los Consejos de Cuencas Hidrográficas, junto a otros gestores de las cuencas, han mantenido a lo largo del tiempo, redes de seguimiento de la calidad y cantidad de las aguas, que han registrado continuas ampliaciones y mejoras. Los datos acumulados por estas redes atesoran una valiosa información del estado de las aguas subterráneas y algunas de las corrientes superficiales de mayor interés, los cuales han permitido construir series temporales y modelos que orientan sobre su evolución y por ende su explotación y conservación. Además de esta información básica, existen otros datos muy valiosos procedentes de estudios y proyectos de investigación específicos, que recogen dispersa y parcialmente el estado de la biota.

En las dos últimas décadas a nivel mundial, con el objetivo de abordar esta problemática, se han desarrollado una serie de metodologías que permiten tener una valoración de la calidad ecológica de las aguas terrestres, entre la que se destaca por su integridad y coherencia la Directiva Marco del Agua (DMA) (Sánchez 2010), que tiene por objetivo estandarizar los estudios encaminados al conocimiento del estado del recurso agua en el área. Para el logro de este objetivo, en el caso de las corrientes superficiales, se han desarrollado un grupo de indicadores o elementos de la calidad ecológica de las masas de agua a partir de una serie de metodologías, basadas fundamentalmente en índices que permiten evaluar la calidad hidromorfológica, físico-química y biológica de estas. Una ventaja de esta metodología es que

los grupos de organismos que proponen analizar (especialmente los macroinvertebrados) integran muchos más parámetros que los exclusivamente físicoquímicos, y presentan un efecto “memoria” que registra los cambios históricos, que se producen en los ecosistemas acuáticos (Sánchez 2010).

La cuenca del río Ariguanabo, objeto de la presente investigación, tiene una extensión superficial de 15 km<sup>2</sup> aproximadamente (figura 1) y cuyo núcleo conformado por el río y su bosque de ribera está identificado por el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) como Paisaje Natural Protegido (PNP) de significación local. Se extiende aproximadamente 11 km desde la antigua laguna Ariguanabo hasta el lugar donde se infiltra en la cueva del Sumidero, dentro del casco urbano de San Antonio de los Baños, su ancho y profundidad promedio son de 23 m y 3 m respectivamente. Presenta un modelo fluvial determinado por la existencia de una sola corriente principal y el sentido predominante de la dirección de las aguas es de Norte a Sur, con un caudal promedio de la corriente muy reducido (0,2 a 0,4 m<sup>3</sup>/s), teniendo un cauce profundo y encajado, con meandros cerrados y fuertes pendientes en sus laderas.

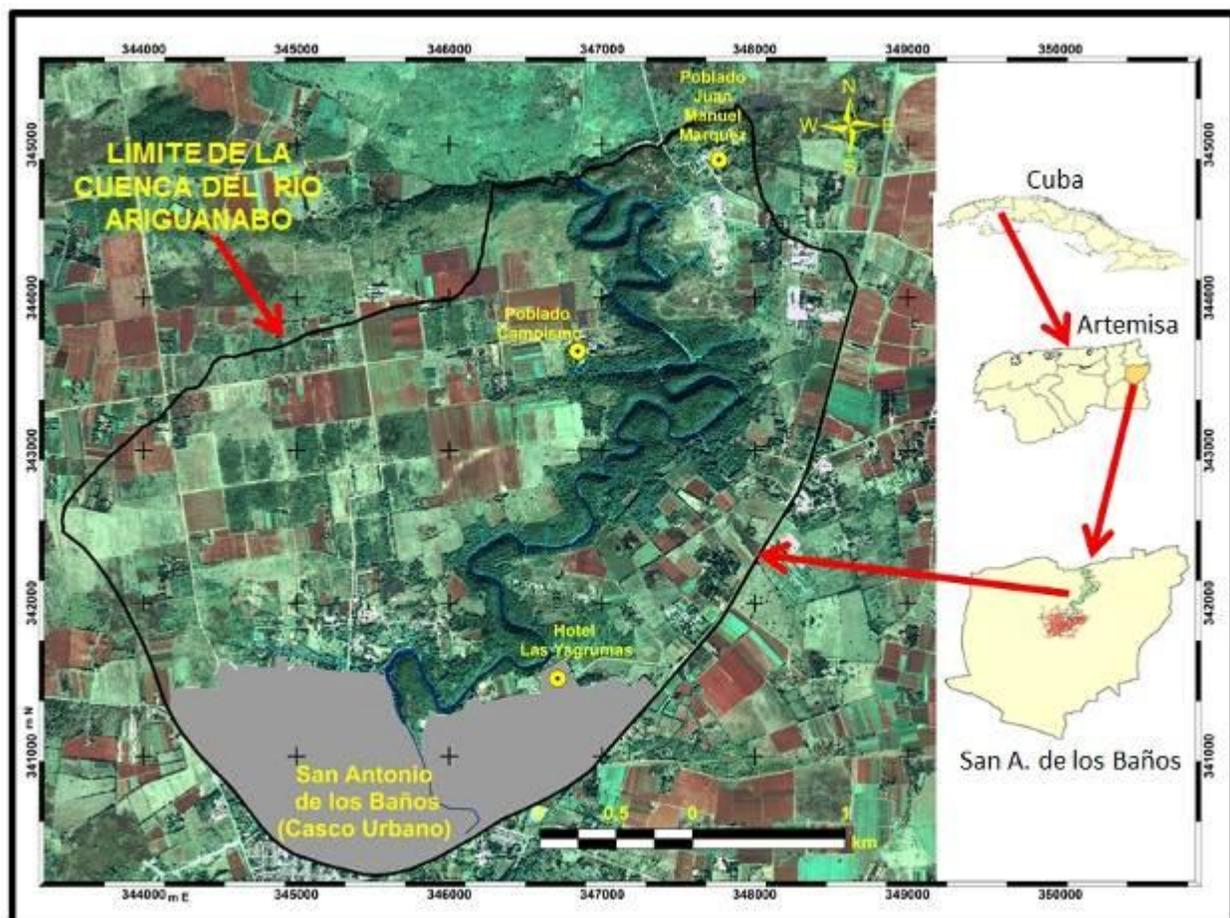


Figura 1. Ubicación de la cuenca del río Ariguanabo

El cauce fluvial del río Ariguanabo no escapa a las regularidades que presentan muchos ríos del mundo, la acción antrópica ha modificado su estructura, funcionamiento, límites y

características hidrológicas en general. Hoy en día este río, en el sentido hidrológico presenta un comportamiento intermedio entre los sistemas fluviales y lacustres, condicionado por el hecho de estar represado en ambos extremos. Dadas las características cársticas del territorio, sus aguas presentan un componente subterráneo de gran importancia manifestado en la presencia de 22 manantiales u “ojos de agua” en su trayecto, los cuales mantienen a la principal corriente superficial, el río, con un cauce permanente durante todo el año.

Producto del desarrollo poblacional y socio-económico del área de la cuenca del río se han incrementados los focos de contaminación, cuyas aguas de una forma u otra representan un peligro real o potencial para la calidad de sus aguas. De ahí que el presente trabajo tiene como objetivo fundamental aportar una caracterización integral de la calidad de las aguas del río a partir del uso combinado de índices físico-químicos y bioindicadores (macroinvertebrados).

## **FUNDAMENTACIÓN METODOLÓGICA**

### **Caracterización físico-química y microbiológica de las aguas. Índices de calidad**

En los últimos años el concepto de calidad de las aguas ha ido cambiando rápidamente de un enfoque puramente físico-químico a otro que integra todos los componentes del ecosistema. La DMA, esta nueva y ambiciosa legislación entró en vigor a finales del 2000, sentando las bases para un uso sostenible de los recursos hídricos en toda Europa. El rasgo central de la DMA, sobre el que está organizado el resto de sus elementos, es el uso de las cuencas hidrográficas como unidad fundamental de todas las acciones que tienen que ver con la planificación y la gestión de las aguas. Para el logro de este objetivo, en el caso de las corrientes superficiales, se han desarrollado un grupo de indicadores o elementos de la calidad ecológica de las masas de agua a partir de una serie de metodologías, basadas fundamentalmente en índices que permiten evaluar la calidad hidromorfológica, físico-química y biológica de estas. (Sánchez 2010).

Las ventaja de la DMA, es que los grupos de organismos que se propone analizar integran muchos más parámetros que los exclusivamente fisicoquímicos y microbiológicos, presentando un efecto “memoria” que registra los cambios históricos que se producen en los ecosistemas acuáticos.

A pesar del indudable valor de la información que actualmente se posee, ésta se encuentra muy centrada en la calidad química y microbiológica de las aguas, de forma que otros aspectos relacionados con el estado ecológico de las masas de agua terrestres, entendiéndolo éste como un concepto ambiental globalizador, no se tratan con el suficiente detalle o, simplemente, se desconocen.

En Cuba se ha podido contar con el desarrollo y aplicación de índices, tanto para aguas subterráneas como superficiales y principalmente mediante índices de tipo deductivo. De forma general a partir del 2010, en las principales cuencas hidrográficas del país, el Consejo Nacional de Cuencas Hidrográficas (CNCH) incorporó el cálculo del índice simplificado para evaluar la gestión sostenible en cuencas hidrográficas (*IsGC*) (García et al. 2013), que mide el desempeño relacionados con los suelos, la cobertura forestal, la carga contaminante, cobertura de agua potable y de saneamiento ambiental y el uso de las aguas en la cuenca. Si bien este índice

caracteriza el proceso de gestión del recurso agua en la cuenca, no incluye el estado de la calidad ecológica de dichas aguas, aspecto este al cual se le ha venido prestando mucha atención en los últimos años a nivel internacional.

A partir del 2014 en el país se ha venido aplicando el índice de calidad de las aguas superficiales (*ICA<sub>sp</sub>*) el cual tiene como objetivo evaluar la calidad de estas aguas en las cuencas hidrográficas y reflejando aquellos problemas causados por la actividad socio-económica que tiene un mayor impacto negativo en la calidad del recurso y pueda afectar sus usos previstos. El *ICA<sub>sp</sub>* considera indicadores que son factibles de medir y que están dentro de la rutina analítica de los laboratorios de agua del país, ante todo del INRH, órgano rector de las aguas terrestres. Este índice ha sido estructurado tomando en consideración los instrumentos regulatorios vigentes, fundamentalmente las normas cubanas sobre calidad de las aguas terrestres.

Para la caracterización físico-química y microbiológica de las aguas se seleccionaron un total de 20 puntos, distribuidos a lo largo de todo el río y se hicieron mediciones in situ con una sonda multiparamétrica Qualilog-16. Esta sonda es capaz de medir parámetros de calidad del agua (temperatura, conductividad eléctrica (CE), profundidad, salinidad, sólidos totales disueltos (STD), pH, % de saturación de oxígeno (ODSAT), cloruro ( $\text{Cl}^{-1}$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^{-1}$ ), amonio ( $\text{NH}_4^{1+}$ ), amoniaco ( $\text{NH}_3$ ), calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), sodio ( $\text{Na}^{1+}$ ) y turbidez) y los datos obtenidos son compilados, procesados y almacenados por la computadora auxiliar. En el laboratorio se determinó la microbiología de todos estos puntos a partir del número más probable de coliformes totales (CT) y fecales (CF) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO).

Se aplicó la metodología propuesta por el Órgano del Consejo Nacional de Cuencas Hidrográficas (Gutiérrez y García 2014) para el cálculo del *ICA<sub>sp</sub>*, el que se obtiene mediante la siguiente ecuación (1).

$$ICA_{sp} = \sum_{i=1,5} W_i \times q_i \quad (1)$$

donde:

*i*: indicador de calidad, del 1 al 5.

$W_i$ : peso relativo de cada indicador.

$q_i$ : valor en % obtenido de las funciones matemáticas de correlación.

Los indicadores y su respuesta a los impactos de la contaminación, así como los pesos relativos de cada indicador pueden verse en la tabla 1.

**Tabla 1. Pesos relativos por indicadores para el cálculo del *ICA<sub>sp</sub>***

No.	Indicador	Comentarios	Pesos relativos ( $W_i$ )
1	pH	Acidez o basicidad.	0,10
2	CE	Contenido de sales solubles o salinidad.	0,10
3	ODSAT	Estado del cuerpo de agua con respecto a su contenido de oxígeno disuelto.	0,30
4	DQO	Materia orgánica presente.	0,25
5	CF	Densidad de bacterias fecales.	0,25
Fuente: Gutiérrez y García (2014)			

Este índice tiene como base la NC-27-2012 (2012) “Vertimiento de Aguas Residuales a las Aguas Terrestres y al Alcantarillado. Especificaciones” referente a los límites permisibles de parámetros seleccionados en los cuerpos receptores y establece las especificaciones de los vertimientos de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado y se aplica a todas las aguas residuales generadas por las actividades sociales y económicas como son las domésticas, municipales, industriales, agropecuarias y de cualquier otro tipo.

Para el cálculo de las contribuciones de calidad de cada indicador, así como para el cálculo del propio índice, se usó una hoja Excel con sus especificaciones, para facilitar las evaluaciones. Para la representación cartográfica se utilizan cinco categorías descendentes de calidad del agua, como aparece en la tabla 2.

**Tabla 2. Clasificación de las aguas superficiales de acuerdo al ICA<sub>sp</sub>**

Clase	Rango de valores del ICA <sub>sp</sub>	Clasificación	Colores
1	90,00 – 100	Excelente calidad	
2	89,99 – 80	Aceptable calidad	
3	79,99 – 70	Medianamente contaminada	
4	69,99 – 60	Contaminada	
5	Menor que 59,99	Altamente contaminada	
Fuente: Gutiérrez y García (2014)			

### **Bioindicadores de la calidad de las aguas superficiales. Macroinvertebrados**

Se considera que un organismo es un indicador de la calidad del ambiente, cuando este se encuentra invariablemente en un ecosistema de características definidas y cuando su población es porcentualmente superior o ligeramente similar al resto de los organismos con los que comparte el mismo hábitat. Es por lo tanto importante reconocer el gran valor que tiene la bioindicación como un método para evaluar la calidad del ambiente. Así por ejemplo, la presencia de una comunidad (animal o vegetal) en un cuerpo de agua determinado, es un índice inequívoco de las condiciones que allí están prevaleciendo y de que las fluctuaciones de contaminación que puedan presentarse, no son lo suficientemente fuertes como para provocar un cambio significativo (Roldán 1999).

Este propio autor en el 2003 señala la importancia que tiene la bioindicación como un método para evaluar la calidad del agua. Así, por ejemplo, si en una zona determinada de un río se encuentran valores altos de oxígeno, poca turbidez, y baja conductividad, pero la fauna encontrada está dominada por oligoquetos, moluscos y quironómidos, no hay duda que en dicho sitio prevalecen la mayor parte del tiempo condiciones de extrema contaminación y que los momentos de alta oxigenación que puedan ocurrir son tan fugaces, que no son suficientes para provocar cambios significativos en la estructura de la comunidad. Estas condiciones se dan, por ejemplo, después de una fuerte lluvia, en que el agua se oxigena por la dilución y la turbulencia.

Los ambientes dulceacuícolas albergan los macroinvertebrados, en términos generales se distinguen las aguas con corriente (ambientes lóticos) y las sin corriente (ambientes lénticos). Las primeras incluyen ríos y arroyos y la segunda abarca lagos, lagunas, pantanos, agua acumulada en algún lugar o recipientes. Aquí pueden existir zonas sin corriente en los ríos (pozas) y zonas con movimiento en las aguas producto del oleaje en los lagos (Hanson et al. 2010).

Se denomina 'macroinvertebrados' a aquellos invertebrados que alcanzan a lo largo de su ciclo de vida un tamaño superior a 0,200 mm. Estos se caracterizan por ser abundantes, de amplia distribución y fáciles de coleccionar, e identificar, si se comparan con otros grupos menores, además son sedentarios y reflejan las condiciones locales, poseen ciclos de vida largos, son apreciables a simple vista, se pueden cultivar en el laboratorio, varían poco genéticamente y responden rápidamente a los tensores ambientales, lo cual los posiciona como modelo indicador de la calidad del agua.

Estos índices bióticos suelen ser específicos para un tipo de contaminación y/o región geográfica, y se basan en el concepto de organismo indicador. Permiten la valoración del estado ecológico de un ecosistema acuático afectado por un proceso de contaminación. Para ello, a los grupos de una muestra, se les asigna un valor numérico en función de su tolerancia a un tipo de contaminación, los más tolerantes reciben un valor numérico menor y los más sensibles un valor numérico mayor, la suma de todos estos valores indica la calidad de ese ecosistema. Aunque en un principio se desarrollaron índices bióticos en los cuales era necesario una identificación taxonómica de los macroinvertebrados hasta el nivel de género o especie, se ha comprobado posteriormente que los índices más prácticos son aquellos en los que solo son necesarios datos cualitativos (presencia o ausencia) y una identificación taxonómica hasta el nivel de familia (Roldán 1999).

Dentro de este tipo de índices bióticos caben destacar: el índice para valorar la contaminación orgánica en las Islas Británicas (*BMWP*-Biological Monitoring Working Party), su variante para la Península Ibérica (*IBMWP*-Iberian Biomonitoring Working Party) y su variante ASPT (Índice Promedio por Taxón) y el índice biótico de calidad del agua para la Península Ibérica (*BMWQ*-Biological Monitoring Water Quality) (Alonso y Camargo 2005). Estos índices han tenido una amplia difusión debido a que simplifican las complejas respuestas de una comunidad en un valor numérico que es fácilmente comprensible e interpretable, además de no requerir un elevado conocimiento taxonómico ni una cuantificación de los individuos de cada taxón.

En Cuba existen antecedentes recientes sobre la aplicación de índices biológicos que consideren el uso de macroinvertebrados bentónicos para establecer la calidad de las aguas de los sistemas fluviales, que unido a la problemática de identificación de algunos grupos de macroinvertebrados acuáticos, puede justificar el uso de índices biológicos que no requieren del conocimiento de la fauna al nivel específico, que es compensado con un buen conocimiento de las familias más importantes (Muñoz et al. 2003).

Fue el Dr. Naranjo, recientemente fallecido, uno de los máximos exponentes del estudio y la aplicación de los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad de las aguas en el Oriente del país y quien en el 2005 junto a otros autores presentó una metodología rápida y de fácil aplicación para la evaluación de la calidad del agua utilizando el índice *BMWP-Cu* para ríos cubanos, la cual fue perfeccionada a partir de la ampliación de las investigaciones sobre la biota de las cuencas de los ríos, proponiendo una metodología de trabajo para macroinvertebrados dulceacuícolas en ríos de Cuba, basada en la experiencia de muchos años de trabajo en el Oriente del país (Naranjo et al. 2010).

Con el objetivo de obtener la mayor información de la fauna béntica del río se realizaron dos muestreos a lo largo del mismo (noviembre-diciembre 2013 y junio 2015), donde se seleccionaron 19 puntos que fueron muestreados a partir de la vegetación acuática presente, con

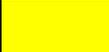
un esfuerzo de muestreo uniforme de 30 minutos. En cada punto se empleó una red Surber con un paso de luz de 250  $\mu\text{m}$ . El material recolectado se almacenó en frascos pequeños de cristal con alcohol al 90 %.

En el Laboratorio del Centro Oriental de Ecosistema y Biodiversidad (BIOECO) del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) de Cuba, se realizó la limpieza de cada una de las muestras y con la ayuda del microscopio electrónico marca ZEISS (modelo KL 1500 LCD), se realizó la identificación taxonómica de los organismos. La limpieza de las muestras se inició con el lavado por inundación en el que se extrajo todo el material orgánico y rocas, lo que facilita la observación de los macroinvertebrados al quedar limpios en el agua. Se elaboró una tabla por puntos de muestreo donde se reflejaron la presencia y abundancia (número de ejemplares) a nivel de familia. En ambos muestreos fueron reportados ejemplares de familias que no habían sido colectadas en los trabajos precedentes con fines de bioindicación realizados en Cuba.

Ante esta situación hubo que realizar una búsqueda de las puntuaciones asignadas a estas familias en los reportes bibliográficos donde estuvieran reportadas. A partir de los resultados de esta búsqueda se construyó una tabla resumen donde se utilizó el valor modal (si estaba presente) o el promedio para asignarle el valor de tolerancia a cada una de estas 14 familias y así conformar una versión modificada para el *BMWP-Cu* que fue utilizada para el cálculo de dicho índice en el presente estudio y que fue definida como índice *BMWP-Cu/mod\_2015*.

Este tipo de índice solo requiere llegar hasta el nivel de familia y los datos son cualitativos (presencia o ausencia). El puntaje va de 1 a 10 de acuerdo con la tolerancia de los diferentes grupos a la contaminación orgánica. La suma de los puntajes de todas las familias da el puntaje total para el punto muestreado. Cuanto mayor es la puntuación final, menor es el grado de contaminación ambiental. Para la representación cartográfica se usaron las clases de calidad, significación de los valores del *BMWP-Cu* y los colores de la tabla 3.

**Tabla 3. Clases de calidad y significación de los valores del *BMWP-Cu***

Clases	Calidad	<i>BMWP-Cu</i> (Valor)	Significado	Color
I	Buena	>101-120	Aguas muy limpias, aguas no contaminadas o no alteradas de modo sensible	
II	Aceptable	61-100	Evidentes algunos efectos de contaminación	
III	Dudosa	36-60	Aguas contaminadas	
IV	Crítica	16-35	Aguas muy contaminadas	
V	Muy Crítica	<16	Aguas fuertemente contaminadas	
Fuentes: Naranjo et al. (2005), Naranjo et al. (2010)				

A partir de los propios valores del índice *BMWP-Cu/mod\_2015* y tomando en consideración el número de familias representadas en el punto en cuestión se calcula para cada punto de muestreo el índice *ASPT* según ecuación (2).

$$ASPT(i) = \frac{\text{valor del índice } BMWP-Cu/mod_{2015} \text{ para el punto } (i)}{\text{número de familias representadas en el punto } (i)} \quad (2)$$

Cuanto mayor sea la puntuación mejor será la calidad del agua. En la tabla 4 se presentan los rangos de valores del *ASPT* y su significado en cuanto a calidad del agua o presencia de contaminación.

**Tabla 4. Clases de calidad, significación de los valores del *ASPT* y colores propuestos para la representación cartográfica**

Clases	<i>ASPT</i> (Valor)	Significado	Color
I	> 6,00	Aguas limpias, aguas no contaminadas o no alteradas de modo sensible	Blue
II	5,00- 6,00	Calidad dudosa, algunos efectos de contaminación	Green
III	4,00- 4,99	Probable contaminación moderada	Yellow
IV	< 4,00	Probable contaminación severa	Red

Fuente: Mandaville (2002) modificada por los autores (propuesta de adición de escala de colores)

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización físico-química y microbiológica de las aguas. Cálculo del *ICA<sub>sp</sub>*

En la figura 2 y tabla 5 se presenta la red de los 20 puntos de muestreo a lo largo de todo el río donde fueron medidos o determinados los siguientes parámetros: pH, CE, ODSAT, DQO por el método del dicromato y número más probable de CF, con los valores del *ICA<sub>sp</sub>*, para el muestreo de noviembre del 2013.

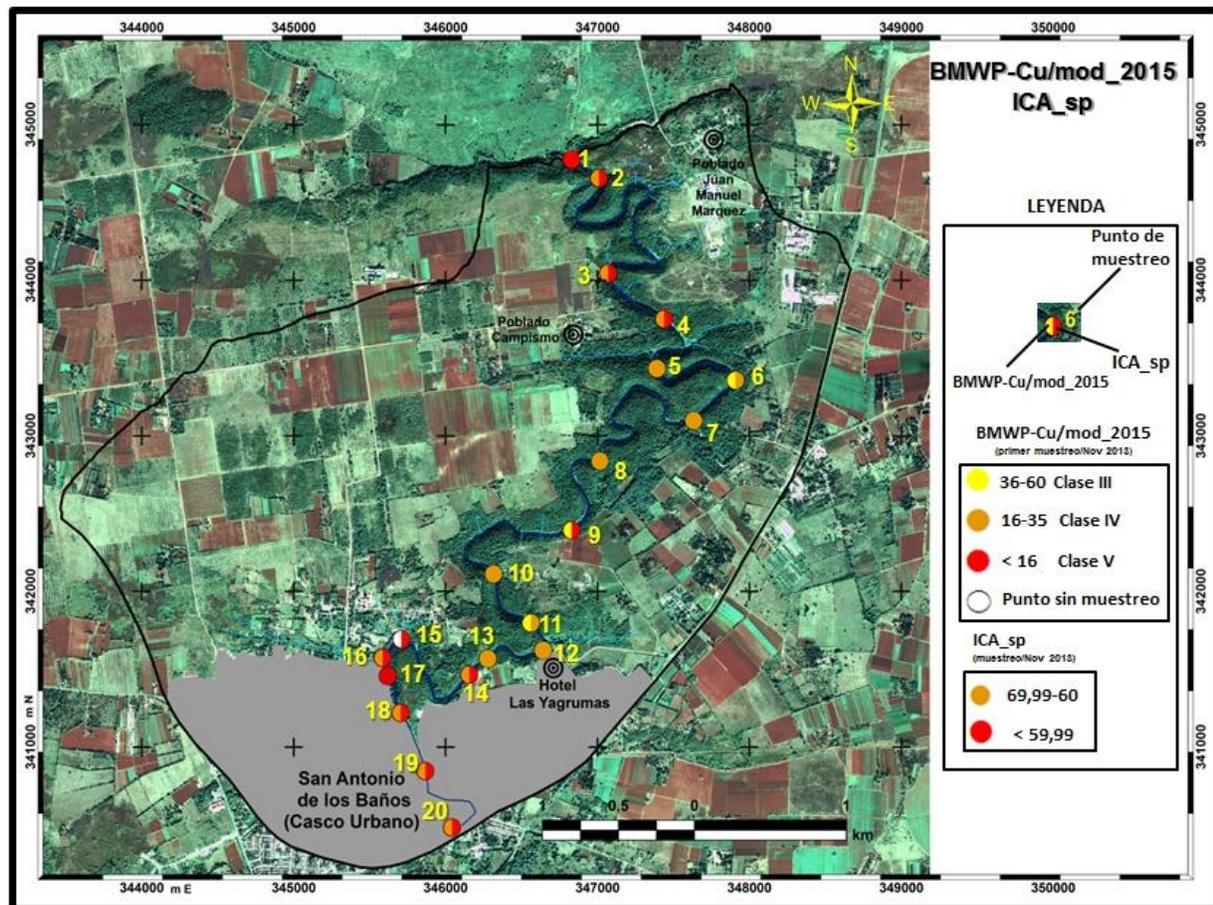
El comportamiento de este índice refleja que toda la corriente del río se encuentra con cierto grado de contaminación, pudiendo distinguir cómo el agua, en los cinco primeros puntos, a partir del nacimiento del río se clasifica como muy contaminada, fundamentalmente debido valores muy bajos de ODSAT, provocados por un alto nivel de estancamiento de la corriente, crecimiento desmedido de la vegetación acuática y una menor actividad fotosintética, producto del alto grado de cubrimiento del bosque de galería.

También en los últimos siete puntos del trayecto del río, asociados con el sector periurbano y urbano los valores del *ICA<sub>sp</sub>* indican la presencia de aguas contaminadas. En los puntos del 17 al 20 los parámetros DQO y CF no cumplen la NC-27-2012 (2012) para cuerpo A y B, mientras que los puntos 19 y 20 no cumplen la norma para cuerpo A respecto a la saturación de oxígeno, motivado esto por la gran cantidad de aportes de aguas residuales, fundamentalmente domésticas que contienen altas concentraciones de CF, así como valores importantes de DQO.

En el resto de los puntos los valores de pH, CE, ODSAT y DQO cumplen con la norma NC-27-2012 (2012) para cuerpo A y B y no así para los CF, por lo que a pesar de cumplir la norma la mayoría de los parámetros se corresponden con valores muy límites de la misma, dando como resultado que el índice *ICA<sub>sp</sub>* presenta valores que se corresponden con la clasificación de agua contaminada.

**Tabla 5. Coordenadas de los puntos de muestreo**

No.	Nombre	Coordenadas Planas (Cuba Norte)		No.	Nombre	Coordenadas Planas (Cuba Norte)	
		X	Y			X	Y
P-1	Compuerta de la Laguna	346819	344723	P-11	Baño de los Militares	346551	341744
P-2	Línea alta tensión	346998	344604	P-12	Embarcadero de las Yagrumas	346631	341569
P-3	Motor de Felo	347059	343992	P-13	Ojo de agua de Francisco	346267	341515
P-4	Manantial de la Vieja Regla	347427	343698	P-14	Baño del Paso del Soldado	346144	341411
P-5	A 100 m del Ojo del agua de Peña	347380	343380	P-16	Manantial de la Quintica	345574	341520
P-6	Ojo de agua de Camacho	347898	343305	P-17	Puente Primero de Mayo	345608	341404
P-7	Ojo de agua de Nico	347622	343046	P-18	A 15 m del Muro de la Represa	345693	341116
P-8	Donque de Arturo	347005	342786	P-19	Entre las avenidas 37 y 39	345855	340720
P-9	Cueva de Cordero	346818	342340	P-20	Cueva del Sumidero	346031	340429
P-10	Curva del Poniente	346305	342060	Nota: El Punto 15 no aparece en esta tabla por no presentar condiciones adecuadas para el muestreo de macro-invertebrados en el momento de su realización.			



**Figura 2. Comportamiento de los índices *BMWP-Cu/mod\_2015* y el *ICA\_sp* para los puntos de muestreo del río Ariguanabo (noviembre 2013)**

### **Caracterización a partir de bioindicadores de la calidad de las aguas. Cálculo del *BMWP-Cu/mod\_2015***

En los 19 puntos muestreados de los 20 inicialmente previstos, para los dos muestreos realizados (noviembre 2013 y julio 2015), se utilizó una embarcación pequeña que permitió ir muestreando toda la vegetación asociada con las márgenes del río.

En el muestreo del periodo seco del 2013 se identificaron un total de 10 órdenes y 22 familias. Entre los órdenes con mayor representación de familias se encuentran el Molusca (Mo) con seis, de ellas la Planorbiidae y la Physidae están presentes en 16 y 17 puntos respectivamente. En segundo lugar se encuentra el orden Odonata (O) con la familia Libellulidae presente en 14 de los puntos. Seguidamente aparecen los Dípteros (D) muy bien representados por la familia Chironomidae en 15 puntos, mientras el orden Amphipoda (A) con la familia Gammaridae está presente en todos los puntos de muestreo. El resto de los órdenes como Anelida (An) y Aracnida (Ar) no tienen una amplia representación a nivel de familia.

El segundo muestreo en el período húmedo del 2015 arrojó resultados bastante semejantes al primero con los mismos órdenes y tres nuevas familias del orden Molusca: la Sphaerriidae y la Ampularidae y del orden Hirudinea (Hi): la familia Sanguijuela.

Al comparar las familias muestreadas en el presente estudio con las reportadas en diferentes trabajos que han abordado el estudio de los macroinvertebrados en ríos del Oriente del país, fundamentalmente en zonas de montañas (Muñoz et al. 2003), (Naranjo et al. 2005), (Naranjo et al. 2010), se puede constatar que existe una gran diferencia. De las 84 familias reportadas entre las dos zonas, 69 pertenecen a la oriental, 25 al río Ariguanabo y solo 11 de todas estas familias son comunes en las dos zonas.

La diferencia más notable es la buena representación de familias de los órdenes Ephemeroptera y Trichoptera para la región oriental, en contraposición con la ausencia de ejemplares de estos órdenes en el río Ariguanabo. Si se tiene en cuenta que la presencia de estos dos órdenes se asocian con aguas de buena calidad o muy poco contaminadas, su ausencia en el río Ariguanabo estará reflejando problemas con la calidad de sus aguas.

De igual forma para el río Ariguanabo se encuentra mejor representado el orden Molusca que para el Oriente del país, lo cual también apunta a una mayor presencia de contaminación de las aguas en el río Ariguanabo, ya que por lo general las familias que constituyen este orden son más tolerantes a la presencia de agentes contaminantes. Existen otros órdenes donde también los reportes para el oriente del país y los del río Ariguanabo son dispares, tal es el caso de los de Hemiptera (H), Coleoptera (C) y Diptera (figura 3).

Al comparar los niveles de perturbación entre las áreas estudiadas en la zona oriental, fundamentalmente en ecosistemas de montañas con la del río Ariguanabo, sometido a una prolongada actividad antrópica y a tenor de los planteamientos anteriores, es claramente explicable las grandes diferencias en la estructura y representatividad de los macroinvertebrados entre estas dos zonas.



**Figura 3. Familias de macroinvertebrados identificadas en los dos muestreos realizados con muy baja puntuación de tolerancia indicativos de mala calidad de las aguas**

La baja coincidencia de familias entre la región oriental, fuente de información para el desarrollo del Índice *BMWP-Cu* (Naranjo et al. 2005), (Naranjo et al. 2010) y las reportadas para el río Ariguanabo, hace que no sea posible una aplicación inmediata del *BMWP-Cu* para valorar la calidad sus aguas, ya que de las 25 familias muestreadas solo 11 tienen un valor de tolerancia asignado para el cálculo de este índice, por lo que hubo que recurrir a una revisión de los trabajos más importantes sobre este tipo de índice y obtener los valores de tolerancia para las familias muestreadas en Ariguanabo. Estos valores permitieron el cálculo del índice *BMWP-Cu/mod\_2015*, es decir la readecuación en el marco del presente estudio del índice propuesto para Cuba por Naranjo et al. (2005) y Naranjo et al. (2010).

En ambos muestreos el valor del índice *BMWP-Cu/mod\_2015* revela la presencia de aguas de tipo III, IV y V con una calidad de que va desde dudosa, crítica a muy crítica, de igual forma los valores *ASPT* indican la presencia de aguas tipo IV asociada con una contaminación severa.

Los puntos con un mayor deterioro de la calidad de las aguas según ambos índices son el punto 1 y el punto 17, el primero en las compuertas del nacimiento del río, donde el agua

permanece estancada y el proceso de eutrofización ha llegado a límites extremos y el segundo coincide con el puente Primero de Mayo, muy cercano al área de vertimiento de los residuales albañales del barrio de los pinareños, uno de principales focos de contaminación de este río.

En cambio los puntos con una mejor calidad de las aguas según estos índices, en su mayoría están relacionados con la presencia de surgencias de las aguas subterráneas, tales como el punto 6 Ojo de agua de Camacho, el punto 7 Ojo de agua de Nico, el punto 11 Baño de los Militares, el punto 13 Ojo de agua de Francisco, los cuales influyen en la calidad de las aguas de su entorno, máxime cuando la velocidad de la corriente en tiempo normal es muy baja.

Si bien en el primer muestreo no se tuvo en cuenta la densidad o abundancia de individuos, el segundo muestreo se realizó de manera tal que todos se clasificaron y contabilizaron, lo cual permitió conocer la abundancia relativa por puntos y por familia.

En total fueron colectados 1160 individuos siendo los puntos 6, 7 y 8 los de mayor abundancia relativa, coincidiendo con parte de las aguas menos contaminadas. En cuanto a la densidad relativa por familias ninguna de las que rebasan el 10% tienen valores de tolerancia superiores a 3, lo cual corrobora el criterio que los macroinvertebrados indicadores de baja calidad de las aguas se encuentran en mayor abundancia para una misma familia y con un número menor de familias para estos puntos.

### Comportamiento del *ICA\_sp* y el *BMWP-Cu/mod\_2015*

En la tabla 6 se muestra una comparación entre el *ICA\_sp* y los dos índices bióticos introducidos en el presente estudio para el primer muestreo (figura 2). En sentido general los índices bióticos reflejan que todos los puntos muestreados presentan aguas con cierto grado de contaminación, según el *BMWP-Cu/mod\_2015* predominan las aguas muy contaminadas, seguidas de aguas contaminadas y aguas fuertemente contaminadas y para el *ASPT* todas las aguas presentan probable contaminación severa.

En el caso del índice físico-químico del *ICA\_sp* predominan las aguas altamente contaminadas seguidas por las aguas contaminadas. Como se puede apreciar, con independencia de cómo han sido clasificados los grados de contaminación para cada uno de los índices, los tres reflejan que las aguas presentan serias afectaciones en su calidad.

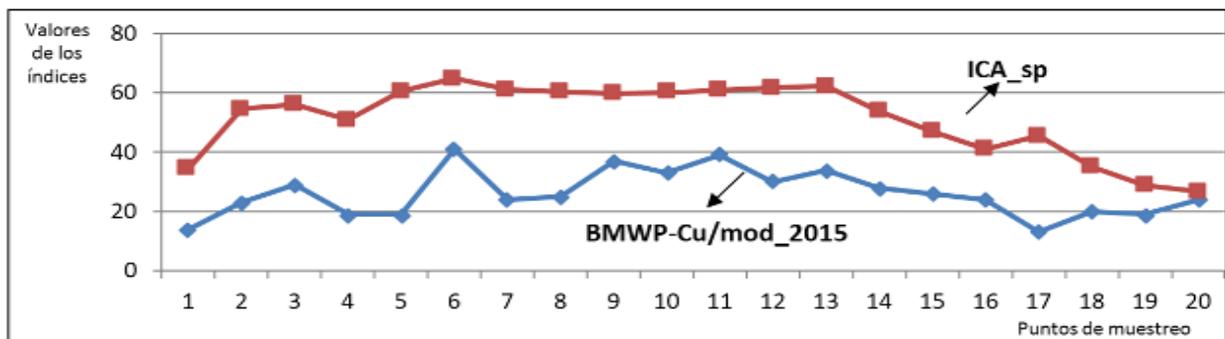
**Tabla 6. Comparación de los índices de calidad de las aguas para el primer muestreo (Noviembre/2013)**

Ptos. Muestreo	Sector del río Ariguanabo																			Clase
	rural											periurbano				urbano				
	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6	P-7	P-8	P-9	P-10	P-11	P-12	P-13	P-14	P-16	P-17	P-18	P-19	P-20	
<b>BMWP-Cu/mod_2015</b>	14	23	29	19	19	41	24	25	37	33	39	30	34	28	24	13	20	19	24	III-IV-V
<b>ASPT</b>	2,8	2,9	3,2	2,7	3,2	3,7	3,0	3,1	3,7	3,3	3,9	3,8	3,4	3,5	4,0	2,6	2,9	3,2	3,4	III-IV
<b>ICA_sp</b>	34,5	54,6	56,0	51,0	60,7	64,9	61,2	60,4	59,7	60,2	60,9	61,8	62,4	53,7	41,1	45,4	35,0	28,9	26,7	4-5

En la figura 4 se ha esquematizado el comportamiento del *ICA\_sp* y el *BMWP-Cu/mod\_2015* a lo largo del río, pudiéndose apreciar una muy buena correspondencia entre ambos índices, lo cual corrobora la utilidad práctica de los índices bióticos como indicadores de la calidad de las

aguas en las condiciones concretas de un río de la Llanura Sur Occidental con un cierto grado de modificación antrópica a lo largo de su recorrido.

La introducción de la bioindicación mediante macroinvertebrados de forma conjunta con los índices físico-químicos y microbiológicos evidenció ser de gran utilidad y responder a la naturaleza y estadios de desarrollo de los procesos de degradación de la calidad de las aguas del río Ariguanabo.



**Figura 4. Comportamiento del *ICA\_sp* y el *BMWP-Cu/mod\_2015* para el primer muestreo**

## CONCLUSIONES

1. La incorporación de los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad de las aguas del río Ariguanabo, implicó una readecuación de este índice para las condiciones concretas de los ríos de la zona suroccidental del país y su buena correlación con otros índices de calidad establecidos en el país confirmaron su utilidad.
2. Tanto el *ICA\_sp* como el *BMWP-Cu/mod\_2015* y el *ASPT* clasifican las aguas del río en toda su extensión como contaminadas en diferentes grados, lo cual responde al incremento del aporte de carga contaminante de origen doméstico y agropecuario en sectores cercanos o en el propio río.
3. La mala calidad de las aguas se evidencia en muy bajas concentraciones de oxígeno disuelto provocada por un alto nivel de estancamiento de la corriente, crecimiento desmedido de la vegetación acuática y una menor actividad fotosintética producto del alto grado de cubrimiento del bosque de galería y en los valores de DQO y CF fuera de norma, debido a la gran cantidad de aportes de aguas residuales, con altas concentraciones de materia orgánica no degradada de origen doméstica y porcina.

## RECONOCIMIENTO

Se desea agradecer la colaboración prestada por la dirección y el personal de la Sección de Recursos Hidráulicos del Gobierno de la Provincia de Artemisa en la logística para la realización de los muestreos y el acceso a la información de la RedCal. Los autores desean agradecer a los evaluadores anónimos su trabajo de revisión. Sus observaciones han aportado una mayor coherencia al documento.

## REFERENCIAS

- Alonso A. y Camargo J. A.** (2005). "Estado actual y perspectivas en el empleo de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos como indicadora del estado ecológico de los ecosistemas fluviales españoles". *Ecosistema*. No. 14, 3. (versión on-line). ISSN 1697-2473. Asociación Española de Ecología Terrestre, España. Extraído de: <http://www.Revistaecosistemas.net/articulo.asp?ID=133> en julio 2012.
- García J. M., Gutiérrez J. B. y Castro V.** (2013). "Nueva herramienta para evaluar la gestión ambiental integrada en cuencas hidrográficas cubanas: el índice simplificado de gestión en cuencas hidrográficas (IsGC) – 1ra. Etapa". *Voluntad Hidráulica*, No. 106, INRH, La Habana.
- Gutiérrez J. B. y García J. M.** (2014). "Resumen metodológico: un índice para evaluar la calidad de los recursos hídricos superficiales en cuencas hidrográficas (ICA\_sp 2014)". Consejo Nacional de Cuencas Hidrográficas (INRH), 14 p., La Habana.
- Hanson P., Springer M. y Ramírez A.** (2010). "Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos". *Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol)*. vol. 58 (Suppl. 4), pp. 3-37, ISSN-0034-7744. Universidad de Costa Rica, Costa Rica.
- Mandaville S. M.** (2002). "Benthic macroinvertebrates in freshwaters-taxa tolerance values, metrics, and protocols (Project H-1)". Soil & Water Conservation Society of Metro Halifax, 128 p. New York, USA, extraído de: <http://lakes.chebucto.org> en enero 2015.
- Muñoz S., Naranjo C., Garcés G., González D. D.; Musle Y. y Rodríguez L.** (2003). "Evaluación de la calidad del agua utilizando los macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores". *Revista Chapingo-Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 9(2): 147-153, ISSN 0186-3231, Univ. Chapingo, México.
- Naranjo C., González D. D., Garcés G., Brandimante A. L., Muñoz S. y Musle Y.** (2005). "Una metodología rápida y de fácil aplicación para la evaluación de la calidad del agua utilizando el índice BMWP-Cu para ríos cubanos". *Tecnura* 2005, vol. 17, pp. 65-76, ISSN 0123-921X, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia.
- Naranjo C., Aguirre I., Martínez Y. y Soria J.** (2010). "Metodología de trabajo para macroinvertebrados dulce acuícolas en ríos de Cuba". *Cocuyo-Carta Informativa de los Zoólogos de Invertebrados de las Antillas*. No. 18-Octubre, pp. 55-57, ISSN 2071-7350, Grupo de Historia Natural del Caribe, Cuba.
- NC-27-2012** (2012). "Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones", Oficina Nacional de Normalización (ONN), La Habana.
- Roldán G.** (1999). "Los macroinvertebrados y su valor como indicador de la calidad del agua". *Rev. Acad. Col. Cien. Exact. Fis. y Nat.*, 33 (88): 375-387, ISSN 0370-3908, Academia Colombiana de las Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Colombia.
- Sánchez D.** (2010). "Aplicación de la Directiva Marco de Agua 2000/60/CE en la cuenca hidrográfica del río Guadalhorce (Málaga). Caracterización inicial". Tesis Doctoral. Universidad de Málaga, 493 p., Málaga, España.