

# BOLETÍN

INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ

ISSN 0458-7766

VOLUMEN 34, Número 1



Enero - Junio 2019  
Callao, Perú



PERÚ

Ministerio  
de la Producción

# GUÍA Y CRITERIOS DE APLICACIÓN DEL ÍNDICE BIÓTICO MARINO AZTI (AMBI) Y AMBI MULTIVARIADO (M-AMBI) EN AMBIENTES MARINOS SOMEROS DE LA COSTA CENTRAL Y SUR DE PERÚ

## GUIDELINES AND APPLICATION CRITERIA OF THE AZTI BIOTIC MARINE INDEX (AMBI) AND MULTIVARIATE-AMBI (M-AMBI) IN THE SHALLOW MARINE ENVIRONMENTS FROM THE CENTRAL AND SOUTHERN PERUVIAN COAST

Luis Quipuzcoa Olguín<sup>1</sup>  
Bruno Vildoso Giesecke<sup>3</sup>

Víctor Aramayo<sup>1</sup>  
Bruno Valdez Barrios<sup>3</sup>

Ximena Velez-Zuazo<sup>2</sup>  
Vicente Tasso Bermell<sup>4</sup>

### RESUMEN

QUIPUZCOA L, ARAMAYO V, VELEZ-ZUAZO X, VILDOSO B, VALDEZ B, TASSO V. 2019. Guía y criterios de aplicación del Índice Biótico Marino AZTI (AMBI) y AMBI multivariado (M-AMBI) en los ambientes marinos someros de la costa central y sur de Perú. *Bol Inst Mar Perú*. 34(1): 277-305.- El Índice Biótico Marino AZTI (AMBI, por sus siglas en inglés) y su versión multivariada M-AMBI son herramientas desarrolladas para evaluar la condición de salud de los ecosistemas marinos costeros utilizando información del macrobentos de fondo blando. En cinco capítulos, se presenta la descripción del AMBI (Capítulo 1), las consideraciones para su calibración (Capítulo 2), explicaciones paso a paso para estimación (Capítulo 3) e interpretación (Capítulo 4) del AMBI y M-AMBI en la costa central y sur del Perú y las consideraciones y sugerencias para su uso correcto e interpretación (Capítulo 5).

PALABRAS CLAVE: AMBI, M-AMBI, macrobentos, fondos blandos, costa central y sur de Perú

### ABSTRACT

QUIPUZCOA L, ARAMAYO V, VELEZ-ZUAZO X, VILDOSO B, VALDEZ B, TASSO V. 2019. Guidelines and application criteria of the Biotic Marine Index (AMBI) and multivariate-AMBI (M-AMBI) in the shallow marine environments from the central and southern Peruvian coast. *Bol Inst Mar Peru*. 34(1): 277-305.- The Marine Biotic Index (AMBI) and its multivariate version M-AMBI are tools developed to assess the health condition of coastal marine ecosystems using information from soft-bottom macrobenthos. Along five chapters, it is presented a description of the AMBI (Chapter 1), considerations for the calibration (Chapter 2), step-by-step instructions to estimate (Chapter 3) and interpret (Chapter 4) the AMBI and M-AMBI at central and south coast of Peru, and suggestions for the correct application and interpretation (Chapter 5).

KEYWORDS: AMBI, M-AMBI, macrobenthos, soft-bottom habitats, central and southern Peruvian coast

## 1. INTRODUCCIÓN

La Guía y Criterios de Aplicación del Índice Biótico Marino AZTI (AMBI) y el AMBI Multivariado (M-AMBI) en los ambientes marinos someros de la costa central y sur de Perú, tiene por finalidad facilitar la correcta aplicación, paso a paso, del índice AMBI y su versión multivariada M-AMBI. Estas dos herramientas han sido desarrolladas para facilitar el análisis complementario y diagnóstico de la calidad de los ambientes marinos costeros.

El AMBI es un índice biótico semicuantitativo para medir el estado ecológico en comunidades macrobentónicas de fondo blando de un área marina costera. El índice usa la composición específica de la comunidad del bentos marino (macro-invertebrados sésiles o no, de fondos

blandos) para evaluar la calidad ambiental marina costera en un área determinada.

En este trabajo hacemos una descripción didáctica sobre su aplicabilidad en el ecosistema marino peruano (con énfasis en la costa central y sur), considerando valores *ad hoc*, previamente calibrados y estandarizados, obtenidos en el marco de un Proyecto conjunto entre el Instituto del Mar del Perú, el Smithsonian Conservation Biology Institute y Perú LNG. En este contexto, aspiramos que la presente guía pueda servir de apoyo al más amplio público usuario, desde profesionales involucrados directamente en la investigación marina costera, grupos de investigación en universidades y, organizaciones vinculadas al cuidado o monitoreo ambiental marino, entre otras. Esperamos que esta publicación contribuya

1 Instituto del Mar del Perú, Correo electrónico: lquipuzcoa@imarpe.gob.pe

2 Center for Conservation and Sustainability, Smithsonian Conservation Biology Institute

3 Hunt LNG Operating Company

4 Oceansnell, Consultoría Ambiental Marina

como una herramienta adicional para el estudio, cuidado y manejo del medio marino costero.

El objetivo principal de esta guía es facilitar el proceso de aplicación del AMBI y/o M-AMBI para evaluar el estado de perturbación ecológica de un área marina costera determinada. Los objetivos específicos de la guía son:

Describir los pasos principales de aplicación del AMBI y M-AMBI

Describir los criterios que usamos para la aplicación del AMBI y M-AMBI en el ecosistema marino peruano

Explicar el proceso de recolección, selección, análisis de los datos e interpretación

Ofrecer valores y puntos de referencia calibrados, verificados y estandarizados para la evaluación de la calidad ambiental marina costera del centro y sur del Perú

Impulsar el empleo del AMBI y M-AMBI como herramientas complementarias para el diagnóstico de la calidad de ambientes marinos someros

Informar sobre el alcance y limitaciones a considerar en la aplicación del AMBI y M-AMBI.

Recomendamos que se tome nota de que tanto los criterios empleados en la guía como los valores y puntos de referencia sugeridos han sido expresamente trabajados para el sector centro y sur de la costa peruana en periodos neutros respecto de *El Niño Southern Oscillation* (ENSO). Por tanto, el usuario deberá tomar precauciones cuando desee emplear estos criterios y valores en sitios oceanográficamente diferentes (*e. g.*, la costa norte) o bajo condiciones ENSO.

Se recomienda también tomar en cuenta que el contenido de la presente Guía no pretende ser exhaustivo en relación a todos los criterios de muestreo establecidos para la recolección de muestras bentónicas, tampoco para el procesamiento o análisis estadísticos de los datos, para lo cual se sugiere revisar documentos específicos, según cada caso.

## Estructura de la guía

En el **Capítulo I** se presenta una breve descripción del AMBI incluyendo su desarrollo, países donde se aplica, y su desempeño comparado con otros índices. Se presentan y describen los Grupos ecológicos y se explica el desarrollo del M-AMBI. El **Capítulo II** presenta las principales consideraciones para la calibración del AMBI y M-AMBI para la costa central y sur de Perú y describe las áreas incluidas en la calibración (*i. e.*, sitios de calibración). Esta sección incluye una justificación para la delimitación espacial de aplicación de ambos índices bióticos, criterios generales y las restricciones para la aplicación de los índices. El **Capítulo III** habla de la estimación del índice y presenta un diagrama de flujo que orienta al usuario a seguir los pasos, desde la recolección de la muestra, preparación de los datos, hasta la asignación de las especies a los Grupos ecológicos y el uso guiado del programa para estimar el AMBI y M-AMBI (programa AMBI). El **Capítulo IV**, ofrece un panorama general sobre las principales pautas para interpretar y presentar los resultados obtenidos a partir de la matriz ingresada al programa AMBI. Finalmente, en el **Capítulo V** ofrecemos algunas sugerencias generales para el empleo e interpretación de los resultados del AMBI y M-AMBI en relación a otras métricas complementarias, usadas para medir cambios en la calidad ambiental, pero a partir de otros parámetros del ambiente marino.

## CONCEPTOS CLAVE

**Índice Biótico Marino AZTI (AMBI):** indicador biótico desarrollado por BORJA *et al.* (2000) basado en el análisis de las comunidades bentónicas de fondo blando, para establecer el estado ecológico de un área marina costera.

**AMBI multivariado (M-AMBI):** índice basado en el AMBI que incorpora en el análisis las variables de diversidad (*p. ej.*, Índice de Shannon) y riqueza de especies bentónicas de fondo blando.

**Estado ecológico:** condición de integridad ecológica (Degradada >> Saludable) que exhibe un área basado en la comunidad de organismos presentes.

**Índice de Shannon:** índice de diversidad que incorpora valores de abundancia y equidad de cada una de las especies presentes en una comunidad.

**Grupos ecológicos:** son agrupaciones de especies que exhiben una sensibilidad similar al incremento de materia orgánica (MO) y que forman la base para los análisis de calidad ecológica establecidos por el AMBI y M-AMBI.

**Macrobentos:** se refiere a las especies de invertebrados que habitan los ambientes acuáticos, de tamaño menor a 1 mm, retenidas en un tamiz de 500  $\mu\text{m}$  y que pueden vivir sobre el fondo (blando o duro) o enterradas.

**Materia orgánica (MO):** material de origen terrestre o marino, conformado por fragmentos o restos fácilmente reconocibles de plantas y animales; introducidos al mar a través de ríos,

atmósfera o que derivan directamente de cadenas alimentarias marinas.

**Sitios de calibración:** agrupación de áreas cuya calidad ambiental son usados como valores de referencia para establecer los límites (alto y bajo) del estado de calidad ecológica en una región para ser aplicado en el M-AMBI.

**Valores de referencia:** valores establecidos para las mejores y peores condiciones ambientales, obtenidos luego de la calibración del M-AMBI y usados para estimar el estado de calidad ecológico de un sitio marino determinado.

**Zona de Mínimo Oxígeno (ZMO):** capa deficiente de oxígeno que se desarrolla en el agua de mar, cuya concentración típica indicadora (límite inicial de detección) es 0,5 mL/L o 22,5  $\mu\text{M}/\text{kg}$ . En Perú, esta capa puede ser muy somera e intensa, particularmente en el sector centro y sur de la costa.

## CAPÍTULO I

### 1. EL AMBI Y EL M-AMBI

#### 1.1 El Índice Biótico Marino AZTI (AMBI)

El AMBI es un índice biótico semicuantitativo para medir el estado ecológico en comunidades macrobentónicas de fondo blando (BORJA *et al.* 2000). El AMBI fue desarrollado por investigadores del AZTI Tecnalia, un centro tecnológico situado en el país vasco, en España. Previamente, y posterior al desarrollo del AMBI, otros índices bióticos han sido desarrollados para evaluar y monitorear la calidad del medioambiente acuático, sobretodo dulceacuícola, pero también marino (BORJA *et al.* 2015). El AMBI fue desarrollado sobre el modelo propuesto por GRALL & GLÉMAREC (1997) y similar a otros índices bióticos basados en macroinvertebrados bentónicos, y asume que la respuesta cualitativa y cuantitativa de las comunidades ante el cambio de la calidad del hábitat incluye una modificación en la riqueza de especies, su abundancia y, en especies dominantes sensibles a la polución (PEARSON & ROSENBERG 1978).

Similar a otros índices bióticos, la motivación para el desarrollo del AMBI ha sido la limitación de utilizar los cambios en las variables abióticas como únicos indicadores de perturbación del medioambiente marino. El AMBI se basa en la respuesta rápida del macrobentos frente a perturbaciones físicas y químicas del ambiente. Aunque el AMBI fue inicialmente desarrollado para su aplicación en las costas de Europa, la flexibilidad para incorporar y asignar nuevas especies a los Grupos ecológicos preestablecidos, ha permitido que este índice biótico sea utilizado en otras áreas. *Hasta el 2015, el AMBI ha sido utilizado en 123 estudios, en 14 provincias biogeográficas, lo cual lo convierte en el índice biótico más utilizado* (BORJA *et al.* 2015).

En comparación con otros índices, el desempeño del AMBI ha sido mejor en términos de coherencia de resultados y aplicabilidad (BORJA *et al.* 2015). Sin embargo, para un buen desempeño, la lista de especies y su asignación a los Grupos ecológicos necesitan ser curadas (*i. e.*, revisadas minuciosamente) y refinadas (*i. e.*, actualizadas) en cada lugar nuevo donde se plantee usar, sobretodo fuera de los sitios estudiados exhaustivamente en la Unión Europea.

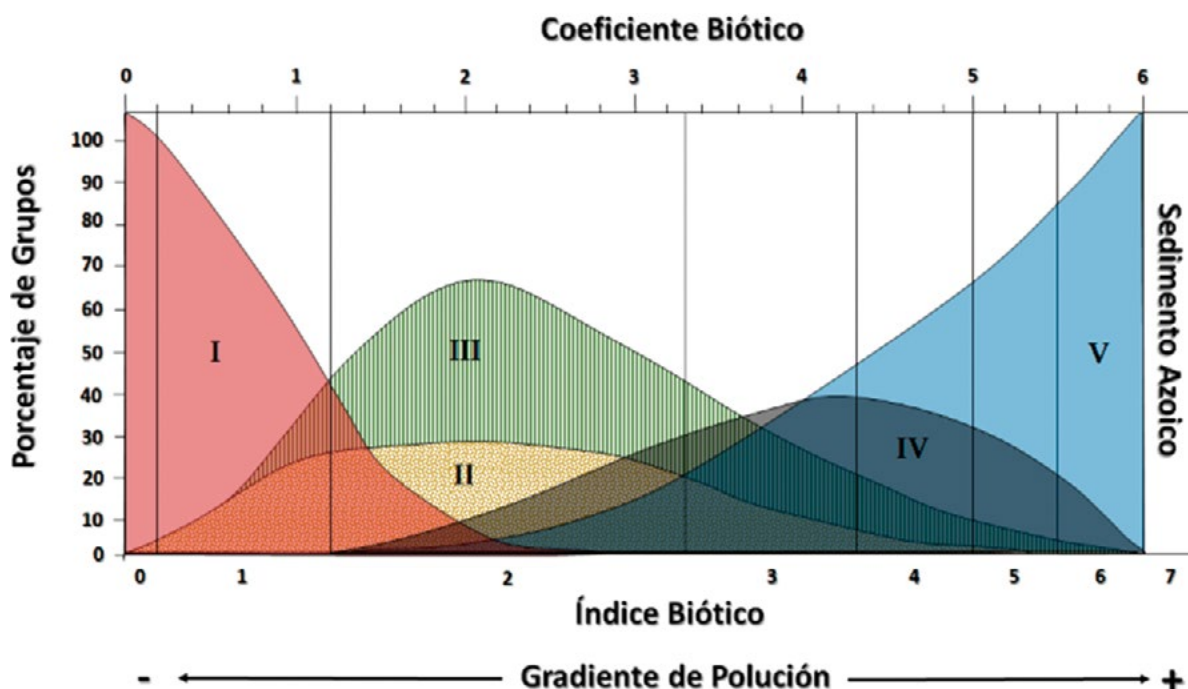


Figura 1.- Modelo teórico sobre el cual se desarrolla el AMBI. El modelo es una modificación de los autores para clasificar las especies en cinco Grupos Ecológicos, de acuerdo con su sensibilidad a un gradiente de polución. Imagen extraída y traducida de BORJA *et al.* (2000)



## 1.2 Los Grupos ecológicos

Los Grupos ecológicos son agrupaciones de especies que exhiben una sensibilidad similar al incremento de materia orgánica (MO) y forman la base para estimar el AMBI (Figura 1). La razón para utilizar la sensibilidad como una variable para clasificar las especies se justifica en el cambio gradual de un ambiente ante una fuente de perturbación, en este caso, la influencia de MO (SALEN-PICARD 1983). De acuerdo con GRALL y GLÉMAREC (1997), los cinco grupos son:

**Grupo I:** *Especies muy sensibles al enriquecimiento orgánico y presentes bajo condiciones sin contaminación (estado inicial); incluyen especies carnívoras especializadas y algunos poliquetos tubícolas que se alimentan de lo que se deposita en el fondo.*

**Grupo II:** *Especies indiferentes al enriquecimiento, siempre presentes en bajas densidades y con variaciones no significativas en el tiempo (desde el estado inicial hasta un ligero desequilibrio); incluyen especies que se alimentan de partículas en suspensión, carnívoros menos selectivos y carroñeros.*

**Grupo III:** *Especies tolerantes al exceso de enriquecimiento de MO. Estas especies pueden observarse también en condiciones normales, pero sus poblaciones son estimuladas por la riqueza orgánica (situaciones de ligero desequilibrio). Son especies que se alimentan de lo que se deposita superficialmente en el fondo, como espionidos tubícolas.*

**Grupo IV:** *Especies oportunistas de segundo orden que incluyen poliquetos de pequeño tamaño, principalmente los que se alimentan de depósitos subsuperficiales, como los cirratúlidos.*

**Grupo V:** *Especies oportunistas de primer orden que se alimentan de partículas que se depositan en el fondo y proliferan en sedimentos reducidos.*

## 1.3 El M-AMBI

El M-AMBI es una extensión del AMBI y fue propuesto por BORJA *et al.* (2004) y por MUXIKA *et al.* (2007). El M-AMBI propone la integración de variables de la comunidad macrobentónica al estimado original en el que se basa el índice

original, que es una proporción de especies. Debido a esto, el índice se denomina AMBI multivariado y como tal incorpora valores de riqueza y el índice de diversidad de Shannon que son analizados utilizando estadística multivariada (*i. e.*, análisis de factores). Una de las fortalezas de esta versión del AMBI es el establecimiento e incorporación de condiciones de referencia, las cuales son específicas al tipo de hábitat evaluado.

## 1.4 Breve reseña del proceso de calibración del M-AMBI para Perú

Hasta el 2016, la calibración de la variante multivariada del AMBI, el M-AMBI, no había sido realizada aún en el Perú. Un M-AMBI calibrado es la forma correcta y más adecuada de emplear esta herramienta. La consideración más importante, quizá sea, que los grupos y especies bentónicas frente a la costa peruana tienen respuestas diferenciadas con el contexto oceanográfico. De acuerdo con esto, podemos distinguir (de manera general) dos regiones relativamente definidas: una de mar subtropical bastante oxigenado y comparativamente con menor contenido orgánico en el sedimento y, otra altamente productiva, más fría, con un sedimento enriquecido, y sometida a fuertes condiciones de hipoxia y anoxia. Este aspecto es determinante para la asignación de cada uno de los organismos a los diferentes grupos ecológicos propuestos para la estimación del AMBI.

Este escenario hace que el uso del AMBI para determinar el estado de la calidad ecológica de los ambientes marinos costeros a partir de la observación de la comunidad del bentos sea altamente sensible y dependiente del tipo de ambiente que se esté evaluando. De esta forma, si pretendemos que este índice sea considerado válido y potencialmente incorporado en reglamentaciones ambientales, debemos primero calibrarlo y probar su desempeño en el marco de nuestras latitudes. Es necesario también contrastar y verificar las respuestas faunales sobre el fondo, incluso, y especialmente, en aquellos taxones que pueden tener una respuesta diferente en otras latitudes y, por lo tanto, ofrecer una señal distinta al ser incorporada en la lista del AMBI.

Junto a los pasos anteriormente indicados, se aplicó un criterio adicional para mejorar los análisis sobre las respuestas faunales. Se empleó un ordenamiento batimétrico de las muestras (*i.e.*, establecimos estratos de profundidad) en áreas sometidas a diferentes condiciones de oxigenación, intervención e impacto antropogénico y temporalidad estacional o anual. **Esta primera calibración del M-AMBI aplica únicamente a las zonas central y sur de Perú**, las cuales fueron consideradas como un ambiente homogéneo (en relación a condiciones oceanográficas) y claramente diferenciado de la zona norte (corriente tropical). La calibración del M-AMBI para la zona norte, es una tarea que se debe abordar en un futuro cercano.

### 1.5 Sitios de calibración usados en Perú

En el borde costero comprendido entre los 9° y 16°S, se consideraron bahías caracterizadas por estar cerradas como Ferrol y Samanco, o semi-abiertas o abiertas como Huacho, Callao, Miraflores, Pisco-Paracas y Marcona. Todas estas bahías corresponden a ambientes marinos someros que muestran un rango batimétrico tal y como fue propuesto para la calibración.

En cada sitio de calibración designado se dan diferentes tipos de fuentes de contaminación marina de origen terrestre o marina que incluyen, entre otros, aguas residuales de la industria pesquera, aguas residuales de la industria siderúrgica con alto contenido de óxidos, aceites, grasas, detergentes, aguas muy ácidas y metales pesados (*i. e.*, Cu, Pb, Cd, Zn), aguas residuales de origen urbano o municipal (*i. e.*, sistema de alcantarillado, bombeo de las aguas servidas) y escorrentías agrícolas mezcladas con aguas domésticas. La actividad portuaria, el tránsito de embarcaciones, la acuicultura, el desarrollo ganadero y la agricultura, también son actividades que dan lugar a desechos sólidos y líquidos y que son descargados al mar

directamente o indirectamente a través de drenes o desagües y a través de los ríos. Todas estas fuentes contribuyen con ingreso importante de MO.

### 1.6 Estratos de profundidad usados en la calibración

Como parte del trabajo de calibración que previamente hemos realizado para el M-AMBI, ha sido necesario establecer criterios comparativos sistemáticos, especialmente vinculados a forzantes ambientales que modulen la respuesta y éxito de las comunidades bentónicas de fondos blandos. En el caso del ecosistema peruano, establecimos estratos de profundidad teniendo como factor determinante a la Zona de Mínimo Oxígeno (ZMO) y su influencia particularmente sobre el ecosistema marino costero (Tabla 1). El rango máximo que elegimos como significativo fue de 0 a 50 metros de profundidad. Consideramos que más allá de esa profundidad existen altas probabilidades de empezar a captar señales o respuestas en la comunidad bentónica que estén asociadas a otros tipos de procesos (de diferente escala) o influencia oceanográfica (*e. g.*, el incremento progresivo del aporte oceánico). Por otro lado, las divisiones establecidas tienen relación con la fluctuación en los límites superiores de la ZMO que han sido históricamente registrados, y también están basadas en el conocimiento del hábitat por parte de especialistas y observaciones previas.

En este contexto, la presente guía emplea divisiones batimétricas para discriminar entre respuestas bentónicas (Tabla 1).

### 1.7 Valores calibrados para el M-AMBI en Perú

Los valores de referencia para las métricas de AMBI, diversidad y riqueza específica, obtenidos a partir de la calibración (análisis de todos los sitios de estudio indicados anteriormente) están en la Tabla 2. Estos valores se presentan teniendo en cuenta los criterios batimétricos.

Tabla 1.- Rangos batimétricos empleados para la aplicación del AMBI y calibración y aplicación del M-AMBI

Estrato	Rango de profundidad (metros)	Criterios en detalle	Ventajas para la aplicabilidad del AMBI y M-AMBI
I	0-10	Fondos más oxigenados (alta hidrodinámica, algo común en todas las áreas), aspecto que define muy bien a este estrato. Es un rango batimétrico al cual generalmente se accedería durante un EIA <sup>5</sup> , ELBA <sup>6</sup> , o monitoreos ambientales en general, mediante transectos y/o buceo.	Típicas evaluaciones desde orilla, tanto por entidades privadas como públicas. Favorece significativamente la aplicación del AMBI y M-AMBI
II	>10 - 30	Se asume condiciones de hipoxia más claras sobre el fondo y puede, o no, detectarse el borde superior de la ZMO (dependerá principalmente del período de estudio, secundariamente del área)	Deberíamos esperar que el AMBI y M-AMBI dieran resultados comparativamente diferentes. En algunos casos confirmando un ambiente impactado por deficiencia de oxígeno; en otros, mostrando ejemplos claros de condiciones favorables y poca o nula influencia de la ZMO
III	>30 - 50	Condiciones homogéneas sobre el fondo en términos de deficiencia de oxígeno. Fondos interceptados por la ZMO.	El AMBI y M-AMBI aplicado a este estrato debería indicarnos estados ecológicos con relativa alta perturbación de la comunidad bentónica. Es también un estrato clave para estudios que busquen escenarios de contraste.

Tabla 2.- Valores de referencia calibrados para el M-AMBI, según estratos de profundidad

	AMBI	Diversidad	Riqueza específica	
Malo	5,70	0	1	Estrato I
Muy Bueno	0	2,81	23	(0-10 m)
Malo	4,50	0	1	Estrato II
Muy Bueno	0	3,1	17	(>10-30 m)
Malo	4,50	0	1	Estrato III
Muy Bueno	0	2,69	13	(>30-50 m)

## RESUMEN

- El AMBI y el M-AMBI indican el estado de la calidad ecológica debido a actividades antrópicas en comunidades del macrobentos marino.
- Estos índices se aplican a comunidades de fondos blandos.
- La base de ambos índices está en los Grupos ecológicos (GE) y la clasificación de las especies dentro de estos GE.
- Los GE son agrupaciones de especies que exhiben sensibilidad similar al incremento de materia orgánica (MO). Hay cinco GE.
- El M-AMBI es un AMBI multivariado que incorpora valores de riqueza y diversidad de Shannon en un análisis estadístico.
- Para usar el M-AMBI, primero debe ser calibrado para establecer valores de referencia.
- Para la costa central y sur de Perú, se utilizaron cinco sitios de calibración, con distintos niveles de perturbación antrópica.
- El M-AMBI calibrado para Perú tiene valores referenciales basados en estratos de profundidad.

5 EIA: Estudio de Impacto Ambiental  
6 ELBA: Estudio de Línea Base



## CAPÍTULO II

### Consideraciones generales para la aplicación del AMBI y M-AMBI en Perú

Con las observaciones indicadas, la aplicación de los índices está limitada a la región biogeográfica que comprende la costa central y sur dentro del Sistema de la Corriente de Humboldt frente a Perú. Esta región está caracterizada por la presencia de una masa de agua muy homogénea denominada Aguas Costeras Frías (ACF), que baña todo este borde costero y con un ámbito espacial (latitudinal y batimétrico, por estratos) bien definido. Esto determina las características de la localidad o área estudiada, tanto en función a la profundidad de estudio como en función al efecto combinado de la interacción de ambos aspectos (todo lo cual tiene influencia en la estimación del AMBI y M-AMBI).

El grado de impacto antropogénico vinculado a cada área, conlleva a una determinación y listado de organismos que representa la riqueza específica, que asociada a la cantidad numérica con que se presentan, sirve para estimar el índice de diversidad, dos valores importantes que unidos al AMBI calculado, nos dan las condiciones de referencia para estimar el M-AMBI.

Es importante que el área de estudio comprenda ambientes sublitorales **cuyas características sedimentarias correspondan a fondos blandos**, pudiendo ser de tipo fangoso (limo-arcilla), arenoso (fina-gruesa), con conchuela o la combinación de estas (fango-arenoso, areno-fangoso, en diferentes porcentajes en su composición).

La captura por dragado debe ser porcentualmente mayor al 40-50% del área de mordida y con un mínimo de dos a tres réplicas por punto de muestreo. Así mismo, la comunidad bentónica retenida debe ser mayor a 500  $\mu$  (macrobentos) excluyendo al bacteriobentos, muy característico de estos ambientes con alto contenido orgánico y poco oxígeno.

Es igualmente importante que las áreas o localidades no experimenten impacto físico, como remociones o arrastres.

A continuación, se presenta información detallada a considerar para la aplicación del AMBI y M-AMBI.

### 2.1 Tipo de muestra

En campo, los investigadores pueden recolectar diferentes tipos de muestras bentónicas, tanto directamente (*e. g.*, buceo autónomo o semiautónomo) como indirectamente (*e. g.*, dragas o nucleadores); sin embargo, es necesario, en primer lugar, tener en cuenta la necesidad de trabajar muestreos comparables (esto es, usando el mismo equipo de muestreo) y muestras provenientes del mismo tipo de substrato (en este caso, blando).

El substrato "blando" puede referirse a fondos fangosos, arenosos o una combinación de ambos (con mayor o menor presencia de elementos característicos como la arcilla y/o el limo). Aunque en muchos casos no es posible tener una idea del tipo de fondo que se está trabajando (*i. e.*, prospecciones, monitoreos realizados en áreas nunca antes evaluadas, muestreos realizados en fondos más profundos de un área ya conocida, etc.), se recomienda en general cubrir este requisito previamente (es decir, antes de aplicar cualquier índice tipo AMBI) con la finalidad de cumplir estrictamente con las indicaciones de uso, y principalmente con los criterios ecológicos en los cuales se basan estas indicaciones. Por tanto, **muestras provenientes de fondos duros** (muestras de fondos rocosos, orillas rocosas, terrazas sólidas de fondos someros, etc.) **no deberán ser tomadas en cuenta en los análisis del índice AMBI**.

En algunos casos, el investigador puede evidenciar dos tipos de escenarios con sus muestras.

El primer escenario (1) contempla **cambios temporales en la textura y composición granulométrica** (es decir, en el tamaño y tipo de partícula que compone el sedimento). En estos casos, si una muestra tiene un fuerte componente biogénico (por ejemplo restos de caparazones, conchas, escamas, etc.), esto puede no representar un problema para el contraste con otros tipos de muestras. Sin embargo, la presencia permanente y dominante de material duro (tipo grava) en las muestras por tiempos prolongados de muestreo debería ser un punto para considerar por el investigador (por

ejemplo, quedaría en manos del investigador evaluar la inclusión de muestras que tengan predominantemente grava de relativo mayor tamaño).

El segundo escenario (2) es la **representatividad de la muestra** obtenida. Queda bajo responsabilidad del investigador incluir en sus análisis dragados cuyo contenido de sedimento esté por debajo de, al menos, las tres cuartas partes (75%) del volumen total de la draga. Generalmente, esto se produce debido al mal cierre de la boca de la draga en el fondo (y/o por la presencia de estructuras duras presentes). En estos casos, la muestra no es representativa ni para el volumen estándar de la draga y probablemente tampoco para el contraste con otros casos donde no se presenten ese tipo de problemas de recolección. En cualquier caso, se debe describir el tipo de sustrato, no solo en el porcentaje de contenido de llenura de mordida de draga, sino también en su textura, olor o color siguiendo la clasificación de FOLK (1966).

## 2.2 Batimetría

Aunque en principio la aplicación del índice AMBI no establece un rango máximo de profundidad, aquí sugerimos que se tomen en cuenta algunos rasgos oceanográficos característicos de la costa peruana (en general, heterogénea en cuanto los tipos de hábitats bentónicos que exhibe y su morfología). Estos rasgos permitirán identificar un patrón relativamente bien definido acerca de la profundidad (al menos en el sector centro y sur de la costa).

Las concentraciones de oxígeno son un buen punto de referencia. Estudios realizados sobre el bentos marino de la costa central y sur peruana muestran que la deficiencia de oxígeno en el agua de mar puede estar presente incluso en fondos muy someros y que, de hecho, este factor puede influenciar la presencia y estructura de las comunidades del fondo.

Por otro lado, más allá de la plataforma somera (esto es, >50 m) es posible detectar otros tipos de procesos oceanográficos y factores ecológicos que intervienen en los cambios de las comunidades bentónicas (*e. g.*, la disponibilidad de alimento, la progresiva disminución de luz, la dependencia de algunos individuos sobre este

factor y la productividad primaria “natural” en la plataforma). Así que resulta razonable considerar la concentración de oxígeno como un factor limitante dentro del análisis (específicamente para AMBI), a partir del cual podemos establecer un rango hacia las áreas más someras. Esto permitiría disminuir el “ruido” asociado a otros procesos marinos que suceden a escalas diferentes.

En este sentido, se plantean los estratos de profundidad indicados en la Tabla 1. En el caso del ecosistema marino peruano, estos estratos se establecen en función a la influencia de la ZMO, cuyos efectos son más notorios en el sector centro y sur de la costa peruana. Sobre esto mismo, también existen razones operativas y de aplicación que sustentan una división de este tipo. Por ejemplo, el trabajo de centros de investigación como universidades, o de evaluación privada (como consultoras) generalmente tiene un rango máximo de alrededor de 50 metros (profundidades también usuales en bahías o ensenadas), así que los criterios antes expuestos también toman en cuenta estos aspectos operativos, con la finalidad de favorecer el uso del índice AMBI.

## 2.3 Selección del área de aplicación

Como se ha mencionado, esta guía considera al sector centro y sur de la costa peruana influenciado por la Corriente de Humboldt (frente a Perú); por lo tanto, estamos hablando de un ecosistema frío, productivo, habitualmente influenciado por la deficiencia de oxígeno en la columna de agua y siempre sobre el fondo y, solo episódicamente afectado por cambios bruscos en sus condiciones oceanográficas (*e. g.*, influencia de un evento El Niño).

Sugerimos evaluar previamente la inclusión de otras áreas cuyas características oceanográficas habituales sean diferentes a estas (para evitar captar múltiples señales o respuestas confusas). Si el interés es aplicar el índice AMBI o M-AMBI en el sector norte de la costa peruana, será necesario primero establecer puntos de referencia en la zona de evaluación, con la finalidad de realizar un adecuado contraste y así evitar agregar incertidumbre al análisis comunitario. Del mismo modo, para condiciones oceanográficas relacionadas al ENSO será necesario primero establecer de manera representativa puntos de referencia en

eventos oceanográficos similares (*e. g.*, El Niño débil vs. El Niño fuerte). Sin embargo, sugerimos no realizar evaluaciones entre periodos ENSO hasta tener una base de datos suficientemente robusta (estadísticamente).

#### 2.4 Riqueza y abundancia

Idealmente, el índice AMBI se debe de aplicar teniendo una base de datos de suficiente tiempo en la zona de evaluación. También hay que considerar el tipo de herramienta que se ha empleado para recolectar la muestra, el tamiz o red de cernido que se ha empleado durante el estudio que respalda la serie temporal, etc. En principio, la inclusión de valores de riqueza de especies calculados a partir de herramientas distintas o procesamientos de muestras distintos

puede ofrecer valores sesgados y, por lo tanto, conllevar a conclusiones erróneas.

Se recomienda, como paso previo, eliminar datos que supongan duda para el investigador no solo por las razones antes señaladas, sino también, por otros criterios de exclusión como grupos o especies no contempladas en el análisis (por ejemplo, porque son errores de identificación taxonómica) o cuyo agrupamiento ecológico no puede ser bien establecido debido al desconocimiento del investigador. Es mejor retirar todo dato biológico de calidad dudosa, incluyendo errores de cuantificación, tanto para la densidad (número de individuos) como la biomasa (peso de los individuos).

### RESUMEN

- Esta guía presenta al M-AMBI calibrado de la costa central y sur del Perú y a ambientes sub-litorales de fondos blandos en periodos ENSO neutros.
- Las muestras a utilizar deben ser representativas por lo que se recomienda recolectar réplicas y garantizar la correcta recolección con la draga.
- Considerar los estratos de profundidad utilizados para la calibración del M-AMBI; estos determinan los límites verticales de aplicación de este índice biótico.
- Los valores de riqueza y abundancia a utilizar deben provenir de muestras recolectadas utilizando la misma metodología y herramientas.
- Ante la duda de la calidad de los datos biológicos o incertidumbre de los métodos de recolecta, se recomienda eliminar esa muestra.

### CAPÍTULO III

#### Estimando el AMBI y M-AMBI

El proceso de estimación del AMBI y M-AMBI calibrado consta de varios pasos (Figura 2) que se detallan a lo largo de este capítulo.

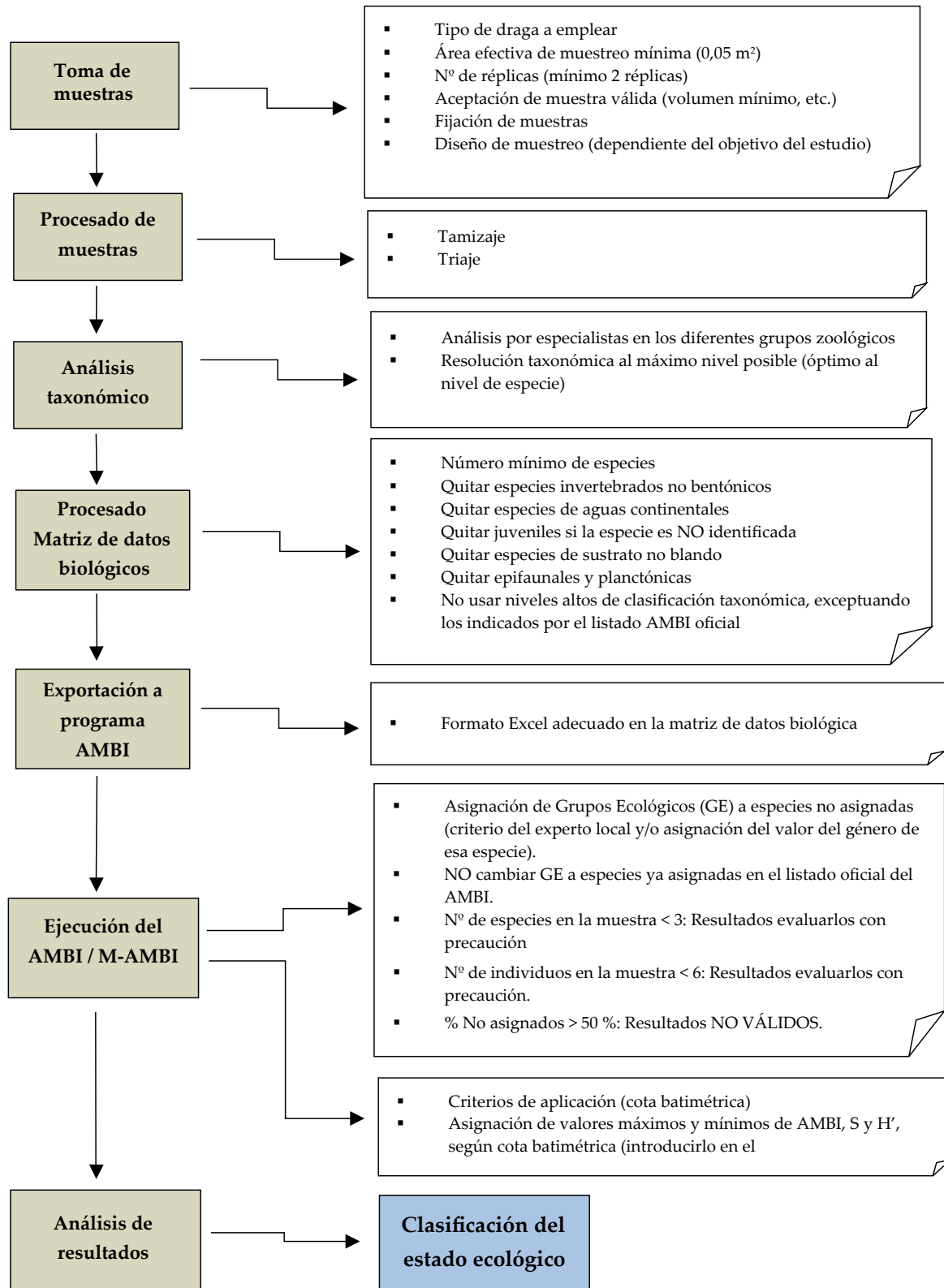


Figura 2.- Flujo de procedimientos empleados para el análisis AMBI y M-AMBI

### 3.1 Toma y procesamiento de las muestras

Las muestras pueden ser recolectadas empleando una draga van Veen (*e. g.*, de 0,05 m<sup>2</sup> de área de mordida) y preservadas con formalina al 10% tamponada con bórax (tetraborato sódico), o en alcohol al 96%. Idealmente, deben obtenerse muestras replicadas, con la finalidad de captar la variabilidad de los resultados (abundancia) a través de este procedimiento.

Las muestras pueden tamizarse *in situ* con una malla de 0,5 mm de abertura. Se recomienda considerar la estimación de la riqueza orgánica en el sedimento (*i. e.*, el análisis de materia orgánica total), lo cual también puede obtenerse mediante una draga van Veen en las mismas estaciones. Lo mismo puede aplicarse en el caso se disponga de la capacidad de analizar material de origen fitoplanctónico (clorofila-a sedimentaria).

### 3.2 Análisis taxonómicos

Una vez retenidos todos los organismos de fondo blando (macrobentos) en un tamiz adecuado (por lo general de 500  $\mu$ ), estos invertebrados deben ser identificados para poder ser asignados a los grupos propuestos por el AMBI.

El objetivo del análisis taxonómico es identificar con precisión todos los organismos contenidos dentro de cada muestra en la categoría taxonómica más baja posible y proporcionar un conteo preciso de los organismos en cada taxón identificado (SCAMIT 2013). Es importante que el número de organismos contabilizados, den cuenta de todos los organismos en una muestra viva al momento de la recolección. En este sentido, se debe tener cuidado de reportar valvas de moluscos vacías, mudas de crustáceos, fragmentos de organismos bilateralmente simétricos sino se incluye el extremo anterior del organismo, para organismos radialmente simétricos (*e. g.*, ofiuroides, antozoos) solo se identificarán los fragmentos que llevan la mayoría del disco oral.

Las determinaciones e identificaciones de los organismos bentónicos marinos, deben ser conducidas por biólogos experimentados, familiarizados con la mayoría de los grupos mayores que en un primer momento permitan realizar separaciones primarias por grandes taxa, si se quiere a un nivel ilustrativo.

En un segundo nivel, para aquellos organismos que resultan menos familiares, debemos poner mayor atención ayudándonos con claves de identificación que nos permitan determinarlos.

Los organismos pueden ser indistintamente pequeños en las estructuras de carácter taxonómico que deseamos observar, a pesar de ser retenidos en una malla o tamiz estándar (0,5 mm). En estos casos es importante el uso de un microscopio compuesto que permita examinar y resolver las estructuras más finas. En las formas más grandes, será suficiente un microscopio estereoscópico de campo amplio (APHA 1999).

Las determinaciones, adecuadamente realizadas de una muestra, pueden llevar mucho tiempo, incluso para un biólogo experimentado. Por ello, antes de usar cualquier clave, se debe estudiar cuidadosamente la muestra y buscar otros ejemplos de comparación.

Es importante saber dónde o bajo qué condiciones vivió el organismo antes de proceder con su determinación. Es algo así como su historia de vida, donde se pueda precisar su procedencia, profundidad en el que fue encontrado, características del sustrato que lo contiene, fauna acompañante asociada, descripción de color, forma o movimiento del organismo recién recolectado, entre otros.

Posteriormente, ya con el uso de claves de clasificación sistemática, la cual debe ser precisa, completa y que garantice el valor de todos los pasos subsiguientes en el proceso de análisis de muestra, se puede asignar dentro de un ordenamiento taxonómico a los organismos en estudio. También, puede suceder, que cuando alguna muestra no encaja en algún nivel taxonómico al aplicar algunas de las referencias proporcionadas en este documento (claves, listas, o estudios) de Annelida: FAUCHALD (1977), HARTMANN-SCHRÖDER (1960, 1962), TARAZONA (1974a, 1974b, 2003), Crustacea: CHIRICHIGNO (1970), MOSCOSO (2012), Mollusca: ÁLAMO y VALDIVIESO (1997), PAREDES *et al.* (2012, 2016), Echinodermata: PRIETO (2010), HOOKER *et al.* (2013) u otros Phyla, sea necesario consultar a un biólogo más especializado, si fuera el caso. Las formas y los tamaños pueden ser también de valiosa ayuda, sin embargo, debemos considerar que pueden encontrarse excepciones a la regla.

Finalmente, una valiosa consulta en este análisis taxonómico resulta ser el World Register of Marine Species (WoRMS) <http://www.marinespecies.org/>. Este repositorio público proporciona una lista completa y autorizada de nombres de organismos marinos validados, así como información de sinonimia. Su contenido es controlado por expertos taxónomos y temáticos, con responsabilidad en el contenido y calidad de información para cada grupo taxonómico presentado.

### 3.3 Preparación de la Matriz de datos biológicos

Toda la información de recolección y posterior identificación de las muestras es volcada en una matriz de datos biológicos previamente establecida. Como mínimo, la matriz debe contener la información contenida en la Tabla 3.

### 3.4 Procesamiento de la Matriz de datos biológicos

#### Estimación de Diversidad y Abundancia (solo para M-AMBI)

Con los datos de densidad total por especie en cada muestra, se pueden obtener cálculos derivados, uno de ellos es el índice de diversidad, el cual asume que los individuos son muestreados aleatoriamente de una comunidad infinitamente grande y que todas las especies

están representadas en las muestras. El índice de diversidad de Shannon-Wiener ( $H'$ ) es el más utilizado en estudios de comunidades y se estima empleando log en base 2.

#### Preparación de la matriz para estimar el M-AMBI

El trabajo consiste en determinar los especímenes y cuantificarlos (conteo del número de individuos) en cada una de las réplicas independientemente tomadas para cada punto de muestreo. De todos los grupos taxonómicos se excluyen los Nematoda y el bacteriobentos. La composición final de organismos constituye la matriz de datos biológicos, base para exportación de datos al programa AMBI.

### 3.5 Exportación a programa AMBI de uso libre

#### Instalación del programa AMBI

En la URL <http://ambi.azti.es/es/descarga-de-ambi/> se encuentra disponible el programa AMBI (BORJA *et al.* 2000) desarrollado por investigadores del AZTI, para su descarga en diferentes versiones (según el sistema operativo utilizado). En esta misma página también se debe descargar la librería con la última versión del listado actualizado de especies (Figura 3).

Tabla 3.- Metadata asociada a la serie de datos trabajada para la calibración y cálculo del índice Biótico Marino AZTI (AMBI) y AMBI Multivariado (M-AMBI), en la costa centro sur del Perú

Campo	Descripción
Año	Año de recolección
Mes	Mes de recolección
Fecha	Fecha (año-mes)
UTM X	Posición geográfica en UTM - Norte
UTM Y	Posición geográfica en UTM - Este
Lugar	Procedencia de la muestra analizada
Estación	Punto de muestreo (E=Estación; seguido del número asignado al punto de muestreo)
Prof. (m)	Profundidad de recolección de muestra
Equipo muestreador	Tipo de Equipo ( <i>i. e.</i> , draga tipo van Veen)
Área de colecta del Equipo	Capacidad de mordida de la draga (0,05 – 0,075 m <sup>2</sup> )
Tamiz (µm)	Malla de 500 µ (micras) utilizada en la retención de macrobentos
Réplica	A qué réplica corresponde la muestra
Taxón	Identificación taxonómica al nivel más bajo que se reporte
Den. Taxón	Número de individuos por el área de la draga utilizada
Peso Taxón	Peso de los individuos por el área de la draga utilizada
Tipología del Sedimento	Tipo de sustrato donde se recolectó la muestra, siguiendo el trabajo de Folk (1966).



# Descarga de AMBI

Descárgate el software AMBI y/o sus librerías

**Software AMBI disponible para WXP, W7 y W8**



## AMBI para sistemas Windows 64 Bits

Después de descargar el AMBI\_v5.0\_W8-X64.zip, utilice WinZip para extraer los archivos. A continuación lea el documento InstalGuide5-0.doc. Si utiliza este software, por favor referéncielo: \*AMBI: AZTI MARINE BIOTIC INDEX (AZTI, www.azti.es).

**Download AMBI for Windows 8 64bits**  
ambi\_v5.0\_W8X64.zip  
Version: 5.0  
0.0 B  
1128 Downloads  
[DETAILS](#)

*Note: Lea las instrucciones del software en RIM19\_3.pdf.*

**Download RIM19 3**  
Rim19\_3.pdf  
0.0 B  
1222 Downloads  
[DETAILS](#)

## AMBI para sistemas Windows 32 Bits

Después de descargar el AMBI\_v5.0\_2012.zip, utilice WinZip para extraer los archivos. A continuación lea el documento InstalGuide5-0.doc. Si utiliza este software, por favor referéncielo: \*AMBI: AZTI MARINE BIOTIC INDEX (AZTI, www.azti.es).

**Download AMBI for Windows 7**  
ambi\_v5.0\_2012.zip  
Version: 5.0  
121.9 MB  
2282 Downloads  
[DETAILS](#)

## AMBI para sistemas Windows XP

Después de descargar el AMBI\_wxp.zip, utilice WinZip para extraer los archivos. A continuación lea el documento InstalGuide4-1.doc. Si utiliza este software, por favor referéncielo: \*AMBI: AZTI MARINE BIOTIC INDEX (AZTI, www.azti.es).

**Download AMBI for Windows XP**  
ambi\_wxp.zip  
0.0 B  
708 Downloads  
[DETAILS](#)

*Note: Lea las instrucciones del software en Readme4-1.pdf.*

### Lista de registros AMBI\*

**Librerías AMBI para Windows**

La última lista de taxa actualizado por científicos de AZTI - Junio 2017 , incluyendo 8.400 taxa (W8).

**Download Library for Windows**  
library\_2017.zip  
101.2 MB  
172 Downloads  
[DETAILS](#)

Figura 3.- Vista de la página web de descarga del programa AMBI

AZTI-Tecnalia actualiza periódicamente el listado de especies por lo que es recomendable revisar las actualizaciones de la lista para instalarla. En la figura 4, se puede observar la versión del listado que está instalado y que utilizará el programa cuando se lo ejecute. Para actualizar el listado de especies, hay que descargar el archivo de la última versión disponible. Una vez descargado, hay que sustituir (reemplazar) el archivo del listado antiguo por el archivo del listado nuevo en la ubicación donde se encuentre.

### 3.6 Análisis índice AMBI

Una vez instalado y abierto el programa ya podemos importar los datos a analizar (Figura 5).

Tras pulsar el botón *Browse* tenemos que elegir la hoja del archivo donde se encuentren los datos.

Para comprobar si el formato para importar es correcto debemos pulsar en *Format* (Figura 6) de esta manera podemos comprobar si el número de muestras y/o réplicas es correcta.

Una vez importados los datos y comprobado el formato, pulsamos el botón *Run* (Figura 7).

Una vez iniciado el análisis, irán apareciendo las especies que no están incluidas en el listado de AZTI, ya sea porque está mal escrita, porque es un sinónimo, o porque aún no está incluida en el listado. Frente a esto podemos actuar de 3 formas diferentes (Figura 8).

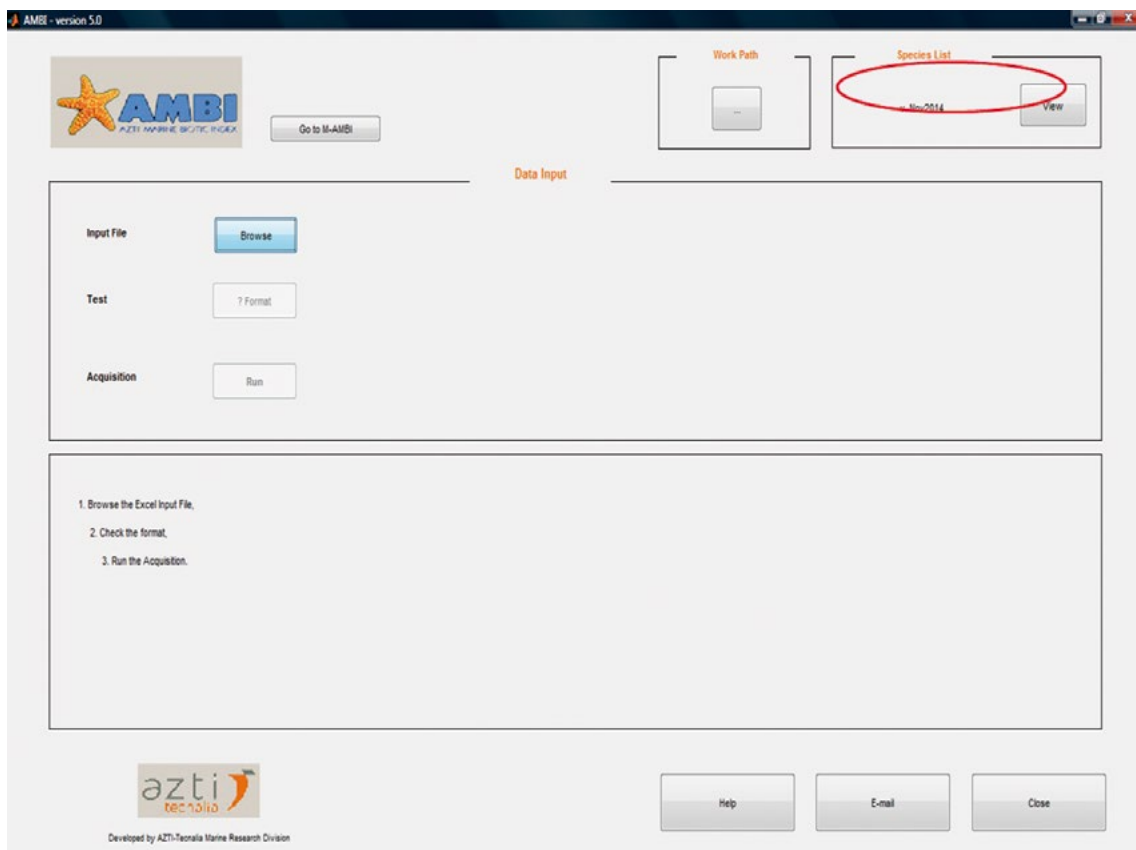


Figura 4.- La versión del listado de especies instalada se puede visualizar en la parte superior derecha del programa AMBI (círculo rojo)

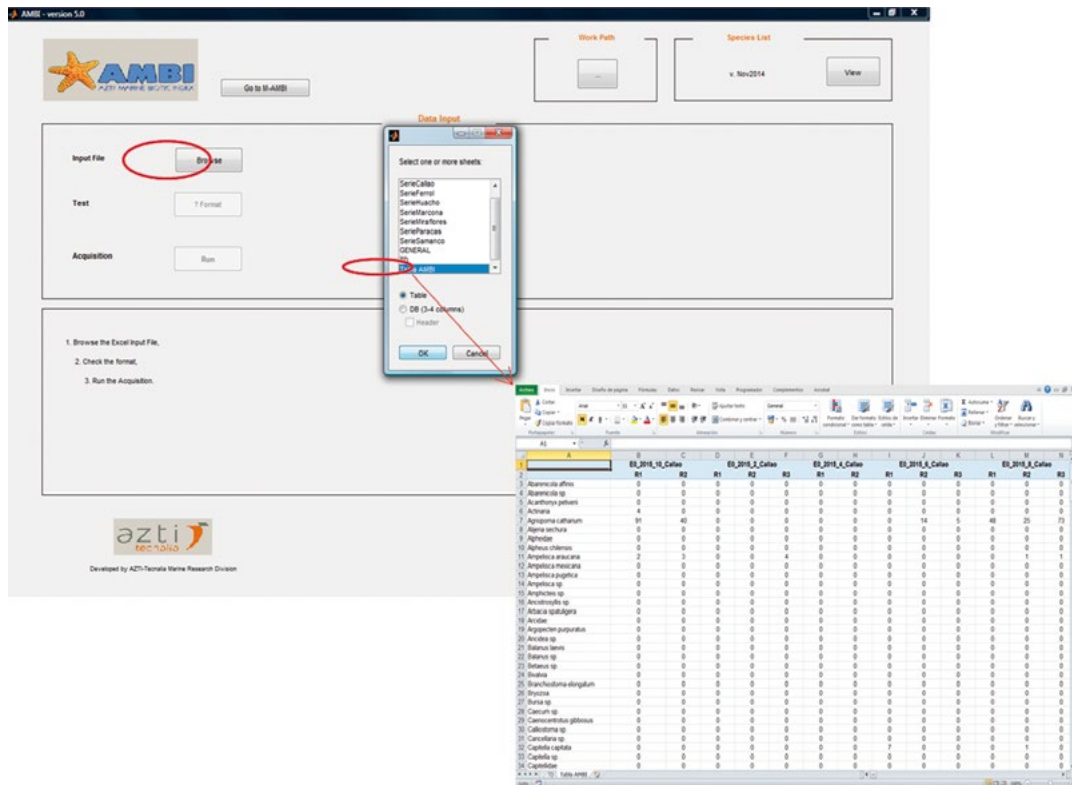


Figura 5.- Vista del programa para realizar la importación de datos, en formato EXCEL, al programa AMBI

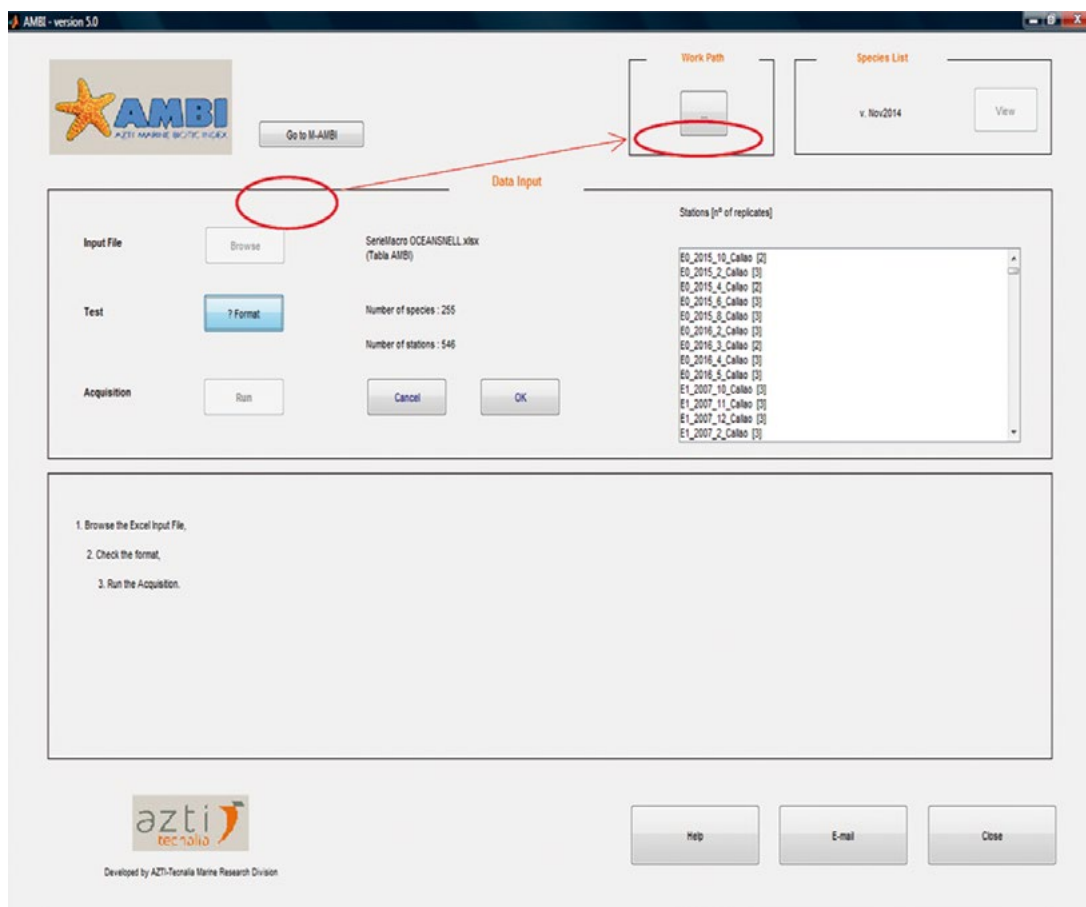


Figura 6.- Vista del paso de comprobación del formato de datos importado al programa AMBI

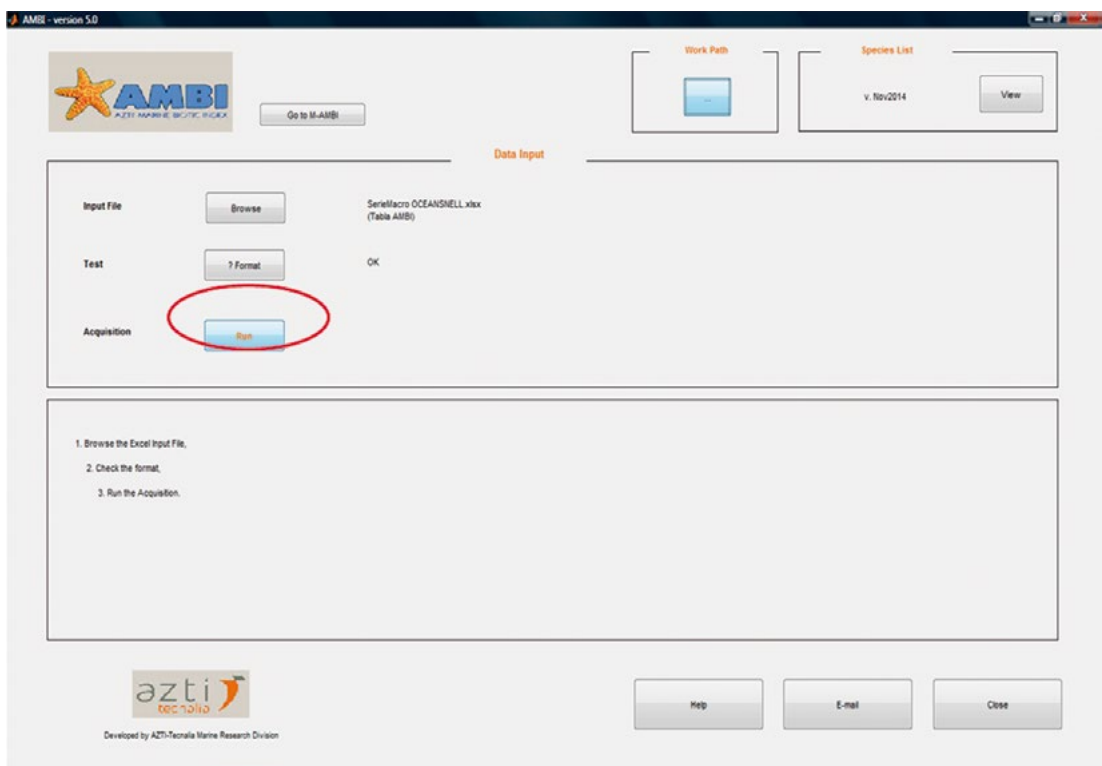


Figura 7.- Inicio análisis de las muestras con el programa AMBI

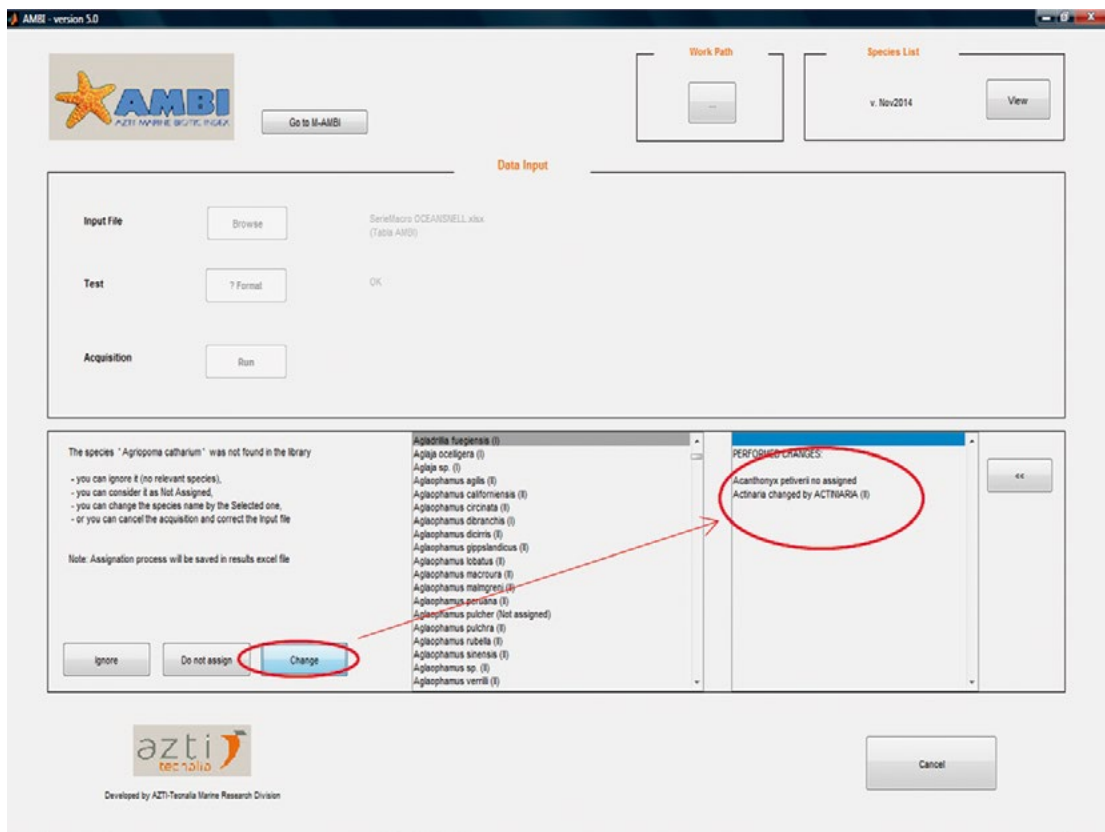


Figura 8.- Vista de la lista de cómo el programa procesa las especies no incluidas en el listado de AZTI (círculo rojo)

Pulsar en *Ignore*: Esto hará que la especie no se tenga en cuenta para el análisis.

Pulsar en *Do not assign*: Esto hará que la especie se tenga en cuenta, pero no se le asignará ningún grupo ecológico (*i. e.*, se incorpora al grupo de especies no asignadas).

Pulsar en *Change*: Eso hará que la especie se cambie por otro taxa. Si la especie está mal escrita o es un sinónimo se cambia por la correcta. Si no aparece en el listado se puede cambiar por taxones superiores presentes como género, familia, orden, etc.

Una vez realizados todos los cambios pulsamos en el botón *Validate* y seguidamente aparecerán los resultados.

Existe la posibilidad de que aparezca una señal de alerta que indicará lo siguiente:

% No Asignados > 20%.

Nº de especies en la muestra < 3.

Nº individuos en la muestra < 6.

Cuando esto ocurre hay que evaluar los resultados con precaución ya que son tres de las condiciones especificadas para la aplicabilidad del índice. Cuando se da una o varias de estas condiciones se considera que las muestras no son lo suficientemente robustas como para que los resultados sean concluyentes (Figura 9).

Los resultados obtenidos pueden exportarse tanto en formato de gráfica o como en formato Excel. De la ventana general de resultados, se puede elegir una estación (resaltado en azul en la gráfica abajo) y ver los resultados específicos para esa estación (Figuras 10 al 13).

### 3.7 Análisis y ejecución del índice M-AMBI

Para poder aplicar el M-AMBI en una región donde no se ha usado antes, hay que calibrarlo. Como se ha explicado en el Capítulo I, la calibración implica establecer valores de referencia para los parámetros de AMBI, diversidad y riqueza específica, que reflejen el espectro de condiciones de los sitios de calibración. Estos valores se han determinado con

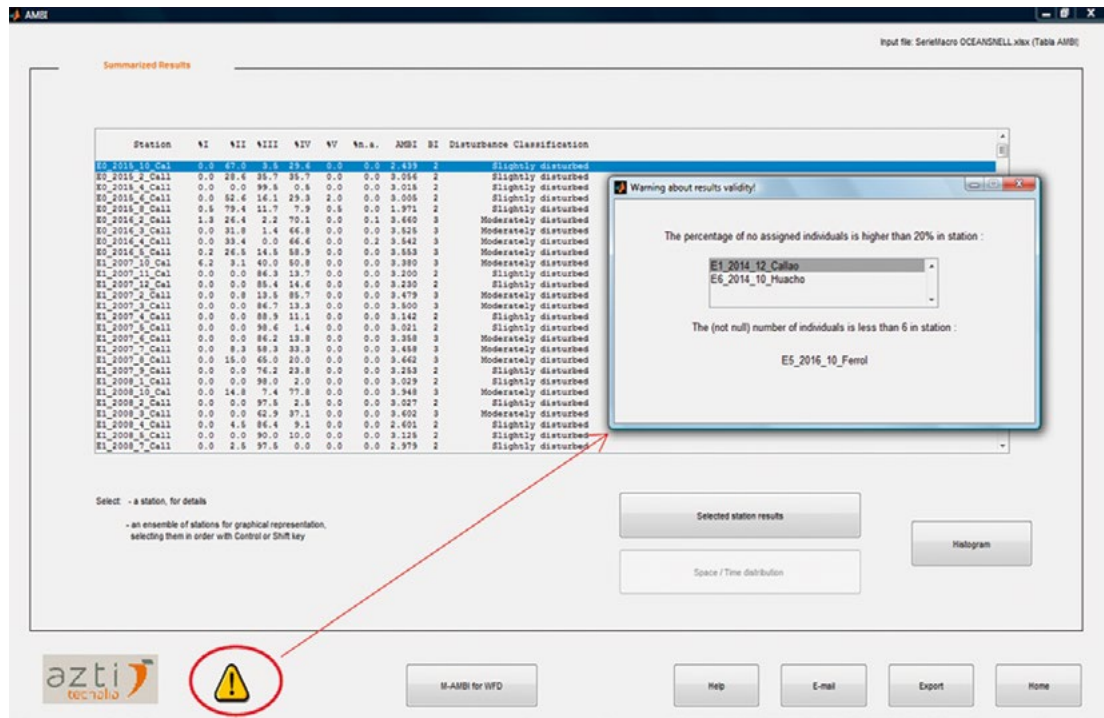


Figura 9.- Vista del símbolo de alerta que informa sobre las condiciones de la aplicabilidad del índice AMBI



los valores máximos y mínimos de cada uno de los parámetros según el estrato de profundidad (rango batimétrico) al que pertenecen la/las muestra/s. Los valores de referencia para el M-AMBI en Perú, se presentan en el Capítulo I.

Una vez obtenidos los resultados del índice AMBI podemos calcular los resultados del índice M-AMBI de 2 maneras (Figuras 14, 15):

- Inmediatamente después de haber calculado el AMBI, pulsando en el botón *M-AMBI to WFD*.
- Pulsando el botón *Go to M-AMBI* y cargando el Excel de resultados exportados de análisis anteriores.

Una vez importados los datos hay que introducir los valores de referencia establecidos (Figura 16) y pulsar el botón *Run*.

En la ventana de resultados existe la posibilidad de cambiar los límites de clasificación, aunque los más aceptados son los que aparecen por defecto (Figuras 17, 18). Similar al análisis para estimar el AMBI, los resultados pueden exportarse en formato gráfico y a una hoja de cálculo EXCEL.

Límites de referencia del M-AMBI para la clasificación de las muestras.

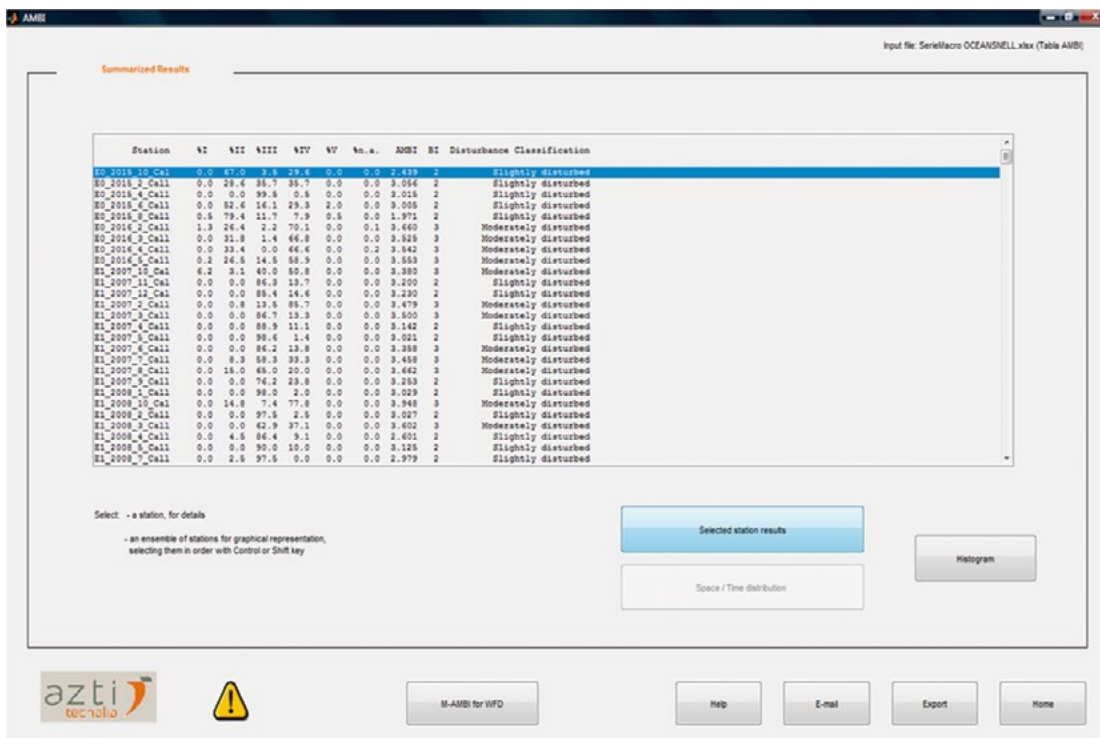


Figura 10.- Vista de los resultados de la corrida, presentando los estimados del índice AMBI por cada estación evaluada





Figura 11.- Vista del resultado obtenido de una de las muestras analizadas. Por cada estación, se puede explorar distinta información que facilita el programa, incluyendo estimados por cada réplica colectada

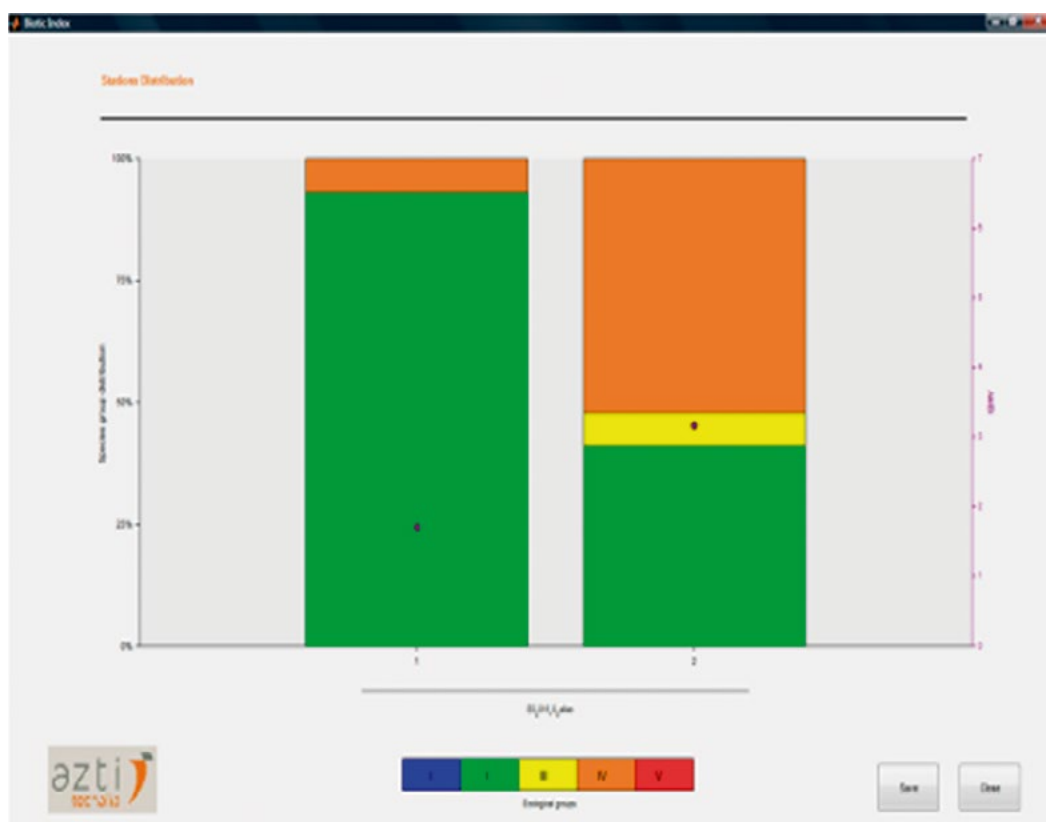


Figura 12.- La presentación del resultado como un histograma, por cada réplica también puede ser exportado del programa AMBI

Stations	Replicates	I(%)	II(%)	III(%)	IV(%)	V(%)	Not assigne	Mean AMBI	Bi from Mea	Standard de	Disturbance	Classification
E0_2015_10_Callao	R1	0	66,667	0	33,333	0	79,1	2,5				
E0_2015_10_Callao	R2	0	9,333	10,667	80	0	34,8	4,06	3,28	2	1,103	Slightly disturbed
E0_2015_2_Callao	R1	0	0	100	0	0	0	3				
E0_2015_2_Callao	R2	0	0	100	0	0	0	3				
E0_2015_2_Callao	R3	0	44,444	0	55,556	0	0	3,167	3,056	2	0,096	Slightly disturbed
E0_2015_4_Callao	R1	0	0	99,671	0,329	0	0	3,005				
E0_2015_4_Callao	R2	0	0	98,387	1,613	0	0	3,024	3,015	2	0,014	Slightly disturbed
E0_2015_6_Callao	R1	0	37,037	0	37,037	25,926	0	3,778				
E0_2015_6_Callao	R2	0	53,543	11,811	34,646	0	9,9	2,717				
E0_2015_6_Callao	R3	0	49,143	23,429	27,429	0	2,8	2,674	3,056	2	0,625	Slightly disturbed
E0_2015_8_Callao	R1	0	51,613	25,806	22,581	0	60,8	2,565				
E0_2015_8_Callao	R2	4,167	16,667	58,333	16,667	4,167	51	3				
E0_2015_8_Callao	R3	0	30,769	23,077	46,154	0	84,9	3,231	2,932	2	0,338	Slightly disturbed
E0_2016_2_Callao	R1	0,358	18,638	0	81,004	0	3,8	3,925				
E0_2016_2_Callao	R2	2,041	8,163	0,612	89,184	0	17,4	4,154				
E0_2016_2_Callao	R3	1,895	5,263	6,316	86,526	0	26,9	4,162	4,08	3	0,135	Moderately disturbed
E0_2016_3_Callao	R1	0	7,368	0	92,632	0	33,1	4,279				
E0_2016_3_Callao	R2	0	0,943	3,774	95,283	0	24,8	4,415	4,347	4	0,096	Moderately disturbed
E0_2016_4_Callao	R1	0	15,02	0	84,98	0	30,5	4,049				
E0_2016_4_Callao	R2	0	2,041	0	97,959	0	35,5	4,439				
E0_2016_4_Callao	R3	0	3,681	0	96,319	0	15,1	4,39	4,293	3	0,212	Moderately disturbed
E0_2016_5_Callao	R1	0	7,692	6,667	85,641	0	27,1	4,169				
E0_2016_5_Callao	R2	0,37	10,556	30,926	58,148	0	23,8	3,703				
E0_2016_5_Callao	R3	0,244	6,357	11,736	81,663	0	3,3	4,122	3,998	3	0,257	Moderately disturbed
E1_2007_10_Callao	R1	0	0	63,636	36,364	0	26,7	3,545				
E1_2007_10_Callao	R2	0	0	56,25	43,75	0	0	3,656				
E1_2007_10_Callao	R3	0	5,882	29,412	64,706	0	0	3,882	3,695	3	0,172	Moderately disturbed
E1_2007_11_Callao	R1	0	0	91,176	8,824	0	0	3,132				
E1_2007_11_Callao	R2	0	0	86,525	13,475	0	0	3,202				
E1_2007_11_Callao	R3	0	0	82,353	17,647	0	0	3,265	3,2	2	0,066	Slightly disturbed
E1_2007_12_Callao	R1	0	0	83,594	16,406	0	0	3,246				

Stations	Stations	Año	Mes	Localizac	I(%)	II(%)	III(%)	IV(%)	V(%)	Mean AM	Bi from M	Disturbance Cl	Richness	Diversity	Not assign	J(%)
E0_2015_10_Callao	E0	2015	10	Callao	0	23,2	8,1	68,7	0	3,28	2	Slightly disturbed	12	1,93	57	
E0_2015_2_Callao	E0	2015	2	Callao	0	28,6	35,7	35,7	0	3,056	2	Slightly disturbed	3	1,58	0	
E0_2015_4_Callao	E0	2015	4	Callao	0	0	99,5	0,5	0	3,015	2	Slightly disturbed	3	0,05	0	
E0_2015_6_Callao	E0	2015	6	Callao	0	49,8	17	31	2,1	3,056	2	Slightly disturbed	12	2,39	5,5	
E0_2015_8_Callao	E0	2015	8	Callao	1,5	35,3	36,8	25	1,5	2,932	2	Slightly disturbed	13	1,87	68,2	
E0_2016_2_Callao	E0	2016	2	Callao	1,6	9,4	2,7	86,3	0	4,08	3	Moderately distur	19	1,92	18,9	
E0_2016_3_Callao	E0	2016	3	Callao	0	4	2	94	0	4,347	4	Moderately distur	10	1,63	29	
E0_2016_4_Callao	E0	2016	4	Callao	0	9,7	0	90,3	0	4,293	3	Moderately distur	13	2,04	26,4	
E0_2016_5_Callao	E0	2016	5	Callao	0,2	8,4	18	73,3	0	3,998	3	Moderately distur	17	2,47	19,7	
E1_2007_10_Callao	E1	2007	10	Callao	0	3,3	42,6	54,1	0	3,695	3	Moderately distur	5	1,53	6,2	
E1_2007_11_Callao	E1	2007	11	Callao	0	0	86,3	13,7	0	3,2	2	Slightly disturbed	2	0,58	0	
E1_2007_12_Callao	E1	2007	12	Callao	0	0	85,4	14,6	0	3,23	2	Slightly disturbed	3	0,62	0	
E1_2007_2_Callao	E1	2007	2	Callao	0	0,8	13,5	85,7	0	3,479	3	Moderately distur	3	0,63	0	
E1_2007_3_Callao	E1	2007	3	Callao	0	0	86,7	13,3	0	3,5	3	Moderately distur	2	0,57	0	
E1_2007_4_Callao	E1	2007	4	Callao	0	0	88,9	11,1	0	3,142	2	Slightly disturbed	2	0,5	0	
E1_2007_5_Callao	E1	2007	5	Callao	0	0	98,6	1,4	0	3,021	2	Slightly disturbed	3	0,11	0	
E1_2007_6_Callao	E1	2007	6	Callao	0	0	86,2	13,8	0	3,358	3	Moderately distur	2	0,58	0	
E1_2007_7_Callao	E1	2007	7	Callao	0	8,3	58,3	33,3	0	3,458	3	Moderately distur	3	1,28	0	
E1_2007_8_Callao	E1	2007	8	Callao	0	15	65	20	0	3,662	3	Moderately distur	3	1,28	0	
E1_2007_9_Callao	E1	2007	9	Callao	0	0	76,2	23,8	0	3,253	2	Slightly disturbed	3	0,96	0	
E1_2008_1_Callao	E1	2008	1	Callao	0	0	98	2	0	3,029	2	Slightly disturbed	2	0,14	0	
E1_2008_10_Callao	E1	2008	10	Callao	0	14,8	7,4	77,8	0	3,948	3	Moderately distur	4	1,09	0	
E1_2008_2_Callao	E1	2008	2	Callao	0	0	97,5	2,5	0	3,027	2	Slightly disturbed	2	0,17	0	
E1_2008_3_Callao	E1	2008	3	Callao	0	0	62,9	37,1	0	3,602	3	Moderately distur	3	1,1	0	
E1_2008_4_Callao	E1	2008	4	Callao	0	4,5	86,4	9,1	0	2,601	2	Slightly disturbed	3	0,7	0	
E1_2008_5_Callao	E1	2008	5	Callao	0	0	90	10	0	3,125	2	Slightly disturbed	2	0,47	0	
E1_2008_7_Callao	E1	2008	7	Callao	0	2,5	97,5	0	0	2,979	2	Slightly disturbed	2	0,17	0	
E1_2008_8_Callao	E1	2008	8	Callao	25	25	35	10	5	2,076	2	Slightly disturbed	8	2,67	0	
E1_2008_9_Callao	E1	2008	9	Callao	0	5,7	80,1	14,2	0	3,223	2	Slightly disturbed	4	0,96	0	
E1_2009_3_Callao	E1	2009	3	Callao	0	42,9	57,1	0	0	2,55	2	Slightly disturbed	3	1,38	0	
E1_2009_4_Callao	E1	2009	4	Callao	0	0,4	99,1	0,4	0	3	2	Slightly disturbed	3	0,08	0	
E1_2009_7_Callao	E1	2009	7	Callao	0	8,3	91,7	0	0	2,846	2	Slightly disturbed	4	0,74	0	
E1_2009_8_Callao	E1	2009	8	Callao	0	12,7	58,7	28,6	0	3,33	3	Moderately distur	6	1,57	0	
E1_2010_1_Callao	E1	2010	1	Callao	0	7,3	3,3	89,5	0	4,224	3	Moderately distur	12	0,9	0	
E1_2010_4_Callao	E1	2010	4	Callao	1,6	6,2	5,5	86,7	0	4,162	3	Moderately distur	8	1,16	0	

Figura 13.- Los resultados pueden exportarse por réplica (arriba) y por estación (abajo) a una de hoja de cálculo Excel

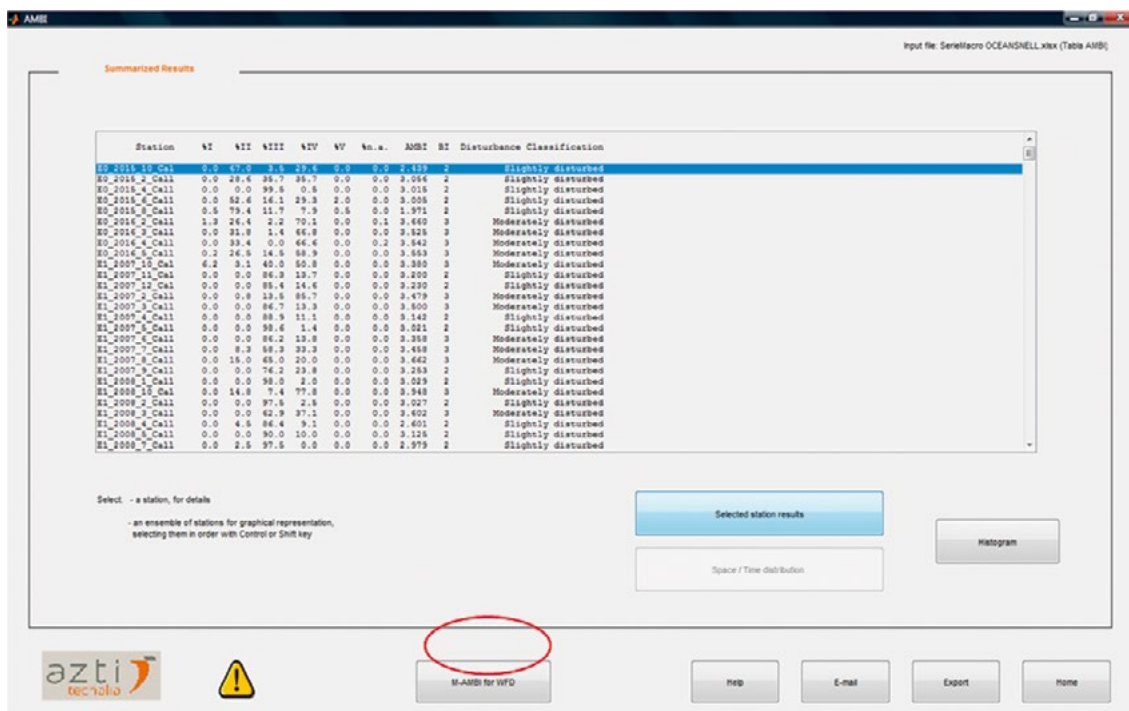


Figura 14.- Vista de cómo iniciar el análisis para estimar el M-AMBI

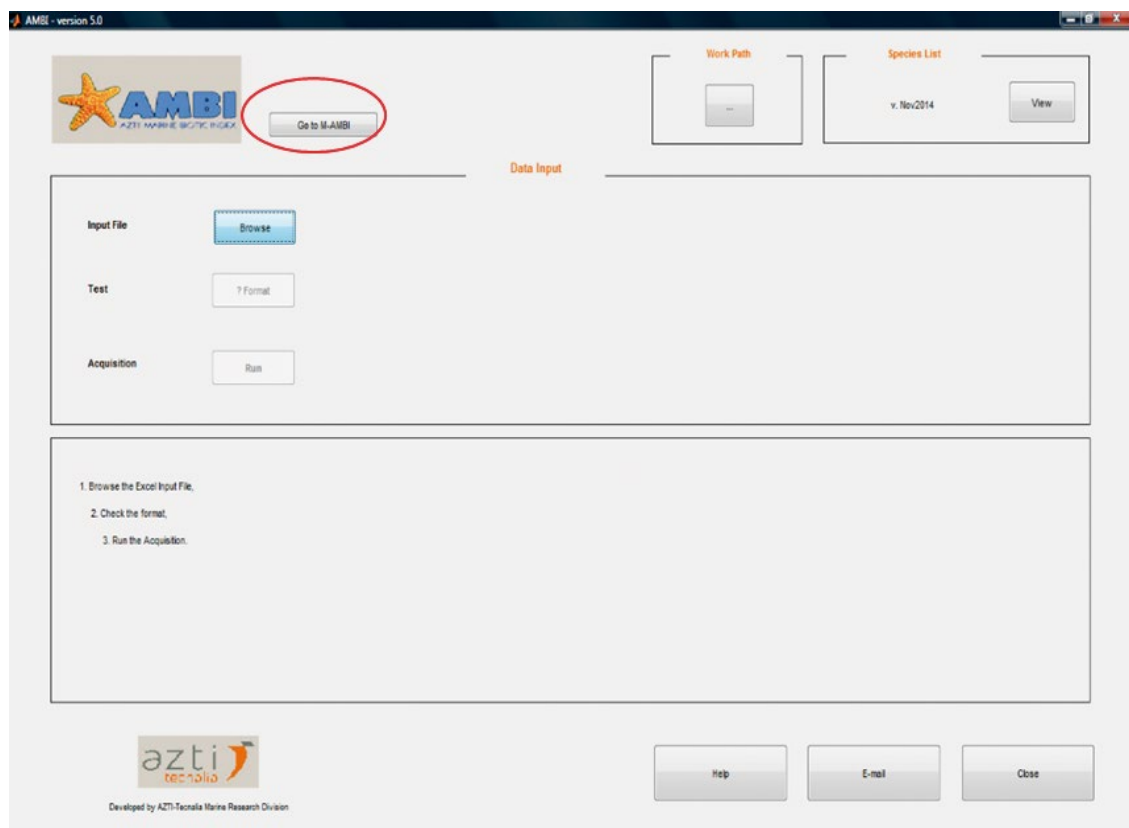


Figura 15.- Vista de la segunda opción para dar inicio al análisis de estimación del M-AMBI



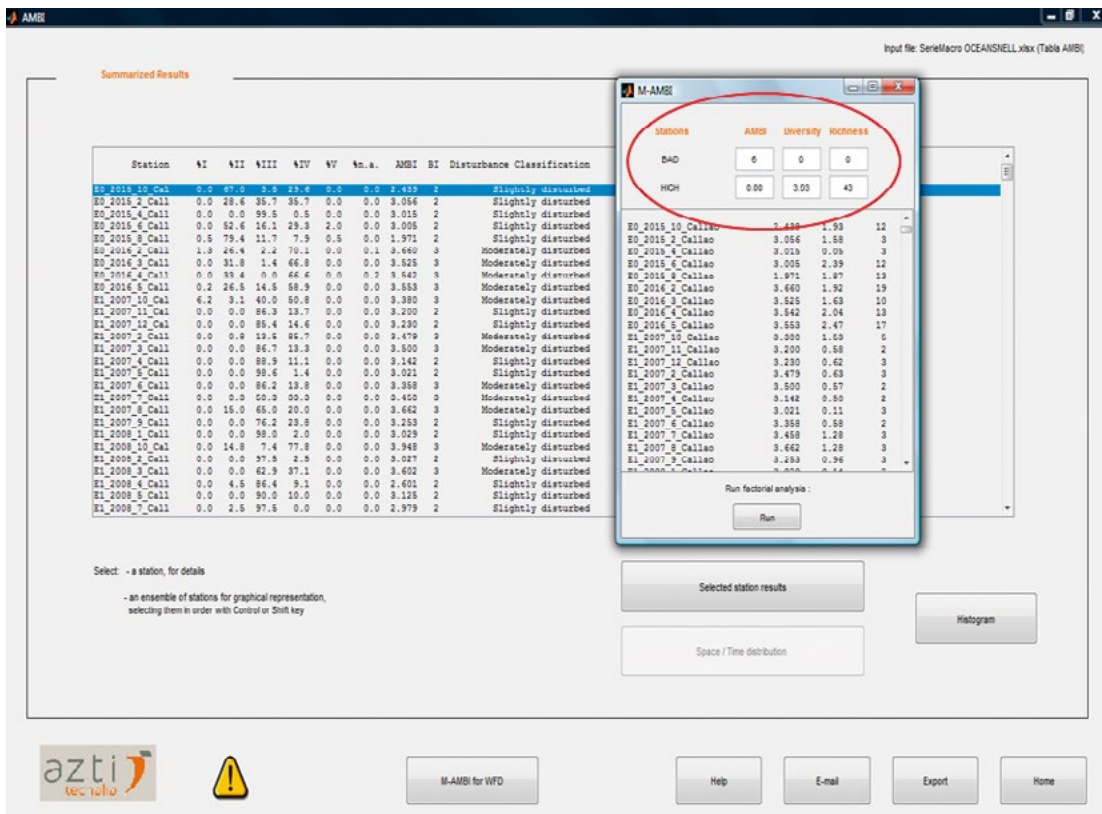


Figura 16.- Cómo introducir los valores de referencia para aplicar el M-AMBI

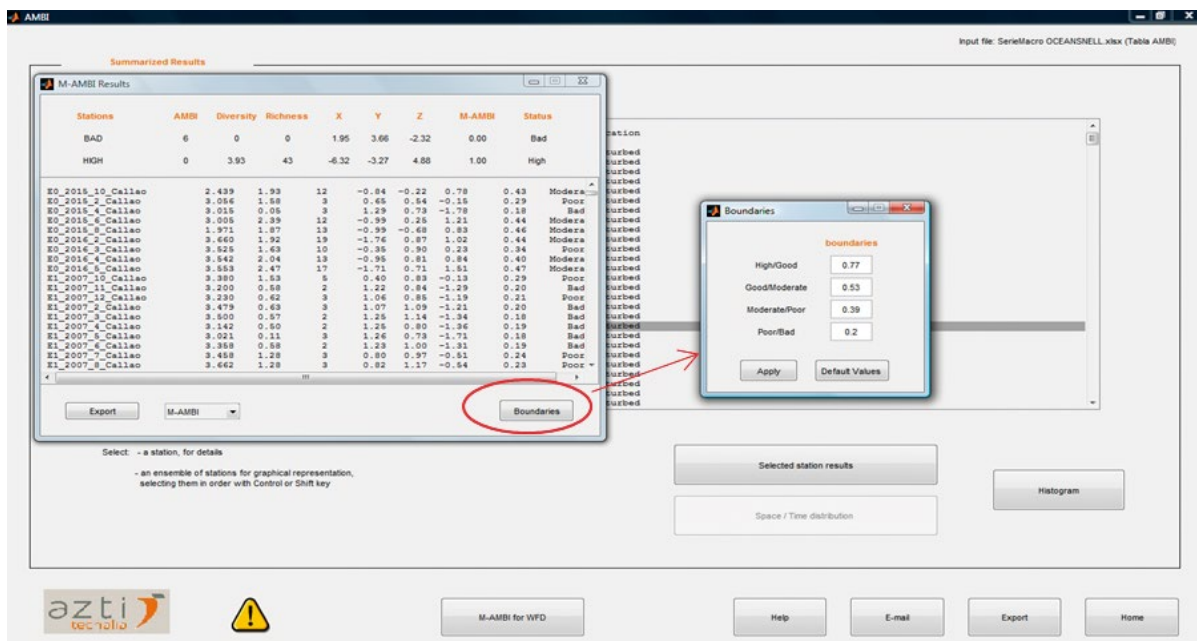


Figura 17.- Vista de los resultados y opciones de exportación de éstos en distintos formatos

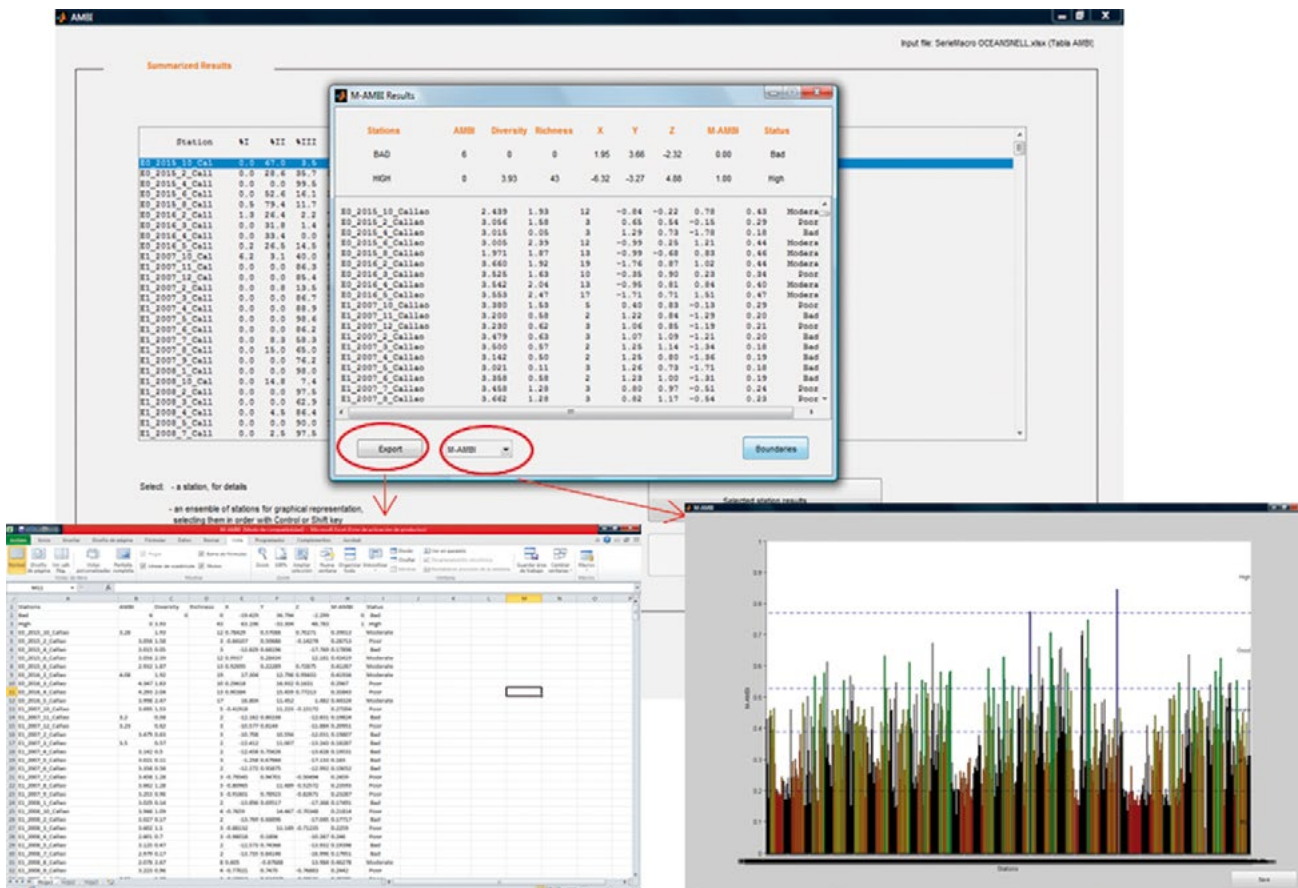


Figura 18.- Vista de resultados y opciones de exportación de éstos en distintos formatos

### RESUMEN

- La toma de muestras, procesamiento e identificación de especímenes al menor nivel taxonómico es importante para la estimación del AMBI y M-AMBI.
- Una buena identificación taxonómica y conocimiento de la especie permite refinar la lista de especies que AZTI-Tecnalia mantiene.
- Para estimar diversidad y abundancia en varios muestreos es importante que la metodología usada haya sido la misma.
- Durante la estimación del AMBI, la señal de alerta del proceso de validación debe ser considerado pues indica la robustez de los resultados obtenidos.
- Durante la estimación del M-AMBI, hay que ingresar los valores de referencia para Perú, exclusivos para la costa central y sur.
- Los resultados del AMBI y M-AMBI obtenidos por el programa pueden ser exportados en varios formatos que facilitan análisis posteriores.

## CAPÍTULO IV

### INTERPRETANDO Y PRESENTANDO LOS RESULTADOS

#### 4.1 Interpretando los resultados

Los resultados obtenidos tras la aplicación del AMBI y M-AMBI, hay que verlos de forma integral y tener en cuenta otros análisis físico y químicos que se hayan podido realizar en los puntos de muestreo para tener una visión global y poder interpretar mejor lo que está pasando en el bentos.

Hay que tener en cuenta que el AMBI tiene unas condiciones de aplicabilidad bastante claras. En el caso que se den una serie de condicionantes los resultados obtenidos habrá que tomarlos con precaución. Hay que destacar que las condiciones de aplicabilidad del AMBI son las siguientes:

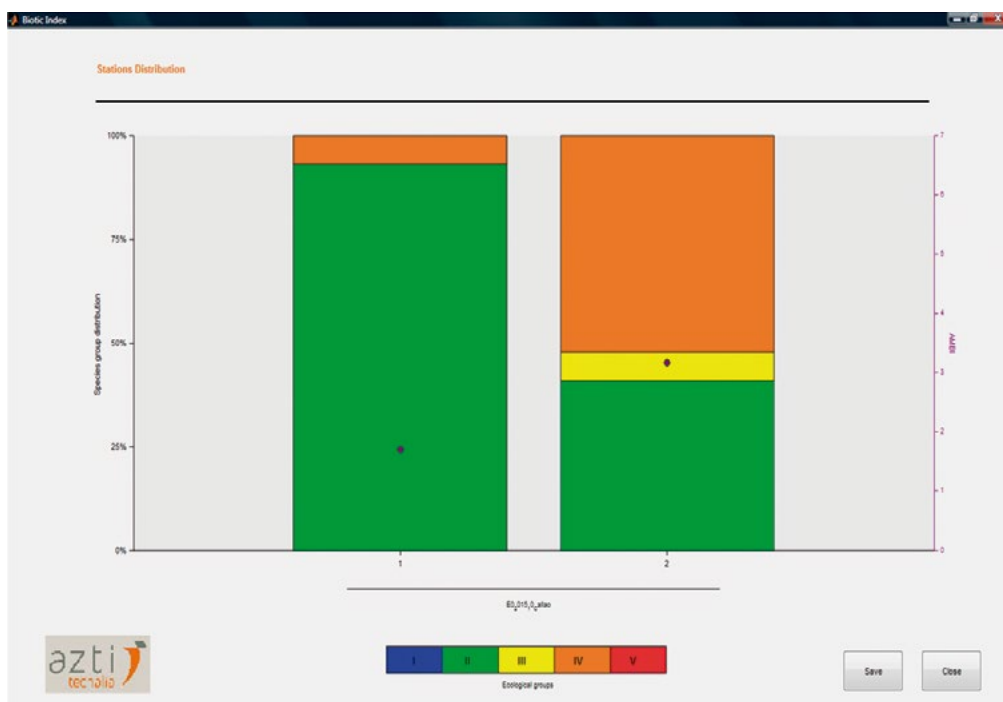
- Índice aplicable solo para sustratos blandos.
- En el caso de que el porcentaje de especies No Asignadas sea >20%, los resultados se evaluarán con precaución. Si es >50% los resultados obtenidos no son válidos.
- El número de especies en las muestras debe ser >3, en caso contrario los resultados se evaluarán con precaución.

- El número de individuos en la muestra debe ser >6, en caso contrario los resultados se evaluarán con precaución.

#### 4.2 Sugerencias para presentar los resultados

Dependiendo de los objetivos del estudio, distribución espacial de los puntos de muestreo, así como la frecuencia y escala temporal de los muestreos, los resultados obtenidos pueden ser representados de distintas formas. A continuación, se presentan algunas alternativas gráficas sugeridas para comunicar los resultados del AMBI y M-AMBI (**comentar que las gráficas presentan valores hipotéticos no reales, y solo sirven para mostrar una posible representación gráfica**):

- **Representación del AMBI/M-AMBI por punto de muestreo:** representación del valor del AMBI/M-AMBI (designado con un punto, el valor se lee en el eje horizontal secundario), así como el porcentaje (% , eje Y) de los grupos ecológicos integrantes de las diferentes réplicas (en la figura se muestran dos réplicas – eje X- y los grupos ecológicos con colores) tomadas en un mismo punto de muestreo. Este tipo de gráficas se pueden obtener directamente del software AMBI o se pueden exportar los datos para utilizarlos en otro software de generación de gráficas (Excel, Minitab, etc.).



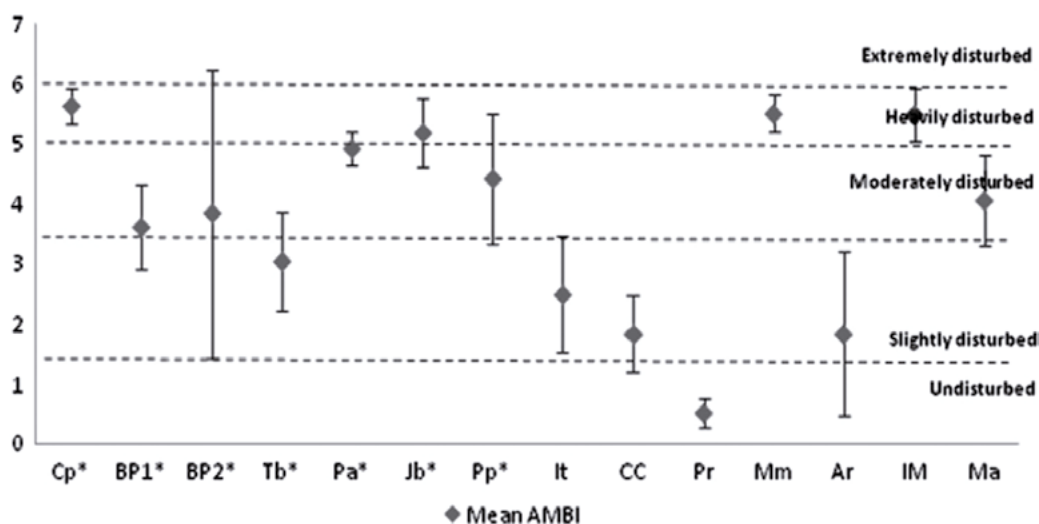
Representación del AMBI/M - AMBI



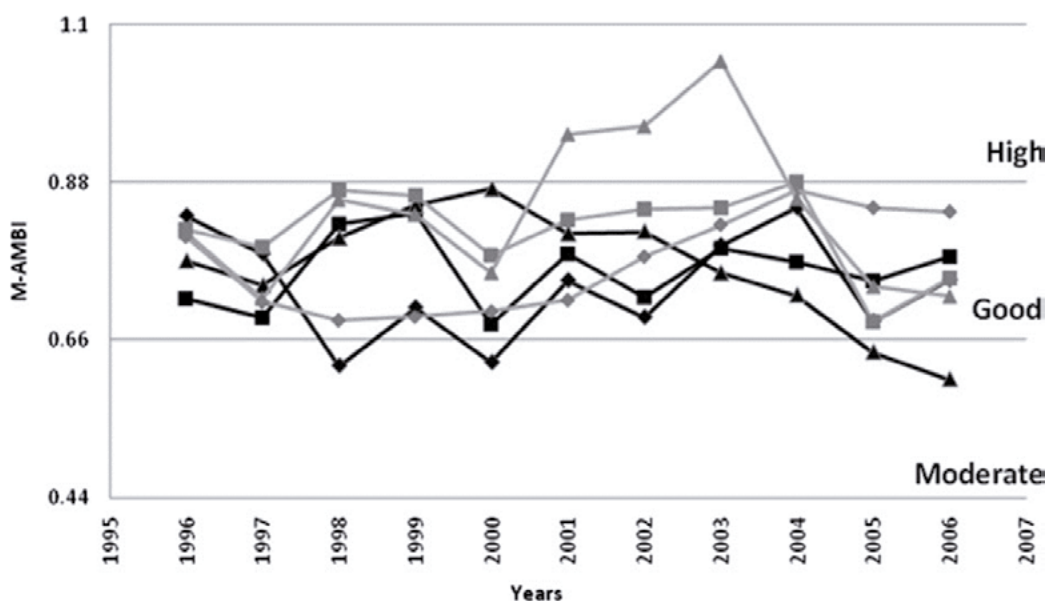
- **Representación del AMBI y/o M-AMBI y estado ecológico por sitio punto de muestreo:** representación de la variabilidad del AMBI/M-AMBI (valor del 1 al 7, en eje Y) y estado ecológico global (*i. e., Undisturbed >> Extremely disturbed*) de las diferentes zonas estudiadas (eje X, gráficas tipo Boxplot) en una época del año determinada (*e. g., VALENÇA y SANTOS 2012*).
- **Representación temporal del AMBI/M-AMBI:** representación de la tendencia del AMBI/M-AMBI (valores en eje Y) de las

diferentes zonas estudiadas (cada línea representa una zona) a lo largo del tiempo (en años, eje X), indicando clasificación obtenida que varía entre Moderada y Alta calidad (*e. g., PAGANELLI et al. 2011*).

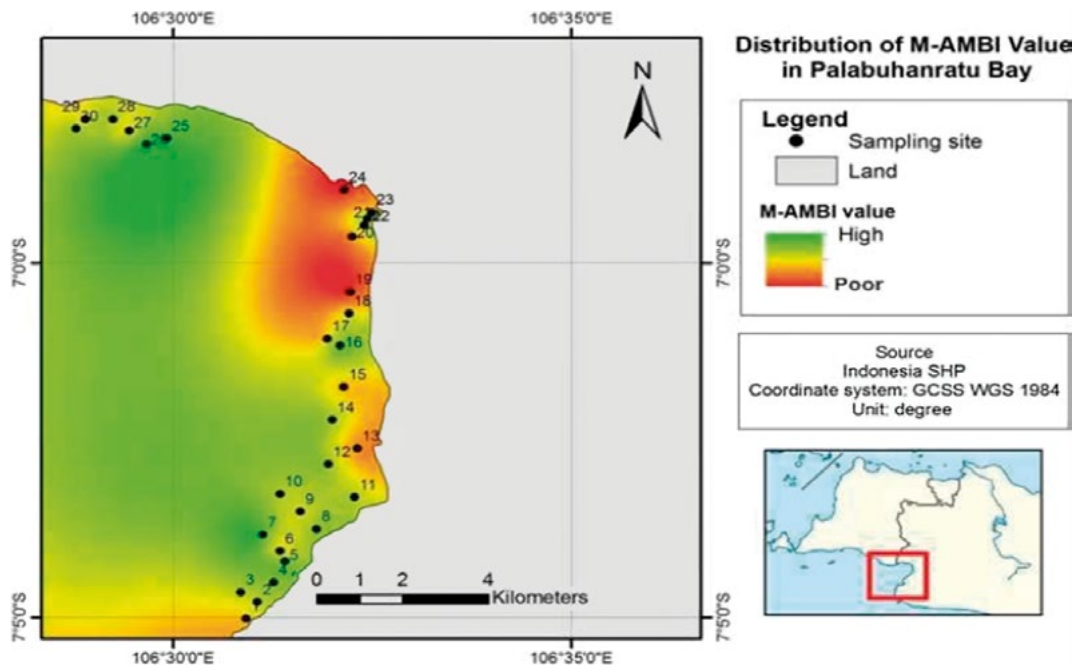
- **Representación espacial y/o espacio-temporal del AMBI/M-AMBI:** visualización de los estimados con vista cenital en una zona de estudio, en una época determinada o en un periodo determinado. Generalmente se emplea el programa GIS para la georreferenciación de las estaciones de muestreo (*e. g., WARDIATNO et al. 2017*).



Representación del AMBI y/o M-AMBI



Representación temporal del AMBI/M-AMBI



Representación espacial y/o espacio-temporal del AMBI/M-AMBI

## CAPÍTULO V

### Consideraciones finales

La idea central de emplear el AMBI y especialmente el M-AMBI es poder complementar el análisis y diagnóstico ambiental aplicado a áreas marino costeras. Sin embargo, es posible que sea frecuente que tras la aplicación de estas herramientas el investigador busque coherencia de resultados y respuestas entre diferentes métricas. Por ejemplo, si estimamos en un momento dado la calidad ambiental de un área marina en función a la concentración de metales pesados en agua y sedimento es muy posible que dichos resultados no ofrezcan coincidencias con aquellos obtenidos en un AMBI o M-AMBI. En este tipo de casos, es necesario ponderar en la interpretación que la concentración de metales pesados no limita necesariamente (al menos de inmediato) el asentamiento y desarrollo de las comunidades bentónicas, por lo tanto, los cambios en su composición y estructura no obedecerán necesariamente a la influencia de un índice basado exclusivamente en metales pesados en el sedimento o en el agua suprayacente.

Otros casos similares pueden proceder de evaluaciones sobre la calidad ambiental de un área basada o enfocada con criterios acuícolas. Por ejemplo, si el criterio empleado para evaluar un área obedece a la calidad fisicoquímica del agua de mar, al flujo óptimo de corrientes (*i.e.*, un área con buena y permanente ventilación), a la ausencia o presencia ínfima de microbiota patógena (*e. g.*, *Escherichia coli*), etc., esto no significa que la fauna bentónica local exhiba el mismo diagnóstico, porque esta comunidad depende del tipo de sedimento, de la disponibilidad de alimento o está regulada por otros aspectos de adaptabilidad. No obstante, algunas clasificaciones que rigen actualmente (ANA 2016) podrían verse reforzadas significativamente con el empleo del M-AMBI, y constituirían una oportunidad para contrastar y ponderar diferentes criterios para evaluar la calidad ambiental de una misma área marina.

Como se ha sugerido repetidamente en esta Guía, para mejores resultados es mejor emplear el M-AMBI, para cuya rutina los investigadores siempre contarán con datos de abundancia y diversidad de especies. En tal sentido, es

sumamente importante homogeneizar el tamaño de la muestra empleada, no solo con fines comparativos, sino con el objetivo de corroborar o confirmar anteriores análisis realizados en un área.

Esta guía no debe usarse como estándar obligatorio porque existe una incertidumbre significativa asociada con la derivación y la aplicación de los indicadores de salud de los ecosistemas marinos costeros. Por ejemplo, los datos sobre la sensibilidad, los efectos biológicos, los grupos ecológicos no están disponibles para todas las especies locales; existe incertidumbre sobre el comportamiento de los contaminantes en el campo. El usuario debe ser consciente de esta incertidumbre al determinar si un valor ambiental ha sido respaldado o no. Sin embargo, las guías deben proporcionar un marco de valores de activación para reconocer cambios, gestionar y proteger la salud de los ecosistemas marinos costeros para toda la gama de valores ambientales existentes a escalas locales y / o regionales.

Este indicador no establece nexo causal entre fuentes de contaminantes y condición del medio acuático. Para establecer una causalidad deberá complementarse con estudios y acciones adicionales.

### Agradecimientos

Nuestro agradecimiento al Dr. Ángel Borja, líder del grupo de investigadores del AZTI, quien nos permitió aplicar libremente el programa AMBI; al grupo que formó parte del Convenio de Cooperación entre el Instituto del Mar del Perú (IMARPE) y la Empresa Perú LNG (PLNG) con la que, en el marco del presente convenio, se elaboró esta guía, incluyendo a MSc. Carolina Casaretto (PLNG) e Ing. Pablo Taborga (PLNG), quienes participaron de las actividades al inicio del Convenio. Finalmente, a los proyectos Estudio integrado de la dinámica de procesos Físicos y Biogeoquímicos en Ecosistemas de Borde Costero y El estudio integrado del afloramiento costero frente a Perú, ambos de la Dirección General de Investigaciones en Oceanografía y Cambio Climático, cuyos conformantes contribuyeron significativamente en la generación de datos que fueron procesados en el contexto de la calibración en la presente Guía.

## 2. REFERENCIAS

- ÁLAMO V, VALDIVIESO V. 1997. Lista Sistemática de Moluscos Marinos del Perú. Inst. Mar Perú, Boletín Volumen Extraordinario. 205 pp.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). 1999. Standard methods for examination of water and wastewater. 20th ed. Washington: Amer. Pub. Heal. Asoc. p. 2671
- AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA (ANA). 2016. Clasificación del cuerpo de Agua marino – costero. Resolución de Jefatura N° 030-2016-ANA.
- BARNARD J L, KARAMAN G S. 1991. The Families and Genera of Marine Gammaridean Amphipoda (Except Marine Gammaroids) Records of the Australian Museum. 13(1 y 2): 1-866. <http://doi.org/10.3853/j.0812-7387.13.1991.91>
- BORJA A, FRANCO J, PÉREZ V. 2000. A marine biotic index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within European estuarine and coastal environments. Mar Poll Bull. 40(12): 1100-14.
- BORJA A, FRANCO J, VALENCIA V, BALD J, MUXIKA I, BELZUNCE M J, SOLAUN O. 2004. Implementation of the European water framework directive from the Basque country (northern Spain): a methodological approach. Mar Poll Bull. 48(3-4): 209-18.
- BORJA A, MARÍN S L, MUXIKA I, PINO L, RODRÍGUEZ J G. 2015. Is there a possibility of ranking benthic quality assessment indices to select the most responsive to different human pressures? Mar Poll Bull. 97(1-2): 85-94.
- GRALL J, GLÉMAREC M. 1997. Using biotic indices to estimate macrobenthic community perturbations in the Bay of Brest. Estuarine, Coastal and Shelf Science. 44: 43-53.
- CHIRICHIGNO N. 1970. Lista de crustáceos del Perú (Decapoda y Stomatopoda). Inf Inst Mar Perú. N° 35.
- FAUCHALD K. 1977. The Polychaete Worms. Definitions and Keys to Orders, Families and Genera. Los Angeles County Mus. Natur. Hist. Sci. Ser. 28: 1-190.
- FOLK R L. 1966. A review of grain size parameters. Sedimentology. Vol. 6: 73-93.
- HARTMANN-SCHRÖDER G. 1960. Zur Polychaeten-Fauna von Peru. Beiträge zur neotropischen Fauna. 2(1): 1-44.
- HARTMANN-SCHRÖDER G. 1962. Zweiter Beitrag zur Polychaetenfauna von Peru. Kieler Meeresforschungen. 18: 109-147.
- HOOKE Y, PRIETO-RÍOS E, SOLÍS-MARÍN F A. 2013. Echinoderms of Peru. En: J. J. Alvarado & F. A. Solís-Marín (eds.). Echinoderm Research and Diversity in Latin America.
- JIMÉNEZ A, MARQUINA R, QUIPÚZCOA L. 2018. Anfípodos bentónicos (Amphilocheida y Senticaudata) en el centro norte de la plataforma continental del Perú. Revista peruana de biología. 25(4): 371 – 406.
- MOSCOSO V. 2012. Catálogo de crustáceos decápodos y estomatópodos del Perú. Bol Inst Mar Perú. 27: 1-2.
- MUXIKA I, BORJA A, BALD J. 2007. Using historical data, expert judgment and multivariate analysis in assessing reference conditions and benthic ecological status, according to the European Water Framework Directive. Mar Poll Bull. 55(1-6): 16-29.
- PAGANELLI D, FORNI G, MARCHINI A, MAZZIOTTI C, OCCHIPINTI-AMBROGI A. 2011. Critical appraisal on the identification of reference conditions for the evaluation of ecological quality status along the Emilia-Romagna coast (Italy) using M-AMBI. Mar Poll Bull. 62(8): 1725-35.
- PEARSON T H, ROSENBERG R. 1978. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev. 16: 229-311.
- PRIETO E. 2010. Taxonomía de Holothuroidea (Echinodermata) del mar del Perú. Tesis para optar el título profesional de biólogo con mención en Zoología. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Biológicas.
- SALEN-PICARD C. 1983. Schémas d'évolution d'une biocénose macrobenthique de substrat meuble. Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences. Série III. Sciences de la Vie.
- SOUTHERN CALIFORNIA ASSOCIATION OF MARINE INVERTEBRATE TAXONOMISTS. 2013. A Taxonomic Listing of Soft Bottom Macro- and Megainvertebrates from Infaunal and Epibenthic Monitoring Programs in the Southern California Bight. Edition 3, San Pedro, CA. 167 pp.
- TARAZONA J. 1974a. Lista de poliquetos sedentarios hallados en el Perú. Rev. Peru. Biol. 1 (2): 164-167.
- TARAZONA J. 1974b. Poliquetos errantes de la zona litoral del Departamento de Lima, Trabajo de Grado de Bachiller, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú. 107 pp.
- TARAZONA J, GUTIÉRREZ D, PAREDES C, INDACOCHEA A. 2003. Overview and challenges of marine biodiversity research in Peru. Gayana. 67(2): 206-231.
- VALENÇA A P, SANTOS P J. 2012. Macrobenthic community for assessment of estuarine health in tropical areas (Northeast, Brazil): review of macrofauna classification in ecological groups and application of AZTI Marine Biotic Index. Mar Poll Bull. 64(9): 1809-20.
- WARDIATNO Y, QONITA Y, ZULMI R, EFFENDI H, KRISANTI M, MASHAR A, HARIYADI S, HAKIM A A, SAHIDIN A, WIDIGDO B, NURSIYAMAH S. 2017. Determining ecological status of two coastal waters in western Java using macrozoobenthic community: a comparison between north part and south part. IOP Publishing. InIOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 54, No. 1, p. 012071.