

## CUANTIFICACION DEL BIOFOULING EN JAULAS FLOTANTES PARA CULTIVO DE CORVINA EN EL SUR DE PERU

---

*Walter Merma Cruz*

Universidad Nacional de Moquegua- Perú  
Escuela Profesional de Ingeniería Pesquera  
Ciudad de Ilo – Moquegua  
ID Scopus: 60122402  
<https://orcid.org/0000-0003-3742-6235>

*Ronald Ernesto Callacondo Frisancho*

Ciudad de Ilo – Moquegua  
<https://orcid.org/0000-0001-9619-3668>

*Jhoel Cristian Cotrado Zapana*

Ciudad de Ilo – Moquegua  
<https://orcid.org/0009-0004-0016-3608>

*Lucy Goretti Huallpa Quispe*

Universidad Nacional de Moquegua- Perú  
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental  
Ciudad de Ilo – Moquegua  
<https://orcid.org/0000-0001-7260-2148>

*Alfredo Maquera Maquera*

Ciudad de Ilo – Moquegua  
<https://orcid.org/0000-00033-058-0344>

*Elvis Alberto Pareja Granda*

Universidad Nacional de Moquegua- Perú  
Escuela Profesional de Ingeniería Pesquera  
Ciudad de Ilo – Moquegua  
<https://orcid.org/0000-0002-1266-7115>

All content in this magazine is licensed under a Creative Commons Attribution License. Attribution-Non-Commercial-Non-Derivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0).



**Alejandro Marcelo Gonzales Vargas**  
Universidad Nacional de Moquegua- Perú  
Escuela Profesional de Ingeniería Pesquera  
Ciudad de Ilo – Moquegua  
<https://orcid.org/0000-0002-3256-907X>

**Patricia Matilde Huallpa Quispe**  
Ciudad de Tacna  
<https://orcid.org/0000-0003-1456-2015>

**Brígida Dionicia Huallpa Quispe**  
Ciudad de Tacna  
<https://orcid.org/0000-0002-9729-7482>

**Sucy Alicia Caballero Apaza**  
<https://orcid.org/0000-0002-9719-1258>

**Resumen:** El presente trabajo, tuvo como objetivo cuantificar la biomasa de biofouling en proyecto de investigación e innovación “DESARROLLO DE UN SISTEMA TECNOLOGICO DE JAULAS FLOTANTES EN EL MAR PARA EL CULTIVO DE PECES MARINOS, EN EL LITORAL DE ILO”, realizado por la Universidad Nacional de Moquegua, la cual se utilizó en una jaula flotante de 2 mallas de red (malla para el cultivo de pescado y malla para la protección de lobos marinos) . Se realizaron 2 levantes de la malla red, una cada 30 días para contrastar los pesos de biofouling recolectado, para el caso del cabo y los muertos la limpieza se realizó en el lugar, extrayendo hacia la superficie los residuos de la materia orgánica para realizar el pesaje. El peso promedio de Biofouling obtenido de los cabos es de  $PPb1 = 125.73$  kg, el peso obtenido de las mallas  $PPB2 = 478.08$  kg; el peso obtenido del sistema de anclaje es  $PPb3 = 7.96$  kg; con un resultado total de  $PTb = 611.77$  kg. Se concluye una mayor carga en la malla de red con un peso promedio de 478.08 kg de biofouling (484.61 kg primera muestra y 471.55 kg segunda muestra). Los cabos de sujeción entre la estructura y los soportes de concreto representan la segunda mayor concentración de biofouling con un peso promedio de 125.73 kg (132.66 kg primera muestra y 118.8 kg segunda muestra) y los muertos representaron un peso del biofouling de 7.96 kg (7.845 kg la primera muestra y 8.075 kg la segunda muestra). Si consideramos que la malla seca tuvo un peso de 210 kg., y luego de los levantes de la malla red se ha obtenido un peso promedio de 478.08 kg., de biofouling, entonces se afirma que el biofouling ha duplicado el peso de la malla red, afectando de manera negativa la infraestructura acuícola, viéndose reflejado en el descenso de la estructura por debajo del nivel de diseño.

**Palabra clave:** Biofouling, jaula flotante.

## INTRODUCCION

En la actualidad la acuicultura marina enfrenta una serie de problemas relacionados a la infraestructura y manejo. Sin embargo, el que genera mayor preocupación entre los acuicultores está relacionado a la durabilidad y buen estado de las instalaciones, que al ser dañadas causa un desbalance económico y que de sobremanera supone un alto riesgo de pérdidas en la producción. La radiación solar, el agua de mar y el biofouling han sido identificados como los principales causantes del deterioro de los materiales usados en la construcción de criaderos, jaulas y estructuras flotantes.

El biofouling o en español organismos incrustantes, se definen como una comunidad de organismos vivos adheridos sobre superficies artificiales sumergidas o en contacto con el agua de mar. Esta característica de colonización es atribuida al rápido crecimiento, ciclo de vida corto, adaptabilidad y alta capacidad de dispersión larval, que les permite aprovechar el momento en que una superficie se encuentra libre (Eguia, 2000).

El biofouling, ocurre de manera natural en el medio marino sobre todas aquellas superficies propicias para servir de sustrato a las larvas de organismos sésiles. En el momento en el que un material es sumergido se cubre inmediatamente de una película formada por bacterias y otros organismos unicelulares que darán paso al asentamiento de organismos de origen animal y vegetal, como algas y moluscos. Estos organismos, se fijan eficazmente al sustrato, desarrollando un rápido crecimiento y un vasto potencial reproductor.

Este incremento de organismos sobre las estructuras flotantes supone un peso adicional añadido a los mismos, lo que crea un problema de mantenimiento, donde la estructura se desestabiliza, provocando roturas en los cabos de soporte, repercutiendo en elevados costes

económicos. De este modo, se puede afirmar que el biofouling, es un problema importante que afecta a las actividades acuícolas. Al no poder ser reutilizado este biofouling pasa a ser un desecho para la ciudad, acumulándose grandes cantidades cada vez que se produzca los respectivos levantes de las redes de pesca.

Las redes de pesca flotantes utilizados para los cultivos de recursos pesqueros, son sin lugar a duda sustratos ideales para el desarrollo del biofouling. Las diferentes especies de organismos invertebrados son atraídas por las características del material de las redes, así como por el alimento suministrado a las especies cultivadas. Además, las heces fecales liberadas por los organismos en cultivo son utilizados como abono por las algas que forman parte de este biofouling, por lo cual podemos decir que este problema se evidencio en la ejecución del proyecto de innovación: “DESARROLLO DE UN SISTEMA TECNOLOGICO DE JAULAS FLOTANTES EN EL MAR PARA EL CULTIVO DE PECES MARINOS, EN EL LITORAL DE ILO”, ejecutado por docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Pesquera de la Universidad Nacional de Moquegua y externos.

## BASES TEÓRICAS

### BIOFOULING

Se entiende por biofouling la deposición no deseada de microorganismos sobre una superficie. Estas acumulaciones de microorganismos se denominan biopelículas o biofilms (Characklis, 2007) se considera que son el primer estadio de formación del biofouling o bio-ensuciamiento.

El término biofouling proviene de fouling y se refiere a la deposición indeseable de materia sobre una superficie. Según el tipo de depósitos acumulados se clasifican en diferentes tipos de fouling (Flemming, 2001):

- fouling por precipitación o scaling cuando el depósito es materia inorgánica precipitada.
- fouling orgánico es la deposición de sustancias orgánicas tales como aceites, proteínas, sustancias húmicas.
- fouling particulado, es la deposición de arcillas, sílice y otras partículas
- biofouling o fouling biológico, es la adhesión de microorganismos a superficies y desarrollo de biopelículas.

## SECUENCIA DE EVENTOS PARA FORMACIÓN DE BIOFOULING

El proceso del “fouling” biológico comienza en el instante en que un sustrato duro se sumerge en un medio líquido con organismos. La secuencia de eventos continúa hasta un nivel de desarrollo de la comunidad incrustante que eventualmente puede impedir el movimiento de los barcos, desestabilizar estructuras oceánicas sumergidas, aminorar el intercambio de calor en torres de enfriamiento, restringir el pasaje de sangre en circuitos naturales o artificiales y promover caries dentales (Goupil, DePalma, & Baier, 2008).

Esta importante secuencia sigue un orden universal, inmediatamente del contacto inicial, una superficie es modificada por adsorción de biopolímeros y luego ocurre la fijación y proliferación de células pioneras. En el caso de las incrustaciones biológicas sobre sustratos sumergidos en el mar esa fijación inicial es seguida por algas e invertebrados (Sghibartz, 2005).

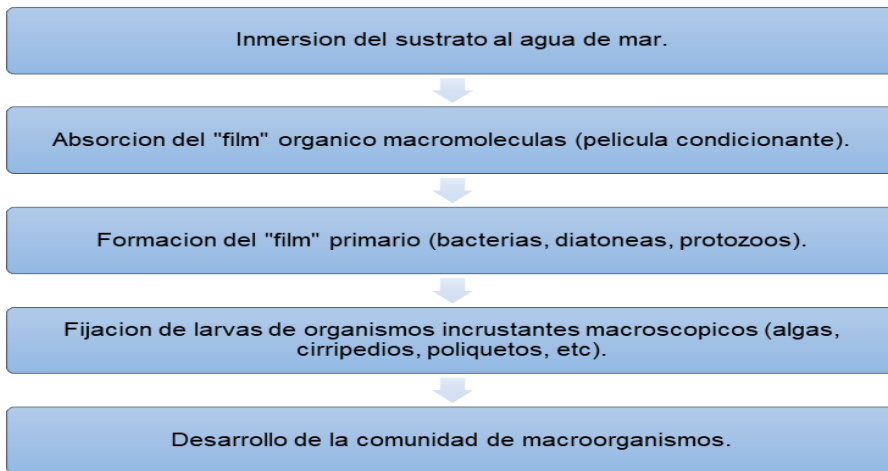
Lo expresado se indica en la Figura 1.

## INFLUENCIA DE LOS FACTORES ABIÓTICOS

Es importante hacer una mención de la influencia de los factores abióticos sobre los organismos. Parámetros tales como

temperatura, salinidad, pH, oxígeno disuelto, luz y tipo de sustrato juegan un importante rol en la determinación de la composición, desarrollo y sucesión de la comunidad. Estos factores también tienen efecto sobre el funcionamiento de las pinturas “antifouling”.

- La temperatura del agua ejerce un gran control sobre la distribución y funciones vitales de los organismos (maduración sexual, crecimiento, desarrollo). Con respecto a las pinturas antiincrustantes un aumento de temperatura disminuye la vida útil de las mismas por el incremento de la disolución del tóxico y del ligante.
- La salinidad del agua de mar oscila entre 34-36 ‰, aunque en las zonas costeras pueden ocurrir variaciones debidas a los aportes de agua dulce, desagües pluviales, evaporación, etc. En lo referente a las pinturas “antifouling” la concentración de cloruro de sodio afecta la solubilidad de la colofonia (al aumentar la salinidad aumenta su solubilidad) y por consiguiente la lixiviación del tóxico.
- El pH normal del agua de mar es de alrededor de 8,2. Las variaciones influyen sobre la actividad enzimática y las reacciones fisiológicas de los organismos. El pH afecta la solubilidad de la resina colofonia de las pinturas antiincrustantes; a mayores valores de pH mayor solubilidad de la colofonia y menor del óxido cuproso.
- El oxígeno es un elemento de vital importancia para los organismos ya que es fundamental para llevar a cabo los procesos de intercambio gaseoso, a excepción de las bacterias anaeróbicas. Los aportes principales de oxígeno al agua son debidos a la actividad fotosintética de las algas y al intercambio con el medio aéreo por agitación y turbulencia. La cantidad de oxígeno disuelto puede



**Figura 1.** Secuencia de eventos para formación de biofouling.

Nota. Etapas para el desarrollo de biofouling. Fuente: (Stupak, Perez, & DiSarli, 2000)



**Figura 2.** Vista satelital de la ubicación de la jaula que sirvió de investigación.

Nota. Fuente: Google maps.



**Figura 3** Fotografía del biofouling adherido a la estructura flotante

Nota. Jaula flotante Universidad Nacional de Moquegua



variar cuando hay polución en áreas relativamente cerradas (disminuyendo la concentración) o en zonas litorales con gran abundancia de algas (aumentando la concentración). En cuanto a las pinturas “antifouling”, el oxígeno no afecta la disolución de la colofonia luego de la inmersión del sustrato pintado.

- La luz es uno de los factores más importantes que determina la distribución vertical de los organismos. Las algas están confinadas a la zona eufótica para disponer de energía y gran parte de los animales se localizan en esta zona o cercanos a ella dado que obtienen su alimento directa o indirectamente de los vegetales. La variación lumínica tanto diarias como estacionales provocan migraciones del fito y zooplancton, movilizándolo a su vez a los organismos que los secundan en la trama trófica. La luz no causa efectos directos sobre el funcionamiento de las pinturas antiincrustantes.

- El sustrato es un factor primordial para tener en cuenta dado que los organismos incrustantes necesitan una superficie donde desarrollarse; las características de dureza, textura, composición química, color e inclinación condicionan el asentamiento de las distintas especies. Es necesario reiterar la importancia de las implicancias económicas que trae aparejado el biodeterioro sobre los sustratos artificiales sumergidos. En lo referente a las formulaciones “antifouling”, se debe tener en cuenta la preparación del sustrato a proteger (acero, aluminio, madera, fibra de vidrio, etc.) a fin de lograr una adecuada adhesión del sistema de pinturas.

## **METODOLOGIA DE MEDICION**

El proyecto, para la determinación de la biomasa del biofouling en las jaulas flotantes, se llevó a cabo en la región Moquegua provincia de Ilo cuyos paralelos son (latitud -17.471018° Longitud -71.376109°), instaladas a 1.5 km mar adentro de la costa. Figura 2.

El método de investigación es descriptivo, de enfoque aplicado, el proceso está constituido por la influencia que tiene el Biofouling en el sistema tecnológico de la jaula flotante en el mar de Ilo.

### **SELECCIONAR EL SISTEMA TECNOLÓGICO DE JAULA FLOTANTE (ILO)**

Se utilizó la jaula flotante de la Universidad Nacional de Moquegua, perteneciente al proyecto “DESARROLLO DE UN SISTEMA TECNOLÓGICO DE JAULAS FLOTANTES EN EL MAR PARA EL CULTIVO DE PECES MARINOS DENTRO DEL LITORAL DE ILO”; se realizó las visitas en la zona de ubicación y se procedió a la toma de datos para posterior análisis de la gravedad del problema provocado por la influencia de Biofouling en la estructura.

Para la recolección de datos, se realizó 2 levantes de la red (cada 30 días) para evaluar la biomasa de organismos acuáticos no deseados acumulada y adherido en el sustrato fijo en la red de la jaula, se identificó los organismos representativos y se realizó la pesada respectiva.

### **PUNTOS CRÍTICOS DE LA ESTRUCTURA DE JAULA FLOTANTE**

Para el presente trabajo se decidió por conveniente tomar 3 puntos clave para analizar el volumen para el cálculo existente de Biofouling en la estructura flotante, figura 3.

## Cabos

Los cabos están fabricados de polipropileno (PP), de diferente grosor y retorcidas; los cabos más afectados son los que sujetan el sistema de flotación (tubos de HDPE) con las anclas (muertos).

## Mallas de red

El sistema de jaula flotante cuenta con 2 mallas de red (una para el cultivo de peces y otra malla para la protección de los lobos marinos). Las mallas son de material de fibra sintética (Nylon), se observaron y recolectaron datos de las mallas

## Sistema de anclaje (Muertos)

La estructura del sistema tecnológico de jaula flotante, cuenta con 2 muertos ubicados en el fondo marino; construidos de concreto armado ubicados a 30 m de profundidad.

## MÉTODO PARA CÁLCULO Y PESO DEL BIOFOULING EN EL SISTEMA DE FLOTACIÓN

### CABOS

Se tomó el Biofouling adherido en 1 metro lineal, se pesó y se realizó un cálculo del volumen total en la totalidad de los 2 cabos de sujeción tomados como muestra para la investigación.

$$PPb1 = Pb * mL$$

PPb1 = Peso Parcial de Biofouling

Pb = Peso de biofouling por metro lineal

mL = Longitud total en metros lineales.

### MALLAS DE RED

Las mallas se calcularon por peso de Biofouling por metro cuadrado de superficie de red, son 2 redes para la toma de datos.

$$PPb2 = Pb * m^2$$

PPb2 = Peso Parcial de Biofouling

Pb = Peso de biofouling por metro cuadrado.

$m^2$  = Metros cuadrados totales de las 2 redes

## SISTEMA DE ANCLAJE (MUERTOS)

Son 2 muertos de dimensiones 0.50 m X 0.50 m X 0.50 m; el método fue extraer la muestra de cada bloque de concreto armado, para realizar el promedio y cálculo del total de caras de los 2 bloques.

$$PPb3 = Pb * 10$$

PPb3 = Peso Parcial de Biofouling

Pb = Peso de biofouling en una cara del bloque de concreto (muerto)

10 = Total de las caras de los 2 bloques, restando las 2 caras de contacto con el sustrato.

## RESULTADOS

### PESO TOTAL DEL BIOFOULING EN EL SISTEMA DE FLOTACIÓN

#### CABOS

Muestra	Peso en kg	Superficie mL
1	2.010	1
2	1.800	1

Medidas del cabo total:

- Longitud de la estructura de HDPE hasta la bolla de flotación: 3 metros
- Longitud de la bolla de flotación hasta los muertos de anclaje: 30 metros
- 2 sistemas de anclaje

Primera muestra (feb)	Segunda muestra (ago)
$PPb_1 = Pb * mL$ $PPb_1 = 2.010 \text{ kg/mL} * 66 \text{ mL}$ $PPb_1 = 132.66 \text{ kg}$	$PPb_1 = Pb * mL$ $PPb_1 = 1.8 \text{ kg/mL} * 66 \text{ mL}$ $PPb_1 = 118.8 \text{ kg}$
Peso promedio: $PPb_1 = 125.73 \text{ kg}$	

## MALLAS DE RED

Muestra	Peso en kg	Superficie
1	0.411	1
2	0.346	1

Medidas de las 2 mallas; el sistema de jaula es circular con un radio de 4 m, y la profundidad de las mallas está en relación a la medida de media esfera con relación al radio de la jaula.

$$AMJ = \frac{4 \times \pi \times r^2}{2}$$

AMJ = Área de malla en la jaula  
r = radio del sistema de jaula flotante

$$AMJ = \frac{4 \times \pi \times 4^2}{2}$$

$$AMJ = \frac{201}{2}$$

$$AMJ = 100.5 \text{ m}^2$$

El área de una malla es de la cual se multiplica por 2, al ser una malla para contención de los peces y la otra para protección de lobos marinos.

Primera muestra (feb)	Segunda muestra (ago)
$PPb_2 = Pb \times m^2$ $PPB_2 = 2.411 \text{ kg} / * m^2 * 100.5 \text{ m}^2$ $PPB_2 = 242.31 \text{ kg}$ $PPB_2 = 242.31 \text{ kg} * 2$ $PPB_2 = 484.61 \text{ kg}$	$PPb_2 = Pb \times m^2$ $PPB_2 = 2.346 \text{ kg} / * m^2 * 100.5 \text{ m}^2$ $PPB_2 = 235.77 \text{ kg}$ $PPB_2 = 235.77 \text{ kg} * 2$ $PPB_2 = 471.55 \text{ kg}$
Peso promedio: $PPb_2 = 478.08 \text{ kg}$	

## SISTEMA DE ANCLAJE (MUERTOS)

Muestra	Peso en kg	Superficie "Ac"
1	3.138	1
2	3.230	1

Son 2 muertos que sirven como anclaje para el sistema de jaula flotante, con el área de cada cara expuesta al mar.

$$Ac = 0.5 \text{ m} * 0.5 \text{ m}$$

$$Ac = 0.25 \text{ m}^2$$

Al ser 2 muertos cúbicos, cuenta con 6 caras individuales, 1 cara de contacto con el sustrato, la cual deja de contabilizarse. El total de caras expuestas por los 2 muertos son "10".

Primera muestra (feb)	Segunda muestra (ago)
$PPb_3 = Pb \times 10$ $PPb_3 = 3.138 \text{ kg} / m^2 * 10$ $(0.25 \text{ m}^2)$	$PPb_3 = Pb \times 10$ $PPb_3 = 3.230 \text{ kg} / m^2 * 10$ $(0.25 \text{ m}^2)$
$PPb_3 = 3.138 \text{ kg} / m^2 * 2.5 \text{ m}^2$ $PPb_3 = 7.845 \text{ kg}$	$PPb_3 = 3.230 \text{ kg} / m^2 * 2.5 \text{ m}^2$ $PPb_3 = 8.075 \text{ kg}$
Peso promedio: $PPb_3 = 7.96 \text{ kg}$	

## PESO PROMEDIO TOTAL DE BIOFOULING EN LA ESTRUCTURA

Peso promedio Total de Biofouling en la estructura

El Peso Total de Biofouling (PTb) es la suma de los pesos parciales:

$$PTb = PPb1 + PPb2 + PPb3$$

$$PTb = 125.73 \text{ kg} + 478.08 \text{ kg} + 7.96 \text{ kg}$$

$$PTb = 611.77 \text{ kg}$$

## RESUMEN

Items	Muestra 1	Muestra 2	Promedio
Cabos	132.66 kg	118.8 kg	125.73 kg
Mallas	484.61 kg	471.55 kg	478.08 kg
Muerto	7.845 kg	8.075 kg	7.96 kg
<b>Total</b>	<b>223.115 kg</b>	<b>196.421 kg</b>	<b>611.77kg</b>

## CONCLUSIONES

- Los puntos críticos analizados, muestran una diferencia significativa en el peso bruto de biofouling, registrando una mayor carga en la malla de red con un peso promedio de 478.08 kg de biofouling (484.61 kg primera muestra y 471.55 kg segunda muestra). Los cabos de sujeción entre la estructura y los soportes de concreto representan la segunda mayor concentración de biofouling con un peso promedio de 125.73 kg (132.66 kg primera muestra y 118.8 kg segunda



muestra) y los muertos representaron un peso del biofouling de 7.96 kg (7.845 kg la primera muestra y 8.075 kg la segunda muestra).

- Si se considera que la malla seca, ha tenido un peso de 210 kg., durante su instalación, y se ha obtenido un peso promedio de 478.08 kg., de biofouling entre los 2 levantes, entonces se concluye que el biofouling ha duplicado el peso de la malla red, afectando de manera negativa la infraestructura acuícola, viéndose reflejado en el descenso de la

estructura por debajo del nivel de diseño.

- El incremento de peso adicional que se carga a los cabos y la estructura de flotación, afecta el funcionamiento correcto y genera un aceleramiento en el desgaste de los materiales que soportan las fuerzas externas de los movimientos de marea, eso motivo a realizar el presente trabajo, debido a que uno de los cabos había cedido al peso y estuvo a punto de perderse la estructura de la jaula flotante.

## REFERENCIAS

- Allgaier, M.; Uphoff, H.; Felske, A.; Wagner-Döbler, I. (2003). "Aerobic anoxygenic photosynthesis in Roseobacter clade bacteria from diverse marine habitats". *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 69, N° 9, pp. 5051-5059
- Bano, N.; Hollibaugh, J.T. (2002) "Phylogenetic composition of bacterioplankton assemblages from the Arctic Ocean. *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 68, pp. 505-518.
- Bastida, R. "Las incrustaciones biológicas de las costas argentinas. La fijación anual en el puerto de Mar del Plata durante tres años consecutivos". *Corrosión y Protección*, 2 (1), 21-37 (1999).
- Characklis, W. G. (2007). *Bioincrustaciones microbianas. Biofilms, WileySeries in Ecological and Applied*, 195-231.
- Eguía, L. E. (2000). Patentes anti-incrustantes de base vinilica y de clorocaucho aplicadas sobre estructuras artificiales en la bahía de Santander. 5-12.
- Flemming, H. C. (2001). "Incrustaciones biológicas en el tratamiento de aguas". *Biofouling and Corrosion in Industrial*, Ed. Springer-Verlag, 47-80.
- Giúdice, C. A., Benítez, J. C., & Rascio, V. (2003). Prevención del 'fouling' en carenas de embarcaciones con pinturas antiincrustantes a base de colofonia y caucho clorado. *Iberoam. de Corrosión y Protección*, 16-20.
- Goupil, D. W., DePalma, V. A., & Baier, R. E. (2008). Características físicas/químicas de la película de condición macromolecular en el ensuciamiento biológico. *Biología Marina*, 5to, 401-410.
- González, J.M.; Saiz-Jiménez, C. (2004) "Microbial diversity in biodeteriorated monuments as studied by denaturing gradient gel electrophoresis". *Journal Separation Science.*, Vol.27, pp. 174-180.
- Jackson, D., Suzuki, K., Oakford, L., Simecka, J., Hart, M., & Romeo, T. (2002). Biofilm formation and dispersal under the influence of the global carbon regulator CsrA of *Escherichia Coli*. *Journal Bacteriology*, 184, 290-301.
- Mendo, J., & Wolff, M. (2002). Bases ecológicas y socioeconómicas para el manejo de los recursos vivos en la Reserva Nacional de Paracas. 1, 200-244.
- Sghibartz, C. (2005). Antifouling paints - Today and tomorrow. *Marine Biology*, 399-413.
- Stupak, M. E., Perez, M. C., & DiSarli, A. (2000). Relación entre la fijación de micro y macro 'fouling' y los procesos de corrosión de estructuras metálicas. *Rev. Iberoam.*, 219-225.
- Tesauro. (2013). Biofouling. (B. A. Unidos, Editor) Obtenido de *BoletinAgrario.com*: <https://boletinagrario.com/ap6/biofouling/1554.html>