

Desarrollo poblacional alrededor de una laguna costera tropical en Venezuela. Posibles implicaciones en la calidad del agua

*Population development in a tropical coastal lagoon, in Venezuela.
Possible implications on water quality*

Fabiola López Monroy¹
Luis Troccoli Chinaglia²

Recibido: 29-3-2017 Aprobado: 18-10-2017

Resumen

El desarrollo poblacional alrededor de los ecosistemas costeros puede generar el deterioro. En esta investigación se analiza el crecimiento poblacional en las adyacencias de la laguna de Las Marites, isla de Margarita, Venezuela y sus posibles implicaciones en la calidad del agua, a partir de los censos poblacionales oficiales. Se observó un incremento poblacional progresivo en el área y una aceleración a partir de 1989 debido al aumento del número de habitantes del Municipio García. Esto implica mayor demanda de servicios y el posible incremento de los aportes de nutrientes y coliformes por fuentes urbanas. Los resultados indican la influencia del crecimiento poblacional en la disminución de la salinidad, así como también en el incremento del fósforo inorgánico disuelto (PID) y el contenido de bacterias coliformes totales y fecales.

Palabras clave: densidad poblacional, Nueva Esparta, crecimiento urbano, Isla de Margarita, Las Marites.

Abstract

The rise of population in the coastal ecosystems leads to pollute and damage the environment. This study analyzes 'Las Marites' Lagoon neighborhood in Margarita Island, Venezuela, its implications on water quality. The data is taken out of official census population. An increase population in the area is observed from 1989, specifically an upsurge of inhabitants in García Municipality area. Therefore, a demand of urban services becomes a need, as a result, it creates an increase of nutrients and coliforms from the urban necessities that produce to diminish salinity, as well as a surge of dissolved inorganic phosphorus (PID) and coliforms bacterial and fecal.

Key words: population density, Nueva Esparta, urban growth. Margarita island, Las Marites.

I. Introducción

La zona costera es hábitat no solo de animales y plantas. Los seres humanos también la han utilizado por su potencial económico. Es por esto, que la mitad de la población mundial vive a menos de 60 km de la costa (Jickells 1998). Uno de los principales estresores de los ecosistemas costeros, es el incremento del número de habitantes en

comunidades aledañas (Smith 2007; Mahapatro et al. 2013). Según datos del Banco Mundial, la población global aumentó aproximadamente 2,5 veces en los últimos 50 años (Fig.1).

¹ Doctora en Ciencias Marinas. Escuela de Ciencias Aplicadas del Mar. Universidad de Oriente, Venezuela. Correo electrónico: fametal@gmail.com.

² Doctor en Ciencias. Instituto de Investigaciones Científicas. Universidad de Oriente, Venezuela. Correo electrónico: luis.troccoli@gmail.com.

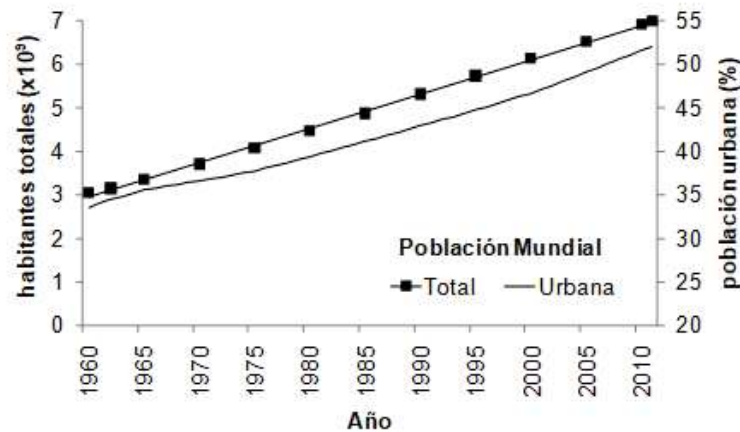


Figura 1. Incremento de la población mundial total y del porcentaje de la población urbana entre 1960 y 2011. Datos: Banco Mundial (<http://www.datos.bancomundial.org>).

Toda esa población creciente, tiene una serie de demandas: alimenticias, de servicios y espacio (para viviendas, actividades económicas y recreativas). Lo anterior, trae como consecuencia que los ecosistemas costeros se encuentre bajo una intensa y continua presión, debido al aumento del urbanismo (Appeaning 2013), industrialización y desarrollo del turismo (Arhonditsis et al. 2003).

Actualmente es frecuente observar cambios en los ecosistemas costeros inducidos por la acción antropogénica, algunos de los cuales pueden incluso producir afectaciones irreversibles (Jennerjahn et al. 2009). El incremento poblacional frecuentemente produce la destrucción de hábitats y cambios en el estado trófico (Jickells 1998; Bricker et al. 2008; Hayn et al. 2012).

Estos cambios en el estado trófico ocurren debido a que, el ser humano realiza actividades que pueden alterar los ciclos biogeoquímicos. Por ejemplo, contribuyen al aumento de las concentraciones naturales de nitrógeno y fósforo en la zona costera, incorporando los provenientes de las actividades agrícolas (Alonso-Rodríguez et al. 2000; Cotovicz et al. 2013) o urbanas (aguas servidas, escorrentía urbana y quema de combustibles fósiles) (NCR 2000; Lavelle et al. 2005). El hombre también modifica el cauce de ríos, lo que

facilita el transporte de nutrientes y su ingreso en los cuerpos de agua costeros e incrementa la vulnerabilidad de los ecosistemas con la sobreexplotación pesquera (De Jong 2006).

Existen áreas en las que todos sus ecosistemas marino costeros se encuentran impactados en alguna medida por la acción humana. Por ejemplo los estuarios del país Vasco (Muxika et al. 2007), o el Mar del Norte, donde la actividad antropogénica ha incrementado el flujo de nitrógeno hacia la zona costera de 10 a 15 veces el valor basal (Howarth & Marino 2006).

En el caso particular de la laguna de Las Marites, esta se encuentra ubicada en un estado (Nueva Esparta), con una tasa de crecimiento poblacional (3,1 %) que supera el promedio nacional de Venezuela (1,6 %) y cuyos planes de expansión urbanística han incluido las adyacencias del ecosistema. Por esta razón, es importante evaluar los cambios en el uso de la tierra, alrededor de la laguna y discutir sus posibles implicaciones en la calidad del agua de este ecosistema.

II. Materiales y métodos

Área de estudio

La laguna de Las Marites está ubicada en el Sur de la Isla de Margarita (Estado Nueva Esparta). Este ecosistema se encuentra bordeado por tres de los principales municipios del Estado: Mariño,

García y Díaz, los dos últimos de mayor influencia en el ecosistema. En su extremo Norte existe un importante desarrollo urbano que incluye: tres plantas de tratamiento (actualmente solo dos están activas), una autopista, una planta de distribución eléctrica y numerosas urbanizaciones (Fig. 2).

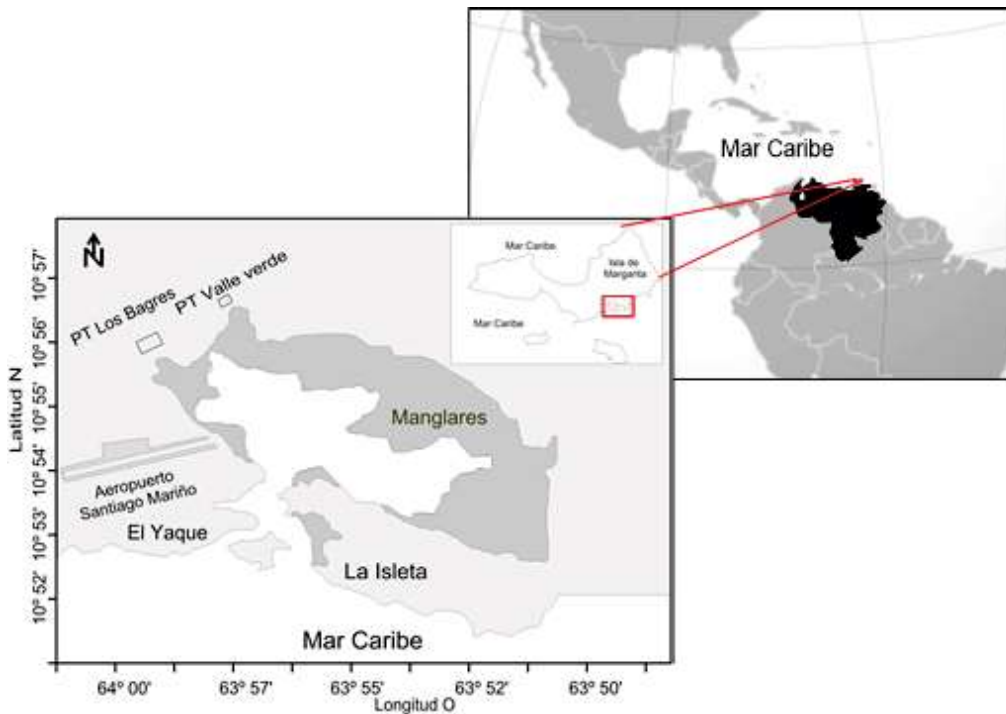


Figura 2. Mapa de la Laguna de Las Marites y su ubicación relativa en la isla de Margarita, Venezuela.

Se realizó un análisis del desarrollo poblacional del área de influencia sobre la laguna de Las Marites (información disponible en la base de datos del Instituto Nacional de Estadística de Venezuela, INE). Para ello fue empleada la información sobre el número de habitantes y la densidad poblacional, obtenida de los censos de población y vivienda de 1961, 1971, 1981, 1990, 2001 y 2011 y de las proyecciones intercenso (INE 2016). La relación entre el crecimiento poblacional y la salinidad, el contenido máximo de coliformes totales y fecales en el agua de la laguna e indicadores de eutrofización como la concentración de nitrógeno inorgánico

disuelto (NID) y fósforo inorgánico disuelto (PID) (Tabla 1) fue evaluada a partir de regresiones simples seleccionando el modelo que mejor se ajusta, utilizando el programa Statgraphics plus 5.1©.

Tabla 1. Promedios anuales y varianza de las principales variables hidrográficas y colimetría en la laguna de Las Marites, Isla de Margarita, Venezuela

Variable	1968	σ^2	1969	σ^2	1989 ^c	σ^2	2005 ^d	σ^2	2011 ^d	σ^2	2012 ^d	σ^2
Salinidad ¹	38,9 ^a	4,2	38,4 ^a	4,4	38,6	4,1	38,5	6,1	35,9	6,9	36,8	9,2
Oxígeno disuelto ²	3,9 ^a	0,1	3,9 ^a	0,0	4,0	0,3	4,1	0,2	4,3	0,2	3,8	0,1
Nitrógeno inorgánico disuelto ³	5,3 ^a	3,6	3,4 ^a	1,5	2,2	3,3	4,0	2,7	3,7	1,7	4,4	3,8
Fósforo inorgánico disuelto (PO_4^{3-}) ³	0,3 ^b	0,0	0,3 ^b	0,0	0,5	0,1	0,9	0,1	1,5	0,5	1,6	0,8
Coliformes totales ⁴ ^e	≤ 20		≤ 20		300		3000		16000		16000	
Coliformes fecales ⁴ ^e	≤ 20		≤ 20		90		130		9000		9000	

¹ (ups); ² (ml L⁻¹); ³ (μmol L⁻¹); ⁴ NMP

^a Bonilla & Okuda (1971); ^b Bonilla & Benítez (1972); ^c Palazón-Fernández et al. (1996); ^d López-Monroy et al. (en prensa); ^e Base de datos Ministerio de Ecosocialismo y Aguas

III. Resultados

Hasta mediados de la década del 70, la tasa de crecimiento poblacional del Estado Nueva Esparta era inferior al promedio nacional (1,6 y 2,7 % en el estado, para 1960 y 1970 respectivamente, en contraste con 4

y 3,4 % a nivel nacional). En 1980 se incrementó hasta 5,2 %, superando el nivel de Venezuela (3,1 %). A partir de 1990 y hasta la fecha, esta variable poblacional se ha estabilizado entre 3,1 y 3,3 % (Fig. 3).

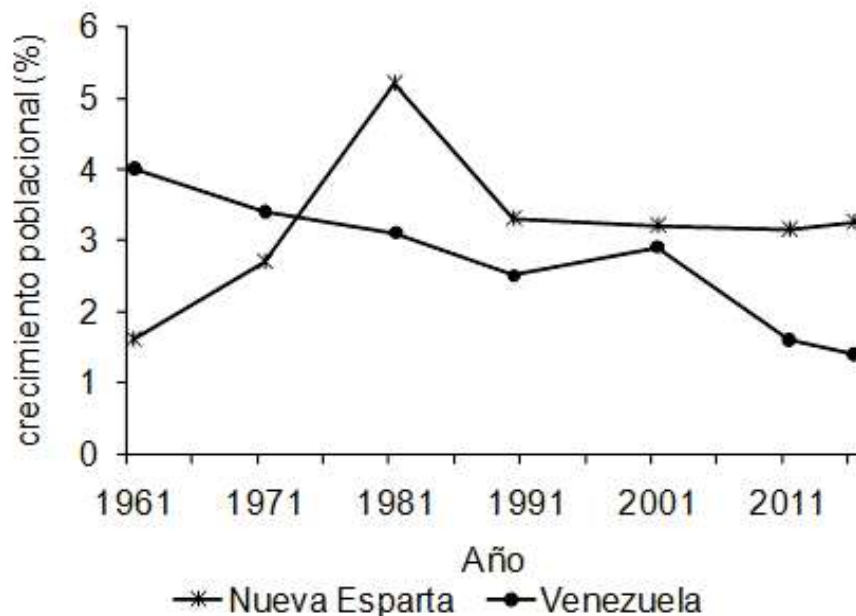


Figura 3. Cambios en la tasa de crecimiento poblacional en Venezuela y el Estado Nueva Esparta (1961-2011). Datos: Instituto Nacional de Estadística.

En el área de influencia sobre la laguna de Las Marites, se observa un incremento poblacional progresivo. En 1961 existían 19.515 habitantes hasta la actualidad (2016) que la zona es ocupada por 159.264

habitantes (proyecciones del censo 2011). Notándose una aceleración a partir de 1989, influenciado por el aumento del número de habitantes del Municipio García (Fig. 4).

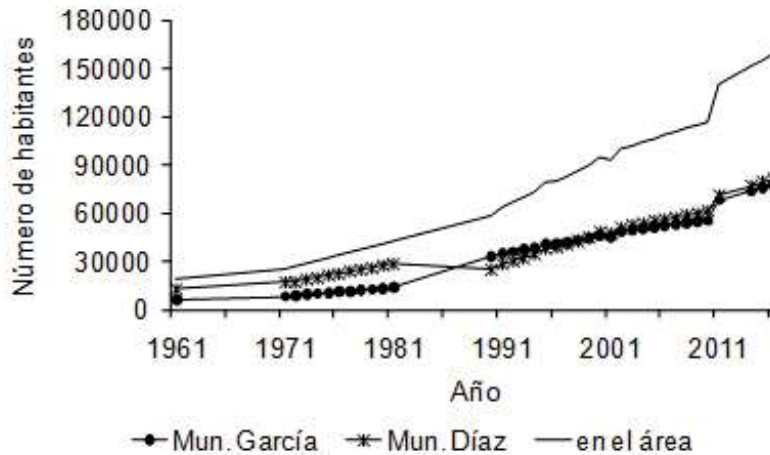


Figura 4. Desarrollo poblacional en el área de influencia sobre la laguna de Las Marites (1961-2011) y su discriminación por municipios. Datos: Instituto Nacional de Estadística.

En el caso de la densidad poblacional, esta también se incrementó progresivamente. Desde 1961 hasta inicios de la década del 80 la densidad en el área de influencia sobre la laguna, fue similar a la de todo el Estado Nueva Esparta. A partir de ese año, se observó un aumento en el Municipio García, superior a la del

promedio estatal (Fig. 5). Según la información del último censo de población y vivienda, la densidad del estado era de 427,1 hab km⁻² en 2011 y la proyección para 2016 es de 494,6 hab km⁻², mientras que la del Municipio García es 1,9 veces mayor (915,2 hab km⁻²).

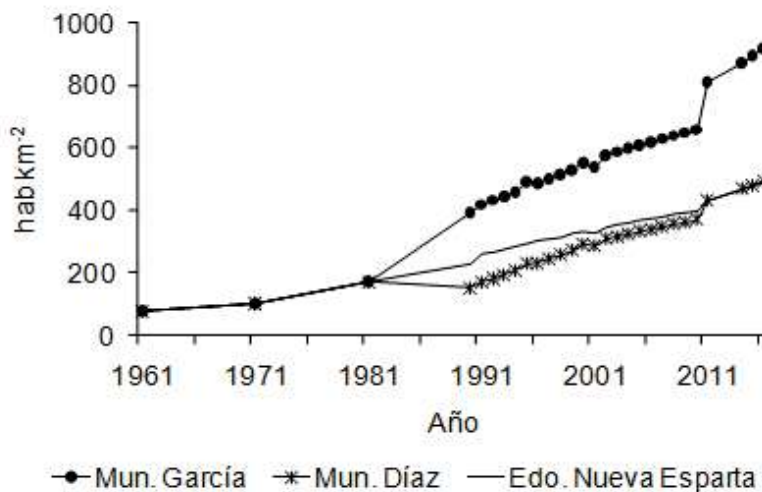


Figura 5. Cambios en la densidad poblacional en el Estado Nueva Esparta y en los Municipios del área de influencia sobre la laguna de Las Marites (1961-2011). Datos: Instituto Nacional de Estadística.

En la figura 6 pueden observarse los cambios en la ocupación del terreno al Norte de la laguna de Las Marites, en ella se aprecia que no solo se

incrementó la extensión, sino también la cantidad de construcciones por área.



Figura 6. Vista del desarrollo poblacional en el Norte de la laguna de Las Marites (1961-2011). Fuente: Google Earth ©.

Respecto a la posible influencia del incremento poblacional sobre la calidad del agua, el análisis de regresión indicó que el crecimiento poblacional parece contribuir linealmente en la disminución de la salinidad (Fig. 7 A). El modelo señala que el 68 % de la variabilidad de la salinidad es explicada por el incremento en el número de habitantes de la zona. El aumento de la concentración de PID en el agua y la cantidad de bacterias coliformes, tanto totales como fecales (Figs. 7 B, C y D respectivamente) también parecen ser explicadas por el crecimiento poblacional. En estos casos el modelo exponencial explica en un 99 % la variabilidad del PID y coliformes totales y el 89 % de las bacterias coliformes fecales. Por su parte el oxígeno disuelto y el NID no mostraron cambios relacionados al desarrollo urbanístico de la zona (Figs. 7 E y F respectivamente).

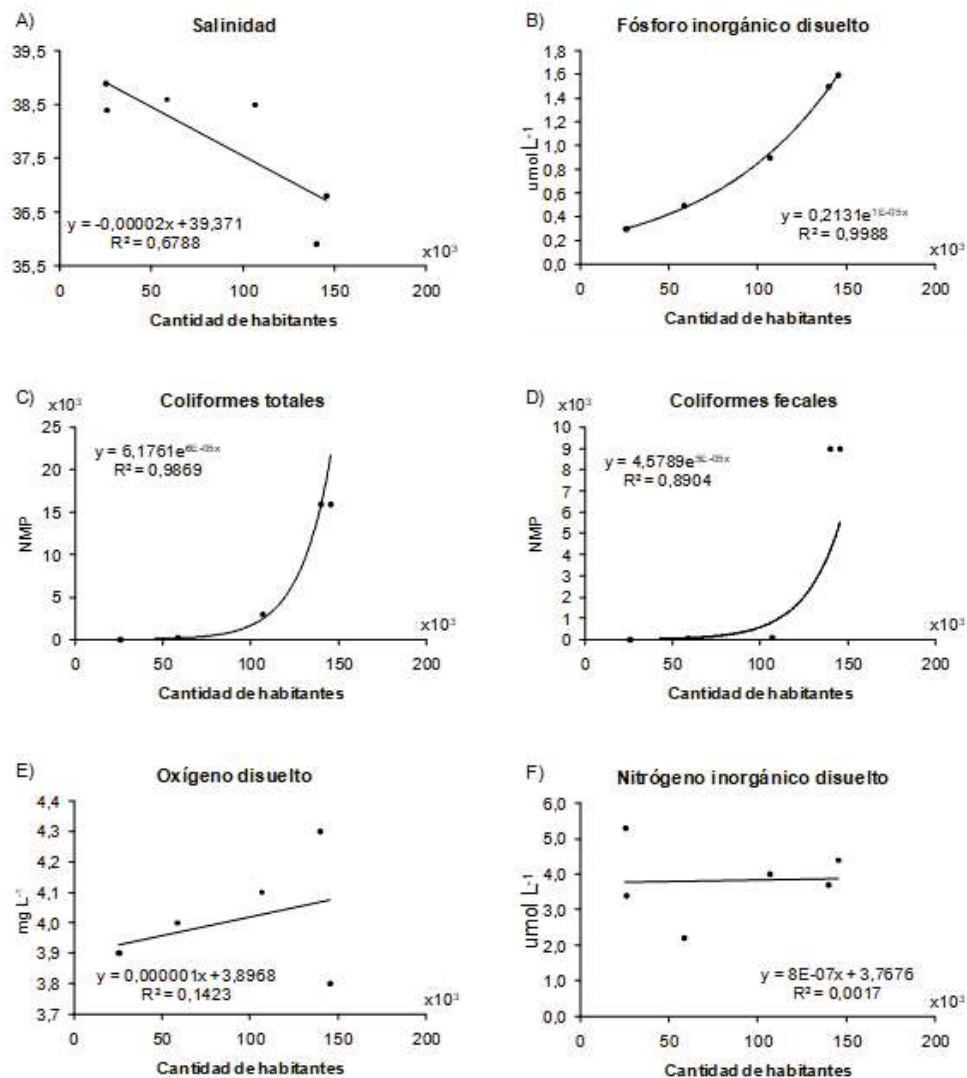


Figura 7. Relación entre el incremento poblacional en las adyacencias de la laguna de Las Marites y algunos indicadores de la calidad del agua del ecosistema.

IV. Discusión

El Estado Nueva Esparta, ha experimentado un crecimiento poblacional acelerado en los últimos 30 años. A mediados del siglo XX este estado constituía una de las principales zonas de emigración del país (OCEI 1985), de tal manera que para 1971 su peso en el total nacional presentaba una tendencia decreciente (OCEI 1994), con una tasa de crecimiento poblacional estatal inferior al nacional como se observa en la Fig. 3.

En la segunda mitad de la década de 1970 se observó un rápido crecimiento poblacional en el estado. La principal razón fue la instauración de un régimen de Puerto Libre en 1974 (Decreto 511 de fecha 6 de noviembre de 1974), lo que estimuló la actividad comercial (MARN 2005). A partir de los años 80, la tasa de crecimiento poblacional descende; sin embargo siguió manteniéndose en niveles superiores al promedio nacional (Fig. 3).

Respecto al área de influencia sobre la laguna de Las Marites, en el caso particular del Municipio García, desde 1981 su densidad poblacional supera

el promedio estatal y para 2011 ambos municipios poseían densidades superiores a las de Nueva Esparta (Fig. 5). Este incremento en la presión antropogénica en las adyacencias de la laguna, evidenciado también en la Fig. 6, podría influir negativamente en la calidad del agua de la laguna.

Todo incremento poblacional, implica mayor demanda de servicios, incluido el tratamiento de las aguas residuales. En las adyacencias de la laguna se han instalado tres (3) plantas de tratamiento. En los años 70, en el borde noroccidental del ecosistema, fue construida la planta de tratamiento de “Valle Verde”, la cual quedó inoperante a finales de los 90. Respecto a ella fue reportado el ingreso de sus aguas (tratadas o no) a la laguna, al menos en 1980 (Palazón-Fernández et al. 1996). En la actualidad, las aguas servidas del Municipio Díaz y casi todo García, son transportadas hacia la planta de tratamiento Los Bagres, cuyo procesamiento solo incluye aireación y sedimentación. Esta planta de tratamiento está ubicada en el extremo occidental del ecosistema y fue concebida para procesar las aguas servidas de 100.000 personas (MARN 2005), cifra superior a la cantidad actual de habitantes en la zona (aproximadamente 159.200). Aun considerando que parte de la población puede no estar conectada al sistema de redes cloacales, la planta estaría funcionando cerca de su máxima capacidad. Otro aspecto que debe considerarse, es que las aguas servidas de las viviendas sin sistema de cloacas también llegan a la laguna por vía directa (a través de conductos y canales) o por escorrentía superficial (Palazón-Fernández et al. 1996; Iriarte & Rengel 1997; MARN 2002), lo que contribuiría a la disminución de la salinidad en algunas áreas. Existen antecedentes de que estas descargas también elevan las concentraciones de coliformes fecales en el agua y ostras de algunos sectores (Iriarte & Rengel 1997).

Tampoco pueden descartarse percolaciones de las piscinas que aún existen en la planta de tratamiento de Valle Verde. Las aguas residuales de una pequeña parte de la población son elevadas

de una estación de bombeo a la inoperativa planta y de ahí descienden por gravedad a una estación de bombeo que finalmente la impulsa hasta Los Bagres (Mazzeo 2011). Por lo que, sigue existiendo transporte de aguas residuales en esa zona. Una tercera piscina de oxidación perteneciente a una urbanización privada se localiza en el Sur, pero esta no descarga a la laguna de Las Marites.

Este tipo de descargas de aguas residuales urbanas, pueden contribuir a la deposición de materia orgánica particulada en el sedimento y frecuentemente aumentan las fluctuaciones del oxígeno disuelto y demanda bioquímica de oxígeno (Mudge et al. 2008). Además es frecuente que posean concentraciones más elevadas de nutrientes (Artioli et al. 2005; De Jong 2006). Según las estimaciones del Banco Mundial, el aporte poblacional a las aguas residuales es de 4 kg N persona-1 año-1 y 1 kg P persona-1 año-1 (World Bank 1993). Considerando estos valores, los aportes de nitrógeno y fósforo se habrían incrementado 600 % desde 1960. Lo anterior, aunado al déficit en el procesamiento de aguas servidas aumenta la presión sobre el ecosistema y podría favorecer procesos de eutrofización. Las concentraciones de NID en el ecosistema poseen menos relación con el incremento poblacional en Las Marites, debido probablemente a las transformaciones que sufre este elemento durante el desarrollo del ciclo del nitrógeno en ambientes marinos. Estas transformaciones incluyen la adsorción de nitrógeno en los sedimentos y la liberación hacia la atmósfera de N₂ (gas) durante los procesos anaeróbicos de desnitrificación y anammox, lo que contribuye a la disminución del NID en la columna de agua (Emerson & Hedges 2008).

V. Conclusiones

En las adyacencias de la laguna de Las Marites, existe un acelerado crecimiento poblacional (915,2 hab km⁻²), superior al promedio del Estado Nueva Esparta (494,6 hab km⁻²). Esto implica mayor

demanda de servicios y el incremento de aportes de aguas residuales (tratadas o no) a la laguna de Las Marites. Los resultados mostraron un incremento exponencial del fósforo inorgánico disuelto y coliformes debido al incremento en el número de habitantes de la zona. También sugieren la influencia del crecimiento poblacional en la disminución de la salinidad del ecosistema. Estos resultados podrían aumentar la ocurrencia de eventos de eutrofización y deterioro de la calidad del agua.

Bibliografía

- Alonso-Rodríguez, R., Páez-Osuna, F. & Cortés-Altamirano, R., 2000. Trophic Conditions and Stoichiometric Nutrient Balance in Subtropical Waters Influenced by Municipal Sewage Effluents in Mazatlán Bay (SE Gulf of California). *Marine Pollution Bulletin*, 40(4), pp.331-339.
- Appeaning, K., 2013. Shoreline morphological changes and the human factor. Case study of Accra Ghana. *Journal of Coastal Conservation*, 17(1), pp.85-91.
- Arhonditsis, G. et al., 2003. Eutrophication risk assessment in coastal embayments using simple statistical models. *Marine Pollution Bulletin*, 46(9), pp.1174-1178.
- Artioli, Y., Bendoricchio, G. & Palmeri, L., 2005. Defining and modelling the coastal zone affected by the Po river (Italy). *Ecological Modelling*, 184(1), pp.55-68.
- Bricker, S.B. et al., 2008. Effects of Nutrient Enrichment In the Nation's Estuaries: A Decade of Change. *Harmful Algae*, 8, pp.21-32.
- Cotovicz, L. et al., 2013. Assessment of the trophic status of four coastal lagoons and one estuarine delta, eastern Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185, pp.3297-3311.
- Emerson, S. & Hedges, J., 2008. *Chemical oceanography and the marine carbon cycle*, Cambridge: Cambridge University Press, Cambridge.
- Hayn, M. et al., 2012. Exchange of nitrogen and phosphorus between a shallow estuary and coastal waters. *Estuaries and Coast*, 37(Suppl 1), pp.63-73.
- Howarth, R. & Marino, R., 2006. Nitrogen as the limiting nutrient for eutrophication in coastal marine ecosystems: Evolving views over three decades. *Limnology and Oceanography*, 51, pp.364-376.
- INE, 2016. *Censos de población y vivienda*, Base de datos del Instituto Nacional de Estadística de Venezuela (www.ine.gov.ve).
- Iriarte, M. & Rengel, A., 1997. Bacterias indicadoras de calidad sanitaria en la ostra de mangle *Crassostrea rhizophorae* y en el agua de la Laguna de Las Marites, Isla de Margarita. *Memoria de Sociedad de Ciencias Naturales La Salle*, 57(148), pp.93-108.
- Jennerjahn, T., Nasir, B. & Pohlenga, I., 2009. Spatio-temporal variation of dissolved inorganic nutrients related to hydrodynamics and land use in the mangrove-fringed Segara Anakan Lagoon, Java, Indonesia. *Regional Environmental Change*, 9, pp.259-274.
- Jickells, T.D., 1998. Nutrient Biogeochemistry of the Coastal Zone. *Science*, 281(5374), pp.217-222.
- De Jong, F., 2006. *Marine eutrophication in perspective: On the relevance of ecology for environmental policy*, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Lavelle, P. et al., 2005. Nutrient cycling. En R. Hassan, R. Sholes, & N. Ash, eds. *Ecosystem and human well-being: current state and trends Vol. 1. Millenium ecosystem assessment series*. Island Press, pp. 331-353.

- Mahapatro, D., Panigrahy, R. & Panda, S., 2013. Coastal Lagoon: Present Status and Future Challenges. *International Journal of Marine Science*, 3(23), pp.178-186.
- MARN, 2002. *Plan de recuperación y uso racional de la laguna Las Marites*, Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales. Tercer informe de avance, Hidroimpacto C.A.
- MARN, 2005. *Revisión del plan de ordenación del territorio del Estado Nueva Esparta y establecimiento de un sistema de información geográfico* (SIG-POTENE), Informe técnico.
- Mazzeo, M., 2011. *Evaluación de los procesos físico-químicos de la planta de tratamiento de aguas servidas de Los Bagres, para determinar su efecto en la calidad del agua del monumento natural laguna de Las Marites, Municipio García, estado Nueva Esparta*. Instituto Universitario Politécnico «Santiago Mariño» Extensión-Portlamar.
- Mudge, S.M., Icely, J.D. & Newton, A., 2008. Residence times in a hypersaline lagoon: Using salinity as a tracer. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 77(2), pp.278-284.
- Muxika, I., Borja, A. & Bald, J., 2007. Using historical data, expert judgement and multivariate analysis in assessing reference conditions and benthic ecological status, according to the European Water Framework Directive. *Marine Pollution Bulletin*, 55, pp.16-29.
- NCR, 2000. *Clean coastal waters: understanding and reducing the effects of nutrient pollution*, National Research Council. Committee on the causes and management of eutrophication. Ocean studies board, Water Science and Technology Board.
- OCEI, 1994. *El Censo 90 en Nueva Esparta*, Oficina Central de Estadística e Informática de Venezuela.
- OCEI, 1985. *XI Censo general de población vivienda*. Total nacional, Oficina Central de Estadística e Informática de Venezuela.
- Palazón-Fernández, J. et al., 1996. Condiciones hidroquímicas de la laguna de Las Marites, Isla de Margarita, Venezuela, abril 1989-mayo 1990. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 35(1&2), pp.113-125.
- Smith, V.H., 2007. Using primary productivity as an index of coastal eutrophication: The units of measurement matter. *Journal of Plankton Research Horizons*, 29(1), pp.1-6.
- World Bank, 1993. *Environmental sector study. Towards improved management of environmental impacts*, Washington, D.C., USA.