

Regionalización dinámica de la isla de Santo Domingo mediante productos de sensores remotos del tipo espectroradiómetros

Dynamic Regionalization of the Island Santo Domingo through remote sensors products of the type spectroradiometers

Fecha de recepción: 2014-06-02 / Fecha de aceptación: 2014-09-08

Juan Luis González-Minaya¹, Eduardo Santamaría del Ángel²

¹Armada de la República Dominicana. Escuela Naval de Cadetes "Almirante Padilla", Facultad de Oceanografía Física. Correo electrónico: jgonzalezminaya@gmail.com

²Universidad Autónoma de Baja California (UABC). Facultad de Ciencias Marinas. Correo electrónico: santamaria@uabc.edu.mx

González-Minaya JL, Santamaría del Ángel E. Regionalización dinámica de la isla de Santo Domingo mediante productos de sensores remotos del tipo espectroradiómetros. Bol. Cient. CIOH 2014;32:149-161.

RESUMEN

La regionalización dinámica de la isla de Santo Domingo se determinó con reflectancias satelitales derivadas del sensor MODIS Aqua. Para determinar la variabilidad temporal se establecieron escenarios estacionales (temporada de no huracanes y temporada de huracanes). Se utilizaron imágenes diarias desde junio de 2002 hasta noviembre de 2013. Para definir las regiones dinámicas se utilizó la primera función empírica ortogonal estandarizada (SEOF1) que garantiza la mejor combinación numérica de las variables reflectancias satelitales Rrs412 nm y Rrs488 nm. En la isla de Santo Domingo se identificaron 24 regiones dinámicas en dos dominios, Atlántico y Caribe. En el dominio del Atlántico se identificó una (01) provincia oceánica con dos (02) regiones, una (01) provincia y dos (02) subprovincias costeras, con ocho (08) regiones dinámicas. En el dominio del Caribe se identificó una (01) provincia oceánica con una (01) región, cuatro (04) provincias y tres (03) subprovincias costeras en las que se distribuyeron trece (13) regiones dinámicas. Con base en la concentración de clorofila-a (Chla) satelital promedio se clasificaron siete (07) regiones como oligotróficas, doce (12) mesotróficas y cinco (05) eutróficas, distribuidas en los dominios Atlántico y Caribe. El estudio de la variabilidad temporal demostró que la dimensión espacial de las regiones dinámicas está modulada por la influencia estacional de cada escenario planteado. La regionalización dinámica de la isla de Santo Domingo permitió identificar estructuras oceanográficas superficiales de mesoescala como remolinos y filamentos para febrero de 2005.

PALABRAS CLAVES: regionalización dinámica, isla de Santo Domingo, reflectancias satelitales, estructuras de mesoescalas, variabilidad estacional.

ABSTRACT

The dynamic regionalization of the island of Santo Domingo was determined with satellite reflectance derived from MODIS-Aqua sensor. To determine the temporal variability seasonal scenarios (not hurricane season and hurricane season) were established. Daily images were used from June 2002 to November 2013. To define the dynamic regions empirical orthogonal function first standardized (SEOF1) that guarantees the best combination of numerical variables Rrs412 nm satellite reflectances and Rrs488 nm was used. On the island of Santo Domingo 24 dynamic regions were identified in 2 domains Atlantic and Caribbean. In the domain of the Atlantic were identified 1 oceanic province with 2 dynamic regions, 1 coastal province and 2 coastal subprovince in which 8 dynamic regions were distributed, 1 coastal province and 2 coastal subprovince in which 8 dynamic regions were distributed. In the domain of the Caribbean were identified 1 oceanic province with 1 dynamic region, 4 coastal province and 3 coastal subprovinces in which 13 dynamic regions were distributed. Based on the concentration of chlorophyll-a (Chla) Satellite average 7 regions were classified as oligotrophic, 5 as mesotrophic, and 12 eutrophic distributed in the Atlantic and Caribbean domains. The study of the temporal variability showed that the spatial dimension of the dynamic regions is modulated by the seasonal influence of each proposed scenario. The dynamic regionalization of the island of Santo Domingo allowed to identify surface mesoscale oceanographic structures as eddies and filaments for the month of February 2005.

KEYWORDS: dynamic regionalization, Island of Santo Domingo, satellite reflectance, mesoscale structure, seasonal variability.

INTRODUCCIÓN

Identificar regiones biogeográficas dinámicas (DBGR) por medio de productos derivados de sensores remotos se ha convertido en una herramienta indispensable para identificar áreas con características físicas, químicas y biológicas similares a escala sinóptica y mesoescala [1]. Existen dos maneras para establecer la regionalización dinámica de una zona: aproximación directa (mediante la utilización de datos *in situ*) y aproximación indirecta (mediante la utilización de datos derivados de sensores remotos) [1-3]. Las regiones dinámicas de una zona muestran su dinámica al considerar escenarios de variación estacional [1].

Se han establecido numerosas regionalizaciones dinámicas basadas en los productos clorofila-a (Chla) y temperatura superficial del mar (TSM). "Las aproximaciones basadas en Chla y TSM en zonas sin variabilidad significativa de estas variables no han ofrecido resultados lo suficientemente robustos para definir regiones y sus fronteras dinámicas" [4]. Santamaría *et al* [3] clasificó en oceánicas y costeras las aguas de la corriente de California, la cual es una zona sin variabilidad significativa de Chla y TSM. Para ello se basó en la combinación numérica de la SEOF1; las variables usadas fueron radianzas normalizadas nLw412 nm (longitud de onda para medir las sustancias amarillas disueltas asociadas a la costa) y nLw488 nm (longitud de onda donde hay menos absorción por parte de los componentes del agua). Callejas [4] propuso la combinación

numérica de las variables radianzas normalizadas nLw 412 nm y nLw 488 nm, a través de la SEOF1 para definir regiones dinámicas en zonas sin variabilidad significativa de Chla y TSM. Esta metodología ha definido regiones dinámicas en el Golfo de México y en el Gran Caribe. Teniendo en cuenta lo anterior, se seleccionaron las variables Rrs412 nm y Rrs488 nm (variables equivalentes a las radianzas normalizadas) del sensor MODIS Aqua para definir regiones dinámicas con base en la SEOF1.

ÁREA DE ESTUDIO

La isla de Santo Domingo se encuentra en la Región del Gran Caribe (Fig. 1). Geográficamente, la isla se encuentra situada entre los paralelos 17°36' (cabo Beata) y 19°58' (cabo Isabela) de latitud norte y entre los meridianos 68°19' (cabo Engaño) y 74°31' (cabo Irois) de longitud oeste.

METODOLOGÍA

Se generó una base de datos con compuestas mensuales de las variables Rrs412 nm, Rrs488 nm y Chla para las aguas circundantes de la isla de Santo Domingo (Fig. 1). Las compuestas se elaboraron a partir de 13562 imágenes diarias con resolución espacial de 1 km de cada producto. "Las imágenes fueron construidas mediante promedios geométricos bajo una proyección cilíndrica equidistante y los productos fueron procesados mediante SeaDAS ver. 5.5 utilizando algoritmos estándares" [4].

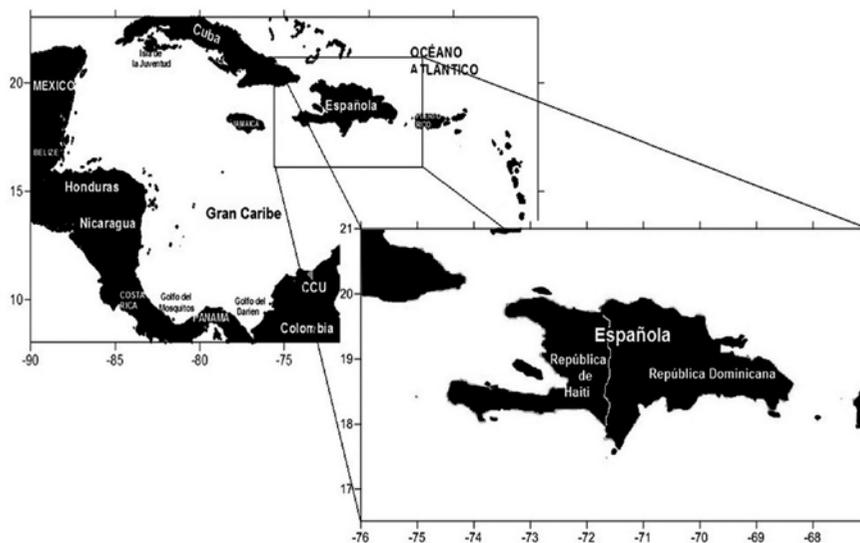


Figura 1. Área de estudio. Isla de Santo Domingo, también conocida como La Española y su ubicación en el Gran Caribe. (Adaptado de Cañón-Páez, 2010).

Se creó la climatología anual y por escenarios temporada de no huracanes (diciembre-mayo), temporada de huracanes (junio-noviembre) para las variables Rrs412 nm, Rrs488 nm y Chla. Las variables de entrada para determinar la regionalización dinámica de la isla de Santo Domingo fueron Rrs412 nm y Rrs 488 con base en la SEOF1.

Las funciones empíricas ortogonales estandarizadas pueden definirse como una suma ponderada de coeficientes y variables estandarizadas; hay tantas funciones como variables se estén trabajando, pero "la SEOF1 es la que garantiza mejor combinación numérica de las variables" [3].

$$SEOF_1 = (b_{1ZA} * ZA) + (b_{1ZB} * ZB) + (b_{1ZC} * ZC) + \dots + (b_{1ZN} * ZN) \quad (1)$$

Donde,

b_{1ZA} , b_{1ZB} , b_{1ZC} y b_{1ZN}

Son los coeficientes de la SEOF1 que se obtienen mediante la solución ortogonal de la matriz de correlación de Pearson.

ZA, ZB, ZC y ZN

Son las variables estandarizadas.

Las variables se estandarizan para trabajar con las anomalías de las variables expresadas en desviaciones estándar (SD). Para estandarizar las variables se utilizó la transformación Z, que viene dada por:

$$Z = \frac{(X_i - \bar{X})}{SD_x} \quad (2)$$

Donde,

X_i Es el dato

\bar{X} Es el promedio

SD_x Es la desviación estándar de los datos

"La transformación Z se caracteriza porque no afecta el patrón de distribución de los datos" [3].

Se establecieron 30 estaciones en pixeles representativos de las regiones dinámicas (Fig. 2) para clasificarlas con base en el promedio de la concentración de Chla y se clasificaron como oligotróficas (concentración de Chla menor que 0.2 mg/m³), mesotróficas (concentración de Chla mayor o igual que 0.2 mg/m³ y menor que 2.0 mg/m³), y eutróficas (concentración de Chla mayor o igual que 2.0 mg/m³).

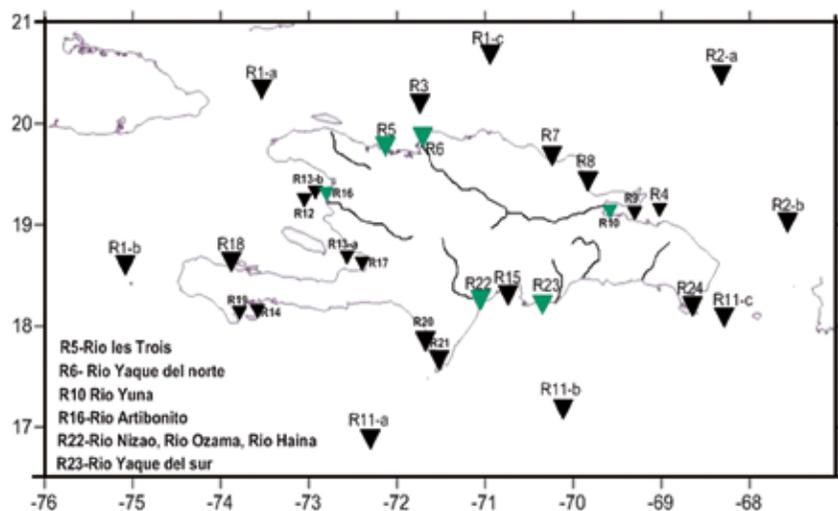


Figura 2. Ubicación de las estaciones en la zona de estudio (triángulo), las que tienen triángulo verde indican que son estaciones influenciadas por descarga de ríos.

RESULTADOS

La mejor combinación lineal de las variables reflectancias satelitales Rrs412 y Rrs488 a través de la SEOF1 acotada a ± 4 desviaciones estándar, definió regiones dinámicas en las aguas circundantes de la isla de Santo Domingo, logrando explicar el 98.6 % de la variabilidad de los datos. El alto porcentaje de variabilidad explicado indica que las variables de entrada son una herramienta efectiva para definir regiones y sus fronteras dinámicas en zonas que presentan baja variabilidad de chl a y TSM.

La regionalización dinámica de la isla de Santo Domingo permitió identificar dos (02) dominios, Atlántico y Caribe. En el dominio del Atlántico se identificaron dos (02) provincias, una (01) oceánica y una (01) costera. La provincia oceánica presentó dos (02) regiones: Atlántica de Canal (R1) y Flujo de los Alisios (R2). En la provincia costera se identificaron dos (02) regiones: Transición Norte (R3) y Monte Cristi-Miches (R4); también se identificaron dos (02) subprovincias: ATLES y Samaná. En la subprovincia ATLES se identificaron cuatro (04) regiones: Bahía Fuerte (R5), Buen Hombre (R6), Bahía Príncipe (R7) y Nigua-Terrenas (R8). En la subprovincia de Samaná se identificaron dos (02) regiones: Sabana de la Mar (R9) y Los Haitises (R10) (Fig. 3).

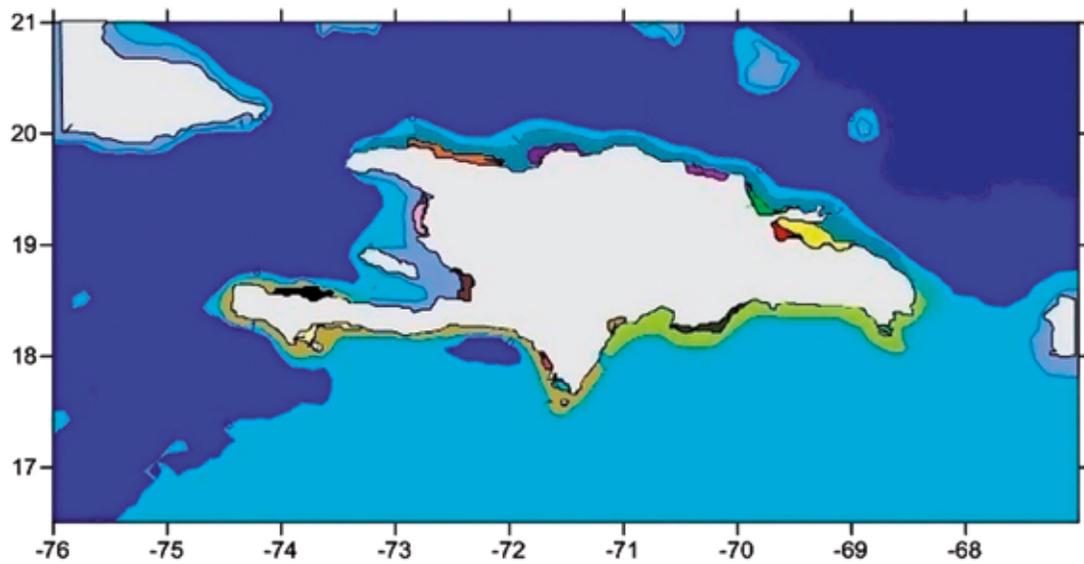
En el dominio del Caribe se definieron una (01) provincia oceánica, cuatro (04) provincias y tres (03) subprovincias costeras. En la provincia oceánica se identificó la región Gran CARES (R11). Las provincias costeras fueron: Gonave (R12), Tierra Negra (R13), Los Cayos (R14) y Catalina (R15). En la subprovincia Artibonito se identificaron dos (02) regiones: Gonaives (R16) y Puerto Príncipe (R17). En la subprovincia Petite-Juancho se identificaron cuatro (04) regiones: Cayemite (R18), Puerto Salud (R19), Bahía de las Águilas (R20) y Beata (R21). En la subprovincia Enriquillo-Punta Cana se identificaron tres (03) regiones: Yaque del Sur (R22), Palenque (R23) y Saona (R24) (Fig. 3).

Con base en el promedio de la concentración de Chla en las 30 estaciones para la serie de tiempo mensual junio 2002-noviembre 2013 para la isla de Santo Domingo, se identificaron siete (07) regiones oligotróficas (R1, R2, R3, R11, R12, R13 y R18), doce (12) regiones mesotróficas (R4, R5, R7, R8, R14, R15, R16, R17, R19, R20, R22 y R23) y cinco (05) eutróficas (R6, R9, R10, R21 y R24) (Fig. 4).

Una descripción global de las regiones dinámicas del dominio del Atlántico demuestra que la región más oligotrófica fue Vientos de los Alisios (R2), con una concentración promedio de Chla de 0.05755 mg/m^3 ; la región más mesotrófica fue Bahía Fuerte (R5), con una concentración promedio de Chla de 1.62014 mg/m^3 , y la más eutrófica fue la región Los Haitises (R10), con una concentración promedio de Chla de 4.90328 mg/m^3 . En el dominio del Caribe la región más oligotrófica fue Cayemite (R18), con una concentración promedio de Chla de 0.12744 mg/m^3 ; la región más mesotrófica fue Bahía de las Águilas (R20), con una concentración promedio de Chla de 1.35059 mg/m^3 , y la más eutrófica fue la región Saona (R24), con una concentración promedio de Chla de 3.91919 mg/m^3 . El análisis anterior indica que las regiones dinámicas del dominio del Atlántico son más oligotróficas que las regiones dinámicas del dominio del Caribe (Tabla I).

En temporada de no huracanes se observó una mayor influencia oceánica en el Caribe. Lo anterior se evidenció en una disminución espacial de las regiones costeras de este dominio. En el dominio del Atlántico, la región Atlántica de Canal presenta una disminución espacial en el suroeste de la isla, retirándose hasta la zona comprendida entre el canal de Jamaica y canal de los Vientos; esta misma región incurre en forma de chorro al canal de la Mona en el este de la isla. La región Viento de los Alisios presentó un leve aumento espacial; se apreció aumento espacial general de todas las regiones costeras lo que indica que para el escenario estacional temporada de no huracanes el dominio del Atlántico está dominado por influencia costera (Fig. 5).

En el escenario de variabilidad estacional temporada de huracanes se apreció en un aumento espacial significativo de todas las regiones costeras del dominio del Caribe. Las provincias costeras Los Cayos (R14) y Catalina (R15) se unen en una gran provincia costera (Cayo-Catalina). Lo anterior indica que en este dominio existe una marcada influencia costera en temporada de huracanes. En el dominio del Atlántico, la región atlántica de canal (R1) aumenta su dimensión espacial e incurre en el Caribe suroeste de la isla, en la parte este R1 se retira del canal de la Mona; la región Vientos de los Alisios (R2) disminuye espacialmente. Todas las regiones costeras para este dominio presentan disminución espacial, lo que demuestra una mayor influencia oceánica para este escenario (Fig. 5).



Regionalización Dinámica de las aguas circundantes de la isla Santo Domingo

Dominio del Atlántico		Dominio del Caribe	
Provincia Oceanica	<ul style="list-style-type: none"> Atlántica de canal Flujo de los alisios 	Provincia Oceanica	<ul style="list-style-type: none"> Gran CARES
Provincia Costera	<ul style="list-style-type: none"> Transición norte Monte cristi-Miches 	Provincia Costera	<ul style="list-style-type: none"> Golfo de gonave Tierra negra Los cayos Catalina
Subprovincia Atlas	<ul style="list-style-type: none"> Bahía fuerte Buen hombre Bahía principe Nagua-Terrenas 	Subprovincia Artibonito	<ul style="list-style-type: none"> Gonaives Puerto Principe
Subprovincia Samaná	<ul style="list-style-type: none"> Sabana de la mar Los haitises 	Subprovincia Petite-Juancho	<ul style="list-style-type: none"> Cayemite Puerto salud Bahía de las águilas Beata
		Subprovincia Enriquillo-Punta Cana	<ul style="list-style-type: none"> Yaque del sur Palenque Saona

Figura 3. Regionalización dinámica de la isla de Santo Domingo.

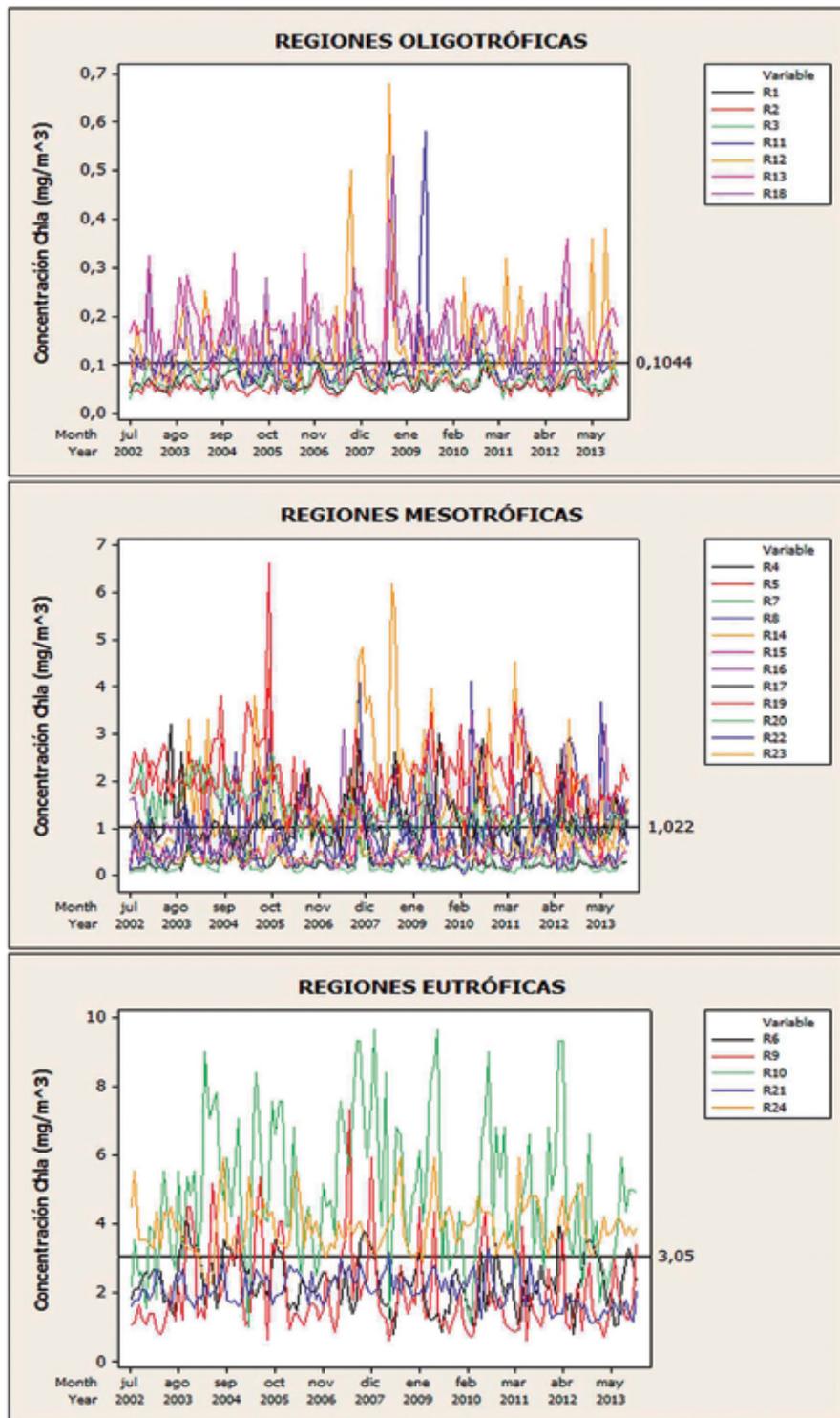


Figura 4. Series de tiempo para las regiones oligotróficas, mesotróficas y eutróficas en la isla de Santo Domingo. Serie de tiempo mensual junio 2002-noviembre 2013 de las 30 estaciones. La línea continua negra indica el valor promedio.

En la Figura 6 se ilustra la descripción general de las regiones dinámicas de la isla de Santo Domingo por dominios.

Las isoclinas acotadas a ± 4 desviaciones estándar de la SEOF1 para febrero de 2005, evidenciaron la presencia de las siguientes estructuras oceanográficas superficiales de mesoescala en la zona de estudio (Fig. 7). Dos remolinos ciclónicos (B y C): el remolino B en la zona noreste de la isla frente a la región Nagua-Terrenas (R8) y el C en la parte suroeste de la isla frente a la provincia costera Los Cayos (R14),

ambos con desplazamiento hacia el oeste de la isla. Además, se evidenció la presencia de un remolino anticiclónico (F) en la parte sureste de la isla entre las regiones Palenque (R23) y Saona (R24), y el mismo se desplaza con dirección este. Se observaron tres filamentos (A, D y E): el filamento A se ubica en la parte noroeste de la isla y se desprende de la región de Buen Hombre (R6); el filamento D se encuentra en la intrusión de la región Atlántica de Canal (R1) en el canal de la Mona, finalmente el filamento C se observa proceder de la parte más sur de la zona de estudio.

Tabla I. Clasificación general de todas las regiones dinámicas identificadas para la isla de Santo Domingo. (Adaptado de [4]).

Región	Clasificación de las regiones encontradas con la base en la concentración promedio de Chla (2002-2013)-Sensor MODIS			
	Min	Max	Promedio	Condición
R1	0.03	0.16	0.06289	Oligotrófica
R2	0.03	0.09	0.05755	Oligotrófica
R3	0.03	0.15	0.07277	Oligotrófica
R4	0.09	1.91	0.27562	Mesotrófica
R5	0.24	6.61	1.62014	Mesotrófica
R6	0.8	4.22	2.31686	Eutrófica
R7	0.04	1.14	0.24346	Mesotrófica
R8	0.03	4.1	0.61671	Mesotrófica
R9	0.59	7.33	2.02623	Eutrófica
R10	0.99	9.66	4.90328	Eutrófica
R11	0.04	1.4	0.18858	Oligotrófica
R12	0.05	0.68	0.12854	Oligotrófica
R13	0.04	0.51	0.17801	Oligotrófica
R14	0.19	1.17	0.44956	Mesotrófica
R15	0.15	2.04	0.47817	Mesotrófica
R16	0.59	3.55	1.42722	Mesotrófica
R17	0.42	3.2	1.18394	Mesotrófica
R18	0.04	0.53	0.12744	Oligotrófica
R19	0.99	4.37	1.99328	Mesotrófica
R20	0.72	2.6	1.35059	Mesotrófica
R21	1.1	3.31	2.07854	Eutrófica
R22	0.26	4.52	1.03131	Mesotrófica
R23	0.51	6.17	1.59036	Mesotrófica
R24	2.26	5.96	3.91919	Eutrófica

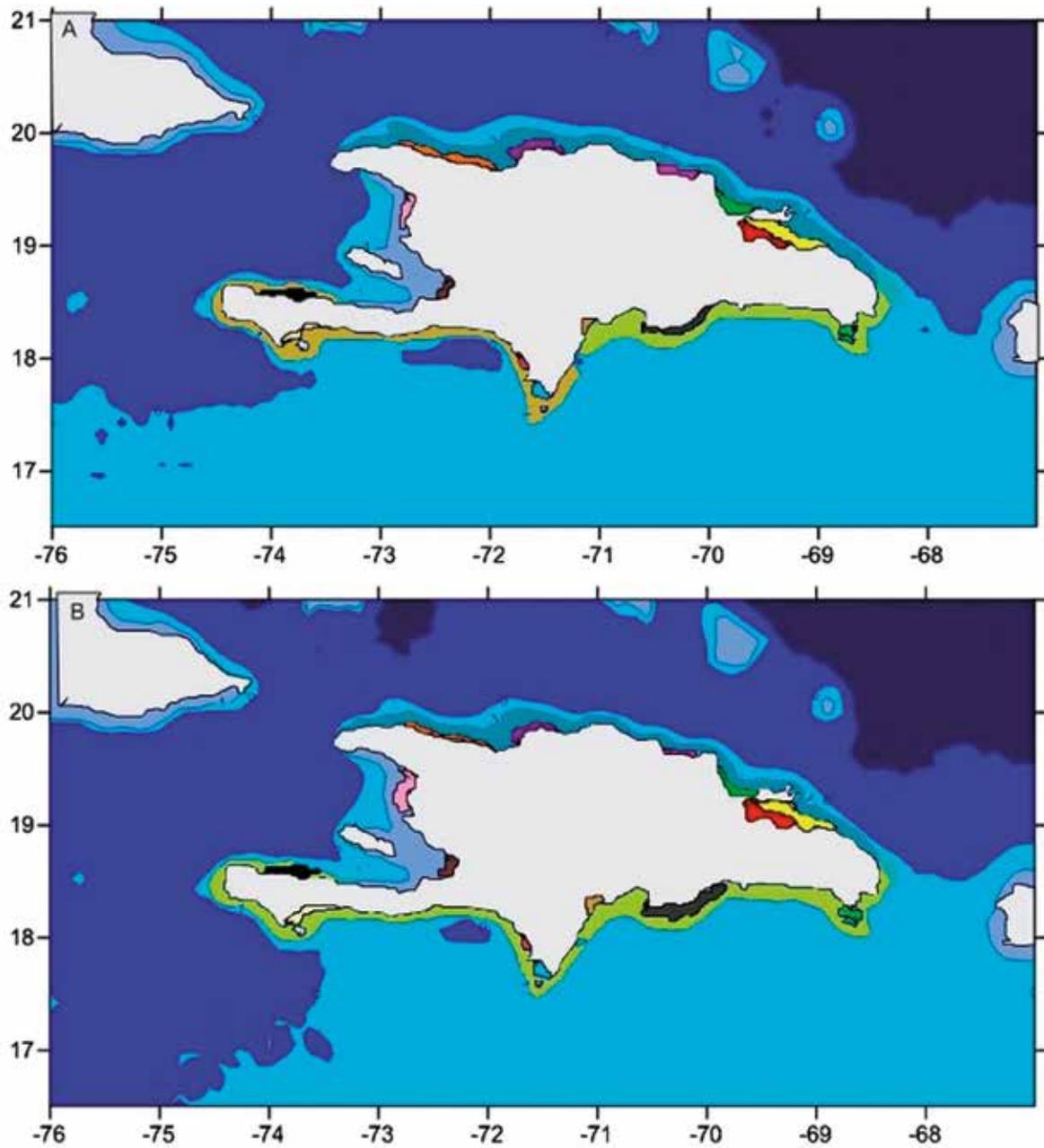


Figura 5. Variabilidad temporal de las regiones dinámicas identificadas en la isla de Santo Domingo. A-escenario de variabilidad estacional temporada de no huracanes. B- escenario de variabilidad estacional temporada de huracanes.

Dominio del Atlántico		Dominio del Caribe	
Provincia Oceanica	R-1 R-2	Provincia Oceanica	R-11
Provincia Costera	R-3 R-4	Provincia Costera	R-12 R-13 R-14 R-15
Subprovincia Atles	R-5 R-6 R-7 R-8	Subprovincia Artibonito	R-16 R-17
Subprovincia Samaná	R-9 R-10	Subprovincia Petite-Juancho	R-18 R-19 R-20 R-21
Regiones Dinámica por escenarios:		Subprovincia Enriquillo-Punta Cana	R-22 R-23 R-24
A-Temporada no huracanes			
B-Temporada de huracanes			

Figura 6. Descripción general de todas las regiones dinámicas identificadas para la isla de Santo Domingo por dominios. Los colores de la tabla están correlacionados con la representación gráfica de las regiones dinámicas de la Figura 4, A-escenario de variabilidad estacional temporada de no huracanes. B- escenario de variabilidad estacional temporada de huracanes.

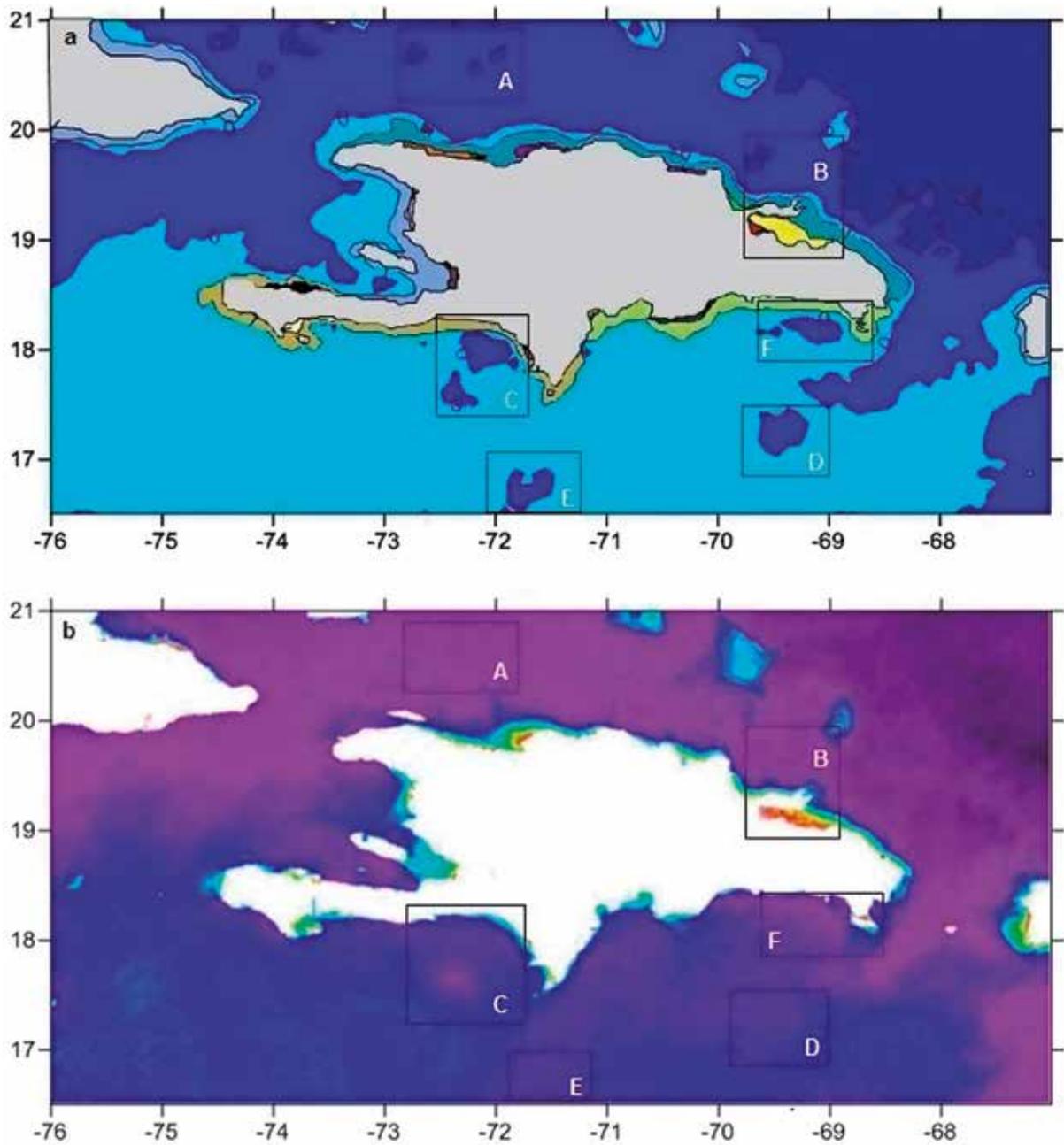


Figura 7. Estructuras oceanográficas de mesoescala definidas a partir de la SEOF1 para febrero de 2005. A, D y E son filamentos, B y C remolinos ciclónicos, F remolino anticiclónico.

DISCUSIÓN

“La Clorofila satelital y la temperatura superficial del mar satelital han sido variables de entrada para establecer regionalizaciones dinámicas” [5-8]. Sin embargo, estas variables no definen regiones ni sus fronteras dinámicas en zonas con baja variabilidad de Chla y TSM. En áreas que presentan las condiciones antes descritas, Callejas *et al* [9] propuso las variables radianzas normalizadas nLw412 y nLw488 para regionalizar áreas sin gradiente significativo de Chla y TSM. Si bien Cañón [10] regionalizó el Gran Caribe con las variables anteriormente propuestas, en esta investigación se utilizaron las variables reflectancias satelitales Rrs412 y Rrs488, teniendo en cuenta que dichas variables son la base el cálculo de las radianzas normalizadas en el sensor MODIS [11].

Regionalizaciones dinámicas como la realizada por Cañón [10], a 4 km de resolución espacial para el Gran Caribe, definen procesos a gran escala; pero no cuentan con el suficiente detalle en la escala espacial para apreciar procesos costeros locales de una zona particular. En cambio Callejas *et al* [9] regionalizó dinámicamente el golfo de México a 1 km de resolución espacial, lo que le permitió apreciar la dinámica local. Teniendo en cuenta lo anterior y que la zona de estudio no es muy grande, se seleccionó una resolución espacial de 1 km para esta aproximación.

En las aguas circundantes de la isla de Santo Domingo se definieron 24 regiones dinámicas distribuidas en dos dominios (Atlántico y Caribe). Hasta ahora en la franja del Atlántico de la isla no se habían realizado aproximaciones de regionalización a mesoescala. Con base en lo anterior esta investigación puede ser usada como guía para conocer la dinámica espacial de toda la costa norte de la isla de Santo Domingo.

En el dominio del Caribe, Cañón [10] definió una gran región oligotrófica para toda la costa sur de la isla que señaló como La Española. Dicha aproximación se realizó con una resolución espacial de 4 km que no permitió apreciar los procesos costeros propios de la isla de Santo Domingo. La resolución espacial de 1 km usada en esta investigación permitió definir 14 regiones dinámicas (8 mesotróficas, 4 oligotróficas y 2 eutróficas), clasificando la costa sur de isla de Santo Domingo como mesotrófica, con una concentración promedio de 1.162 mg/m³. Lo anterior concuerda con la clasificación general de

Cañón [10], quien definió el Gran Caribe como mesotrófico.

La plasticidad de las regiones dinámicas en zonas con baja variabilidad de Chla y TSM ha sido definida por Callejas *et al* [9] para el golfo de México, y Cañón [10] para el Gran Caribe, planteando escenarios de variabilidad estacional temporada de no huracanes-temporada de huracanes. La isla de Santo Domingo se encuentra en el centro del Caribe, esto la hace propensa a ser afectada por huracanes y tormentas tropicales. Durante la temporada ciclónica del Atlántico, en el periodo comprendido entre 1995 y 2013 se han formado 136 huracanes y 165 tormentas tropicales [12]; entre 1997 y 2009, 25 huracanes, y diez tormentas tropicales se han desplazado directamente por el Caribe [13]. Por lo anterior se consideraron en esta investigación los escenarios de variabilidad estacional anteriormente descritos.

En la zona norte de la isla las regiones dinámicas mostraron un aumento espacial en temporada de no huracanes, revelando predominancia costera y por el contrario, en temporada de huracanes destacó una fuerte influencia oceánica.

En la zona del Caribe, Cañón [10] definió la plasticidad de la región La Española (costa sur de la isla de Santo Domingo) con aumento espacial en temporada de no huracanes y disminución en temporada de huracanes. Lo anterior contrasta con esta investigación que demostró una fuerte influencia oceánica en temporada de no huracanes mostrando una disminución espacial de las regiones dinámicas costeras de esta parte de la isla. En temporada de huracanes se apreció en un aumento espacial de las regiones costeras, lo anterior se puede asociar al aumento de la descarga de los ríos producto de las precipitaciones. Esta notable diferencia entre la plasticidad de las regiones dinámicas podría ser explicada por la escala espacial de 4 km escogida por Cañón [10], debido a que la misma no proporciona el detalle suficiente para apreciar los procesos locales propios de la isla de Santo Domingo.

La ubicación espacial de la isla de Santo Domingo hace que sus aguas se vean sometidas a condiciones dinámicas extremas. Por un lado se observa una estación húmeda comprendida dentro de la temporada de huracanes que aumenta el caudal de los ríos e imprimen fuertes vientos en la capa superficial del océano. En contraste, la estación seca presenta vientos suaves y el caudal de los ríos es mínimo [14].

Las condiciones anteriores permiten apreciar una marcada diferencia en las regiones dinámicas encontradas de acuerdo al escenario planteado.

En la regionalización dinámica del golfo de México [9] identificó las estructuras oceanográficas superficiales de mesoescala mediante la SEOF1 acotada a ± 4 desviaciones estándar del mes más despejado de la serie. Aplicando la misma metodología para esta investigación se seleccionó febrero de 2005, en el que se identificaron tres (03) remolinos y tres (03) filamentos; para identificar el giro y dirección de dichas estructuras se elaboraron compuestas escalonadas a partir de los nueve (09) días más despejados del mes.

La isla de Santo Domingo tiene gran diversidad marina, sobre todo en sus parques submarinos y santuarios de mamíferos marinos [15-17]; sin embargo, no cuenta con un centro de investigación en materia de Oceanografía. Actualmente no se tienen datos *in situ* de parámetros físicos como temperatura y salinidad. La regionalización dinámica presentada en esta investigación permite tener una idea global de la distribución de biomasa fitoplanctónica de las aguas circundantes de la isla de Santo Domingo y puede ser usada como criterio para establecer mecanismos que aseguren el buen manejo de los recursos marinos de la isla.

CONCLUSIONES

Se establecieron 24 regiones dinámicas en las aguas circundantes de la isla de Santo Domingo mediante la mejor combinación lineal de las variables Rrs412 y Rrs488. De las regiones encontradas, tres fueron oceánicas y 21 costeras, mostrando que la dinámica de la zona de estudio está ligada a procesos costeros.

Con base en la concentración de Chla promedio se determinó que un total de siete (07) regiones son oligotróficas, doce (12) mesotróficas y cinco (05) eutróficas, lo que permitió inferir que las aguas circundantes de la isla de Santo Domingo pertenecen principalmente del dominio mesotrófico.

El análisis de la variabilidad estacional de las regiones dinámicas encontradas evidenció una marcada variación espacial de las mismas, lo que demuestra que están sujetas a la influencia costera u oceánica que caracteriza cada escenario. Por lo anterior, se deduce que la zona de estudio presenta una marcada influencia estacional

que modula el comportamiento espacial de las regiones y sus fronteras dinámicas.

Esta investigación puede ser tomada como referencia para establecer sistemas de monitoreo destinados al estudio de la oceanografía local, representando un significativo aporte para los países que comparten la isla de Santo Domingo.

LITERATURA CITADA

- [1] IOCCG. Partition of the Ocean into Ecological Provinces: Role of Ocean-Colour Radiometry. Dowell M y Platt T (eds.), Reports of the International Ocean-Colour Coordinating Group 2009a. No. 9, IOCCG, Dartmouth, Canada.
- [2] Millán-Núñez R, Santamaría del Ángel E, González-Silvera A. Methods for the regionalization of the ocean zone through biologic aspects. 2006. In: Córdova, Rosete, Enríquez y Fernández (Comp.). Marine ecologic ordering. Thematic vision of regionalization.
- [3] Santamaría del Ángel, González-Silvera A, Millán-Núñez R, Callejas-Jiménez ME, Cajal-Medrano R. Determining Dynamic Biogeographic Regions using Remote Sensing Data. En prensa; 2011. 19 pp.
- [4] Callejas-Jiménez A. Regionalización dinámica mediante radianzas normalizadas. Tesis que cubre parcialmente los requisitos de tesis doctoral. Universidad Autónoma de Baja California. Facultad de Ciencias Marinas 2010. ISSN 0278-4343.
- [5] Santamaria del Ángel E, Álvarez-Borrego S, Müller-Karger FE. Gulf of California biogeographic regions based on coastal zone color scanner imagery. J Geophys Res Oceans 1978-2012. 1994;99(C4):7411-21.
- [6] González-Silvera A, Santamaría del Ángel VMT, García CAE, García R, Millán-Núñez R, Muller-Karger F. Biogeographically regions of de tropical and subtropical Atlantic Ocean of South America; Clasification based on pigment (CZCS and chlorophyll-a (SeaWIFS) variability 2004. Continental Shelf Research. 24:983-1000.
- [7] González-Silvera A, Santamaría del Ángel E, Millán-Núñez R. Spatial and

- temporal variability of the Brazil-Malvinas confluence and the La Plata Pluma as seen by SeaWiFS/NASA and AVHRR imagery. En: *Journal of Geophysical Research* 2006;111:C06010.
- [8] Flores de Santiago FJ, Santamaría de Ángel E, González-Silvera A, Martínez-Díaz de León A, Millán-Núñez R, Kovacs J. Assessing dynamics micro-regions in the Great Islands of the Gulf of California based on MODIS aqua imagery products. En: *Coastal Ocean Remote Sensing*, edited by Robert J. Frouin, Zhong Ping Lee, Proc. of SPIE Vol. 6680, 668010-1. 2007. DOI: 10.1117/12.732574.
- [9] Callejas-Jiménez M, Santamaría del Ángel E, González-Silvera A, Millán-Núñez R, Cajal-Medrano R. Dynamic Regionalization of the Gulf of Mexico based on normalized radiances (nL_w) derived from MODIS-Aqua. *Cont Shelf Res* 2012;37:8–14.
- [10] Cañón-Páez A. Regionalización dinámica del Gran Caribe basada en productos espectro-radiométricos satelitales. Tesis de Maestría. Escuela Naval Almirante padilla. Oceanografía Física. 2010.
- [11] IOCC. Guide to the Creation and Use of Ocean-Colour, Level-3, Binned Data Products. Antoine D (ed.), Reports of the International Ocean-Colour Coordinating Marine Ecosystem Characterization. Dynamic Biogeographic Regions Using Remote Group, No. 4, IOCCG, Dartmouth, Canada; 2004. Pp. 23-29.
- [12] NOAA NW Service. Hurricane Season Summaries and Reports. [internet] NOAA, National Weather Service. 2014 [Citado mayo 8 2014]; Disponible en <http://www.nhc.noaa.gov/>.
- [13] Unisys Weather. Hurricane/Tropical Data for Atlantic. [internet]. Unisys. 2009 [Citado mayo 11 2014]. Disponible en <http://weather.unisys.com/hurricane/atlantic/2009/>.
- [14] Marcano J. Mi País [Internet]. República Dominicana. 2009 [Citado mayo 22 2014]. Disponible en: <http://www.jmarcano.com/mipais/geografia/hispaniola.html>.
- [15] Herrera-Moreno A, Betancourt L. Especies de equinodermos recientes (Echinodermata: Crinoidea, Asteroidea, Ophiuroidea, Echinoidea y Holothuroidea) conocidas para La Hispaniola. *Cienc Soc Univ INTEC St Domingo*. 2004;29:506–33.
- [16] Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. IV Informe Nacional de Biodiversidad República Dominicana. Perspectivas de la situación, tendencias y amenazas a la diversidad biológica. Sistema Nacional de Áreas Protegidas. Febrero 2010. Pp. 26- 31.
- [17] Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Medio ambiente en cifras 2005-2011. [Internet] Mixtli Grafika EIRL, 2012. Disponible en <http://www.ambiente.gob.do/IA/Presentacion/Documents/MA-EN-CIFRAS-2005-2011-Dic2013.pdf>