

Puerto Rico

Islas
Virgenes
Británicas

Anguilla

Islas Virgenes
Estadounidenses

San Cristóbal
y Nieves

Antigua y
Barbuda

Montserrat

Guadalupe



ISLA DE AVES

Dominica

Martinica

Santa Lucía

San Vicente y
las Granadinas

Granada

Wolfgang Scherer G.



ACADEMIA DE CIENCIAS
FÍSICAS, MATEMÁTICAS Y NATURALES

Venezuela

Trinidad
y Tobago

Wolfgang Scherer G.

Isla de Aves

Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales
Caracas, 2024



© Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales, 2024

Publicado por la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales
Palacio de las Academias, av. Universidad, apartado postal 1421, Caracas 1010-A,
Venezuela

Colección de Trabajos de Incorporación

Hecho el depósito de ley

Depósito legal: DC2024000107

ISBN: 978-980-6195-89-9

Comisión Editora:

Deanna Marcano (coordinadora)

Ismardo Bonalde

Gioconda San Blas

Coordinación de edición:

Pamela Navarro

Corrección de texto:

Pamela Navarro y Deanna Marcano

Diagramación y diseño gráfico:

María Alejandra Ramírez

Diseño de Portadas:

María Alejandra Ramírez

Imágenes:

Portada: Grisel Velásquez. Unidad de Sistemas de Información Geográfica, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (UniSig-IVIC).

Portadillas:

Pág. 1: (UniSig-IVIC)

Pág. 9: Detalle Carta INT 400. *Bundesamt für Seeschifffahrt*, Hamburg, 1994.

Pág. 22: Veronidae, CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0>), via Wikimedia Commons.

Pág. 63: Base Científico-Naval Simón Bolívar. De Stratokumululus - Trabajo propio, CC BY-SA 4.0, (<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=123224965>)

Pág. 69: Siim1234567 - Own work, CC BY-SA 4.0 (<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=69192184>)

Pág. 81: *Chelonia mydas*. Wirestock en Freepik.

Pág. 86: Fondo marino (<https://pxhere.com/es/photo/104189>)

Pág. 96: *Sterna fuscata* (pixabay.com)

Ninguna parte de esta obra puede ser modificada, pero es de libre acceso para su reproducción y transmisión en cualquier forma o por cualquier medio, siempre que ello vaya precedido con el nombre del autor y de la Academia de Ciencias Físicas Matemáticas y Naturales.

Índice general

Resumen	IX
Prólogo	X
1. Introducción	1
1.1 Situación geográfica	1
1.2 Importancia estratégica y delimitación marina	1
1.2.1 Estados Unidos de Norteamérica (Puerto Rico)	2
1.2.2 Reino Unido de los Países Bajos (Aruba, Curacao y Bonaire)	2
1.2.3 República Francesa (Martinica y Guadalupe)	2
1.2.4 República de Trinidad y Tobago	3
1.2.5 Delimitaciones pendientes	3
1.3 Refugio de fauna	4
1.3.1 Decreto 1029	4
1.3.2 Resolución 129	5
1.3.3 Tortuga verde (<i>Chelonia mydas</i>)	6
2. Geografía	10
2.1 Dimensiones de Isla de Aves	10
2.2 Cartografía histórica	12
2.3 Erosión marina y atmosférica	14
2.4 Nombres de la isla	14
2.5 Controversia sobre el banco de arena con Saba y Dominica	15
2.6 Corrientes superficiales	17
2.7 Temperatura del mar	18
2.8 Huracanes	18
2.9 Terremotos y volcanes	19
3. Geología	23
3.1 Situación General en la placa del Caribe	23
3.1.1 Plataforma marina de Isla de Aves	24
3.2 Geofísica	26
3.2.1 Gravimetría	26
3.2.2 Magnetometría	28
3.3 Estratigrafía	28
3.3.1 Geología de superficie	28
3.3.2 Léxico estratigráfico de Venezuela	33
3.3.3 Geología del subsuelo	28
3.3.3.1 Perforaciones del DSDP	28
3.3.3.2 Dragados en la prominencia de Aves	40
3.4 II Expedición Científica Isla de Aves – diciembre 2000	41
3.4.1 Introducción y objetivos	41

3.4.2 Actividades científicas en la isla de Aves	42
3.4.3 Observaciones generales sobre el viaje	44
3.4.4 Observaciones geológicas generales	44
3.4.5 Análisis de las muestras Proyecto PDVSA-Intevp A-532	45
3.4.5.1 Toma de muestras	45
3.4.5.2 Métodos de análisis	47
3.4.5.3 Petrografía y sedimentología	47
3.4.5.3.1 Rocas ígneas	47
3.4.5.3.2 Carbones	49
3.4.5.3.3 Rocas sedimentarias	49
3.4.5.3.4 Rocas de playa	51
3.4.5.3.5 Fosfatos	51
3.4.5.3.6 Arenas de playa del Holoceno	51
3.4.5.4 Micropaleontología	51
3.4.6 Geoquímica	54
3.4.6.1 Petrografía orgánica y reflectancia de vitrinita	54
3.4.6.2 Evidencias de hidrocarburos	56
3.4.6.3 Relación pristano/fitano	58
3.4.6.4 Análisis químicos elementales	58
4. Estabilidad geológica y reducción de superficie de Isla de Aves	64
4.1 Antecedentes históricos	64
4.2 Evaluación técnica	66
4.3 Peligros para la existencia de Isla de Aves	67
5. Soluciones propuestas	70
5.1 Recuento histórico de soluciones	70
5.2 Medidas remediales biológicas-ecológicas	70
5.3 Medidas remediales ingenieriles	71
5.4 Medidas remediales promisorias	71
5.4.1 Siembra de mangle	71
5.4.2 Succión de arena submarina	73
5.5 Arrecifes artificiales	74
5.5.1 Arrecife de campana – Reef ball	74
5.5.2 Electro-cementación	77
6. Proyecto de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales para preservar el hábitat de la tortuga <i>Chelonia mydas</i>	82
6.1 Objetivo	82
6.2 Metodología	82
6.2.1 Preservación del terreno existente	82
6.2.2 Preservación y reparación del arrecife frangeante	83
6.2.3 Restitución de playa perdida	83
6.3 Resultados esperados	84
6.4 Financiamiento	85
7. Literatura sugerida	87
Artículos de prensa	94
8. Anexos. Copia del Expediente No. 52.824 de fecha 23 de junio de 1920	97

Lista de Figuras

Figura 1	Localización de Isla de Aves	1
Figura 2	Delimitación marina de Venezuela en 1999	3
Figura 3	Ciclo reproductivo de <i>Chelonia mydas</i>	6
Figura 4	Aves marinas y migratorias	8
Figura 5	Cartografía histórica de Isla de Aves	13
Figura 6	Reducción de tamaño según Schubert y González de Juana	13
Figura 7	Efectos del huracán Allen en 1980	14
Figura 8	Carta INT 400 del <i>Bundesamt für Seeschifffahrt</i> , Hamburg, 1994	16
Figura 9	Carta No. 25000 del defense <i>Mapping Agency</i> , EE. UU.	16
Figura 10	Corrientes superficiales en el mar Caribe	17
Figura 11	Temperatura de la superficie oceánica del mar Caribe	18
Figura 12	Paso del huracán David en 1979	19
Figura 13	Terremotos y volcanes activos en el Caribe oriental	20
Figura 14	Situación de Isla de Aves en la placa del Caribe	23
Figura 15	Batimetría de la plataforma de Isla de Aves	24
Figura 16	Sección geológica idealizada de Isla de Aves	25
Figura 17	Anomalías de Aire Libre e Intensidad Magnética Total	27
Figura 18	Mapa geológico de Zuloaga 1954	29
Figura 19	Mapa geológico de Maloney <i>et al.</i> 1968	30
Figura 20	Mapa geológico de Pantin 1972	31
Figura 21	Croquis de Isla de Aves de H. Sorino 1920	32
Figura 22	Remanentes de la «Caliza del Mástil»	34
Figura 23	Detalle litológico de la «Caliza del Mástil»	34
Figura 24	Localización de las perforaciones Site 30 y Site 148	38
Figura 25	Columna estratigráfica de la perforación 148	39
Figura 26	Localización de las muestras de dragados en la Prominencia de Aves	40
Figura 27	Mapa de muestras de la II Expedición Científica, diciembre 2000	43
Figura 28	Yacimiento de fosfato en Isla de Aves	45
Figura 29	Caliza fosfatada	45
Figura 30	Muestras de fragmentos de rocas encontrados en Isla de Aves	48
Figura 31	Secciones finas de rocas ígneas encontradas en Isla de Aves	50
Figura 32	Secciones finas de rocas sedimentarias encontradas en Isla de Aves	52
Figura 33	Evidencia de hidrocarburos. Cromatogramas de lutitas bituminosas, IAV-22 e IAV-30	55
Figura 34	IAV-32. Caliza fosilífera bituminosa del Cretácico	56
Figura 35	IAV-32. Detalle de un fósil y bitumen intersticial	57
Figura 36	Muestra IAV-32, cromatograma de la fracción saturada del extracto de la caliza cretácica bituminosa	57
Figura 37	Pronóstico del hundimiento de Isla de Aves	68
Figura 38	Siembra de mangle con tubo ranurado de PVC	72
Figura 39	Esquema de succión de arena y distribución por viento	73
Figura 40	Arrecife de campana y colonización de organismos marinos	76
Figura 41	Ejemplo de restitución de playa mediante arrecife de campana	77
Figura 42	Prueba piloto de electrodeposición en el muelle de La Guaira	78
Figura 43	Módulo de electrocementación con fuente de poder incorporada	79
Figura 44	Medidas bioecológicas e ingenieriles propuestas en Isla de Aves	83
Figura 45	Resultado esperado del «Proyecto de restitución de Isla de Aves»	84

Lista de Tablas

Tabla 1	Posiciones geográficas de Isla de Aves reportadas en la literatura	11
Tabla 2	Dimensiones de Isla de Aves reportadas en la literatura	11
Tabla 3	Relaciones de pristano/fitano en algunas muestras paleontológica (IAV) y muestras del proyecto DSDP	58
Tabla 4a	Elementos mayoritarios	60
Tabla 4b	Elementos minoritarios	61
Tabla 5	Factores que afectan la estabilidad geológica de isla de Aves	68
Tabla 6	Arrecifes artificiales	75

Isla de Aves

Wolfgang Scherer G.

Trabajo de Incorporación del autor al Sillón IX

Caracas, 6 de marzo de 2002

Nota Editorial. En el rescate de la producción científica y técnica de nuestro país, la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales procura hacer visible los trabajos de Incorporación a Individuo de Número de sus académicos que a ese fin otorguen su aprobación. Aunque este trabajo fue presentado en el año 2002, solo recientemente se publica por lo cual la información contenida puede no estar actualizada. Sin embargo, la Academia considera crucial este documento por cuanto en él se dan pautas, a través de recuentos históricos, documentales y científicos, para la consolidación de los límites del espacio marítimo de Venezuela, su soberanía nacional en el mar territorial, el suelo, el subsuelo y los recursos que en ellos se encuentren.

Resumen

De la existencia de Isla de Aves se derivan más de 150 000 km² de zona de exclusividad económica y mar patrimonial para Venezuela, con un rico potencial de yacimientos de gas e hidrocarburos. Desde 1953 se ha observado y documentado la disminución de superficie de la isla, la cual es afectada severamente por los huracanes tropicales del Caribe que barren periódicamente la zona.

Por su importancia estratégica, Isla de Aves ha sido visitada y estudiada por numerosos viajeros e investigadores, acumulando una extensa bibliografía científica. En este trabajo se recopila la información disponible y se analizan en detalle los resultados geológicos de la II Expedición Científica a Isla de Aves, realizada en diciembre del año 2000. Se documenta por primera vez el hallazgo de evidencias directas de la presencia de hidrocarburos en esta zona de la prominencia de Aves, y se comparan con perforaciones cercanas del *Deep Sea Drilling Project*.

También se presenta el proyecto de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales para la restitución progresiva de la isla al tamaño que tenía en 1887, cuando se hizo la primera cartografía tecnológica confiable. Este proyecto propone, entre otras medidas remediales de aplicación inmediata, el módulo de electro-cementación con fuente de poder incorporada, que actualmente está en fase experimental, evaluando diversas geometrías y flujos de corriente.

Es imperativo emprender de inmediato un programa vigoroso de reacondicionamiento, reconstrucción y afianzamiento de los arrecifes y sedimentos que constituyen la isla, como el diseñado por la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales, que se expone en este trabajo.

Prólogo

Isla de Aves es el bastión más septentrional de Venezuela en el mar Caribe; de su existencia se derivan 150 000 km² de mar territorial, plataforma continental y zona de exclusividad económica para Venezuela, la cual contiene abundante riqueza de pesca, minería y recursos de hidrocarburos.

Existe una larga, continua y profunda preocupación de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales (ACFIMAN) por la soberanía y defensa del Patrimonio Nacional en la dependencia federal Isla de Aves.

Los académicos Guillermo Zuloaga y William H. Phelps, cada uno experto destacado en su área de Geología y Ornitología respectivamente, plantearon en los años 50 del siglo pasado la necesidad de preservar Isla de Aves por el interés de Soberanía Nacional y de la conservación del ecosistema de aves y tortugas marinas, ya que es el único sitio de tierra firme en la vasta cuenca central del Caribe donde pueden depositar sus huevos y preservar la especie.

Entre 1968 y 1984 el Miembro Correspondiente Nacional Carlos Schubert estudió su geomorfología y elaboró una serie de interesantes mapas geológicos, y en 1998 los Académicos Federico Pannier y Eugenio de Bellard Pietri llamaron la atención de la Academia la repercusión desfavorable de la disminución de la superficie de la isla, el hábitat de la tortuga verde (*Chelonia mydas*) que allí se reproduce.

A finales de los años 90 y como consecuencia del creciente interés colectivo en esta materia, ACFIMAN conjuntamente con la Academia de Ciencias Políticas en la figura del entonces su presidente Simón Alberto Consalvi, presentaron sendas exposiciones a los ministros del Interior, Defensa y del Ambiente y Recursos Naturales, despertando el interés de las autoridades que culminó con la invitación a PDVSA-Intevep a participar en los estudios y búsqueda de soluciones.

Este trabajo resume los aspectos histórico-legales, cartográficos y geológico-ambientales derivados de este esfuerzo científico y propone soluciones

biológicas e ingenieriles para fortalecer y preservar la integridad de Isla de Aves. Fue presentado en el año 2002 como un trámite para la incorporación definitiva a Individuo de Número de la Academia del autor, según el Reglamento y la Ley de la misma.

Algunos aspectos relevantes y complementarios sobre la materia se encuentran en el Discurso de Incorporación al Sillón IX del autor y en el Discurso de Contestación del Académico Dr. J.M. Carrillo, publicados previamente en el Boletín ACFIMAN Volumen: LXVII, Número: 3-4, Año: 2007, Páginas: 65-74 y Volumen: LXVII, Número: 3-4, Año: 2007, Páginas: 75-79, respectivamente.

-63°37'15"

-63°37'10"

-63°37'5"

-63°37'

-63°36'55"

Introducción^N

15°40'20"

15°40'20"

15°40'15"

15°40'15"

15°40'10"

15°40'10"

15°40'5"

15°40'5"

15°40'

15°40'

15°39'55"

15°39'55"

-63°37'15"

-63°37'10"

-63°37'5"

-63°37'

-63°36'55"



1. Introducción

1.1 Situación geográfica

Isla de Aves es una Dependencia Federal venezolana situada en el mar Caribe, a 670 km al NE de Caracas; unos 520 km al norte de la isla de Margarita y aproximadamente a 200 km al oeste de Dominica, ver **Figura 1**. Sus coordenadas geográficas son $15^{\circ} 40' 23,7''$ de latitud norte y $63^{\circ} 36' 59,9''$ de longitud oeste. La isla es de forma alargada en sentido norte-sur, con su parte central más angosta en forma de una guitarra o de un hueso. Tiene en la actualidad 600 m de longitud en sentido norte-sur y 130 m en sentido este-oeste con una superficie de 4,2 hectáreas. Es la sede de la estación científica «Simón Bolívar» y cuenta con una población permanente de unos 20 oficiales, suboficiales y efectivos de la Armada venezolana y un número variable de científicos y personal de apoyo.

1.2 Importancia estratégica y delimitación marina

Isla de Aves es el bastión más septentrional de Venezuela en el mar Caribe; de su existencia se derivan más de 150 000 km² de mar territorial (patrimonial), plataforma continental y zona de exclusividad económica para Venezuela, la cual contiene abundante riqueza de pesca, minería y recursos de hidrocarburos.



Figura 1. Localización de Isla de Aves. La Isla de Aves está ubicada a 666 km del noreste del puerto de La Guaira. Es el punto más septentrional de Venezuela.

Mediante la promulgación de una Real Cédula el día 8 de septiembre de 1777, Isla de Aves queda sometida a la jurisdicción de la Capitanía General de Venezuela. El 30 de diciembre de 1854 el presidente José Gregorio Monagas envía una expedición armada en el buque «Trece de Diciembre» para desalojar a un grupo de ciudadanos norteamericanos que se dedicaban a la explotación del guano que cubría en el siglo XVIII, a la isla.

La Base Científico-Naval «Simón Bolívar» que funciona en Isla de Aves, fue creada el 2 de junio de 1978, mediante Decreto Presidencial No. M-1846. Adscrita al Ministerio de la Defensa, su guarda y custodia se le encomendó a la Armada, por intermedio de la Dirección de Hidrografía y Navegación, con sede en Cajigal, Caracas.

La soberanía venezolana de Isla de Aves fue ratificada por la reina española Isabel II en el Laudo Arbitral dictado el 30 de junio de 1865 y desde entonces se han producido diversos tratados de delimitación de áreas marinas y submarinas que reconocen explícitamente la soberanía de Venezuela sobre Isla de Aves (Estados Unidos de Venezuela, 1820-1900 a,b).

1.2.1. El «Tratado de Delimitación de Fronteras Marítimas entre la República de Venezuela y los Estados Unidos de América» –por Puerto Rico– fue firmado en la ciudad de Caracas por el entonces Ministro de Relaciones Exteriores de la República de Venezuela Dr. Simón Alberto Consalvi y el Secretario de Estado de los Estados Unidos de América Señor Cyrus Vance el 28 de marzo de 1978, ratificado por el Congreso Nacional de la República de Venezuela el día 4 de julio de 1978 y publicado en Gaceta Oficial No. 2342 (Extraordinario) del 14 de diciembre de 1978.

1.2.2. El «Tratado de Delimitación entre la República de Venezuela y el Reino de los Países Bajos» fue firmado en la ciudad de Willemstad, Curaçao, el 31 de marzo de 1978 por el entonces ministro de Relaciones Exteriores de Venezuela, Dr. Simón Alberto Consalvi, y en representación de su majestad la reina de los Países Bajos por el Dr. S.M.G. Rozendal, ministro y presidente de las Antillas Neerlandesas. Este tratado fue ratificado por el Congreso de la República de Venezuela el día 4 de julio de 1978 y publicado en Gaceta Oficial No. 2342 (Extraordinario) del 14 de diciembre de 1978.

1.2.3 El «Tratado de Delimitación entre el Gobierno de la República de Venezuela y el Gobierno de la República Francesa» fue firmado por el Plenipotenciario del Gobierno de la República de Venezuela, Dr. Gustavo Planchart Manrique y el secretario de Estado para Asuntos Extranjeros del gobierno de la República Francesa Dr. Olivier Stirn en la ciudad de Caracas el día 17 de julio de 1980.

1.2.4 El «Tratado entre la República de Venezuela y la República de Trinidad y Tobago sobre la Delimitación de Áreas Marinas y Submarinas» fue firmado en la ciudad de Caracas por el entonces presidente de la República de Venezuela, señor Carlos Andrés Pérez y el primer ministro de la República de Trinidad y Tobago Señor Arthur Napoleon Raymond Robinson el 18 de abril de 1990, ratificado por el Congreso Nacional de la República de Venezuela el día 25 de octubre de 1990 y publicado en Gaceta Oficial No. 34.588 del 6 de noviembre de 1990.

El acuerdo de delimitación entre la República de Venezuela y la República Dominicana data del 3 de marzo de 1979.

1.2.5 Delimitaciones pendientes

Las delimitaciones pendientes de las áreas marinas y submarinas se muestran en la **Figura 2** y son las siguientes: Dominicana, las del Reino Unido de la Gran Bretaña e Irlanda del Norte por sus colonias: Montserrat, Saint Christopher y Nieves, Santa Lucía, San Vicente y las Granadinas.

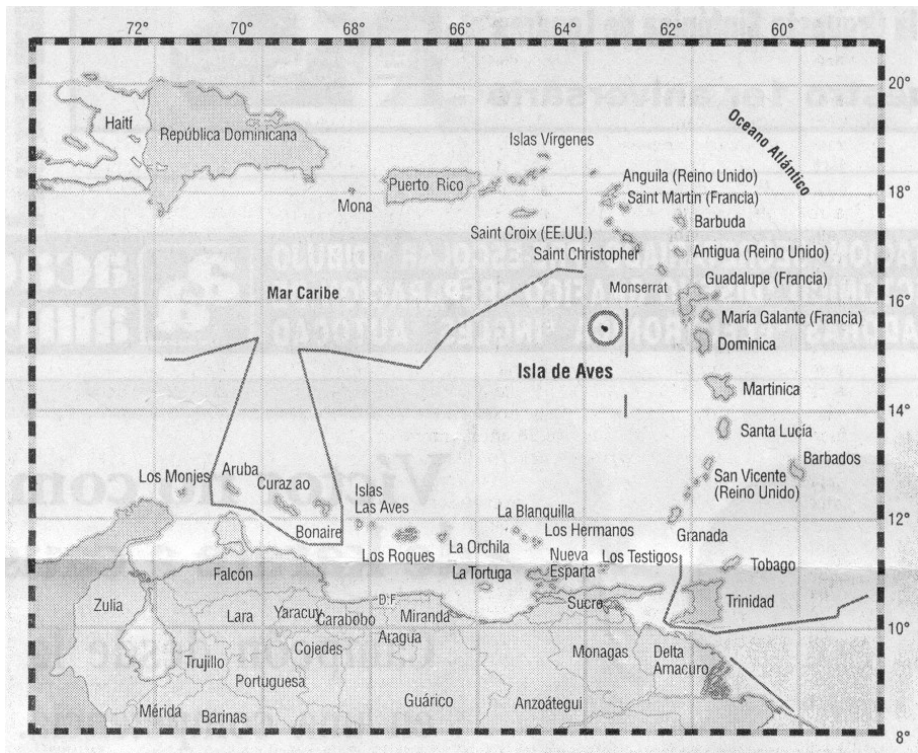


Figura 2. Delimitación marina de Venezuela en 1999. Fuente: El Nacional, 27-9-1999, p. A-5.

1.3 Refugio de fauna

Isla de Aves fue decretada Refugio de Fauna Silvestre según Decreto No. 1069 del 23 de agosto de 1972 del entonces presidente Rafael Caldera para preservar la tortuga verde (*Chelonia mydas*). Este Decreto fue complementado con la Resolución 129 del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, firmado por el entonces ministro Dr. Arnoldo José Gabaldón, Miembro Correspondiente Nacional de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales, por su importancia y por los efectos que genera para las futuras y posibles actividades de estabilización geológica de la isla se reproducen a continuación (*sic*).

1.3.1 Decreto N.º 1.029 (23-agosto-1972)

Rafael Caldera, Presidente de la República, en uso de la atribución que le confiere el artículo 34 de la ley de Protección a la Fauna Silvestre y de conformidad con la Ley Aprobatoria de la Convención para la Protección de la Flora, de la Fauna y de las Bellezas Escénicas Naturales de los países de América, en Consejo de Ministros.

Considerando:

Que la Isla de Aves constituye una de las áreas más importantes para el desoye de las tortugas verdes (*Chelonia mydas*) en el Mar Caribe; lo cual hace necesaria la preservación de su ambiente natural para la conservación de la especie;

Decreta:

Artículo 1º: Se declara Refugio de Fauna Silvestre el área que a continuación se describe: la Isla de Aves, Dependencia Federal ubicada en el Mar Caribe a los 15°40' 33" latitud Norte y 63°36' 27" longitud Oeste y la plataforma continental y el mar territorial correspondiente.

Artículo 2º: El Ministerio de Agricultura y Cria dispondrá todo lo relacionado a la vigilancia y conservación del mencionado Refugio de Fauna Silvestre.

Artículo 3º: El Ministerio de Relaciones Exteriores notificará la creación de dicho refugio a los organismos internacionales, de conformidad con la Convención para la Protección de la Flora y la Fauna y de las Bellezas Escénicas Naturales de los países de América.

Artículo 4º: los Ministros de Relaciones Exteriores y de Agricultura y Cria quedan encargados de la ejecución del presente decreto.

Dado en Caracas, a los veintitrés días del mes de Agosto de mil novecientos setenta y dos...

1.3.2 Resolución N.º 129 (20 Septiembre 1978) del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables

República de Venezuela -Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables- Despacho del Ministro. N.º 129. Caracas, 20 de Septiembre de 1978. 169' y 120°

De conformidad con el artículo 34 de la ley de Protección a la Fauna Silvestre y a los fines de conservación del Refugio de Fauna Silvestre "Isla de Aves" declarado por Decreto Nro 1069 del 23 de Agosto de 1972, este Despacho por disposición del ciudadano Presidente de la República,

RESUELVE:

UNICO: Además de la prohibición expresa de cazar en los Refugios de Fauna silvestre, contemplada en el numeral 2 del artículo 34 de la ley de Protección a la Fauna Silvestre, quedan prohibidas dentro del área descrita en el Decreto 1.069 del 23-08-1972, las actividades que a continuación se señalan:

1. Hacerse presente en la Isla de Aves y en el mar territorial correspondiente sin la autorización expresa de este Ministerio, salvo para funcionarios del Estado que en razón de las competencias legales que les son propias deban realizar actividades en el área.
2. Realizar construcciones de cualquier clase.
3. Producir ruidos molestos y encender luces cuya magnitud o frecuencia puedan perturbar a las aves, tortugas y demás animales que se refugien en la isla.
4. Depositar objetos de cualquier naturaleza, bien sea temporal o permanentemente.
5. Alterar los suelos.
6. Arrojar cualquier clase de desperdicios.
7. Arrojar y aplicar biocidas.
8. Destruir o alterar la vegetación.
9. Introducir o liberar cualquier tipo de animales.
10. Ejercer la pesca comercial y deportiva, quedando sometida a permiso previo de este Ministerio la pesca con fines científicos.

Comuníquese y publíquese,

ARNOLDO JOSÉ GABALDÓN

Ministro

En este refugio de fauna se han reportado, además de *Chelonia mydas* (tortuga verde) ver **Figura 3**, una fauna importante de aves migratorias y aves marinas que anidan en la isla. Entre las aves reportadas por Phelps (1953) se destacan reportado *Anous stolidus* (gaviota tiñosa), *Sterna fuscata* (gaviota «De Veras») *Larus atricilla*, (actualmente denominada *Leucophaeus atricilla*) (gaviota «Guanaguanare»), *Fregata magnificens* (tijereta de mar), *Arenaria interpres* (playero turco), (ver **Figura 4**, Pág. 8).

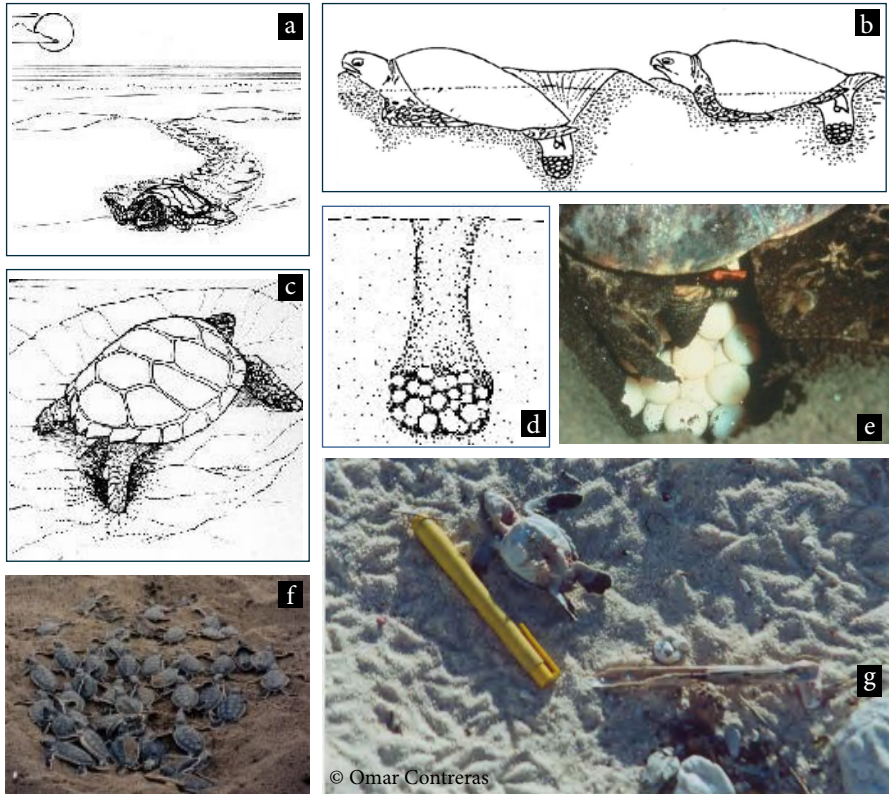


Figura 3. Ciclo reproductivo de la tortuga verde en isla de Aves, desde su llegada a la playa (a) pasando por el desove (b-e), la salida de los tortugillos (f) y su muerte por algunos pájaros marinos (g).

1.3.3 Tortuga verde (*Chelonia mydas*)

La tortuga verde (*Chelonia mydas*) pertenece a la clase de los reptiles, al orden de los quelonios o testudines, y a la familia de las Queloniidae, su nombre más común proviene de la coloración, generalmente verde, que presenta el capacho de los adultos, la cual puede variar. El tamaño y peso de un adulto son considerables, el capacho supera los 120 cm de longitud y como peso promedio

220 kg. La diferencia sexual en adultos puede determinarse por poseer, el macho, una cola más larga y gruesa que la de la hembra, y con un plastrón ligeramente cóncavo, con el fin de adaptarse al caparazón de la hembra durante el acoplamiento.

Distribución de la especie. En Venezuela la tortuga verde anida en pequeñas cantidades en el archipiélago de las Aves, de los Roques, y algunas otras playas, siendo el área más importante Isla de Aves.

Alimentación. Presenta hábitos diurnos, durante el primer año de vida son omnívoros, luego tienden a constituirse en herbívoros, alimentándose de algas marinas. Investigaciones de 1982, dejan entrever que los adultos se alimentan de animales marinos en cantidades mayores de las que se suponía.

Reproducción. La tortuga alcanza su madurez sexual entre los 8 y 10 años de vida. Los meses de mayor actividad reproductora son los comprendidos entre julio y octubre. El desove solo se efectúa de noche en lugares oscuros y apartados, con el fin de que la nidada sea difícilmente detectada por los depredadores, en hoyos de 40 a 50 cm de profundidad; entre 80 y 200 huevos blancos de unos 4 a 5,5 cms de diámetro, esta actividad puede durar más de una hora y es repetida entre 1 y 6 veces, con intervalos de 10 a 15 días, llegando a poner hasta 700 huevos por temporada. Horas y áreas preferidas por la *Chelonia mydas* para subir a las playas de Isla de Aves: el horario es el comprendido entre las 8 pm y las 3 am, utilizando toda el área de la isla, con mayor preferencia por la zona nor-oeste, que puede deberse a su mayor superficie y mejores condiciones del suelo, incluyendo un mayor nivel sobre el mar, lo que disminuye la pérdida de huevos por exceso de humedad.

El período de incubación dura entre 55 y 72 días, dependiendo de las variaciones ambientales. Al nacer, los primeros tortuguillos esperan bajo la arena hasta que eclosionen los demás huevos; luego, todos suben a la superficie y se dirigen al agua rápidamente.

Depredación. Los huevos son depredados en la Isla de Aves, principalmente por los cangrejos. Al nacer, los tortuguillos son amenazados mayormente por aves marinas (ver **Figura 3-g**), oleaje y vientos. Cuando los factores ambientales se tornan más intensos a causa de las tempestades y huracanes, las consecuencias son desastrosas hasta tal punto que puede perderse el 100 % de las nidadas, como ocurrió en el caso del huracán Allen, en 1980.

Hábitos migratorios. Las tortugas verdes se alejan a considerable distancia con relación a su lugar de nacimiento y, por otro lado, tienden a regresar a él

para los fines de reproducción. Los programas de marcaje y el uso de sistemas de seguimiento por radioteleetría aportarán datos importantes para indicar cuáles son las rutas migratorias utilizadas por las tortugas y qué mecanismos usan para regresar a sus lugares de origen.

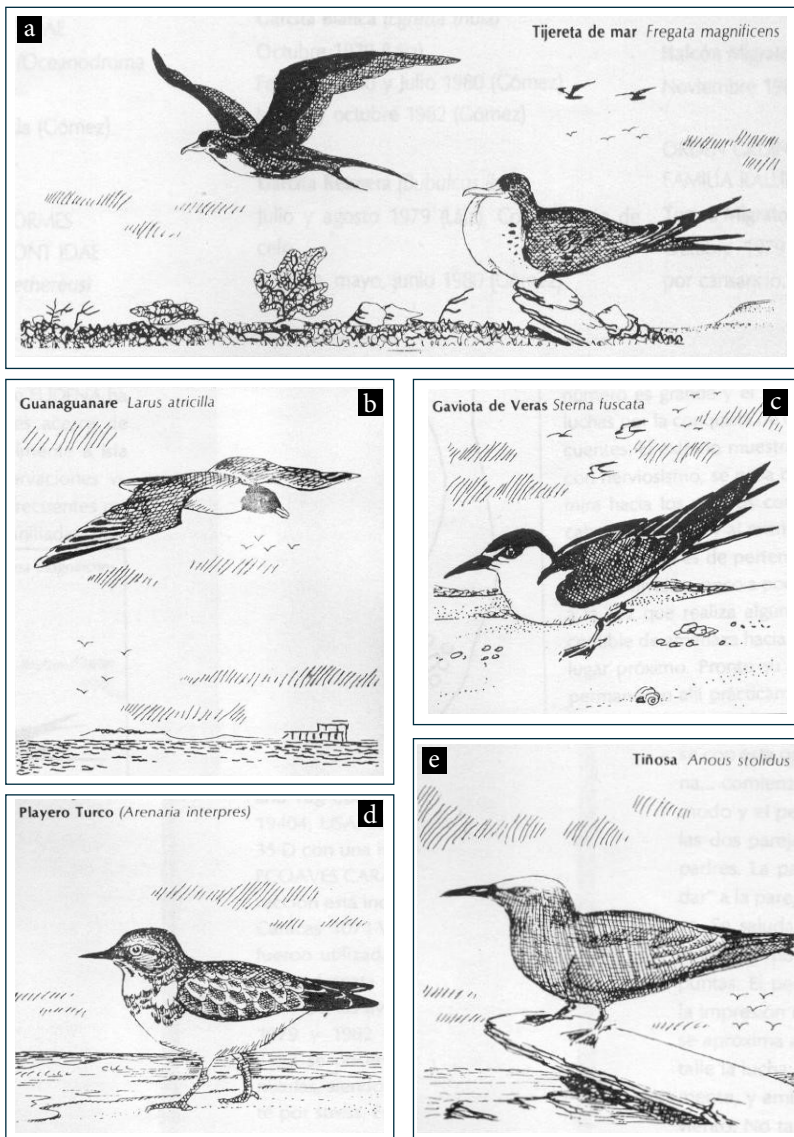
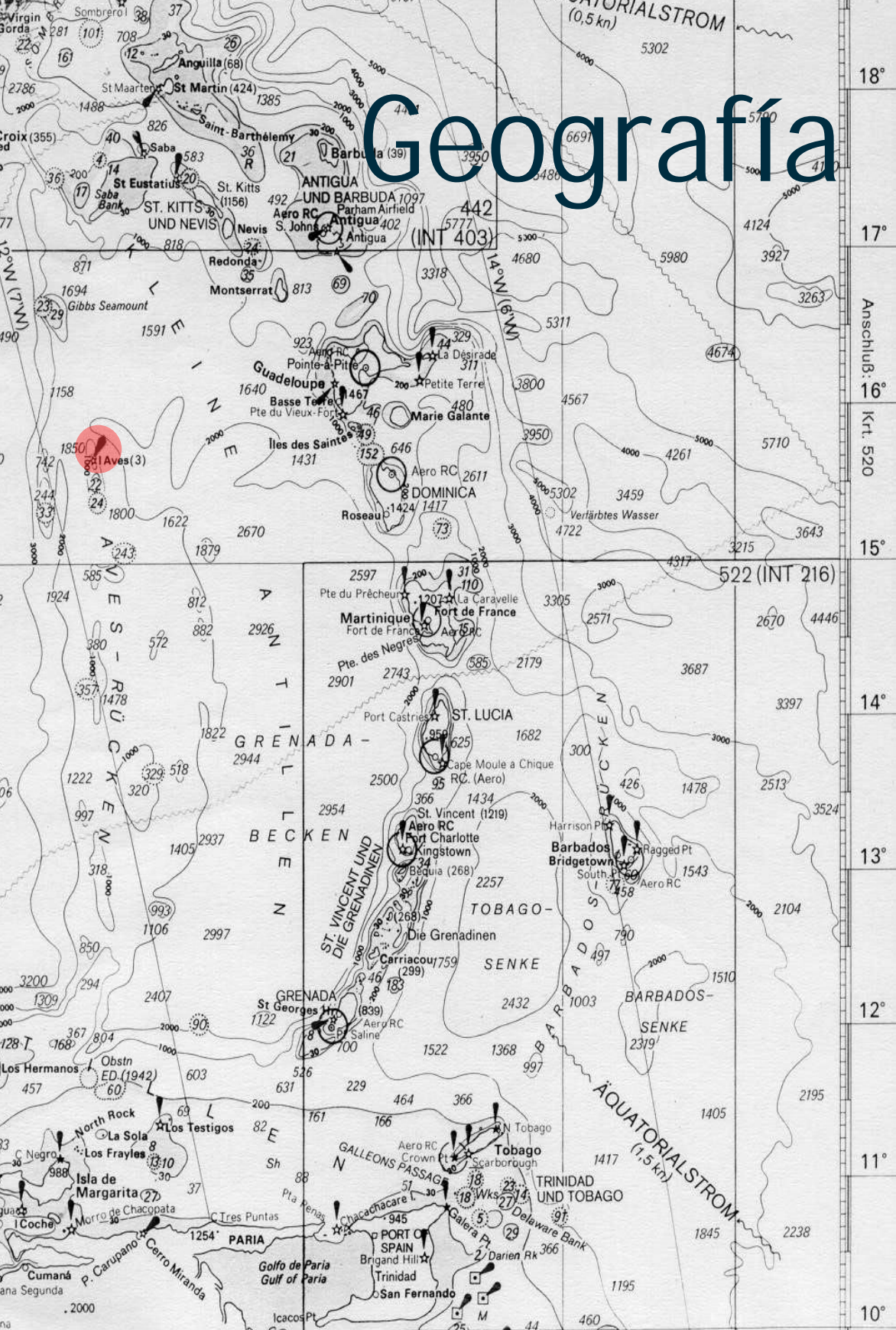


Figura 4. Aves marinas y migratorias frecuentes en Isla de Aves. 4-a Tijereta de Mar – *Fregata magnificens* (tomado de una publicación de FUDENA en 1983), 4-b Guanaguanare - *Larus atricilla*, 4-c Gaviota de Veras - *Sterna fuscata*, 4-d Playero turco – *Arenaria interpres*, 4-e Gaviota tiñosa – *Anous stolidus*

Geografía



2. Geografía

Isla de Aves es una pequeña isla compuesta esencialmente por arena calcárea de origen coral, más o menos cementada por efecto de las aguas meteóricas, y cubierta por arenas sueltas que llegan a formar dunas. La vegetación es baja, rastrera, solo se observan dos especies de plantas litorales: *Portulaca oleracea* (Verdolaga) y *Sesuvium portulacastrum* (hierba de vidrio) que cubren en forma de manto las partes altas de la isla. La característica principal de la isla, y la que le dio su nombre desde el comienzo de la cartografía científica, es la gran cantidad de aves que descansan y se reproducen en las arenas de la isla, alguna de las cuales están en la **Figura 4**. Phelps (1953) ha reportado *Anous stolidus* (gaviota tiñosa), *Sterna fuscata* (gaviota «De Veras») *Leucophaeus atricilla* (gaviota «Guanaguanare»), *Fregata magnificens* (tijereta de mar), *Arenaria interpres* (playero turco), y *Chelonia mydas* (tortuga verde).

Otras especies reportadas por FUDENA (Arteaga, 1996) son: *Falco peregrinus anatum* (halcón peregrino), *Oceanodroma leucorhoa* (golondrina de mar), *Phaethon aethereus* (chiparo), *Pelecanus occidentalis* (alcatraz), *Sula leucogaster* (boba marrón), *Sula dactylatra* (boba borrega), *Egretta thula* (garcita blanca), *Bubulcus ibis* (garcita reznera), *Dendrocygna bicolor* (yaguaso colorado), *Pandion haliaetus* (águila pescadora), que utilizan esta pequeña isla para descansar en sus largas migraciones estacionales. Los investigadores de FUDENA realizaron censos poblacionales mensuales de las diferentes especies residentes y registraron todas las aves migratorias que reposan en la isla durante sus migraciones al sur en época de invierno.

Durante los meses de julio, agosto, septiembre y octubre (aunque suelen visitarla durante todo el año), centenares de tortugas marinas acuden a las playas de esta isla a excavar en la arena y desovar miles de huevos en uno de los pocos lugares donde su protección es efectiva.

2.1 Dimensiones de Isla de Aves

Quizás la mayor controversia que rodea Isla de Aves es su tamaño. Desde la primera visita el 8 de enero de 1705, narrada y documentada por el padre Labat (1722) hasta nuestros días, se han reportado dimensiones, alturas máximas y coordenadas geográficas variadas.

Resulta fácil entender la discrepancia en las coordenadas geográficas a través del tiempo; mejores instrumentos de medición –incluso satelitales– y procedimientos geodésicos cada vez más científicos proporcionan coordenadas precisas y reproducibles. También influye en la dispersión de valores la ausencia de un punto de referencia fijo (botalón) en la isla; las medidas pueden tener puntos de referencia diversos y no siempre reportados.

A continuación, se presentan las **posiciones geográficas** de Isla de Aves reportadas en la literatura:

Tabla 1. Posiciones geográficas de Isla de Aves reportadas en la literatura.

<i>Fuente</i>	<i>Latitud Norte</i>	<i>Longitud Oeste</i>
Fossa-Sorino, 1920	15° 42'	63° 57' 46"
Phelps, 1953	15° 42'	63° 38'
Maloney <i>et al.</i> 1968	15° 42'	63° 38'
Pantin, 1972	15° 40' 33"	63° 36' 27"
Decreto 1029, 1972	15° 40' 33"	63° 36' 27"
FUDENA, 1983	15° 40' 30"	63° 36' 26"
Méndez, 1984	15° 40' 18"	63° 36' 59"
Armada, 1999	15° 40' 23,7"	63° 36' 59,9"

Se observa que la posición de la isla se reporta cada vez con más precisión, en fracciones de segundos; la última medición de la Armada está referida a un punto de triangulación de primer orden, enterrado en una bóveda subterránea en la parte norte de la isla, al lado del gravímetro de precisión instalado por Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (Funvisis).

Las dimensiones de Isla de Aves de acuerdo varias fuentes documentales fueron recopiladas primero por Phelps, 1953 y luego por Schubert, 1975. A continuación, se presenta una tabla actualizada de las medidas de la isla:

Tabla 2. Dimensiones de Isla de Aves reportadas en la literatura.

<i>Fuente</i>	<i>Circunferencia</i> (m)	<i>Largo</i> (m)	<i>Ancho</i> (m)	<i>Elevación máx.</i> (m)	<i>Área</i> (m)
1647 Dudley	13 000	---	---	---	---
1705 Labat	8000-12 000	14,5	500		
1777 Oldendorps	4000	---	---	---	---
184? Mapas británicos	1200	280	5,5	19,5	
1855 De Vaynes van Brakell		925	370	2,5	24
1887 Hydrographic Office		1150	320	6,0	---
1920 Fossa-Sorino, Min. Fomento		590	360		
1939 Mitchell		760	230	5,6	8,9
1949 Hummelinck		1000	300	2,3	30
1952 Pinchon		500	80	---	---
1954 Zuloaga		635	140	3,3	5,6
1968 Maloney y Schubert		530	140	3	3,9
1970 Cartografía Nacional		530	137	3	4,1
2000 Cartografía Armada		650	140	3,75	4,2

2.2 Cartografía histórica

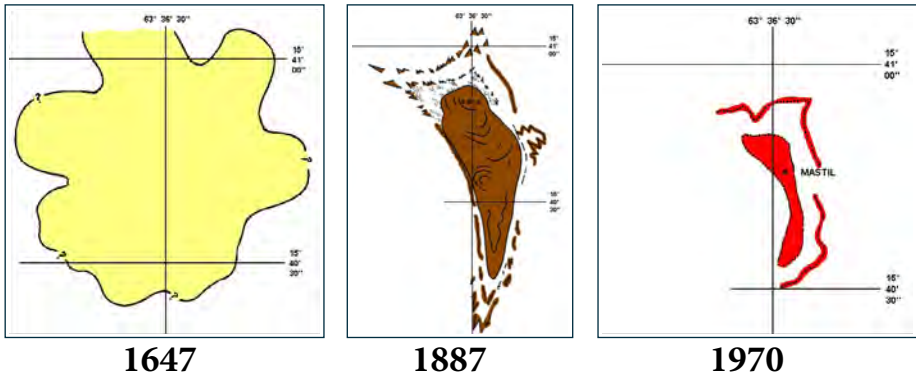
La controversia sobre el tamaño de Isla de Aves y su reducción progresiva de superficie expuesta se visualiza mejor en una comparación de mapas elaborados por expertos serios y organismos profesionales, todos ellos llevados a una misma escala y presentados en la **Figura 5**. Allí se observa el mapa de Robert Dudley (1647 al lado de la representación de Isla de Aves en la Carta Marina No. 1011 del Hydrographic Office de Washington (1887) y en la carta conjunta de los Ministerios de la Defensa y de Minas e Hidrocarburos de Venezuela (1970).

La reducción de tamaño es evidente a simple vista: el área superficial ha disminuido unas 20 veces cuando se compara con el mapa de 1647 y 5 veces comparado con el mapa de 1887. Autores previos (Schubert y Laredo, 1984) cuestionaron la veracidad de los mapas de 1647 y 1887 basándose en el uso de instrumentación inadecuada, grosor de las plumillas y licencia artística, pero no pudieron explicar los relatos de los viajeros y testigos oculares que confirman las dimensiones de los mapas. El mapa de Fossi (1920), ver **Figura 21** presentado al Ministerio de Fomento de aquella época, para optar a una concesión de explotación de guano, también corrobora una reducción de más de 3 veces de la isla.

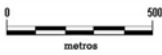
Schubert (1975) admite una reducción progresiva de la superficie expuesta de Isla de Aves en una serie de contorno de la playa que van desde 184? hasta 1970, ver **Figura 6** parte superior, mientras que González de Juana *et al.* 1980 en su trabajo monumental sobre la Geología de Venezuela admite sin cuestionar las figuras de Schubert, **Figura 6** parte inferior.

De lo anteriormente expuesto se deriva de que sí ha habido reducción apreciable de la superficie de Isla de Aves en épocas históricas, quedando por determinar sus causas.

Diversos han sido los motivos propuestos para la reducción de superficie de Isla de Aves. Se ha mencionado la subsidencia de la prominencia de la Isla de Aves, la erosión marina y atmosférica y la minería del guano en el siglo XIX como las causas fundamentales del fenómeno. Para mayores detalles y estimaciones sobre la magnitud de estos procesos (ver capítulos 3 Geología y 4 Estabilidad geológica de Isla de Aves).



Isla de Aves



- «Dell Arcano del Mare» Cartografía Histórica de Venezuela, 1635 - 1946, Dudley, R., 1946.
- Carta Marina N.º 1011, Hydrographic Office, Washington, febrero 1887
- Ministerios de la Defensa y Minas e Hidrocarburos, Venezuela

Figura 5. Cartografía histórica de Isla de Aves.

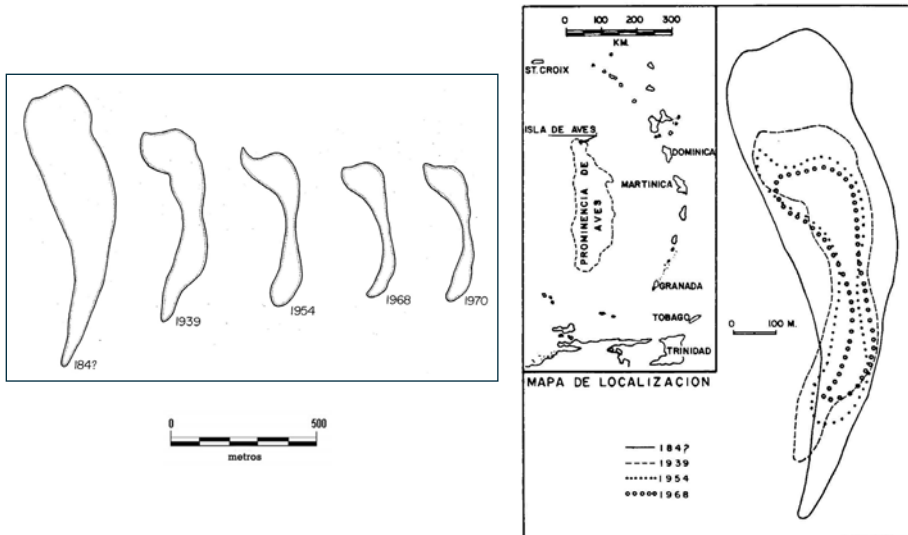


Figura 6. Reducción de tamaño de Isla de Aves según Schubert (1975) izquierda, y González de Juana *et al.* (1980) derecha.

2.3 Erosión marina y atmosférica

La causa más inmediata por el impacto visual que produce son los efectos documentados fotográficamente sobre el cambio de la morfología de Isla de Aves producida por el paso de un huracán. Desde la instalación de la estación científico-militar «Simón Bolívar» en 1972, han pasado dos huracanes directamente sobre la isla, el huracán David en 1979 y el huracán Allen en 1980, ambos han producido importantes movimientos de arena de playa y reducción de la altura máxima de la isla. En la **Figura 7** se registra la configuración de Isla de Aves previo al paso del huracán en un levantamiento realizado por el Dr. José Luis Gómez de FUDENA el 31 de julio de 1980, y luego otro levantamiento el 24 de octubre del mismo año, inmediatamente después del huracán. El cambio en la fisiografía de la isla es dramático, sobre todo en la parte sur, que ha quedado reducida a menos de la mitad de su superficie y altura. Es de notar que las corrientes marinas y los vientos tienden a restituir parcialmente la porción de arena de playa perdida, lo que ha motivado a algunos observadores a especular sobre un «equilibrio sedimentológico dinámico» con el cual pretenden bloquear toda iniciativa de defensa de los arrecifes coralinos frangeantes y de restitución y fortalecimiento de las playas.

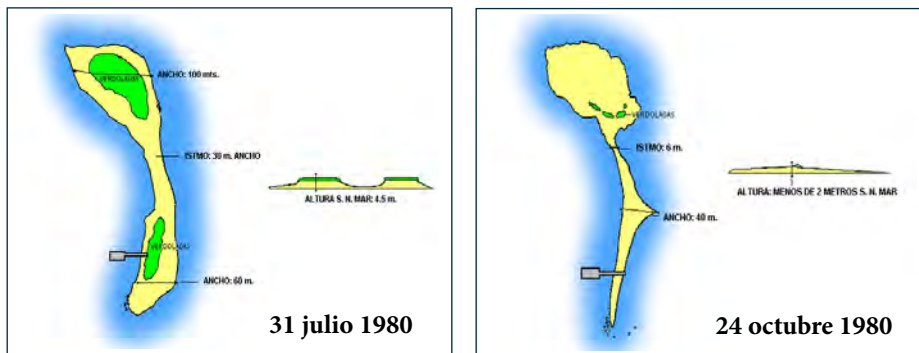


Figura 7. Efectos del huracán Allen –4 de agosto de 1980– sobre la fisiografía de Isla de Aves según observaciones del Dr. José Luis Gómez C. de FUDENA. En esta oportunidad se perdieron 15 000 huevos de tortuga *Chelonia mydas* por la tormenta.

2.4 Nombres de la isla

Isla de Aves ha recibido varios nombres a través de su historia. Los primeros visitantes, impresionados por la cantidad de aves y tortugas que anidan en ella, siempre le han reconocido esta característica en el nombre que le han dado. Así tenemos que el primer relato de De Rochefort en 1665 la llama «L'Île aux

Oiseaux», el padre Labat en 1772 la llama «L'Isle d'Aves ou des Oiseaux», el misionero alemán Andreas Oldendorps en 1777 la llama «Vogelinsel Aves»; este último expresando tanto en alemán como en castellano la abundancia de aves. El nombre actual de «Isla de Aves» se estableció en el convenio de arbitraje entre Venezuela y Holanda de 1857, el cual fue resuelto favorablemente para Venezuela en el Laudo de Isabel II del año 1865, donde se ratifica el nombre de «Isla de Aves». Desde 1968 este es el único nombre usado por los autores de las publicaciones geológicas, científicas y periodísticas, aunque Phelps (1953) reporta variantes de ese nombre, tales como «Isla Aves», «Islote Aves» e «Isla Ave», en algunos mapas y publicaciones de esta época.

2.5 Controversia sobre el banco de arena con Saba y Dominica

En unas declaraciones ampliamente difundidas en la prensa nacional e internacional, el primer ministro de Dominica reclamó en la cumbre de la Caricom (Comunidad de Naciones del Caribe) de julio de 2001 que «Dominica está unida por un banco de arena submarino con Isla de Aves» y, por lo tanto, desconoce la soberanía venezolana sobre la misma. Este argumento es una repetición del argumento, esgrimido quizás con mayor razón por Holanda (actualmente Países Bajos) en el laudo arbitral de 1857, donde reclama esa conexión submarina con la isla Saba, situada a unos 210 km al norte de Isla de Aves, y el cual fue rechazado por el árbitro en aquella ocasión.

Por definición del *Glossary of Geology del American Geological Institute*, autoridad más citada en la materia en el hemisferio occidental, **banco de arena** es: a) «una lengua o cuerpo alargado de arena sumergido en el mar, lagos o ríos, generalmente **expuesta durante la marea baja**», o b) «un depósito grande de arena en una zona de **poca profundidad** cercana a la costa». Definiciones similares se encuentran en internet suministradas por el *Corps of Engineers* del Ejército de los Estados Unidos y otras autoridades similares.

Las cartas de navegación INT 400, reproducido como **Figura 8**, y el *Chart 25000*, reproducido como **Figura 9**, generadas por organismos neutrales en esta controversia, como son el *Bundesamt für Seeschifffahrt* de Hamburg, Alemania, y *Defense Mapping Agency* de los Estados Unidos, respectivamente, ambas muestran un brazo marino de unos 80 km de largo donde la profundidad de las aguas es mayor a los 2000 m, el resto de los 220 km que separan a Dominica de isla de Aves tiene profundidades de agua mayores a los 1000 m. Por esta razón, la presencia de un cuerpo de arena «expuesta durante la marea baja» o de «poca profundidad cercana a la costa» es de todo punto de vista descartable, como ya lo había establecido el Laudo Arbitral en 1865 con la isla de Saba,

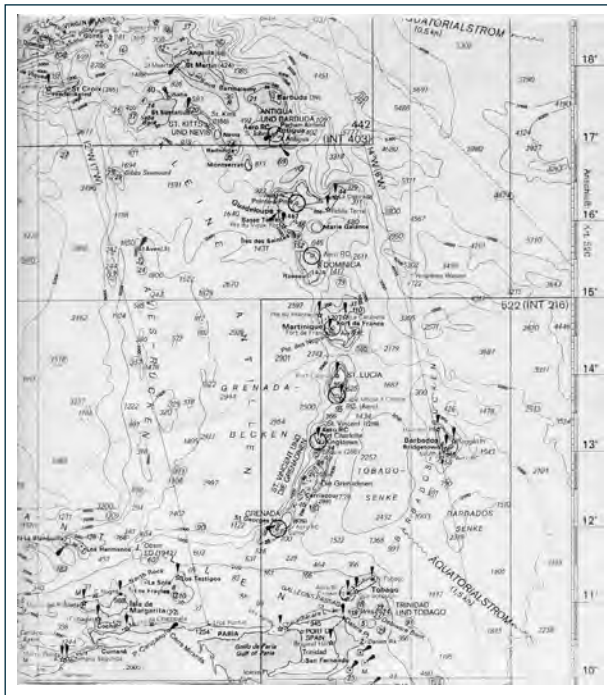


Figura 8. Carta INT 400 del Bundesamt für Seeschifffart, Hamburg, 1994.

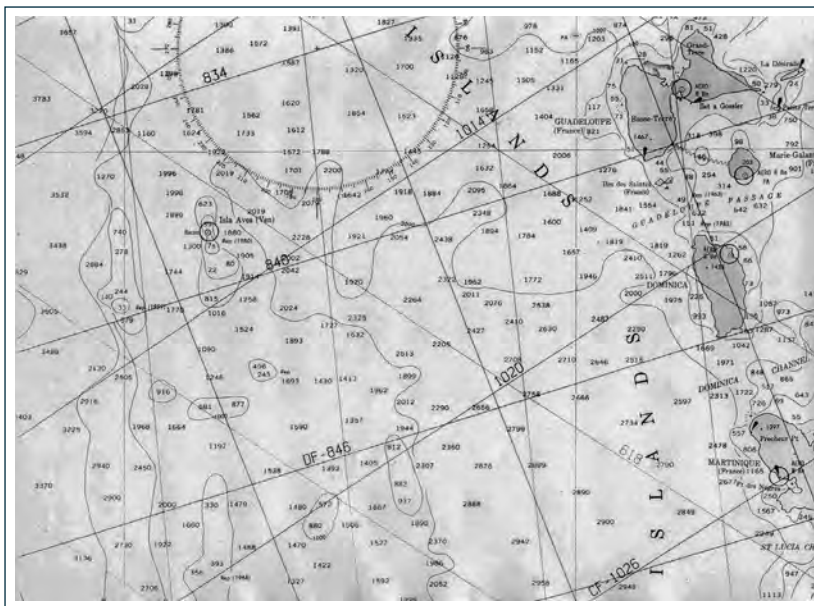


Figura 9. Carta No. 25000 del Defense Mapping Agency, EE. UU.

donde en sus 210 km de separación de Isla de Aves existen solamente 20 km de brazo marino mayor de 2000 m y el resto del trayecto tiene profundidades mayores de 1000 m.

2.6 Corrientes superficiales

La parte este del mar Caribe, entre la costa norte de Venezuela por el sur y las islas de Puerto Rico y La Hispaniola por el norte, está afectada por la Corriente del Golfo que, proveniente de la Antártida, pasa por las desembocaduras de los ríos Amazonas y Orinoco y hace su entrada al mar Caribe al norte de Trinidad. En la zona de Isla de Aves, esta corriente superficial tiene en general una dirección este-noroeste durante todo el año, según las investigaciones de Gordon, 1967 (*vide* Okuda 1974), ver **Figura 10**, parte superior. Investigaciones más recientes usando boyas flotantes o «flotadores» con transmisores satelitales GPS (*Global Positioning System*), liberadas en Dominica, muy cerca de Isla de Aves, confirman de cierta manera esta tendencia, ya que en líneas generales, las corrientes son E-NO, pero tienen muchas regresiones, contraflujos, flujos circulares, etc., como se muestra en la **Figura 10**, parte inferior.

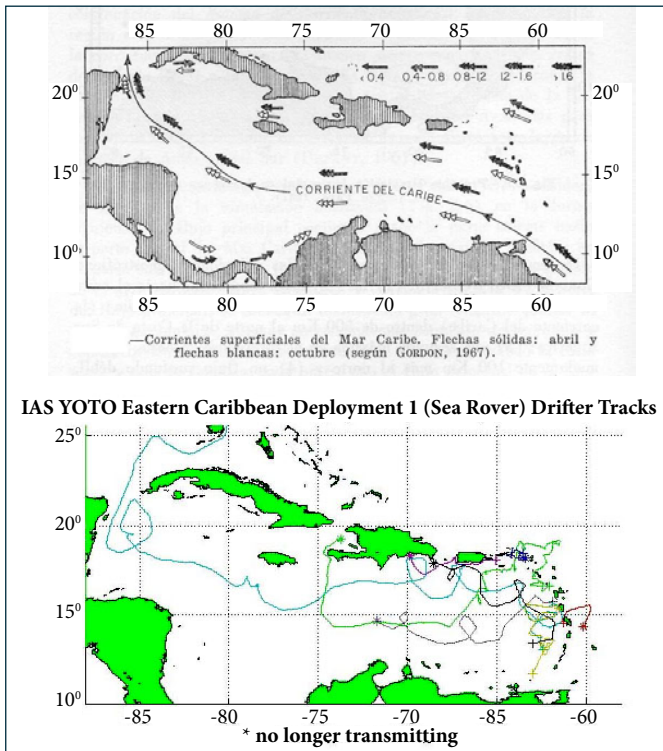


Figura 10. Corrientes superficiales en el mar Caribe, según Okuda (1974), arriba, y trazado de boyas transmisoras en el año 2001, abajo.

2.7 Temperatura del mar

El mar Caribe es un mar tropical bastante cálido. En Isla de Aves las temperaturas del mar superficial varían entre 26° y 27 °C durante todo el año, ver **Figura 11**. Esto contrasta con temperaturas un poco más bajas de 25 a 26 °C cerca de las costas de Anzoátegui y Miranda, afectadas por la fosa de Cariaco. El perfil vertical presentado por Okuda, 1974, muestra temperaturas superficiales hasta los 50 m de profundidad, luego se presenta una disminución rápida de temperatura hasta los 200 m de profundidad donde alcanza los 20 °C, para entonces pasar a una disminución gradual y progresiva de la temperatura hasta alcanzar los 6 °C a los 1000 m de profundidad.

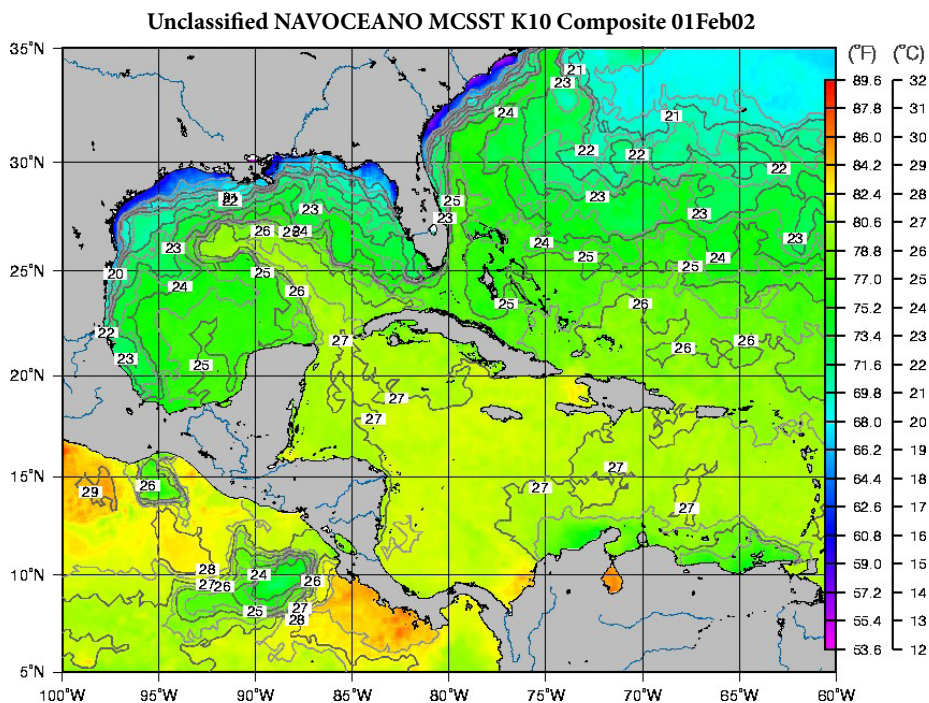


Figura 11. Temperatura de la superficie oceánica del mar Caribe (www.wunderground.com/tropical/).

2.8 Huracanes

El océano Atlántico y el mar Caribe al norte de Venezuela y de Trinidad es el escenario anual, desde el mes de septiembre hasta mediados de noviembre, del nacimiento y paso de una serie de huracanes. En general, las tormentas tropicales que luego pueden transformarse en huracanes pasan alejados de las

costas septentrionales de Venezuela, inclusive muchos pasan al norte de Isla de Aves, pero de vez en cuando se registra un huracán cuyo ojo pasa directamente por Isla de Aves, tal es el caso de los huracanes David y Allen en 1979 y 1980 respectivamente, que causaron grandes destrozos en las playas de la isla y la pérdida de más de 15 000 huevos de tortuga. En la **Figura 12** se muestran las trayectorias de los huracanes del año 1979, incluyendo el paso del huracán David.

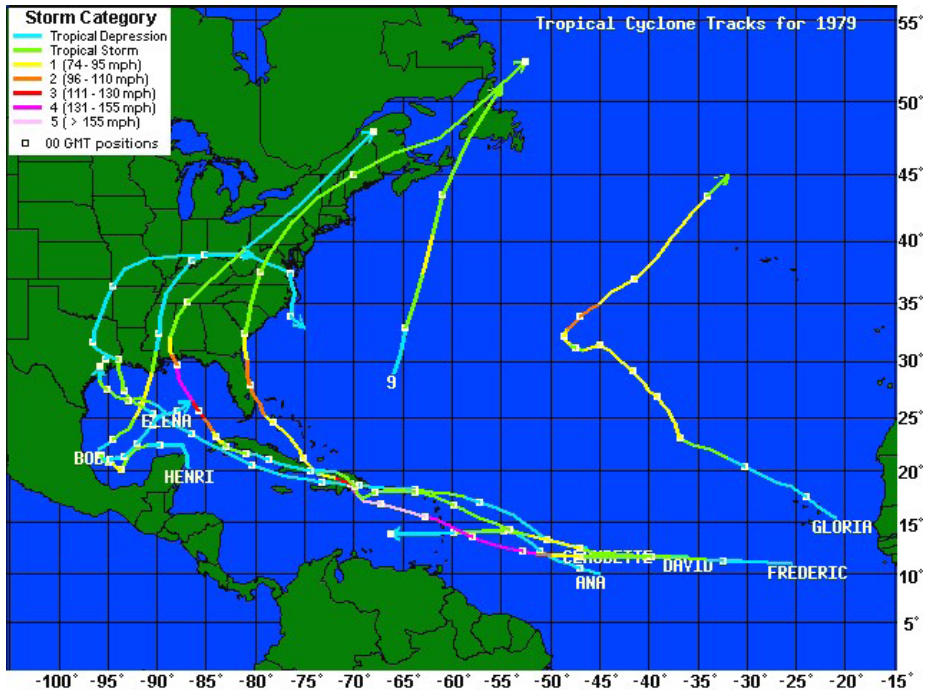


Figura 12. Paso del huracán David por Isla de Aves, 1979 (drifters.doe.gov).

2.9 Terremotos y volcanes

La parte norte de Venezuela, el cinturón de las Antillas Menores y las islas de Puerto Rico y La Hispaniola son zonas consideradas sísmicas por ser los márgenes activos de la placa del Caribe, en donde se producen frecuentes terremotos debido al ajuste tectónico de las placas en movimiento. En la **Figura 13** –parte superior– se muestran los epicentros de terremotos con magnitud mayor a 6° en la escala de Richter, graficados junto a los volcanes activos del área este del mar Caribe. En esta figura se observa que en los alrededores de Isla de Aves no se han registrado epicentros de terremotos importantes, los más cercanos se encuentran a más de 200 km, en Guadalupe y Dominica.

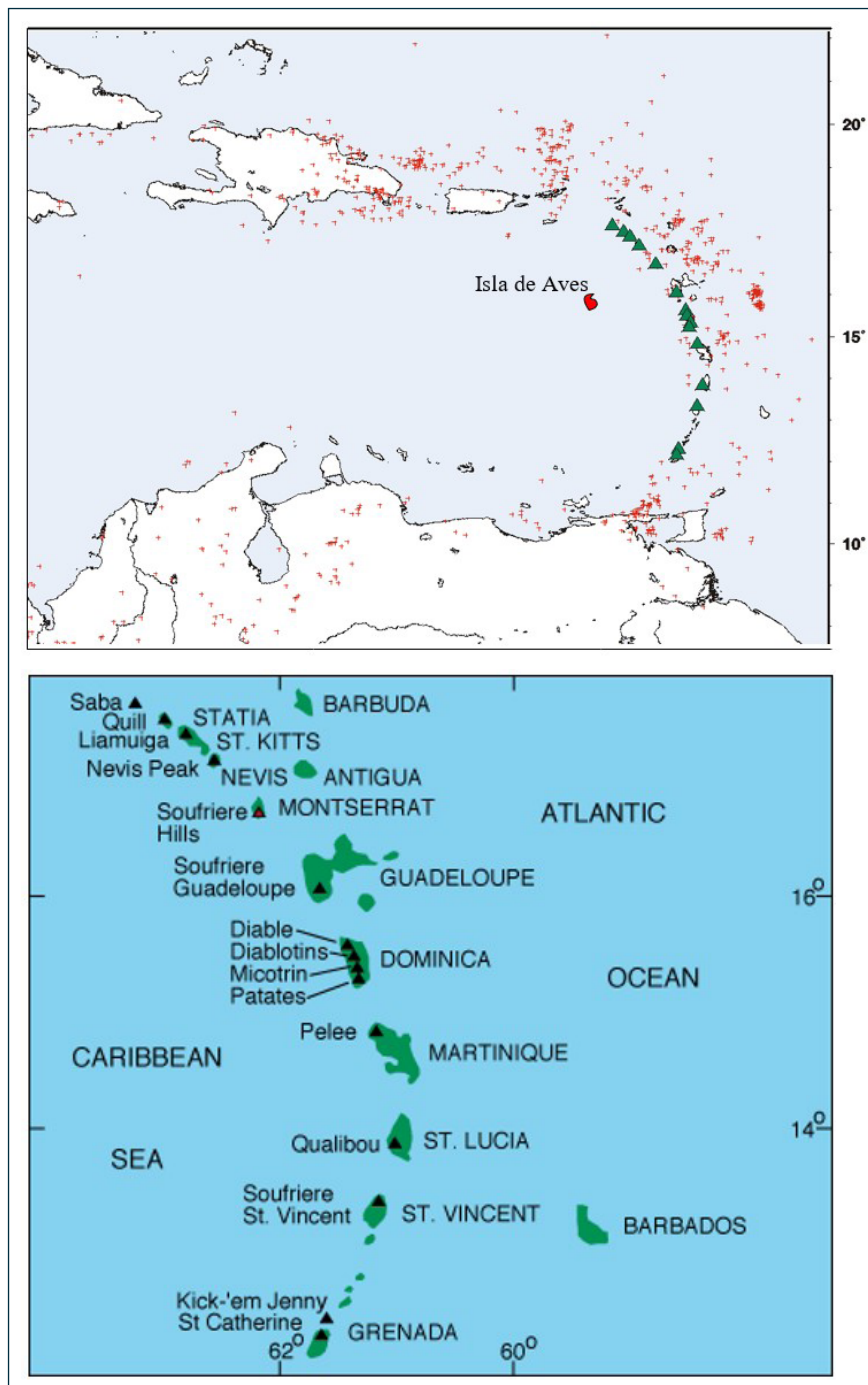


Figura 13. Terremotos y volcanes (▲) activos en el mar Caribe oriental (tomado de <http://cires.colorado.edu/people/jones.craig/EQimagemap/centam.html>).

Los volcanes activos del Caribe oriental están confinados al arco de islas de las Antillas Menores, las cuales son precisamente de origen volcánico y, por lo tanto, cada una de ellas tiene por lo menos un volcán activo, como se muestra en detalle en la **Figura 13** – parte inferior. Existe también un volcán submarino, el *Kick'em Jenny* al norte de Granada, el cual es observado con mucho cuidado por la comunidad de vulcanólogos por el peligro grande de tsunamis que puede presentar su erupción. Los tsunamis también pueden presentarse por terremotos grandes en cualquier parte del arco de islas de la Antillas Menores.

Geología



3. Geología

3.1 Situación general en la placa del Caribe

Isla de Aves está situada en la placa del Caribe o «Caribia» (Bower, 1972), específicamente en su parte oriental o frontal, en el tercero de los arcos volcánicos producidos por la continua subducción de la placa del fondo Atlántico desde el Jurásico, cuando se rompió por última vez la Pangea. Estos arcos volcánicos se ubican de este a oeste, o sea de más joven a más antiguo: prominencia de Barbados, arco de las Antillas Menores y prominencia de Aves (Speed, 1981).

La Isla de Aves representa el único pináculo emergido de la cordillera submarina denominada prominencia de Aves. Esta cordillera submarina se extiende en sentido norte-sur por unos 500 km y está unida topográficamente con la plataforma continental venezolana. Su cresta yace a una profundidad promedio de unos 900 m y tiene una elevación media sobre el fondo marino de más de 2000 m. La cordillera submarina es casi paralela al arco de las Antillas Menores en gran parte de su extensión, (**Figura 14**, parte superior) Geológicamente, divide dos grandes cuencas en el mar Caribe, la cuenca de Venezuela al oeste de la cuenca de Granada al este.

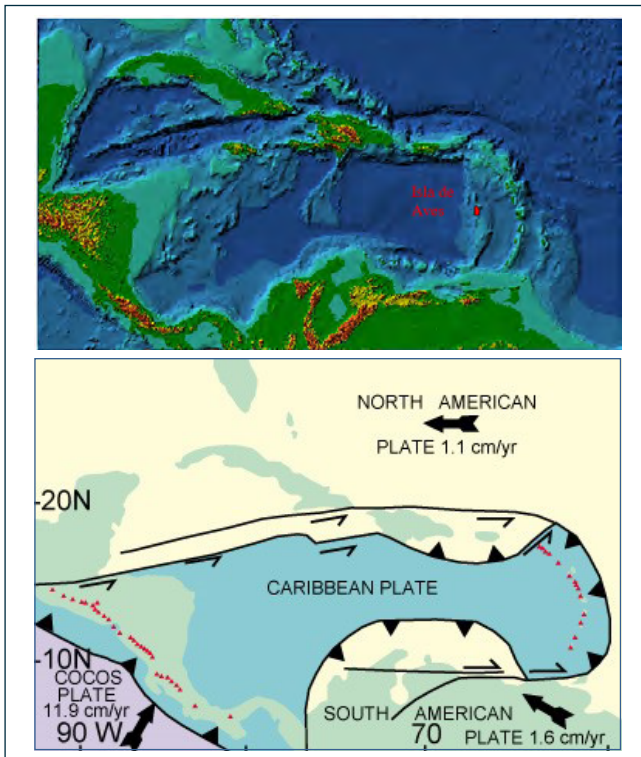


Figura 14. Situación de Isla de Aves en la placa del Caribe (modificado de <http://www.ig.utexas.edu/research/projects/caribbean/images/eq.vol.htm>).

3.1.1 Plataforma marina de Isla de Aves

El pedestal o plataforma marina local de la cual sobresale Isla de Aves también es alargado en sentido norte-sur, como se observa en el mapa batimétrico **Figura 15**, con una superficie suave limitada por la isobata de 25 m, luego cae abruptamente por taludes inclinados hacia profundidades de más de 1000 m a distancias de 3-4 km hacia el oeste y el este, ver **Figura 16**, parte superior. La plataforma se compone de dos bancos ovalados, y la isla emerge del banco septentrional, **Figura 16**, parte inferior.

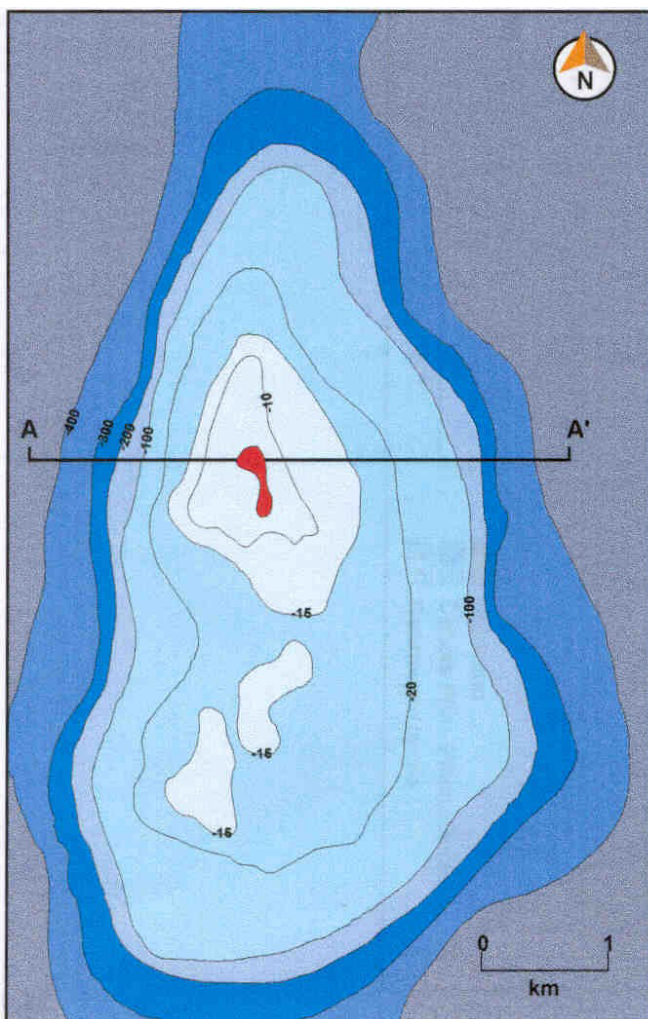


Figura 15. Batimetría de la plataforma de Isla de Aves.

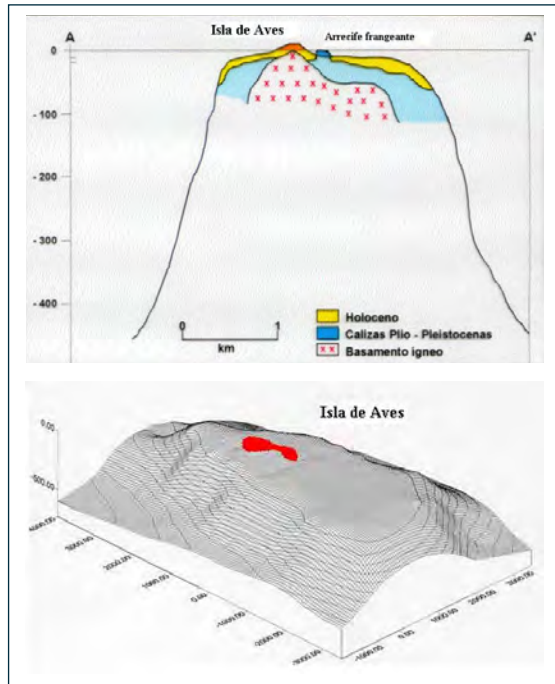


Figura 16. Sección geológica idealizada de Isla de Aves, basada en levantamiento de sísmica de refracción – Aguilera y Gallovich, 1972.

La composición geológica de la prominencia de Aves es poco conocida. La información geológica directa es escasa; existen algunas líneas sísmicas de limitada penetración y muy pocos pozos exploratorios de profundidad necesaria. Las evidencias sobre la composición geológica con la cordillera submarina provienen de muestras de dragado en los flancos de la prominencia (Nagle, 1972), de muestras de cantos erosionados y redepositados en Isla de Aves (Contreras, 2001) y de analogía geológica con afloramientos ígneos en las Antillas Menores y Barbados (Speed, 1981, Speed y Larue, 1982). En general se puede afirmar que el basamento ígneo está compuesto de granito microclínico, granodiorita, dacita porfídica, pórfido de basalto y basalto; por la presencia de cantos encontrados en la propia Isla de Aves. En dragados realizados en las cercanías de Isla de Aves, se encontraron además fragmentos de andesita, *breccias* y tobas de andesita y basalto (Nagle, 1972), lo cual confirma el carácter volcánico de gran parte de la cordillera submarina.

Los estudios de sísmica de reflexión indican que la prominencia está compuesta de un núcleo, probablemente ígneo-metamórfico, con altas velocidades de transmisión, cubierto por sedimentos más o menos consolidados, cuyo espesor aumenta de los flancos hacia las cuencas de Venezuela y Granada. En la prominencia de Aves se han realizado dos perforaciones estratigráficas del programa *Deep Sea Drilling Project DSDP- Joides*, los sitios 30 y 148,

situados a 260 km al sur y 210 km al sur-oeste de Isla de Aves respectivamente, donde se han encontrado 300 y 430 m de sedimentos Terciarios sin alcanzar al Mesozoico y al basamento ígneo-metamórfico.

Isla de Aves representa un atolón arrecifal cuya existencia y evolución está íntimamente ligada a la ecología de los sistemas coralinos y a las fluctuaciones del nivel del mar. En este sentido, son de suma importancia los eventos geológicos del Cuaternario, sobre todo las glaciaciones y los estadios interglaciares, con sus fluctuaciones importantes, hasta de 130 m, del nivel del mar. Más recientemente son significativos el efecto invernadero y la contaminación general de los mares que parece haber afectado el sistema ecológico de los arrecifes coralinos a nivel mundial, con una intensidad nunca antes vista en la historia geológica.

3.2 Geofísica

La configuración geológica del basamento de la prominencia de Aves fue estudiada a partir de la base de datos del Proyecto Sudamericano de Gravimetría, el cual fue realizado por la Universidad de Leeds de Inglaterra en 1991 y cubre todo el continente Sudamericano, Centroamérica, el Caribe y sus márgenes, y está localizado entre 60° S y 25° N de latitud y entre los 25° O y 100° O de longitud. PDVSA-Intevp fue nombrado custodio de los datos del Proyecto Sudamericano de Gravimetría (Fairhead *et al.* 1991) para realizar el mantenimiento, validación y la evaluación de los mismos con el objetivo de incorporar el Proyecto a la Base de Datos Corporativa de PDVSA EP.

3.2.1 Gravimetría

El Proyecto Sudamericano de Gravimetría está compuesto por varios archivos que contienen, entre otros, la Anomalía de Bouguer terrestre y marina y la Anomalía de Aire Libre marina con una retícula de 5' x 5', o sea aproximadamente 10 km x 10 km. Existe también un archivo de la topografía y batimetría en una retícula de 3' x 3', o sea, aproximadamente 5 km x 5 km para referencias topográficas regionales. Usando esta data, Fernández reconstruyó los mapas regionales de gravimetría-Bouguer y gravimetría-Aire Libre; este último se reproduce en la parte superior de la **Figura 17**. Para ello generó un algoritmo para extraer los datos matriciales a Isla de Aves y su entorno de territorio venezolano. El estudio se realizó entre los 15° y 16° de latitud norte y entre los 63° y 64° de longitud oeste.

El mapa de Anomalía de Bouguer completo para Isla de Aves, presentado por PDVSA-Intevp, representa una matriz digital de dimensión (13,13) puntos de datos. En este mapa se observa que todos los valores son positivos y la Isla se

encuentra situada en un mínimo relativo alcanzando los 68 miligales, de color azulado, al sur de esta se encuentra un máximo relativo que forma parte de la prominencia de Aves, alineada de norte a sur, de color verde claro y alcanza unos 104 miligales. Se observa un máximo relativo al SE del mínimo relativo de la Isla de unos 96 miligales. En el extremo oriental se observa un mínimo relativo de 86 miligales, que tiene forma alargada norte-sur de color azulado y es paralelo a la prominencia de Aves, formando el surco interno del arco de islas actual.

La parte superior de la **Figura 17** presenta el mapa de Anomalía de Aire Libre con la misma dimensión de matriz digital mencionada anteriormente. En esta figura podemos observar claramente la delineación de la prominencia de Isla de Aves, en los colores claros amarillos a rojo, con una dirección predominante norte-sur y en donde la isla casi aflora al norte del máximo de 60 miligales, rodeada por Anomalías de Aire Libre negativas de color azulado y que establece una correspondencia directa entre esta anomalía y la topografía-batimetría.

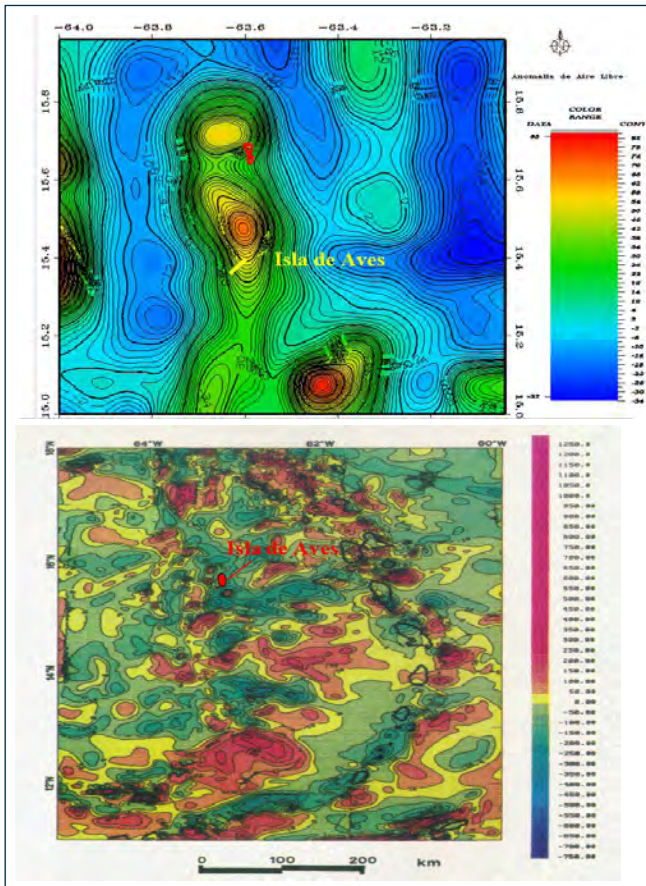


Figura 17. Mapa de la anomalía de Aire Libre (arriba) y de la Intensidad Magnética Total (abajo) del área de Isla de Aves.

3.2.2 Magnetometría

La **Figura 16**, parte inferior, tomada de Gibson y Millegan, 1998, muestra la Intensidad Magnética Total regional del Caribe, incluyendo a Isla de Aves; que está situada cerca de un alto relativo magnético. La configuración general de mapa magnético es típica de un basamento con varias intrusiones magnéticas en forma irregular, lo cual confirma la teoría de que la prominencia de Aves forma parte de un cinturón volcánico antiguo de la placa del Caribe.

3.3 Estratigrafía

3.3.1 Geología de superficie

El primer mapa geológico-topográfico de Isla de Aves fue levantado con plancheta entre el 18 y 19 de abril de 1954 por el geólogo Dr. Guillermo Zuloaga con la asistencia del Dr. William H. Phelps, ver **Figura 18**. Este mapa muestra en su parte basal a una unidad de «Caliza detrítica dura» formando un anticlinal con eje este-oeste centrado en la mitad de la isla y con buzamientos suaves de hasta 20° hacia el sur y norte de la misma. Suprayacente a esta unidad geológica, con discordancia angular suave, se encuentran arenas de playa y dunas del Cuaternario. En la parte norte y sur de la isla se localiza una unidad geológica de calizas coralinas fragmentadas y brechadas, ligeramente cementadas, luego denominada «Caliza del Mástil» (Léxico Estratigráfico de Venezuela, 1998), que están cubiertas con una flora de verdolagas. En el borde este de la isla, a distancias de unos 30 a 50 m se hallan arrecifes de coral frangeando la isla; por el norte se presenta otro arrecife de coral a una distancia de 100 a 150 m. La altura máxima registrada en el punto donde se levanta el mástil de la bandera es de 3,30 m.

Maloney *et al.* (1968) presentaron un mapa geológico-topográfico de la isla elaborado el 21 de febrero de 1968 con cinta y brújula, ver **Figura 19**, muy similar en los aspectos geológicos con el mapa de Zuloaga, con la adición de remanentes de depósitos fosfáticos debajo de la unidad de «terrace de tormenta», como se identifica en este mapa a la «Caliza del Mástil». También se extiende la franja de arrecife al sur de la isla. Los buzamientos reportados en la unidad inferior, aquí denominadas rocas de playa, varían entre los 3° y 5°, los rumbos en la parte norte y sur coinciden con el mapa de Zuloaga, manteniendo así la figura de un anticlinal, no así los rumbos en la parte este de la isla que se inclinan suavemente hacia el este, sugiriendo una estructura de domo producido por los buzamientos originales y no por compresión o levantamiento de la isla. La altura topográfica mayor coincide con la posición del mástil de la bandera, ya

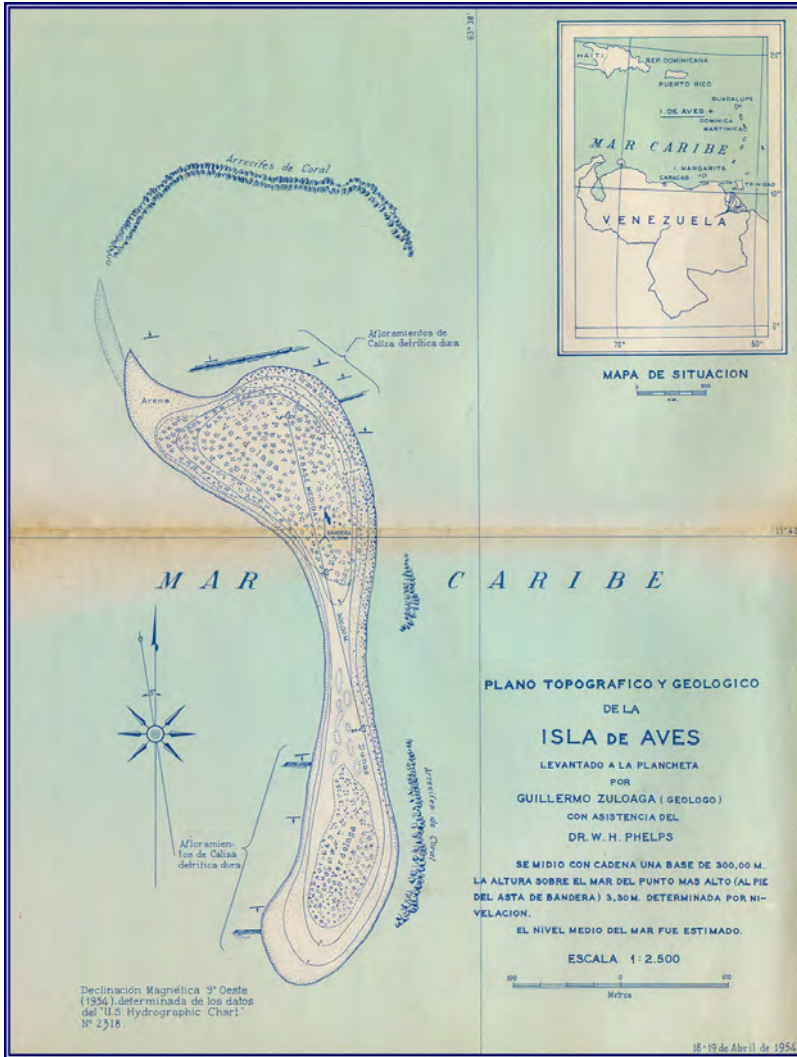


Figura 18. Mapa geológico de Zuloaga 1954.

desaparecido, y se reporta como de 3 m, que correspondería a una disminución de 30 cm.

Un nuevo levantamiento topográfico, elaborado por la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Comandancia General de la Marina en octubre de 1982, con teodolito y distanciómetro electrónico, sirvió de base para el segundo mapa geológico de Schubert, publicado con Laredo en 1984, el cual confirma en muchos aspectos morfológicos, el mapa previo, con la salvedad de que la altura máxima de la isla fue determinada como de 3,72 m y desapareció

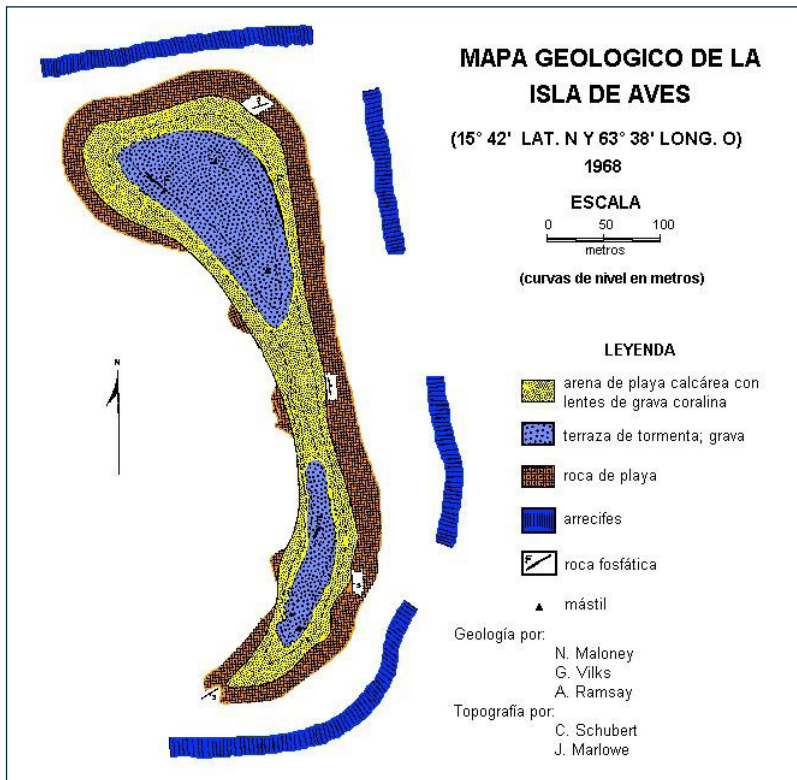


Figura 19. Mapa geológico de Maloney *et al.*, 1968.

por completo la unidad de grava coralina en la parte sur, por lo que ahora se reconocen buzamientos más pronunciados de 15° en los afloramientos de la roca de playa en la parte norte y sur de la isla, lo cual hace muy difícil sostener la teoría de los buzamientos originales de sedimentación.

Durante la semana del 8 al 14 de noviembre de 1970 se efectuó un levantamiento geológico de Isla de Aves por una comisión multidisciplinaria auspiciada por el Ministerio de Minas e Hidrocarburos. En ella participaron los geólogos José Pantin H., Gustavo Coronel, A. Duarte, Noel Hazanow, y H. Pérez N, contando además con la ayuda del agrimensor Rafael Ascanio B. El resultado de esta expedición es el mapa geológico-topográfico publicado por Pantin en 1972, **Figura 20**, que muestra cuatro unidades geológicas definidas por primera vez en una columna estratigráfica, estas son, de más antiguo a más joven, las siguientes: «Calcarenita Isla de Aves», «Caliza El Mástil», «Roca de Playa» y «Arenas Recientes». La unidad «Roca de Playa» se divide en dos subunidades, la más antigua bordeando la isla por el sur, este y norte, y la más joven en la parte occidental.

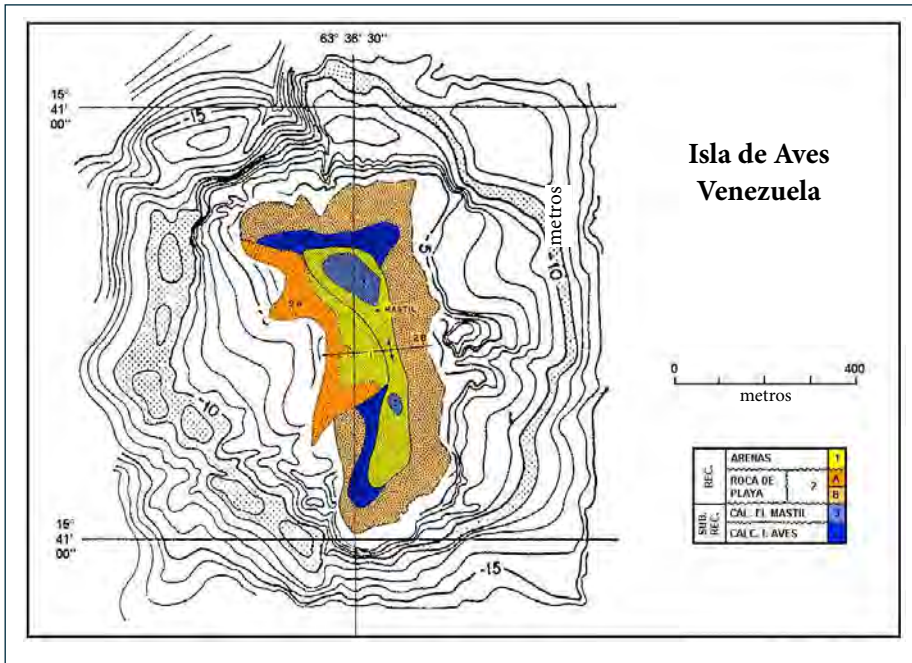


Figura 20. Mapa geológico modificado por Pantin, 1972. Isla de Aves, Venezuela. Interpretación del piso submarino, mostrando zona deslizada en el flanco occidental.

El levantamiento geológico más reciente, basado en fotografías aéreas de diciembre del 2000 y restitución fotogramétrica ejecutada por la oficina de Cartografía del Ministerio de la Defensa, fue ejecutado por el Ing. Geól. Omar Contreras, de PDVSA-Intevp, representando a la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales, entre el 4 y el 16 de diciembre del año 2000. En esta oportunidad se confirmó esencialmente el mapa geológico de Pantin (1972), y se tomaron 33 muestras de todas las unidades aflorantes, además de una secuencia vertical obtenida en dos calicatas profundas, realizadas con el objetivo de instalar un gravímetro de precisión en una superficie dura en la isla (ver Mapa de Muestras, **Figura 27**, pág. 42). La forma de la isla se mantiene en líneas generales, como la de un hueso, descrita por Maloney *et al.* (1968) pero en esta oportunidad la Armada hizo un mapa batimétrico detallado de las inmediaciones de la isla que resulta de mucha utilidad para elucidar la controversia de la reducción progresiva del tamaño de la isla, reportada por la mayoría de los autores.

Recientemente, se encontró en los archivos del Ministerio de Energía y Minas un Cróquis Topográfico de Isla de Aves, **Figura 21**, elaborado por el Ing. H. Sorino que se acompaña con una solicitud de concesión de explotación de

guano de fecha 23 de junio de 1920, solicitada por el señor J.M. Fossa. Este mapa muestra un área superficial de la isla casi tres veces mayor al de la actualidad y sirve como una referencia histórica importante en la controversia sobre la reducción de superficie de la isla.

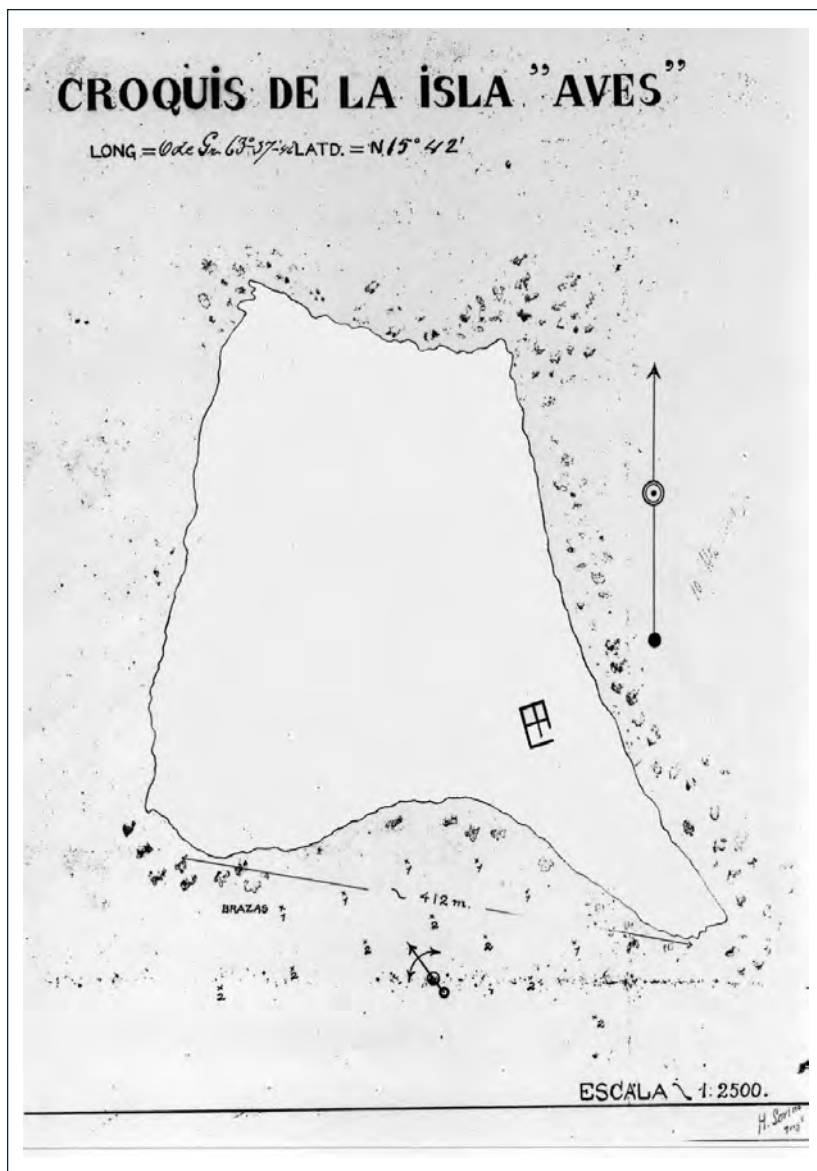


Figura 21. Croquis de Isla de Aves que acompaña la solicitud de explotación de guano de 1920.

3.3.2 Léxico estratigráfico de Venezuela

El Léxico Estratigráfico de Venezuela, en la Tercera Edición de 1998, reconoce la **Formación Isla de Aves** del Pleistoceno Tardío–Holoceno, descrita por José Méndez B., 1997, y en la cual agrupa las «Calcarenitas de Isla de Aves» y la «Caliza del Mástil» reportadas por autores anteriores (Pantin, Zuloaga, Schubert y Mitchell) en una sola unidad estratigráfica y se describe como sigue:

Descripción litológica:

La Formación Isla de Aves, se puede dividir en dos unidades: una unidad representada por la Calcarenita de Isla de Aves, la cual puede corresponder al afloramiento de los sedimentos moderadamente consolidados de la unidad geosísmica 2 o unidad de nivel intermedio (en esta unidad de calizas se encuentran la correspondiente al Sangamon).

Otra unidad representada por la Caliza de El Mástil y el arrecife frangeante y rocas de playa que bordean a la isla, así como los sedimentos no consolidados, formados por las arenas calcáreas, que se encuentran en la superficie de la isla. Esta última unidad es del Holoceno.

La Calcarenita de Isla de Aves aflora principalmente en el noroeste de la isla, donde forma una pequeña plataforma de calizas erosionadas y se extiende desde el nivel del mar hasta 1 m de altitud. Según Pantin (1972), consiste en calcarenita de color crema, a gris en las superficies meteorizadas, de grano fino y medio. La calcarenita contiene fragmentos de corales, algas coralinas, gasterópodos, pelecípodos, foraminíferos bentónicos. La roca es de textura semiapretada y bastante porosa.

La otra unidad está representada por la Caliza de El Mástil la cual está formada por arena calcárea sin estratificación o pobre estratificación con abundantes cantos y bloques de coral (*Acropora palmata*, fragmentos de *Acropora cervicornis*, *Diploria*, *Sideratrea*, *Montastrea*) ver **Figuras 22 y 23**. La Caliza de El Mástil descansa sobre la superficie erosionada de la Calcarenita de Isla de Aves (Pantin, 1972).



Figura 22. Remanentes de la «Caliza El Mástil» cubierta con verdolaga (© O. Contreras).



Figura 23. Detalle de la «Caliza El Mástil» en la parte norte de la isla (© O. Contreras).

La roca de playa formada entre el arrecife frangeante y las arenas no consolidadas en la superficie de la isla está formada por calcarenita litificada con algas coralinas principalmente *Lithothamnium* y pequeños fragmentos de corales briozoarios, moluscos (principalmente de los

géneros *Littorina* y *Nerita*) y foraminíferos bentónicos. Como toda roca de playa presenta un ligero buzamiento en dirección al mar de 10° a 15°. Las áreas calcáreas no consolidadas sobre la superficie de la isla y en la plataforma, están compuestas por fragmentos de los organismos recientes, corales, algas, moluscos, foraminíferos bentónicos, equinoides, etc.

El arrecife frangeante que bordea la isla es un desarrollo coralgal. Las algas coralinas rojas como el *Lithothamnium* desarrollaron un armazón sumamente compacto con los corales hexacorarios, típico de los arrecifes expuestos a un régimen de energía de oleaje muy fuerte. Algunas colonias de corales presentan desarrollos importantes como la *Acropora palmata* al noroeste de la isla y grandes colonias aisladas de *Diploria*, *Montastrea*, *Porites*, *Siderastrea*, hidrozoarios como la *Millepora*, equinodermos como *Diadema antillarum*, algas calcáreas como la *Halimeda*, etc., pero en términos generales, no hay un desarrollo masivo de corales hermatípicos como se observa en otras zonas coralinas de Venezuela (Los Roques, La Orchila, La Blanquilla), ya que las algas coralinas incrustantes y cementantes son parte fundamental del arrecife. Almeida y Goddard (1974), realizaron un estudio detallado de la zonación coralina en el arrecife frangeante, de acuerdo a la profundidad y los organismos predominantes.

Espesor:

No se conoce el espesor de la Calcarenita de Isla de Aves, ya que no aflora el contacto con las unidades del subsuelo. Asumiendo que la calcarenita sea el afloramiento en Isla de Aves de la unidad geosísmica 2, esta presenta en la plataforma submarina de Isla de Aves de 0 a 45 m de espesor. Según Pantin (1972), el espesor de la Caliza de El Mástil es de 2 m aproximadamente. Los arrecifes frangentes fueron analizados hasta la base o fundación (descansan sobre calizas del Pleistoceno de la unidad geosísmica 2) indicando un espesor mínimo de 12 m.

Extensión geográfica:

La caliza pleistocena de la unidad geosísmica 2, aflora de norte a sur en la prominencia de Aves y al oeste de la isla. Aflora como Calcarenita de Isla de Aves en el noroeste de la isla.

Contactos:

El tope de la caliza de la unidad geosísmica 2 (unidad estratigráfica sísmica 2) indica la caliza más joven del Pleistoceno tardío y la base de las calizas del Holoceno. La base de esta caliza pleistocena no aflora. Asumiendo que la base de la Isla de Aves está representada por la unidad geosísmica 2 (calizas litificadas) cuya superficie más alta está representada en la isla por la Calcarenita de Isla de Aves, suprayacente y discordantemente se encuentra la Caliza de El Mástil, los arrecifes frangeantes y la roca de playa.

Fósiles:

Varias especies de corales hexacorarios, *Acropora palmata*, *A. cervicornis*, *Diploria* sp., *Montastrea cavernosa*, *Siderastrea* sp., *Agaricia* sp. Algas calcáreas como *Lithothamnium*, *Halimeda* sp., Foraminíferos como *Amphistegina lessoni* y *Archaias angulatus*, así como fragmentos de moluscos, equinoides, briozoarios.

Edad:

Los sedimentos calcáreos litificados que integran la unidad geosísmica 2 son del Pleistoceno tardío. Estas calizas que forman el basamento de la Isla de Aves, a su vez, descansan sobre un zócalo ígneo metamórfico que moldea la montaña submarina conocida como la prominencia de Aves. Las calizas que se fueron desarrollando en torno al zócalo ígneo metamórfico se originaron durante los estados de máxima transgresión marina por interglaciales ocurridos en el Pleistoceno. El desarrollo sucesivo de sedimentos de carbonatos y arrecifes frangeantes sobre el zócalo ígneo metamórfico inicial, y sobre los carbonatos depositados por las continuas transgresiones, contrarrestó la subsidencia de la prominencia de Aves. El último gran estado transgresivo o nivel máximo del mar se produjo durante el Sangamon interglacial, donde el nivel máximo alcanzó de 6 a 7 m sobre la altura actual. El depósito de sedimentos y el desarrollo de arrecifes ocurrieron sobre las calizas preexistentes de los anteriores interglaciales, por lo tanto, el nivel más alto de las calizas en un área dominada por la subsidencia es alcanzado por el último interglacial o Sangamon. De esta forma, el nivel más alto o superficial de los sedimentos calcáreos o calizas de la unidad geosísmica 2, corresponde al Sangamon. Los

afloramientos submarinos que aparecen indicados en González de Juana *et al.* (1980) y que se ubican en la prominencia de Aves de norte a sur y que corresponden a la unidad geosísmica 2, son de edad Sangamon. La Calcarenita de Isla de Aves corresponde a esta unidad.

La plataforma de Isla de Aves presenta entre los 30 y 50 m de profundidad una terraza característica formada por las transgresiones posteriores al interglacial Sangamon (entre 105 000, 84 000, 60 000 a AP en forma similar a la morfología submarina que se encuentra en Los Roques, Las Aves y La Blanquilla (Méndez, 1985). Los arrecifes frangeantes que bordean a Isla de Aves, la roca de playa, la Caliza El Mástil, y las arenas calcáreas no consolidadas, son de edad Holoceno.

Correlación:

Considerando que la caliza sobre la cual se desarrollaron los arrecifes frangeantes, las roca de playa y las arenas no consolidadas corresponden al Sangamon, se puede efectuar una correlación cronoestratigráfica con aquellos niveles de edad similar: Miembro Falucho de la Formación La Blanquilla, Formación La Orchila, Miembro Punta de Piedras de la Formación Tortuga, Formación Castillo de Araya, Formación El Manglillo, Terraza Inferior de la Península de Macanao, Terraza Inferior (*Lower Terrace*) de Curazao, Aruba y Bonaire, Terraza III de Barbados, Terraza I de Jamaica, etc.

Paleoambientes:

Isla de Aves es un típico desarrollo coralino sobre un zócalo ígneo-metamórfico, donde la subsidencia es contrarrestada por el volumen de sedimentos producido por los organismos constructores de arrecifes y productores de sedimentos calcáreos. Los arrecifes se van desarrollando en torno a un basamento, originando un crecimiento que se denomina acreción vertical y lateral. Con las transgresiones originadas por los interglaciales del Pleistoceno, los arrecifes van progradando vertical y lateralmente con la transgresión, por lo tanto, se van originando arrecifes de barrera o arrecifes frangeantes con facies de calcárenitas detrás de los arrecifes en ambientes de plataforma.

3.3.3 Geología del subsuelo

3.3.3.1 Perforaciones del DSDP

Poco se conoce del subsuelo de la plataforma de Isla de Aves y de la prominencia de Aves en general. El programa *Deep Sea Drilling Project* - JOIDES ha efectuado dos perforaciones de una sola entrada al hoyo en la prominencia de Aves, en las cercanías de la isla: *Site 30* situado a 260 km al sureste, y *Site 148* a 210 km al sur de Isla de Aves, ver **Figura 24**. Ambos fueron perforados con el barco *Glomar Challenger*, que toma núcleos continuos de 2" de diámetro, los cuales están almacenados en el East Coast Repository, situado en el Lamont-Doherty Earth Observatory de la Universidad de Columbia en Palisades, New York, EE. UU.

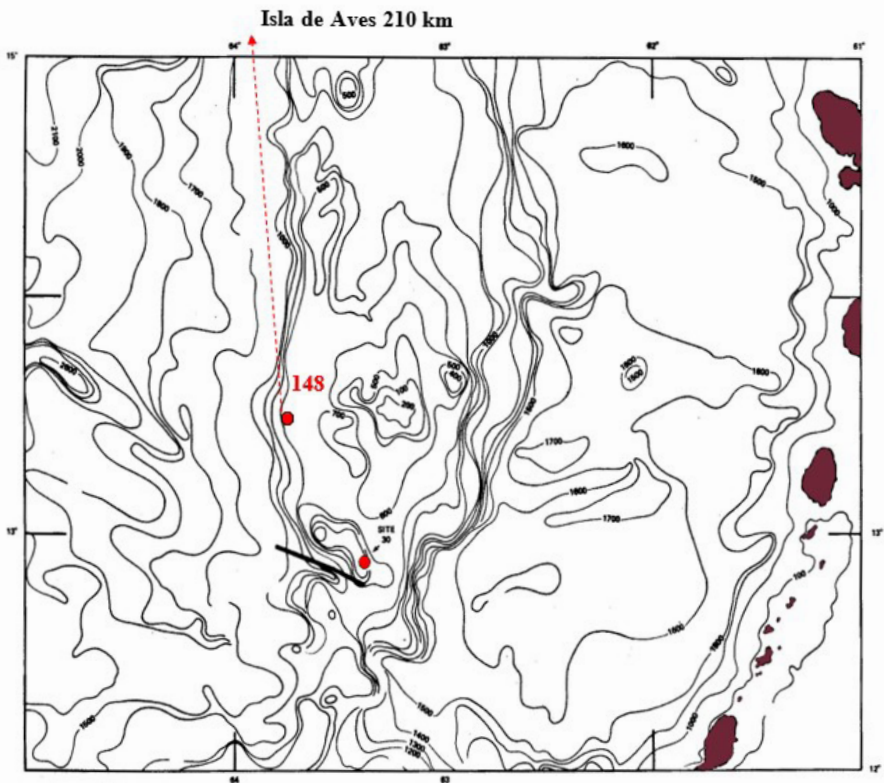
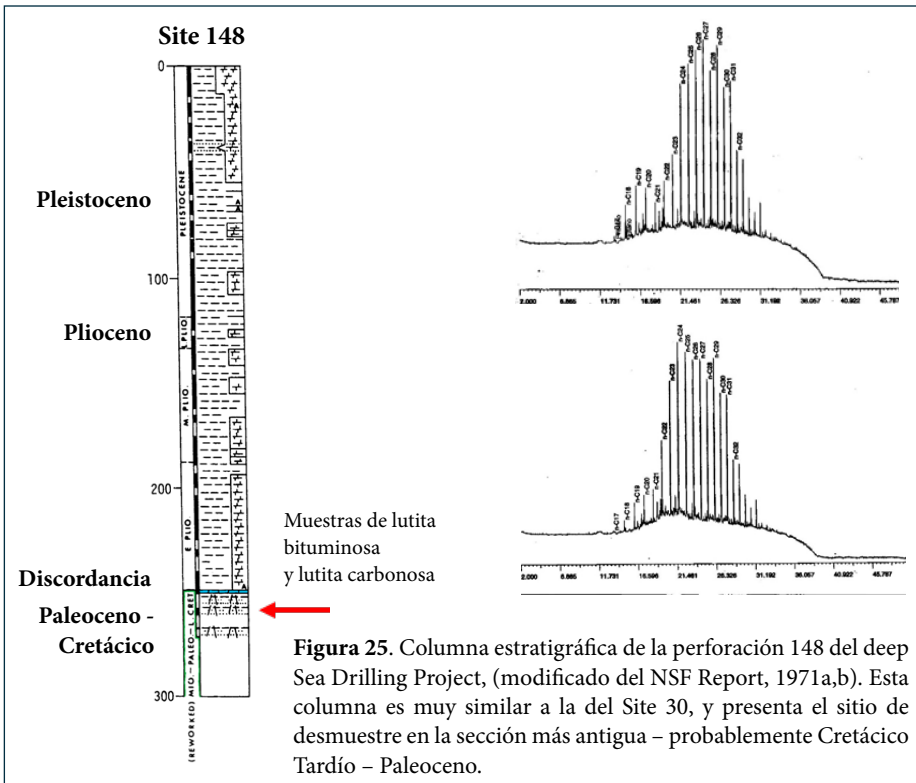


Figura 24. Localización de las perforaciones Site 30 y Site 148 del Deep Sea Drilling Project (modificado del Report National Science Foundation, 1971a,b).

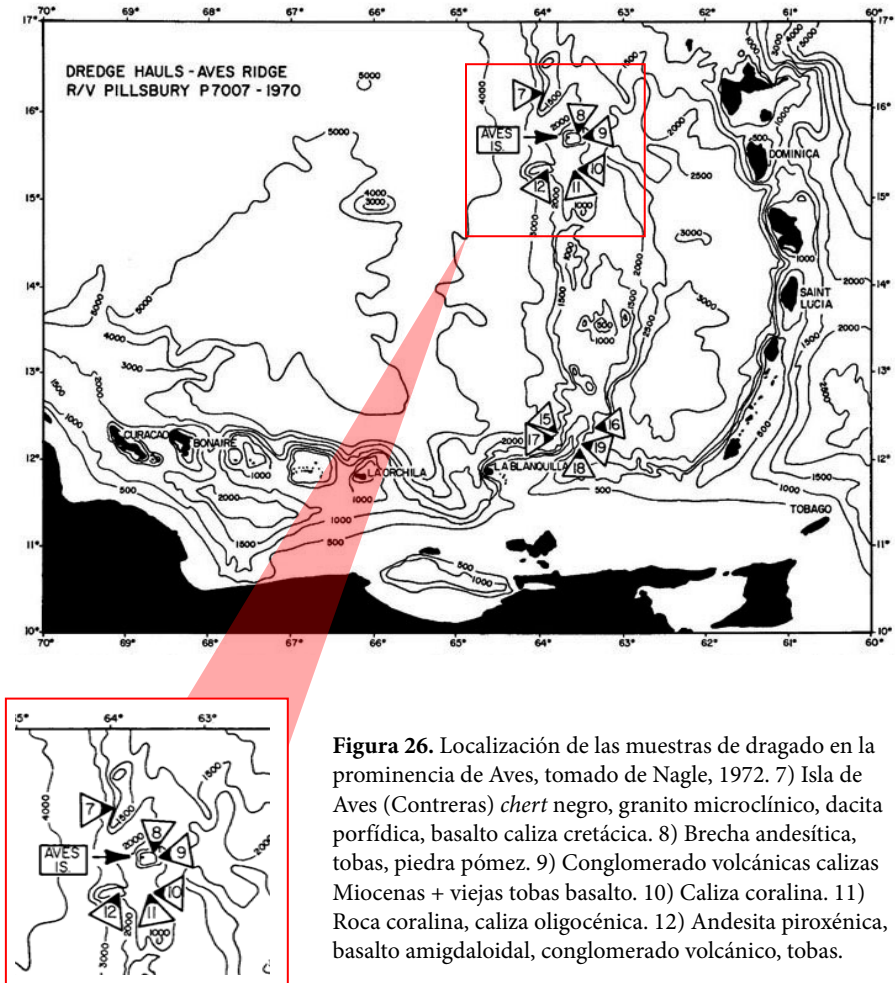
Site 30 fue perforado en la cresta de la prominencia de Aves, encima del nivel de compensación del calcio, con el objetivo de obtener una correlación estratigráfica con las secciones geológicas bien conocidas de Trinidad, Barbados y Margarita. La perforación comenzó a una profundidad de 1211 m de la columna de agua, se perforó hasta una profundidad de 430 m y se obtuvieron 133 m de núcleo, penetrando hasta la mitad del Mioceno Tardío. En un viaje a Palisades, en noviembre del año 2001, el autor y el Ing. Geol. Omar Contreras de PDVSA- Intevop obtuvieron 6 muestras de entre 10 y 25 g c/u de la parte inferior del núcleo para análisis estratigráficos y geoquímicos.

Site 148 también está situado en la cresta de la prominencia de Aves, más cerca de Isla de Aves, y penetró 272 m de sección, de los cuales 250 m son del Plio-Pleistoceno y 22 m corresponden a una sección retrabajada del Cretácico, Eoceno y Mioceno, separados por una discordancia subaérea. En esta última porción del núcleo se tomaron 11 muestras para estudios petrográficos y geoquímicos, especialmente para correlacionar los granos retrabajados con los cantos encontrados en la propia Isla de Aves. Los cromatogramas de la **Figura 25** corresponden a extractos de lutitas bituminosas posiblemente del Cretácico Tardío, que evidencian la presencia de hidrocarburos en la sección geológica debajo de la discordancia del Mioceno Tardío-Plioceno.



3.3.3.2 Dragados en la prominencia de Aves

Varias han sido las expediciones oceanográficas concebidas con la finalidad de encontrar fragmentos y cantos de rocas pertenecientes al basamento ígneo-metamórfico de la prominencia de Aves y a las capas más antiguas depositadas. Las muestras de dragado más cercanas a Isla de Aves corresponden a la expedición del buque R/V Pillsbury del año 1970. Esta expedición, organizada por Frederick Nagle, se planificó con la idea de verificar la teoría de H.H. Hess, quien en 1938 sugirió que los picos de la prominencia de Aves corresponden a antiguos volcanes sumergidos. La campaña proporcionó más de 1000 kg de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias, de los cuales el fragmento mayor tiene 1 m de diámetro, ver **Figura 26** para los detalles litológicos.



Los sitios más cercanos a Isla de Aves, los identificados como No. 8 y No. 9, situados a pocos kilómetros al este de la isla, proporcionaron fragmentos de brecha andesítica, tobas, basaltos, conglomerados volcánicos, piedra pómez, andesita y fragmentos de calizas miocenas y más antiguas. Otros sitios un poco más alejados proporcionaron calizas coralinas, andesitas piroxénicas, basalto amigdaloidal, calizas oligocenas, *chert* y diabasas. Este conjunto litológico compara favorablemente con los fragmentos de rocas encontrados en la propia Isla de Aves y confirma el carácter autóctono de estos fragmentos en contraposición de lo manifestado por Schubert y Laredo (1984) y otros autores que los consideraban como parte del balasto de embarcaciones pesqueras.

Este conjunto litológico también confirma la hipótesis de Hess (1938) de que existían volcanes activos en la cadena montañosa sumergida de la prominencia de Aves, y además de que la columna geológica de «Caribia» incluye sedimentos del Cretácico (*chert*, calizas) y del Oligoceno, además de los sedimentos del Terciario Joven (Mioceno tardío a Pleistoceno) penetrados por el taladro en las campañas del Glomar Challenger.

Las conclusiones de Nagle, basados en estas muestras, son de que la prominencia de Aves tiene dos posibles orígenes: a) segmento extensional separado del arco de las Antillas Menores, o b) remanente de una zona de subducción antigua.

3.4 II Expedición Científica Isla de Aves, diciembre 2000

3.4.1 Introducción y objetivos

El día 23 de noviembre de 2000 la Armada de la República Bolivariana de Venezuela y la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales convocaron a una reunión científica sobre la problemática de Isla de Aves en la sede de la Academia, Palacio de las Academias, Bolsa a San Francisco en la ciudad de Caracas. Al evento asistieron 21 personas representando a 8 instituciones. Por PDVSA-Intevep asistieron el Dr. José Vera y el Ing. Geol. Omar Contreras.

En esta reunión se analizó la situación geopolítica, jurídica, geológica, biológica y meteorológica de Isla de Aves y los cambios que ha sufrido a lo largo de los últimos 50 años, basado en informes geológicos y fotografías aéreas, y de los últimos siglos basado en cartografía marina y descripciones de viajeros. Se concluyó nombrando 5 comisiones técnicas: **Variaciones Verticales de la Plataforma, Variaciones Verticales del Nivel del Mar, Comunidad Coralina y Fauna Asociada, Dinámica de Sedimentos, y Ecosistema Terrestre**, y se

invitó a los todos los asistentes y a los suscritos a participar en la **II Expedición Científica de Isla de Aves**, que se llevó a cabo del 4 al 15 de diciembre de 2000 con el Buque Oceanográfico BO-11 Punta Brava.

El Ing. Geól. Omar Contreras fue seleccionado por la Academia para participar como su representante en esta Expedición, para lo cual se solicitaron los permisos formales al presidente de PDVSA-Intevep y al director de Hidrografía y Navegación de la Armada.

La II Expedición Científica tenía como objetivos los siguientes:

- a) Cartografía en escala 1:2000 de la isla y su plataforma marina adyacente a cargo del personal especializado del buque oceanográfico BO-11 Punta Brava.
- b) Levantamiento gravimétrico en detalle sobre un enrejado de control, a cargo del Dr. Angel Bongiovanni y un tesista de la UCV.
- c) Instalación del gravímetro de precisión permanente para monitorear mareas terrestres a cargo del Dr. Bongiovanni.
- d) Instalación de un mareógrafo por el personal de la Armada.
- e) Recolección de muestras geológicas y observaciones geomorfológicas a cargo del Ing. Geól. Omar Contreras PDVSA-Intevep y ACFIMAN.

La salida de la II Expedición Científica se efectuó el día 4 de diciembre del año 2000 desde el observatorio Cajigal a las 13:30 llegando al puerto de La Guaira y abordando el «Punta Brava» a las 14:30. El buque zarpó a las 17:00 horas del día lunes 4 de diciembre y llegó a Isla de Aves el día miércoles 6 de diciembre a las 10:30, para un tiempo de viaje de 41,5 horas. El desembarco a la isla se efectuó a las 14:30.

3.4.2 Actividades científicas en Isla de Aves

Miércoles 6 de diciembre, después de la 14:30, se efectuó un recorrido y se tomaron 4 muestras geológicas. Comenzó el estudio geofísico de refracción con martillo como fuente de energía durante el cual se detectaron dos capas refractoras. Comenzó a la perforación para encontrar una base firme para el gravímetro fijo con la ayuda de equipos especializados de la empresa Suelopetrol.

Jueves 7 de diciembre, se iniciaron las perforaciones para la instalación del gravímetro en roca firme, durante la cual se tomaron 16 muestras de las capas superficiales, no consolidadas de la isla hasta una profundidad de aproximadamente 4 metros. También culminó el levantamiento gravimétrico

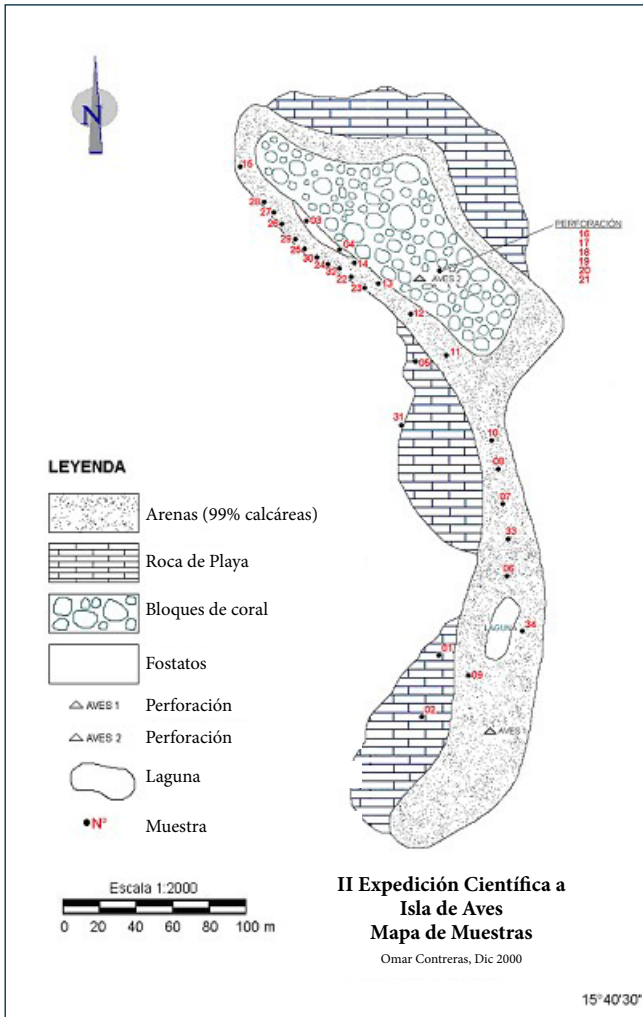


Figura 27. Mapa de muestras de la II Expedición Científica a Isla de Aves, realizado por Omar Contreras

sobre un enrejado de control por parte del Dr. Angel Bongiovanni y el Br. Franklin Tapia, un tesista de la Universidad Central de Venezuela.

Viernes 8 de diciembre, culminó la perforación con el equipo de Suelopetrol, y se tomó la muestra No. 21 del fondo de la perforación.

Sábado 9 de diciembre, se tomaron las muestras IAV-22 a la IAV-28.

Domingo 10 de diciembre, se dedicó el día a realizar observaciones geomorfológicas en la isla, incluyendo las zonas de roca de playa y sedimentos cuaternarios consolidados al norte, este y sur de la isla. Se encontraron 3 semillas del mangle *Rhizophora mangle*, posiblemente arrastradas por las corrientes marinas.

Lunes 11 de diciembre, continuaron las observaciones geomorfológicas y ecológicas en los alrededores de la isla, se toman fotografías del desove de las tortugas verdes *Chelonia mydas* y de los pocos pájaros que se encontraron de visita en la isla. Se documentó fotográficamente la matanza de algunos tortuguillos por parte de aves que picotean el saco vitelino suave de los tortuguillos hasta matarlas.

Martes 12 de diciembre, se reanudaron las excavaciones y perforaciones para la base del gravímetro y se tomaron las muestras IAV-29 a IAV-33. Se realizan observaciones geomorfológicas desde el módulo científico de la Armada.

Miércoles 13 de diciembre, comenzó el embarque en el buque oceanográfico Costa Brava desde las 06:00.

Jueves 14 y viernes 15 de diciembre, navegación, llegada al puerto de La Guaira a las 06:00, desde donde se regresó a Caracas. Tiempo de navegación de regreso aproximadamente 42 horas.

3.4.3 Observaciones generales sobre el viaje

La comida en el buque oceanográfico es típica de la Marina de Guerra, en la isla, la comida fue suministrada por el personal del módulo científico de la Armada que hizo lo imposible para satisfacer las necesidades de los invitados.

En Isla de Aves no existe agua dulce, lo cual incomoda el aseo personal, tampoco existen árboles donde protegerse del sol inclemente. Ocasionalmente, la brisa fuerte sopla las 24 horas del día. El tiempo de navegación es bastante largo; más de 40 horas, ya que la velocidad máxima del BO-11 Punta Brava es de 10 nudos (15 km/h). El diseño del buque hace que el mismo oscile constantemente con las respectivas molestias de náuseas y mareos. El trato del personal de la Armada es excelente, incluyendo desde luego, al capitán de navío Giomar Cartagena Nieves.

3.4.4 Observaciones geológicas generales

Durante la expedición se logró recolectar importantísima información geológica en lo que a muestras, observaciones geomorfológicas y fotografías, se refiere. De los datos geológicos recolectados se concluye que existe en la actualidad un acentuado y activo proceso de erosión marina y eólica sobre la Isla de Aves. También se documentaron fotográficamente los remanentes de los depósitos de guano y fosfato que se explotaron en el siglo XIX, ver **Figuras 28 y 29**.

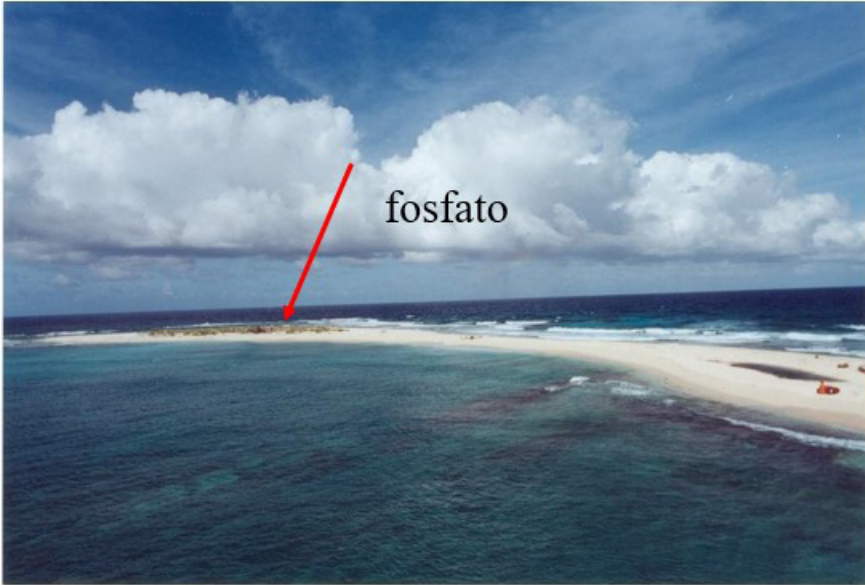


Figura 28. Parte norte de la isla mostrando afloramiento de fosfato (© Omar Contreras).



Figura 29. Caliza fosfatada por el guano de los pájaros (© Omar Contreras).

3.4.5 Análisis de las muestras – Proyecto PDVSA-Intevep A-532

El día 24-01-2001, el presidente de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales, Dr. Ignacio Iribarren, hizo una solicitud de ayuda al presidente de PDVSA-Intevep, Dr. Vincenzo Paglione, para procesar las muestras geológicas recolectadas en la II Expedición Científica Isla de Aves y preparar el informe técnico respectivo. El Dr. Paglione respondió pronta e interesadamente, abriendo el proyecto interno «ESTABILIDAD GEOLÓGICA Y EROSIÓN MARINA EN ISLA DE AVES», identificado con el N.º A-532 de PDVSA-Intevep por la cantidad de Bs. 109 millones para tal fin.

Este proyecto está centrado en cuatro objetivos específicos:

- a) Evaluar, analizar y reportar sobre las 33 muestras recolectadas.
- b) Estudiar la evolución geomorfológica de la isla basada en mapas de 1887, 1920, 1952, 1960 y fotografías aéreas de 1972 y 1999.
- c) Evaluar la erosión marina durante este período.
- d) Desarrollar módulos de electro-cementación sumergidos, sin fuente energética externa, para reparar los arrecifes dañados.

3.4.5.1 Toma de muestras

En la expedición se tomaron un total de 33 muestras geológicas de mano, y una muestra de semillas de mangle. Casi la mitad de las muestras, *i.e.* 15 muestras, corresponden a arenas de playa del Cuaternario, obtenidas en dos calicatas y perforaciones con pistón de aire comprimido, según un plan estratificado vertical. Cuatro muestras son de calizas fosfatadas y fosfatos del Reciente. Tres (3) muestras provienen de rocas de playa del Holoceno, y las restantes muestras, corresponden a litologías exóticas que no afloran en la isla, pero que sí se han reportado de dragados en sitios cercanos de la prominencia de Aves (Nagle, 1972). Entre estas muestras se observó un (1) fragmento de arenisca, una (1) muestra de caliza bituminosa del Cretáceo Tardío (equivalente a la Formación San Antonio – Fm La Luna, principal roca madre de hidrocarburos en Venezuela), una (1) muestra con abundantes fragmentos de *chert* o ftanita, también indicativa de la Formación La Luna, cuatro (4) muestras de carbonos y lutitas bituminosas-carbonosas, y cuatro (4) muestras con varios fragmentos cada una de rocas ígneas, *i.e.* basalto, granito microclínico, dacita y toba volcánica. Nótese que las muestras de rocas ígneas y sedimentarias encontradas en esta expedición no son producto de lastre llevado a la isla por barcos, como se ha mencionado en la literatura (Maloney *et al.* 1968, Schubert y Laredo, 1984), sino que son producto de la erosión de masas rocosas cercanas de la

misma prominencia de Aves, que tiene esta composición litológica, como se demuestra por los fragmentos encontrados en los dragados realizados en la cercanía de Isla de Aves (Nagle, 1972).

3.4.5.2 Métodos de análisis

A todas las muestras se le practicaron análisis de composición química de los elementos mayoritarios, elementos trazas y mineralogía por difracción de rayos X. A todas las rocas consolidadas se le hicieron secciones finas para estudios de petrografía y determinación mineralógica modal, los carbones y la caliza bituminosa se sometieron además a estudios geoquímicos de extracción de bitumen e hidrocarburos livianos, reflectancia de vitrinita y análisis de cromatografía de la fracción saturada para determinar hidrocarburos intersticiales. En las muestras de arenas de playa se evaluó la granulométrica (tamaño de grano, por flotación los minerales pesados) y se hizo un estudio paleontológico para determinar los organismos o fragmentos de organismos calcáreos que la componen.

3.4.5.3 Petrografía y sedimentología

3.4.5.3.1 Rocas ígneas

En el área noreste de la isla se recolectaron un total de tres (3) muestras de rocas ígneas, a saber: IAV-24, IAV-26, IAV-27. En la zona sur de Isla de Aves se recolectó la muestra IAV-31.

IAV-24 es un canto de **basalto**, de 1 cm de diámetro, de color negro oscuro. Al microscopio se observan los siguientes minerales: plagioclasa (oligoclasa, 50 %), anfíboles (hornblenda, 25 %), cuarzo (10 %), epidoto (5 %) de aspecto granular, piroxeno (5 %), calcita (5 %) formada por alteración secundaria de la plagioclasa cálcica inicial, trazas de minerales opacos (pirita, magnetita, limonita), ver **Figura 31-c** y **Figura 31-d**.

IAV-26 es un canto de **basalto** redondeado, de 6 cm de diámetro, de color negro intenso. Se reconoce al microscopio: plagioclasa zonada (oligoclasa, 70 %), anfíbol (hornblenda, 20 %), piroxeno (hipersteno, 10 %), trazas de minerales opacos (magnetita), ver **Figura 30-b**.

IAV-27 es un canto angular de **granito**, de 4 cm de diámetro, color crema claro con manchas negras, ver **Figura 30-a**. Se reconoce al microscopio: feldespato potásico (microclino perfitico) (65 %), cuarzo xenomorfo (15 %), con extinción ondulatoria, biotita, ocasionalmente altera a clorita, altamente pleocroica, con halos pleocroicos, plagioclasa (10 %), con el típico maclado polisintético, ver **Figura 31-a** y **Figura 31-b**.



Figura 30. Muestras de fragmentos de roca encontrados en Isla de Aves.

IAV-31 es un canto de **toba ácida o dacita porfídica**, con aspecto conglomerático, de 10 cm de diámetro y de color vino tinto. Al microscopio se observa: plagioclasa (60 %) (oligoclasa), cuarzo (30 %), feldespato potásico (10 %), trazas de minerales opacos (hematita) y trazas de biotita, ver **Figura 31-e** y **Figura 31-f**.

3.4.5.3.2 Carbones

Se recolectaron 3 muestras de carbón: IAV-22, IAV-23 e IAV-30.

IAV-22 es un canto de carbón con bordes redondeados recolectado en la zona noroeste, de color negro intenso, de unos 5 cm de diámetro, ver **Figura 30-c**.

IAV-23 es un canto de **lutita o filita grafitosa**, con bordes redondeados, recolectado en la zona noroeste de la isla, de color negro intenso, de unos 6 cm de diámetro, ver **Figura 30-d**.

IAV-30 es una **limolita carbonosa** de 5 cm de diámetro, color gris oscuro, recolectada en la zona sur de la isla.

3.4.5.3.3 Rocas sedimentarias

Este tipo de roca se encontró en la zona noroeste de la isla, excepto las rocas de playa que se encuentran en la playa oeste y zona noreste de la isla, a saber: IAV-28 (ftanita), IAV-29 (arenisca), IAV-32 (caliza). Rocas de Playa del Holoceno-Pleistoceno: IAV-01, IAV- 02 e IAV-05.

IAV-28 cantos redondeados de **chert o ftanita**, masivos de grano fino, de 1 a 2 cm de diámetro, color negro intenso, fractura concoidea. Al microscopio se observa cuarzo microcristalino y ocasionalmente microfósiles y espículas, ver **Figura 32-c** y **Figura 32-d**.

IAV-29 canto redondeado de **arenisca subarcosa**, de color anaranjado pálido, de unos 4 cm de diámetro. Al microscopio se observan granos subangulares de regular escogimiento, principalmente de cuarzo (70 %), matrix arcillosa (40 %), plagioclasa (20 %), moscovita (10 %) y trazas de feldespato potásico; no se observaron fragmentos de roca, ver **Figura 32-a** y **Figura 32-b**.

IAV-32 canto de **caliza** alargado con bordes redondeados, de 5 cm de diámetro y de color negro. Al microscopio se observa su textura de *wackstone* con porosidad vesicular producida por la disolución de algunos granos, los cuales están micritizados y presentan crecimientos de espato en algunas partes. La roca está compuesta de radiolarios (70 %), lodo (30 %), trazas de cuarzo y una estilolita rellena de bitumen, ver **Figura 30-e**.

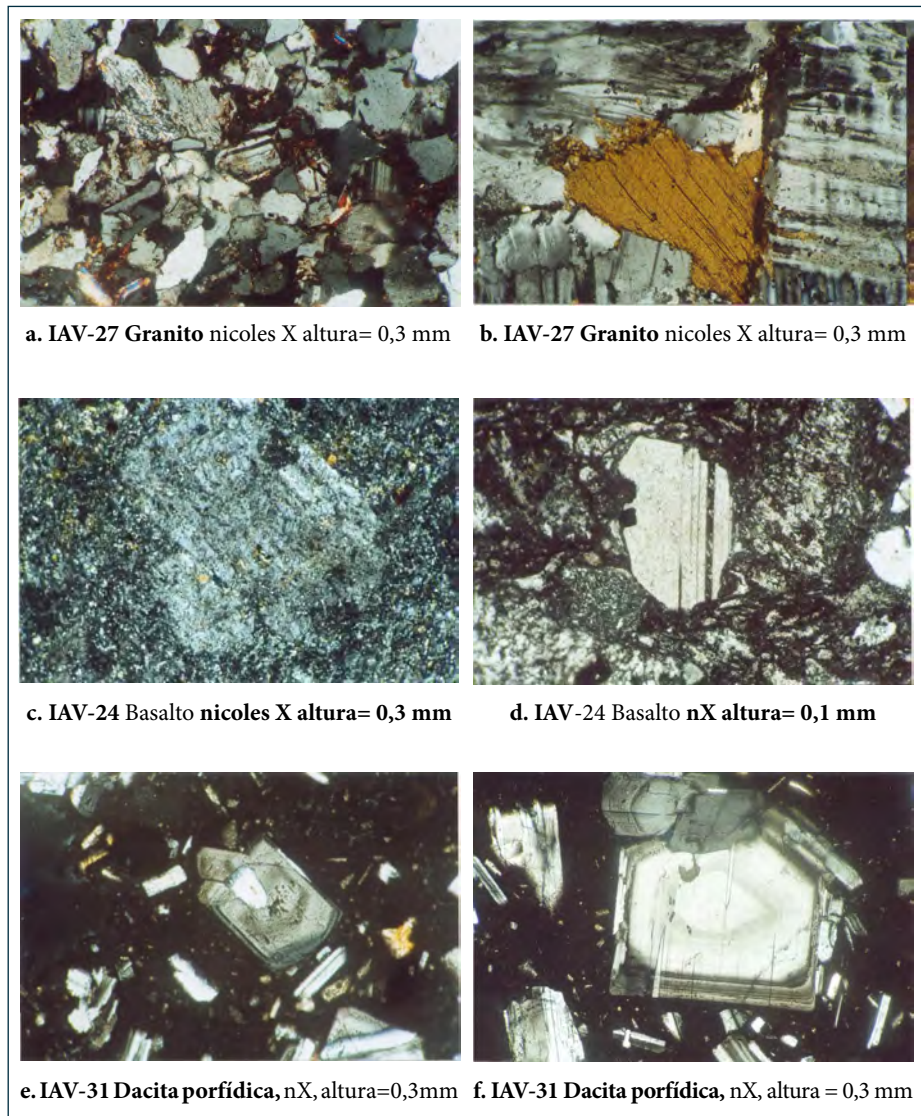


Figura 31. Secciones finas de rocas ígneas encontradas en Isla de Aves.

3.4.5.3.4 Rocas de playa

Se recolectaron las muestras IAV-01, IAV-02 e IAV-05 en las playas norte, oeste y este de la isla. Estas rocas son de color crema claro, endurecidas, ofreciendo fuerte resistencia al oleaje del mar, que afloran en capas de forma tabular bajo el agua y en forma de montículos irregulares cuando están emergidos. Generalmente, se encuentran a unos 4 m de la playa a una profundidad de unos 50 cm debajo del nivel del mar. Su edad es Holoceno-Pleistoceno, formado durante el interglacial Sangamon hace aproximadamente 40 000 años (Méndez, 1997). Al microscopio se observan restos de algas, fragmentos de coral, restos de conchas de bivalvos y pelecípodos, todos fuertemente micritizados y cementados con carbonato de calcio.

3.4.5.3.5 Fosfatos

Remanentes de los grandes depósitos de fosfato y guano, que en el siglo XIX cubrían gran parte de la isla, se encuentran en la zona nor-oeste de la isla en una capa deleznable de 20 cm de espesor, de color marrón y de aspecto sacaroideo. Allí se tomaron las muestras IAV-03, ver **Figura 30-f**, IAV-07 e IAV-08. Al microscopio con nicoles cruzados se observan esferas homogéneas posiblemente de origen fecal, de color marrón oscuro, del mineral fluorapatita. También se presentan restos de conchas calcáreas, espinas y oolitas, ver **Figura 32-e**.

3.4.5.3.6 Arenas de playa del Holoceno

Isla de Aves está cubierta en su totalidad de arenas calcáreas, de tamaño grueso a fino, de color crema claro, originados por la erosión del arrecife frangeante que bordea la isla por el norte, este y sur. Las arenas poseen un escogimiento de pobre a moderado por la cercanía a la fuente de sedimentos, y son muy reabajados lo que le confiere cierto grado de redondez a los bordes de los granos. Estas arenas son 100 % calcáreas, compuestas por restos de corales, briozoarios, conchas de bivalvos y gasterópodos, algas, *pellets*, espículas de equinodermos, foraminíferos y vértebras de peces. Muchos granos presentan evidencias de solución y recristalización de la calcita, lo cual dificulta su identificación.

3.4.5.4 Micropaleontología

Desde el comienzo de la expedición, el Dr. Max Furrer, eminente micropaleontólogo suizo quien prestó sus servicios por más de 40 años en las compañías *Creole Petroleum Corporation*, Corporación Venezolana del

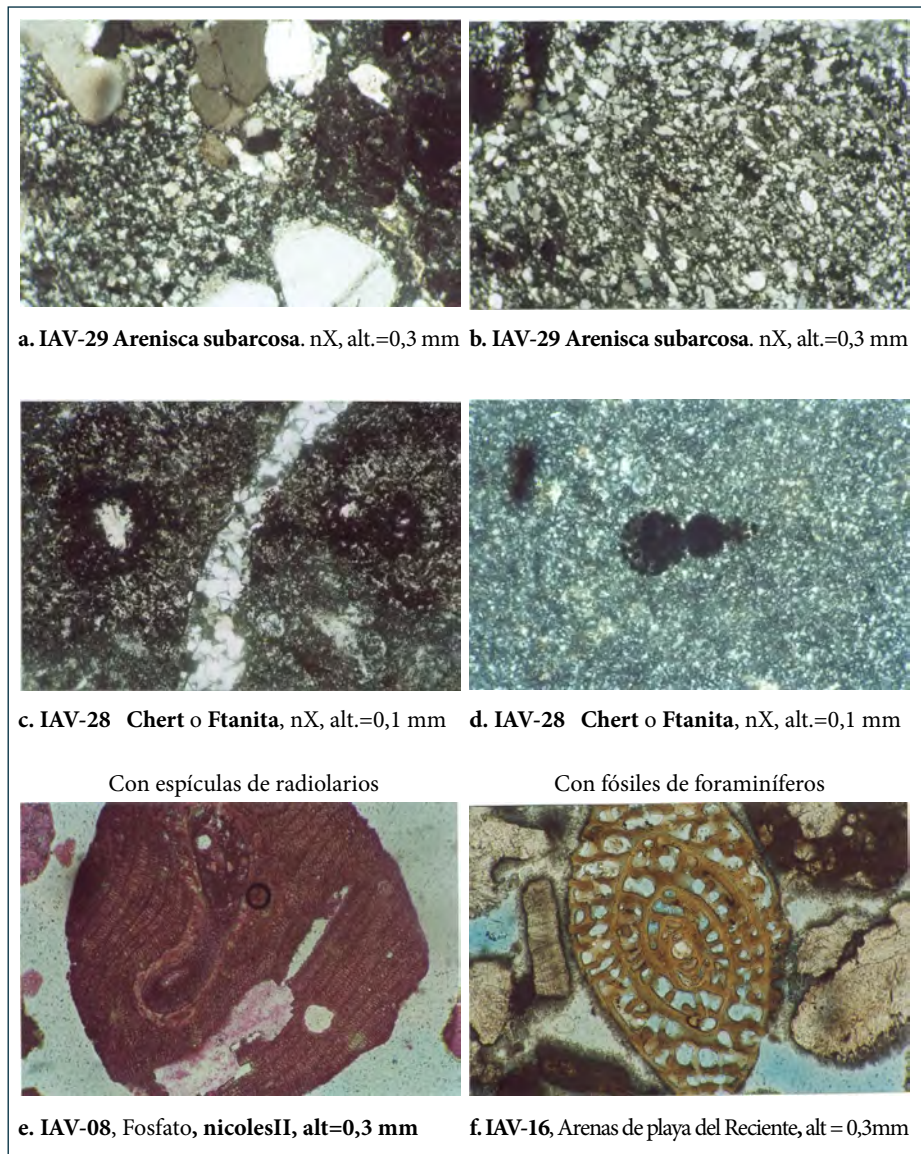


Figura 32. Secciones finas de rocas sedimentarias encontradas en Isla de Aves.

Petróleo – CVP, Petróleos de Venezuela – PDVSA e Intevep, ha estado muy pendiente de los resultados de las muestras de Isla de Aves. A él se le llevaron las secciones finas y las muestras lavadas de arenas y fosfato para la identificación de los microfósiles y para la determinación de la edad de los fragmentos de roca encontrados. El Dr. Furrer analizó un total de 23 muestras y en una comunicación personal hizo llegar los siguientes resultados:

- IAV-01 Fragmentos de corales, algas rojas (*Lithothamnium*), briozoarios, gasteropodos, bivalvos, foraminíferos: *Archaias* sp.
- IAV-02 Fragmentos de corales y fragmentos indeterminados.
- IAV-03 Igual a IAV-02
- IAV-04 Fragmentos de corales, algas rojas, briozoarios.
- IAV-05 Fragmentos de briozoarios, corales, algas verdes (*Dasycladacea*).
- IAV-07 Fragmentos de corales, esponjas?
- IAV-08 Igual a IAV-07, fragmentos de moluscos.
- IAV-09 Fragmentos de corales, moluscos, algas rojas y verdes, fragmentos difíciles de determinar por estar muy retrabajados.
- IAV-10 Briozoarios, fragmentos de corales, moluscos, algas rojas y verdes.
- IAV-11 Fragmentos de corales, briozoarios, moluscos, foraminíferos: *Amphistegina*.
- IAV-12 Fragmentos de corales con ciertas estructuras, pero no se pueden identificar.
- IAV-13 Fragmentos de bivalvos, gasteropodos, corales, briozoarios, *Amphistegina*, algas rojas y espinas de equinodermos de aguas someras.
- IAV-14 Igual a IAV-13, foraminíferos: *Archaias*.
- IAV-15 Fragmentos de corales, briozoarios, bivalvos, algas rojas (*Lithophyllum*), vértebras de peces.
- IAV-16 Fragmentos de corales, briozoarios, *Lithophyllum*, vértebras de peces.
- IAV-17 Fragmentos de corales, algas rojas (*Lithothamnium*, *Lithophyllum*, *Coralina*), bivalvos, briozoarios, *Amphistegina*.
- IAV-18 Corales, algas rojas, bivalvos, briozoarios, *Amphistegina*.
- IAV-19 Fragmentos de corales, bivalvos, algas rojas, briozoarios, gasteropodos, *Amphistegina*, *Archaias*.
- IAV-20 Vértebras de peces, fragmentos de moluscos, corales.
- IAV-21 Fragmentos de bivalvos, algas rojas, briozoarios, algas verdes (probablemente *Halimeda*).
- IAV-23 Glóbulos indeterminados, Radiolarios?

3.4.6 Geoquímica

Además de los estudios de petrografía mencionados anteriormente, se practicaron ensayos geoquímicos especiales a las tres muestras que prometían tener indicaciones de hidrocarburos por la presencia de materia orgánica en los intersticios de sus componentes mineralógicos. En primer término, se realizaron análisis de reflectancia de vitrinita y petrografía orgánica a tacos pulidos, concentrados de materia orgánica y secciones finas de las muestras IAV-22, IAV-30 e IAV-32, donde las dos primeras corresponden a carbones y la tercera es una caliza. Luego se sometieron las mismas a extracción *soxhlet* de porciones finamente molidas de las muestras:

3.4.6.1 Petrografía orgánica y reflectancia de vitrinita

La muestra de carbón **IAV-22** está constituida en un 75 % por vitrinita y un 22 % de inertinita. Se observaron trazas de exinitas sin fluorescencia aparente. Esta composición es típica de un carbón húmico, formado en un ambiente muy continental. La reflectancia de vitrinita es de 1,80 %. Desde el punto de vista de generación de hidrocarburos, este carbón se encuentra en la zona de ventana correspondiente a la generación de condensados. En todo caso, un carbón con estas características composicionales solamente puede generar gas. En la clasificación de los carbones, según el rango de carbonización usado en los EE. UU. esta muestra debe ser considerada como un carbón bituminoso poco volátil (Teichmüller, 1974). Por otra parte, al realizar la extracción orgánica y la cromatografía de la fracción saturada se detectó la presencia de hidrocarburos, ver **Figura 33**, parte superior.

La muestra de limolita carbonosa **IAV-30** está constituida en un 70 % por materia mineral y solamente un 30 % por materia orgánica. La materia orgánica a su vez presenta un 75 % de vitrinita, 22 % de exinitas y 3 % de inertinita. La reflectancia de la vitrinita de esta muestra es 2,29 %. En esta muestra las exinitas presentan valores de R_o (reflectancia de vitrinita) mayores que los de la vitrinita. Esto indica que la muestra ha superado el segundo salto de carbonización. En términos de generación de hidrocarburos se ubica en la zona de la ventana correspondiente a gas seco. La materia orgánica de esta lutita carbonosa, en la clasificación de los carbones según su rango, tiene el rango de semiantracita. Sin embargo, al realizar la extracción orgánica y la cromatografía de la fracción saturada se detectó la presencia de hidrocarburos, ver **Figura 33**, parte inferior.

Como comentario general conviene señalar que las dos muestras arriba descritas tienen pocas propiedades en común. Las muestras IAV-22 y la muestra IAV-30 han alcanzado diferentes paleo-temperaturas, por lo tanto, es

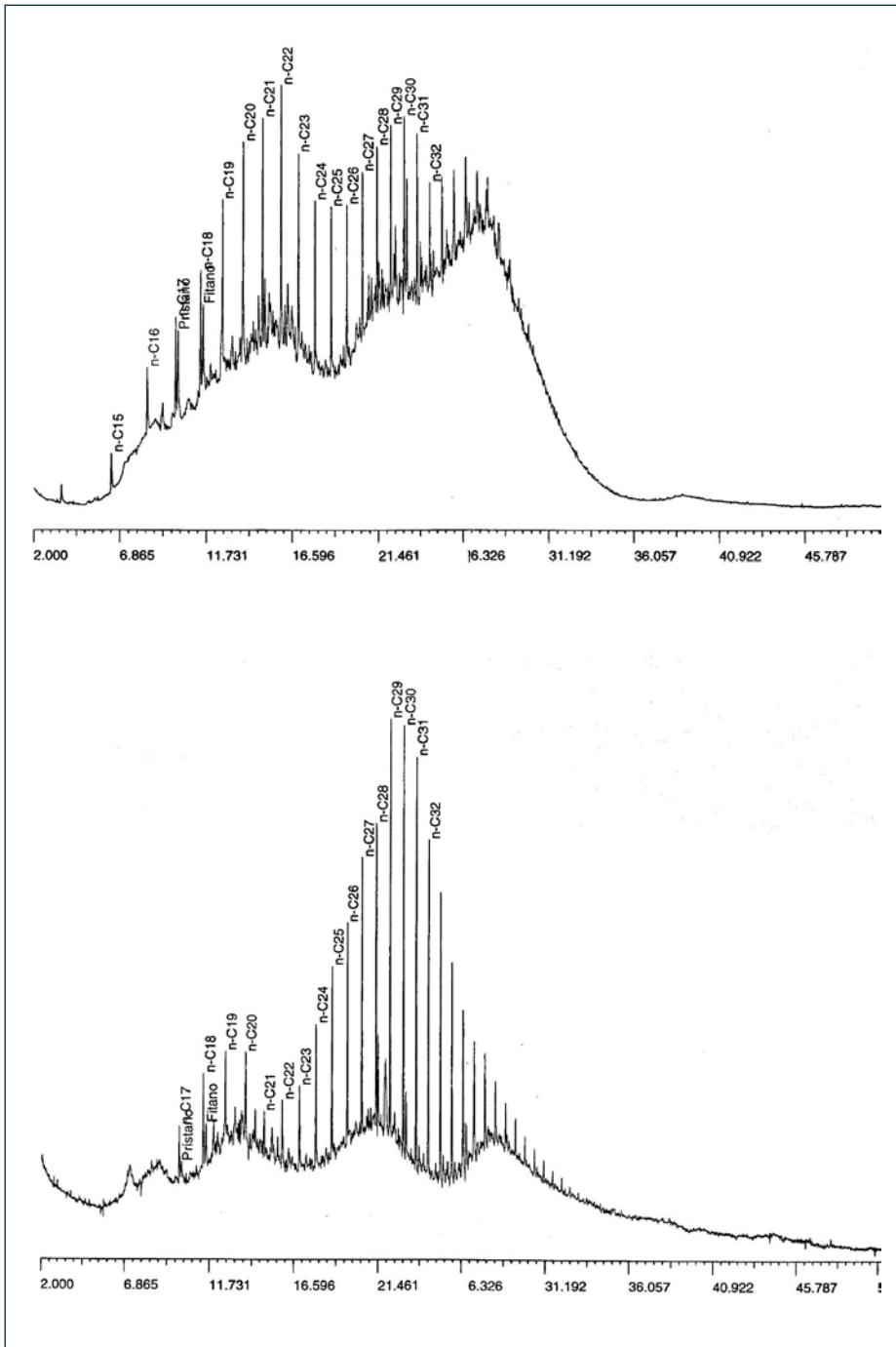


Figura 33. Evidencia de hidrocarburos. Cromatogramas de lutitas bituminosas, IAV-22 e IAV-30.

de suponerse que no pertenecieron a la misma unidad estratigráfica, sino que la muestra IAV-30 es más vieja y ha sufrido mayor diagénesis por sobrecarga o gradiente geotérmico.

3.4.6.2 Evidencia de hidrocarburos

La muestra de caliza bituminosa **IAV-32** fue identificada por el Dr. Max Furrer como de edad Cretácico Tardío – posiblemente Maastrichtiense con base en los foraminíferos encontrados en las secciones finas, ver **Figura 34** y **Figura 35**, y equivalente de las Formaciones San Antonio – Querecual de Venezuela oriental, y Formación La Luna de Venezuela occidental, las principales rocas madre de los hidrocarburos explotados en Venezuela. Los estudios geoquímicos de extracción *soxhlet* y cromatografía de la fracción saturada efectuados a esta muestra revelan la inequívoca presencia de hidrocarburos ver **Figura 36**, también los análisis petrográficos revelan la presencia de estilolitas rellenas de crudo. Se midió la reflectancia de vitrinita en los poquísimos granos que se encontraron – esta facie litológica se caracteriza por la ausencia de vitrinita y otros macerales orgánicos – y se obtuvo un valor de $R_o = 0,45 \%$, apenas entrando en la ventana de generación de hidrocarburos, lo cual hace difícil definir esta roca como generadora prolífica, pero no excluye que los hidrocarburos intersticiales encontrados en esta muestra hayan migrados de sitios cercanos.

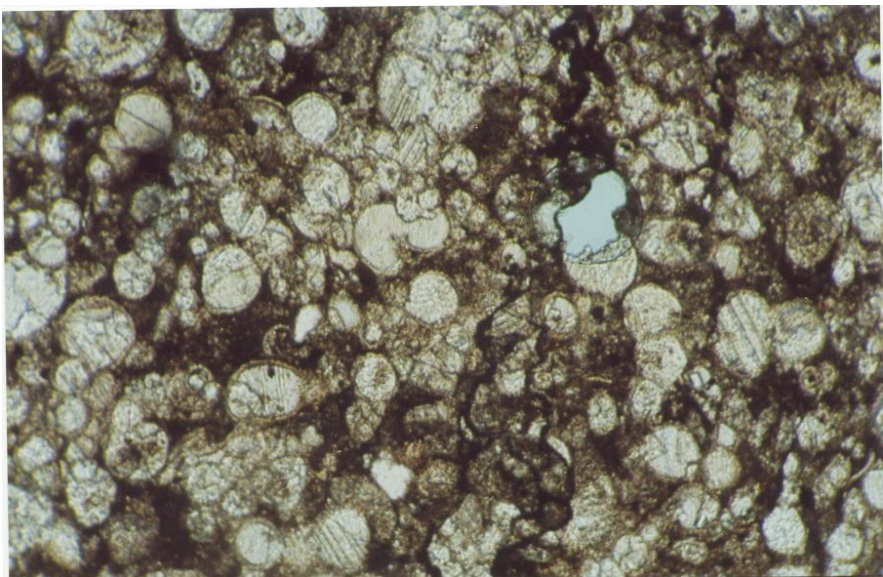


Figura 34. IAV-32. Caliza fosilífera bituminosa del Cretáceo, bitumen intersticial.

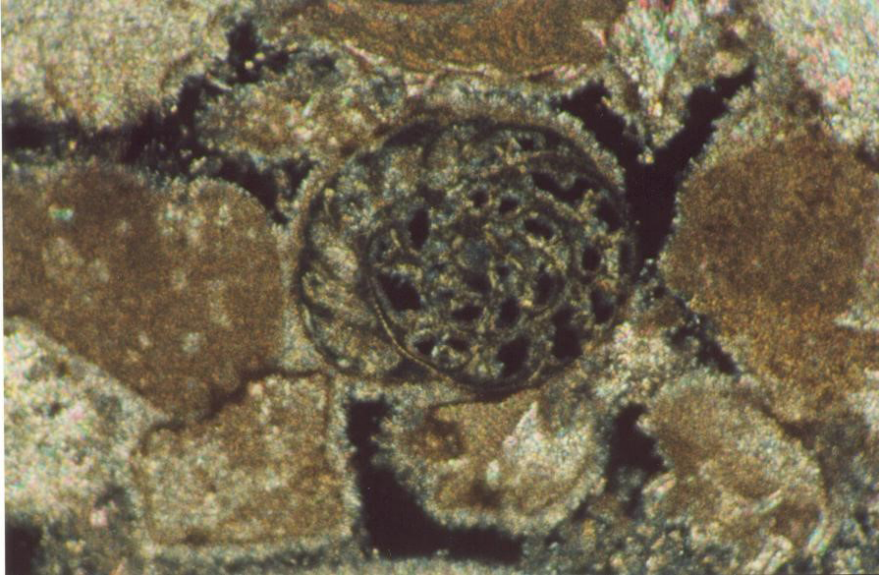


Figura 35. IAV-32. Detalle de un fósil en nX, bitumen intersticial. Altura=0,3 mm.

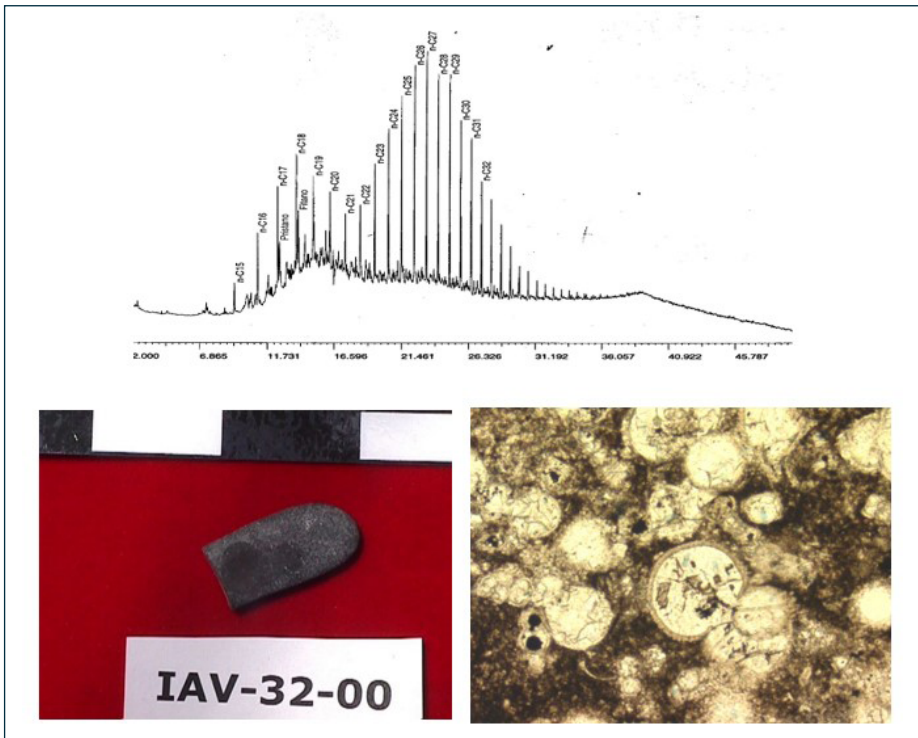


Figura 36. Muestra IAV-32. Cromatograma de la fracción saturada del extracto de la caliza cretácica bituminosa (arriba), fragmento encontrado en Isla de Aves (izquierda) y sección fina (derecha).

3.4.6.3 Relación pristano/fitano

A continuación, se presentan los valores de la relación pristano/fitano de las muestras analizadas de la prominencia de Aves (**Tabla 3**).

Tabla 3. Relaciones de pristano/fitano en algunas muestras paleontológica (IAV) y muestras del proyecto DSDP.

<i>Muestra</i>	<i>Pristano/Fitano</i>	<i>Observaciones</i>
IAV-22	1,004	carbón
IAV-30	0,412	semiantracita
IAV-32	0,628	caliza bituminosa cretácica
DSDP 030-119	0,232	
DSDP 148-30	2,535	
DSDP 148-68	6,696	
DSDP 148-85	0,000	no tiene fitano ni pristano
DSDP 148-87	0,000	ídem
DSDP 148-100	0,000	ídem
DSDP 148-142	0,000	ídem

La relación pristano/fitano, considerada como un indicador de paleotemperatura y maduración en primer término, y como un indicador general de clorofila (Hunt, 1979), confirma la evaluación de petrografía orgánica, *i.e.* la muestra IAV-30 conteniendo carbón de mayor rango (semiantracita) tiene el menor índice P/F = 0,412, mientras que el carbón de menor rango IAV-22 tiene P/F = 1,004. El bitumen de la muestra IAV-32 tiene un valor intermedio del índice P/F = 0,628, similar al de extractos de la Formación La Luna encontrados en Venezuela y que varían entre 0,66-1,04 en la quebrada Maraca, (Pérez, 1991).

3.4.6.4 Análisis químico elemental

Los análisis se realizaron por contrato en el laboratorio del Dr. Franco Urbani de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la Universidad Central de Venezuela. En este estudio se utilizaron tres técnicas de rayos X para determinar

las concentraciones de 25 elementos mayoritarios y traza, así como para identificar la mineralogía de algunas de las muestras problemáticas. Porciones pequeñas de todas las muestras se sometieron a un proceso de molienda, hasta reducir las a la fracción más fina, usando para ello un molino *shatterbox* con cámara de carburo de tungsteno.

La determinación de las concentraciones de elementos mayoritarios se llevó a cabo utilizando un espectrómetro de rayos X por energía dispersiva marca Phillips, modelo Minipal PW4025. Con este equipo se obtuvieron las concentraciones de SiO_2 , CaO , Al_2O_3 , TiO_2 , Fe_2O_3 , K_2O y Mg . Adicionalmente, a partir del contenido de CaO se calcularon las concentraciones estequiométricas de CO_2 .

Para determinar las concentraciones de los elementos traza se utilizó un espectrómetro de rayos X, marca NITON modelo 722S-L. El elemento mayoritario es Mn y los elementos traza son Mo , Sr , Zr , Rb , Pb , As , Se , Hg , Zn , Cu , Ni , Co , Cr , La , Ba y Cs .

La identificación de la mineralogía presente en algunas de las muestras se llevó a cabo utilizando un difractómetro de rayos X marca Phillips modelo PW3710, utilizando radiación de Cu en el sector de 2° a 45° ángulo 2θ .

En la **Tabla 4a** se presentan a continuación los valores analíticos de los elementos mayoritarios de las muestras de Isla de Aves. La evaluación visual de **Tabla 4a** con respecto a los elementos mayoritarios indica que la composición general de las arenas Holocenas y de la roca de playa es similar para todos los elementos, confirmando un origen geológico común. La roca fosfática, teniendo petrográficamente los mismos constituyentes originarios de estos sedimentos y rocas, se diferencia, sin embargo, por tener menor proporción de Al , Ca , CO_2 , y Mg , mientras aumenta considerablemente la proporción de SiO_2 .

Se diferencian claramente las rocas ígneas por tener un contenido de sílica mucho mayor que las arenas y rocas de playa compuestas por partículas de origen carbonático. También se manifiesta la serie de Bowen en las rocas ígneas donde el granito tiene 73,96 % de SiO_2 mientras que el basalto tiene un máximo de 54,6 %. El *chert* o ftanita, por definición una roca silíceas, tiene el 90,92 % siendo el resto Al , Mg y Ti .

En cuanto a la distribución de los elementos minoritarios, se observa en la **Tabla 4b** la presencia apreciable de los elementos Sr , Pb , Se , Hg , Zn , Cu , Ni , Co , y Fe , además de Mo , Zr , Rb , As , Cr , La , Ba y , los últimos presentan concentraciones son muy cercanas a los niveles de detección instrumental.

Tabla 4a. Distribución de los elementos mayoritarios en las muestras ordenadas por litología de Isla de Aves.

Muestra	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	CO ₂	K ₂ O	TiO ₂	V	Mn	Fe ₂ O ₃	Mg	Litología
IAV-4	1,75	9,97	43,82	19,28	0,18	0,07	<20	134	0,18	8,61	Arena-Holoceno
IAV-6	0,65	5,75	8,73	3,84	0,45	0,11	<20	<110	1,5	4,57	Arena-Holoceno
IAV-9	3,53	5,67	52,01	22,08	0,28	0,06	<20	132	0,17	14,96	Arena-Holoceno
IAV-10	2,99	5,46	55,94	24,61	0,28	0,06	<20	162	0,19	10,58	Arena-Holoceno
IAV-11	1,81	6,74	55,34	24,3	0,26	0,06	50	<110	0,18	7,26	Arena-Holoceno
IAV-12	3,49	5,78	52,54	23,12	0,31	0,06	35	114	0,18	12,86	Arena-Holoceno
IAV-13	4,11	5,6	51,56	22,69	0,27	0,06	57	97	0,15	14,7	Arena-Holoceno
IAV-14	3,66	4,91	50,67	22,3	0,29	0,07	25	200	0,16	18,06	Arena-Holoceno
IAV-15	2,68	7,41	48,81	21,4	0,21	0,06	32	123	0,17	8,17	Arena-Holoceno
IAV-16	2,8	6,71	51,58	22,7	0,28	0,06	46	<110	0,18	14,25	Arena-Holoceno
IAV-17	3,02	5,76	50,4	22,1	0,3	0,07	<20	<110	0,16	14,54	Arena-Holoceno
IAV-18	2,72	5,91	51,76	22,78	0,26	0,06	<20	136	0,14	9,71	Arena-Holoceno
IAV-19	1,73	8,73	46,14	20,3	0,21	0,06	26	167	0,2	8,69	Arena-Holoceno
IAV-20	2,09	7,23	49,15	21,63	0,27	0,07	<20	<110	0,21	9,85	Arena-Holoceno
IAV-21	2,4	5,4	46,1	20,29	0,24	0,06	32	126	0,15	12,32	Arena-Holoceno
IAV-29	9,85	77,02	0,51	0,22	1,34	0,42	53	361	2,06	2,44	Arenisca
IAV-24	14,4	54,6	5,23	2,3	4,66	0,73	<20	<110	6,73	4,71	Basalto
IAV-26	14,52	52,52	5,82	2,56	0,59	0,41	39	478	5,78	0,71	Basalto
IAV-32	1,22	11,6	52,1	22,92	0,28	0,12	109	<110	0,55	0,21	Caliza
IAV-22	1,37	9,09	9,75	4,29	0,01	0,34	67	<110	2,09	<1,00	Carbón
IAV-28	0,35	92,17	0,38	0,17	0	0	54	<110	2,39	3,27	Chert-ftanita
IAV-31	10,82	77,46	0,42	0,18	4,57	0,27	<20	<110	2,17	2,83	Dacita-toba ácida
IAV-3	1,21	10,51	39,17	17,23	0,15	0,08	56	<110	0,16	3,33	Fosfato
IAV-7	1,11	11,27	37,26	16,39	0,12	0,07	28	121	0,23	6,25	Fosfato
IAV-8	0,92	11,14	37,61	16,55	0,15	0,07	49	<110	0,23	2,73	Fosfato
IAV-27	11,5	73,96	0,68	0,3	4,48	0,11	<20	<110	2,55	2,11	Granito
IAV-30	1,02	90,92	0,38	0,17	0	2,12	65	<110	1,31	2,11	Limolita carbonosa
IAV-23	18,07	42,4	0,67	0,29	1,98	2,06	259	<110	1,14	<1,00	Lutita grafitosa
IAV-1	1,42	6,53	35,66	15,69	0,28	0,06	<20	<110	0,16	10,77	Roca de playa
IAV-2	2,74	5,55	52,04	22,9	0,31	0,07	<20	<110	0,17	12,57	Roca de playa
IAV-5	4,5	5,25	49,3	21,69	0,26	0,06	<20	167	0,14	18,39	Roca de playa
IAV-33	0	6,24	6,24	2,75	0	0,07	<20	--	0,98	<1,00	

Tabla 4b. Distribución de los elementos minoritarios en las muestras ordenadas por litología de Isla de Aves.

Muestra	Mo	Zr	Sr	Rb	Pb	Se	As	Hg	Zn	Cu	Ni	Co	Fe	Cr	La	Ba	Cs	Lit.
IAV-3	<3	<50	2419	<15	41	10	<20	<5	186	<40	<70	<35	232	<100	<45	16	<30	F
IAV-7	<3	<50	2280	<15	40	9	22	12	140	<40	2650	<35	551	<100	<45	<15	<30	F
IAV-8	<3	<50	2250	<15	36	10	<20	10	162	<40	<70	<35	566	<100	<45	<15	<30	F
IAV-4	<3	<50	3539	<15	57	13	45	9	114	<40	<70	<35	248	<100	<45	29	<30	A-H
IAV-6	<3	<50	263	39	66	7	<20	<5	23	68	<70	<35	2739	<100	<45	<15	<30	A-H
IAV-9	<3	<50	4787	<15	92	<4	<20	<5	<20	<40	<70	75	129	183	<45	<15	<30	A-H
IAV-10	<3	<50	4678	<15	107	<4	<20	10	<20	<40	4998	<35	219	<100	<45	<15	<30	A-H
IAV-11	<3	<50	4819	<15	89	<4	<20	<5	49	<40	<70	<35	274	<100	<45	<15	<30	A-H
IAV-12	<3	<50	4294	<15	76	<4	<20	<5	26	<40	125	<35	209	174	<45	<15	<30	A-H
IAV-13	<3	<50	4650	<15	84	6	<20	6	<20	<40	140	<35	145	191	<45	<15	<30	A-H
IAV-14	<3	<50	4410	<15	85	<4	<20	<5	<20	<40	106	<35	121	<100	<45	<15	<30	A-H
IAV-15	<3	<50	3920	<15	61	8	<20	<5	86	<40	99	<35	206	199	<45	<15	<30	A-H
IAV-16	3	<50	2179	<15	24	26	<20	81	207	286	<70	39	74	<100	<45	<15	<30	A-H
IAV-17	6	<50	1779	<15	16	24	<20	72	192	282	<70	305	<70	<100	<45	<15	<30	A-H
IAV-18	<3	<50	3798	<15	62	11	<20	30	78	84	112	96	<70	220	<45	<15	<30	A-H
IAV-19	<3	<50	3730	<15	42	<4	<20	<5	105	<40	<70	<35	402	<100	<45	<15	<30	A-H
IAV-20	<3	<50	3850	<15	71	11	<20	<5	59	<40	<70	<35	277	227	<45	<15	<30	A-H
IAV-21	<3	<50	2629	<15	49	<4	<20	<5	<20	<40	150	<35	129	212	<45	<15	<30	A-H
IAV-1	<3	<50	4678	<15	90	<4	<20	<5	<20	<40	<70	<35	180	<100	<45	<15	<30	RdP
IAV-2	<3	<50	5930	<15	97	<4	<20	<5	<20	<40	<70	<35	244	197	<45	<15	<30	RdP
IAV-5	<3	<50	1840	<15	26	26	<20	72	158	260	<70	141	70	<100	<45	<15	<30	RdP
IAV-29	37	148	55	75	<15	106	<20	370	802	1240	<70	254	8947	<100	<45	236	<30	A
IAV-32	<3	<50	<25	<15	<15	<4	<20	<5	<20	<40	<70	<35	1789	<100	<45	966	<30	C
IAV-30	16	545	29	15	32	4	<20	<5	<20	45	102	<35	4730	106	<45	60	<30	Lc
IAV-23	19	157	73	215	<15	38	<20	112	232	420	<70	261	2810	<100	48	413	<30	Lg
IAV-22	<3	<50	93	15	23	9	<20	11	19	65	<70	<35	3779	<100	<45	<15	41	Cb
IAV-28	4	<50	14	<15	<15	<4	<20	<5	<20	<40	<70	<35	11200	<100	<45	<15	<30	Ch-f
IAV-24	181	70	774	16	<15	577	<20	2339	5210	7955	<70	2349	43774	395	<45	328	<30	B
IAV-26	6	56	285	33	<15	27	<20	87	254	292	118	252	39296	<100	<45	157	<30	B
IAV-31	4	77	79	295	24	<4	<20	<5	45	<40	74	<35	9216	135	<45	856	33	D-Tb
IAV-27	35	221	28	416	39	<4	<20	7	135	<40	<70	<35	12096	<100	<45	<15	<30	G
IAV-33	<3	<50	88	18	<15	4	<20	<5	80	54	<70	<35	1260	<100	<45	<15	<30	

(F) Fosfato; (A-H) Arena-Haloceno; (RdP) Roca de Playa; (A) Arenisca; (C) Caliza; (Lc) Limolita carbonosa; (Lg) Lutita grafitosa; (Cb) Carbón; (Ch-f) Chert-ftanita; (B) Basalto; (D-Tb) Dacita-toba ácida; (G) Granito.

Las rocas y los sedimentos de origen geológico común a partir de partículas de carbonato de calcio erosionado de los arrecifes frangeantes como son los fosfatos, la roca de playa y las arenas del Holoceno, se caracterizan por tener los mismos elementos minoritarios, y en particular están muy enriquecidos con estroncio (Sr), enriquecidos con plomo (Pb) y deficitarios en hierro (Fe), si se compara con las demás muestras encontradas en Isla de Aves.



Estabilidad
geológica y
reducción de
superficie de Isla
de Aves

4. Estabilidad geológica y reducción de superficie de Isla de Aves

4.1 Antecedentes históricos

En 1953 el problema fue planteado por primera vez en la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales por el Académico William H. Phelps y publicado como «El posible hundimiento parcial de Isla de Aves», (Phelps, 1953). En este trabajo se presenta evidencias cartográficas y relatos de ilustres viajeros de los siglos XVIII al XX en los cuales se demuestra una reducción significativa del tamaño de Isla de Aves. Recopila las diversas teorías formalizadas para explicar este fenómeno.

El primer levantamiento geológico lo realizó Guillermo Zuloaga en 1955, quien además midió su superficie comparándola con la que aparece en mapas antiguos, «The Isla de Aves Story», (Zuloaga, 1955).

En 1968 Maloney, Schubert, Marlowe y Ramsey publicaron una descripción geológica detallada de la isla en el marco de una expedición patrocinada por el Instituto Bedford de Oceanografía de Canadá, bajo el título «Geología de Isla de Aves, Venezuela» (Maloney *et al.* 1968). En este trabajo mencionan como posibles causas de la reducción del tamaño de la isla: a) subsidencia geológica, y b) erosión por el viento y las olas, *i.e.* erosión marina.

En el mismo año, Maloney y Schubert publicaron «La Isla de Aves, una isla que desaparecerá» (Maloney y Schubert, 1968), donde compararon mapas históricos y llegaron a la conclusión, al igual que Zuloaga, de que el tamaño de la isla está disminuyendo por causas de erosión marina y eólica. Concluyeron que esta podría haber desaparecido para el año 2000.

1972 José Pantin H. publicó los resultados de geología de superficie de un estudio multidisciplinario promovido por el Instituto de Tecnología y Ciencias Marinas de la Universidad Simón Bolívar (USB) bajo los auspicios del Ministerio de Minas e Hidrocarburos, Comandancia General de la Marina, Cartografía Nacional, Fundaciones Los Roques y La Salle, y de las compañías petroleras Creole, Shell y Texas. El estudio incluyó levantamiento cartográfico, geológico y geofísico, observaciones barométricas y tomas de fotografías del piso submarino alrededor de la isla. Los trabajos de geología de superficie fueron realizados por seis geólogos veteranos de los organismos mencionados. Los estudios geofísicos fueron publicados por Aguilera y Gallovich, (1970), y la paleontología y geología submarina por Almeida y Goddard, (1974). En la **Figura 5** se muestra la reducción de la superficie de la isla según cartografía histórica incluida en el trabajo de Pantin.

1975 Carlos Schubert publicó un trabajo titulado «¿Desaparecerá la Isla de Aves?», el cual presenta en forma tabulada y gráfica las superficies ocupadas por la isla desde 1647 hasta la fecha, y calcula la subsidencia de la prominencia de Aves en 0,02 cm/año basado en núcleos del *Glomar Challenger*, identificación de fósiles y del ambiente de poca profundidad en que vivían en fragmentos de calizas arrecifales, y finalmente en el hallazgo de una caliza de algas fotosintéticas a más de 600 m de profundidad, donde no es posible su existencia por la falta de luz.

1983 Méndez Baamonde publicó en tres trabajos: la formación del arrecife frangeante de Isla de Aves durante la transgresión del Holoceno; La morfología submarina alrededor de Isla de Aves y Los procesos de acreción en la prominencia de Aves desde el interglacial Sangamon. En estos trabajos se relaciona la formación del arrecife frangeante y la sedimentación de carbonatos en la plataforma, mediante el análisis de perfiles sísmicos y de ecosondas que permiten diferenciar terrazas antiguas y taludes originados durante las transgresiones interestadiales y regresiones estadiales marinas que dieron origen a la actual Isla de Aves. Se establece que la actual configuración morfológica y sedimentológica de

Isla de Aves está relacionada con la transgresión final del Holoceno (6000 años AP), derivada de los procesos de acreción y sedimentación de organismos marinos, principalmente moluscos, corales, equinoides, foraminíferos bentónicos, etc. Concluye que cualquier modificación en el tamaño de la isla ha debido ocurrir principalmente por los lados de sotavento (oeste) sobre el material sedimentario coralino no litificado que se deposita en esa zona, y susceptible de cambios por las corrientes y el oleaje; en otras palabras – **erosión marina**.

En 1984, Schubert y Laredo estudiaron de nuevo la geología de Isla de Aves en el contexto de la subsidencia de la prominencia de Aves. Relacionaron la geología de la isla con dos núcleos tomados por el proyecto *Deep Sea Drilling Program* en los *Legs* 4 y 15 y que se hallan aproximadamente a 330 km al sur y sur-este de la isla y calcularon de nuevo la subsidencia geológica basada en nuevas evidencias paleontológicas proporcionadas por muestras de dragado de Fox *et al.* (1971) y Nagle (1972), llegando a la conclusión de que es menor en un orden de magnitud a la previamente establecida por Schubert (1975), *i.e.* entre 0,0038 y 0,006 cm/año. Documentan los cambios geomorfológicos sufridos por la isla en 15 años, entre sus visitas en los años 1968 y 1983, en cinco puntos de comparación, y concluyen que los cambios observados fuertemente sugieren la acción de procesos erosionales, en especial tormentas y huracanes. Mencionan

también que la minería de unas 7200 toneladas de guano entre 1854 y 1866 puede haber acelerado los procesos de erosión de la isla.

No se encontró literatura científica más reciente sobre el tema, con la excepción del resumen y actualización de la Formación Isla de Aves en el *Léxico Estratigráfico de Venezuela*, 3.^a Edición electrónica (www.pdv.com/lexico), elaborado por José Méndez Baamonde en 1997.

4.2 Evaluación técnica

Del estudio preliminar de la literatura disponible se desprende de que el problema de la posible reducción de superficie de Isla de Aves tiene dos componentes:

- a. **componente geológico a largo plazo** por su situación sobre una antigua cadena de islas volcánicas, cuyo efecto se observa en millones de años, y
 - b. **dinámica marina de crecimiento y erosión del arrecife de Isla de Aves** por efectos de tormentas y huracanes, modificada por los efectos glaciares de los últimos cientos de miles de años y del efecto de calentamiento global actual.
1. La prominencia de Aves (*Aves Ridge*) y la Isla de Aves forman parte de una cadena submarina asociada a la subducción, sobrecojimiento y desplazamiento de la placa del Caribe o «Caribia» hacia el este. Esta cadena es más vieja, pero similar en formación, al arco de islas volcánicas conocidas como las Antillas Menores, que se extienden desde la isla de Anguilla al norte, pasando por St. Martin, Montserrat, Martinica, St. Vincent hasta Granada, muchas de las cuales tienen volcanes activos en la actualidad. La evolución histórica de este tipo de cadena de islas es el levantamiento inicial rápido producido por la actividad volcánica, seguido por erosión gradual y subsidencia a medida que la placa del Caribe avanza hacia el este.
 2. En términos geológicos, la prominencia de Aves ha sufrido subsidencia continua desde el Eoceno Tardío, llegando a tener una subsidencia total de más de 2000 m en los últimos 42 millones de años. Desde el Mioceno Temprano las tasas de subsidencia han sido del orden de los 2,2 a 3,5 cm/1000 años.
 3. El crecimiento de arrecifes coralinos supera por lo menos en un orden de magnitud la subsidencia geológica de la zona. Isla de Aves está rodeada por su lado barlovento (NE, E y SE) por un arrecife frangeante de barrera que la protege en cierta manera de la erosión

marina. La erosión submarina del arrecife produce la única fuente de sedimentos que tiene la isla: la playa, las terrazas de tormenta, las rocas de playa, todas están formadas por partículas originadas del arrecife y apiladas en la isla por corrientes marinas y eólicas. La erosión submarina del arrecife frangeante también produjo una plataforma submarina relativamente extensa, de unos 400 m en las costas este y oeste, y de unos 100 m en las costas norte y sur, donde la profundidad de agua no supera los 10 m, y la cual podría servir de fuente de sedimentos arenosos para una posible reconstrucción y relleno de ciertas partes de la isla. Debajo de estos sedimentos arenosos se encuentra una capa de sedimentos bioclásticos finos parcialmente endurecidos por diagénesis de aguas meteóricas durante los períodos glaciales del Pleistoceno (último millón de años) y en los cuales el nivel del mar bajó más de 100 m de su nivel actual.

La reducción en tamaño de Isla de Aves, observada en los últimos 150 años, no puede explicarse solamente por subsidencia geológica. Se pueden mencionar dos causas fundamentales: a) la minería de roca fosfática y guano durante la primera mitad del siglo pasado, que ha removido parcialmente una capa protectora contra la erosión eólica y de tormentas marinas, y b) una falla y deslizamiento submarino en la parte occidental de la isla, que ha reducido significativamente el istmo que separa la parte norte de la parte sur.

4. Los huracanes y tormentas tropicales azotan la pequeña isla frecuentemente. En la **Figura 7** se muestra el cambio en la fisiografía producido por el huracán Allen el 4 de agosto de 1980, que redujo la altura de la isla a casi su mitad, *i.e.* 2,00 m de altura, y causó la pérdida de extensas superficies de playa y sitios de desove de la tortuga *Chelonia mydas*. En esta oportunidad se perdieron 15 000 huevos de la tortuga.
5. El efecto invernadero en una situación climatológica interglacial como la presente, causa una disminución progresiva de los casquetes polares y un aumento generalizado del nivel del mar, el cual se ha medido con mucha precisión en los últimos 10 años con un valor mínimo promedio mundial de 2 mm por año.

4.3 Peligros para la existencia de Isla de Aves

Considerando estas causas y sus efectos, se ha calculado el hundimiento de Isla de Aves basado en los factores conocidos hasta la fecha, con valores

conservadores de las tasas de levantamiento del nivel del mar y del hundimiento por subsidencia geológica (**Figura 37**).

Tabla 5. Factores que afectan la estabilidad geológica de Isla de Aves.

<i>Causa</i>	<i>Efecto</i>	<i>Medida de recuperación remedial</i>
Muerte - blanqueo del arrecife frangeante	Reduce - elimina única fuente de sedimentos	Restitución - saneamiento del arrecife frangeante campo eléctrico electrocementación
Erosión marina y atmosférica	Transporta arena de la isla al mar - generalmente hacia el oeste - sotavento	Fortificación de playas y arenas siembra de plantas dragado y acumulación de arenas
Subsidencia geológica	Hundimiento lento de la isla (0,2 - 0,35 cm/siglo)	No se conoce -no tiene
Levantamiento global del nivel del mar efecto invernadero	Hundimiento acelerado de la isla (20 cm/siglo)	Planificación de las cotas mínimas de las estructuras

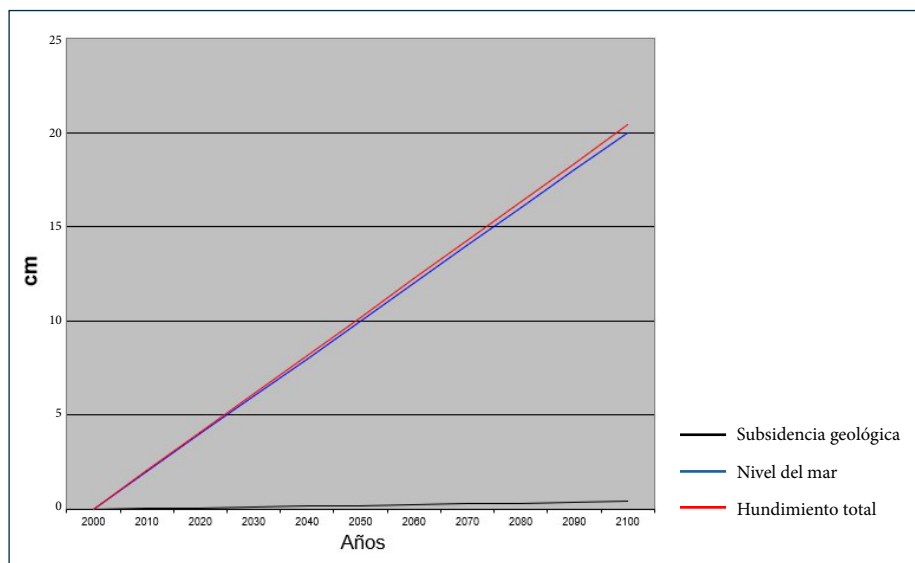


Figura 37. Pronóstico del hundimiento de Isla de Aves.

Soluciones propuestas



5. Soluciones propuestas

5.1 Recuento histórico de soluciones

Existen varias soluciones para minimizar los efectos de la erosión marina y atmosférica sobre el terreno de Isla de Aves. Estas soluciones pueden dividirse en dos grandes grupos, aquellas que fomentan o usan elementos **biológicos-ecológicos** y las que se valen de intervenciones de **ingeniería geológica y marina**.

5.2 Medidas de recuperación biológicas-ecológicas

Entre las soluciones **biológicas-ecológicas** se han sugerido:

Siembra de uvas de playa	Capitán de Fragata Rafael Rodríguez B. 24 de abril de 1978. Reportado en El Nacional del 7-9-1978.
Siembra de mangle	Dres. Eugenio De Bellard y Federico Pannier, agosto-octubre de 1998, actas ACFIMAN. (se presentará en detalle más adelante)
Arrecifes artificiales por precipitación electro-química	Profesor Carlos Hernández, UCV, en El Universal del 27-12-1989.
Siembra de pólipos de coral	Dr. José Méndez Baamonde, octubre de 1998.
Siembra de cocoteros	Dr. Wolfgang Scherer, enero de 1999.
Arrecife modular de cúpulas perforadas (<i>Reef ball</i>)	ACFIMAN diciembre de 1998.
Criadero de pólipos de coral, cangrejos y langostas, retén de tortugas recién nacidas	Dra. Paula Espiniello, Instituto de Zoología Tropical, UCV, 2 de marzo de 1999.

5.3 Medidas de remediación ingenieriles

Las soluciones de **ingeniería geológica y marina** son variadas, entre muchas tenemos:

Espolones	se usan para desviar las corrientes marinas erosivas y crear áreas de sedimentación activa.
Bermas	protegen la playa de la acción directa de las olas y del viento.
Succión de arena submarina	restitución y redistribución de playas. (se presentará en detalle más adelante)
Hundimiento de barcos chatarra, tubos y trozos de concreto y otros obstáculos	a las corrientes marinas, que sirvan a la vez de sustrato para colonias de corales.

5.4 Medidas de remediación promisorias

5.4.1 Siembra de mangle

Según relatos de los primeros viajeros que visitaron Isla de Aves, el mangle siempre ha existido en la isla y fue reportado hasta los tiempos de Oldendorps (1777). La posibilidad de germinación espontánea y crecimiento del mangle es muy real, ya que en la II Expedición Científica se encontraron en la playa de Isla de Aves 4 semillas verdes del mangle rojo, *Rhizophora mangle*, común en las costas venezolanas y de las islas del Caribe. Es posible que con la reducción progresiva de tamaño de la isla este árbol haya desaparecido por efecto de las tormentas tropicales y huracanes que eliminaron su sustrato y debilitaron las raíces. En estas condiciones actuales adversas resulta difícil sembrar mangle de la manera tradicional, *i.e.* por semillas-estacas en la playa, porque se perderían con el paso del próximo huracán.

Existe, sin embargo, un método novedoso que se ha probado con éxito en algunas islas del Caribe y en la península de la Florida, donde se siembra la semilla del mangle en un tubo de plástico PVC ranurado para permitir su expansión y el paso de las raíces una vez que la planta crezca lo suficiente,

generalmente a los dos años. Este tubo se llena con arena y suelo de manglar, se introduce la semilla y se clava como una estaca en la playa hasta cierta profundidad, de manera que la semilla esté dentro del límite de las mareas y el tubo tenga estabilidad frente a los huracanes, ver **Figura 38**. Este método económico se debería probar en algunos lugares de la isla con la finalidad de afianzar las arenas y permitir la renovación de este ecosistema tan importante para la fauna de aves marinas.

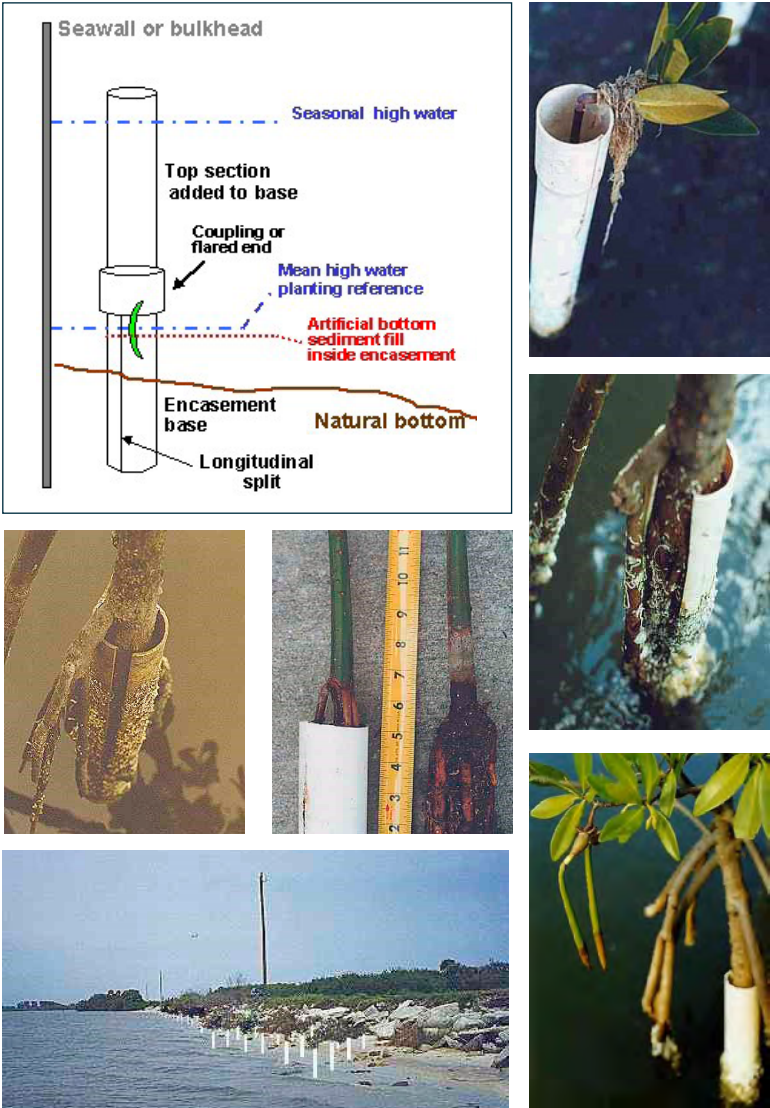


Figura 38. Siembra de mangle con tubo ranurado de PVC.

5.4.2 Succión de arena submarina

En el corte geológico, **Figura 16**, se puede apreciar como en ambos flancos de la plataforma de Isla de Aves se encuentran precipicios marinos de gran profundidad, por lo cual los granos de arena, una vez transportados por viento y corrientes marinas al borde del precipicio, generalmente de sotavento, se perderán para siempre en las profundidades del mar. Por esta razón, y considerando que la única fuente de sedimentos, el arrecife frangeante de Isla de Aves, no está produciendo suficiente material porque está enfermo con el «blanqueo» de los arrecifes a escala mundial, y mientras se pueda sanear y estimular su crecimiento, se sugiere el método de succión de arenas y agua del mar mediante bombas de dragado, similares a las usadas para mantener libre de sedimentos el canal de la barra de Maracaibo.

Las moto-bombas se montarán en una pequeña gabarra, que puede rellenarse con gasoil, el combustible de la moto-bomba, la cual tendría un tubo de succión relativamente corto de unos 20 m, y un tubo efluente más largo hasta llegar a la isla, se estima de unos 100 a 150 m de largo, donde distribuiría el material uniformemente en la playa de barlovento, sobre la capa de roca de playa. El viento y los fenómenos atmosféricos se encargarán de esparcir la arena a lo largo de la isla, especialmente en el lado sotavento, lo cual agrandaría el área de playa y aumentaría el hábitat de desove de la tortuga verde *Chelonia mydas*. Esta solución es económica, se puede implementar a corto plazo; las gabarras existen en grandes cantidades en la industria petrolera, y se verán resultados casi inmediatamente. Además, se le brinda un trabajo importante al personal de la Armada, residente en la isla, como remedio efectivo contra el ocio y la frustración de estar asignado a un sitio inhóspito. En la **Figura 39** se presenta un esquema de funcionamiento de este método, replanteado sobre una fotografía de Isla de Aves.

Figura 39. Esquema de succión por motobombas de arena y agua desde sotavento y distribución en la playa de barlovento mediante una manguera flexible.



Las medidas de remediación antes descritas son paliativos temporales para resolver el problema de la pérdida material de la isla. La solución definitiva para reconstruir Isla de Aves a su tamaño histórico tiene que atacar el problema del arrecife frangeante, eliminar o minimizar los factores que afectan su crecimiento, reconstruir las partes del arrecife destruidas por los huracanes y donde la marea de tormenta bate sobre la isla que la divide en dos porciones, y construir barreras submarinas naturales para evitar la fuga de arena hacia los precipicios marinos.

Las medidas de remediación definitivas deben ser de tipo natural, mimetizando la propia naturaleza, preferiblemente invisibles desde el aire, para evitar dudas sobre la condición y naturaleza geológica natural de Isla de Aves, que podrían traer problemas de reclamación del estatus de isla. Es decir, se excluyen por estas razones obras de ingeniería marina evidentes, como contrafuertes, bermas, espolones, barcos y chatarra hundida, etc. por ser artificiales y visibles desde el aire y por satélites.

5.5 Arrecifes artificiales

El efecto invernadero y el consiguiente calentamiento de los océanos se considera la causa de la mortandad creciente de arrecifes tropicales en todos los océanos, pero muy especialmente en el mar Caribe. Los arrecifes son ecosistemas frágiles y diversos en número y características de especies, que resultan importantes para la preservación de las especies marinas en general, y de los peces en particular. Por esta razón se ha experimentado, principalmente en Japón desde los comienzos del siglo XIX, con métodos para proteger, afianzar y aumentar el volumen de arrecifes mediante cortinas y emplazamientos de bambú con el fin de aumentar el número de peces que se reproducen, refugian y viven en ellos, para ultimadamente, aumentar la pesca de la región.

En la **Tabla 6** se presenta una visión general de los arrecifes artificiales usados hasta la fecha en distintos lugares, usando variados materiales de construcción y teniendo objetivos diversos, aunque domina en casi todos e ambiente reproductivo de los peces y el fomento del turismo submarino. De todos los métodos usados para reforzar arrecifes y crear arrecifes artificiales destacan dos por su simplicidad, efectividad y bajo costo: arrecifes de campana y electrodeposición. A continuación, se exponen las características de cada uno y se evalúa su posible uso en Isla de Aves, **Tabla 6**.

5.5.1 Arrecife de campana – *Reef-ball*

Este método se basa en la colocación submarina de estructuras de concreto parecidas a una campana de iglesia, llenas de orificios circulares en los lados

Tabla 6. Arrecifes artificiales.

Año	Tipo de construcción	Sitio	Objetivo	Observaciones
1800	Bambú	Japón	Incrementar pesca	
1950	Rip-rap de concreto rocas naturales ladrillos escoria de altos hornos cauchos	Mediterráneo Atlántico y Pacífico	Incrementar reproducción de peces	Poca afinidad con arrecife natural - no se suelda
1990	Chatarra de automóviles barcos, aviones, tranvías, tanques Plataformas de perforación		Incrementar pesca	Percolación de sustancias tóxicas orgánicas e inorgánicas
1980 - actualidad	Artefactos específicos para peces, bivalvos y crustáceos construidos con plásticos, fibra de vidrio, concreto hidráulico y acero Arrecife de campana (<i>reef-ball</i>)	Bahías y estuarios de Japón Caribe Atlántico Pacífico Mediterráneo	Cultivo de peces oceanocultura buceo deportivo reconstrucción ambiental	Biológicamente empobrecidos No generan comunidades coralinas verdaderas Permanecen como objetos extraños en el fondo del mar Los artefactos se sueltan y son peligrosos durante tormentas
1980	Electrodeposición - acreción mineral sobre malla de acero electrificada de cualquier forma y dimensión	Caribe Oceanía Mediterráneo	Reparación - soldadura de arrecifes Arrecifes artificiales Estanques marinos Construcción de conchas - revestimiento pilones de madera	El arrecife artificial o el bloque desprendido se suelda al arrecife natural Campo eléctrico favorece crecimiento de algas y corales Atrae peces

para permitir el paso y refugio de peces de sus predadores y reforzada en su base para evitar su deslizamiento o su inclinación debido al oleaje fuerte durante una tormenta. Estos módulos patentados se construyen manualmente con un molde interno semiesférico de goma inflable, que luego se retira por uno de los orificios. La colonización natural de especies marinas comienza desde el momento de su colocación en el fondo y progresa rápidamente, al punto de que al año prácticamente toda la estructura es irreconocible, ver **Figura 40**. Este sistema parece haber tenido bastante éxito, sobre todo en Florida y en el área del Caribe como barrera para evitar la pérdida de playa en costas afectadas por erosión marina producida por tormentas tropicales y huracanes, ver **Figura 41**.

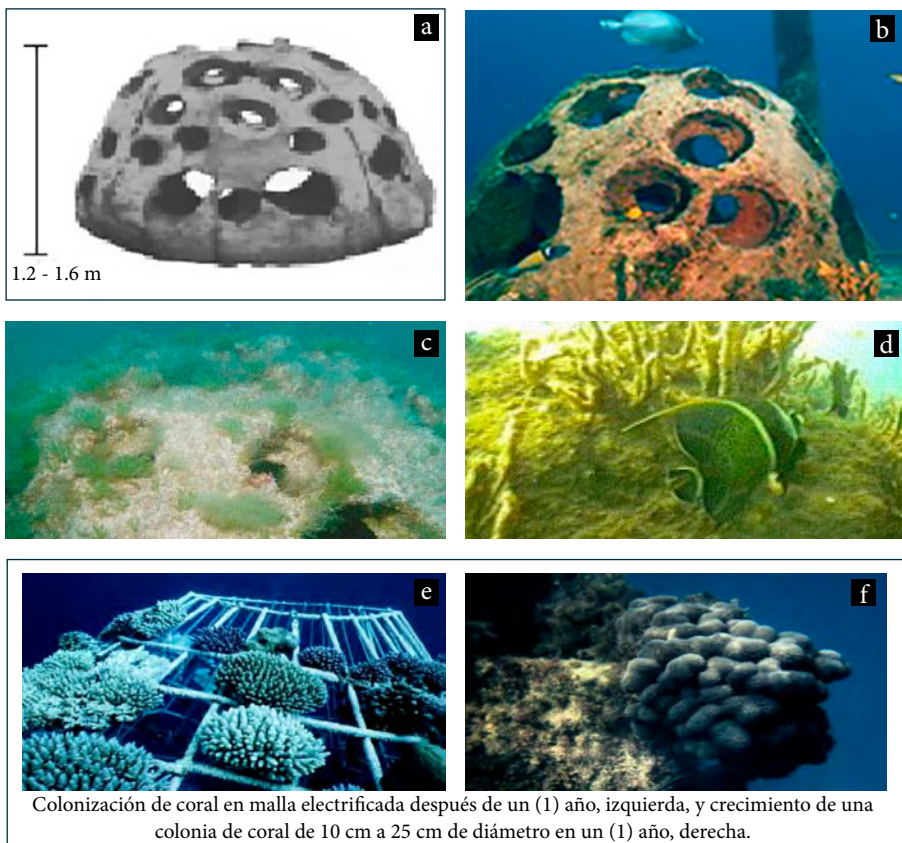


Figura 40. Principios del sistema de arrecife de campana y su efecto sobre la colonización de organismos marinos.

Antes de conocerse el sistema de electro-cementación que se presentará más adelante, se consideraba el arrecife de campana como remedio apropiado para Isla de Aves, ya que una vez colocados los módulos en el fondo son invisibles



Figura 41. Ejemplo de restitución y preservación de playa mediante arrecife de campana en República Dominicana. Se usaron 400 módulos (*reef-ball*) distribuidos en triple hilera en 1,6 – 2,0 m de profundidad de agua.

desde el aire y su rápida colonización por corales y briozoarios aumentaría la biomasa del arrecife frangeante, y por ende la producción de sedimentos.

5.5.2 Electro-cementación

A comienzos de los años 1980, un arquitecto de origen alemán, Wolf Hilbertz, buscando maneras de producir formas arquitectónicas en concreto difíciles de encofrar, tales como conchas acústicas etc., experimentó con malla de alambre soldada (tipo gallinero) que introdujo en agua de mar y le conectó una corriente eléctrica. Observó que a los pocos meses la malla se cubría de carbonato de calcio hasta rellenar por completo los huecos, quedando simplemente la tarea de frisar las estructuras así creadas. Esta idea fue tomada por Thomas Goreau, biólogo marino de Harvard, y juntos diseñaron una serie de arrecifes artificiales y repararon otros en diversos lugares del Pacífico y del Caribe.

Un estudiante de Hilbertz, el Profesor Carlos Hernández, de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Central de Venezuela, introdujo esta idea en Venezuela, y con muchos sacrificios logró reproducir en las instalaciones de la base naval de La Guaira estructuras de mallas electro-cementadas, ver **Figura 42**. Las mallas de Hilbertz, Goreau y Hernández usaron fuentes de energía eléctrica diversa, desde células solares hasta generadores portátiles pasando por molinos de viento y baterías de automóviles. Los pescadores de altura han descubierto que un campo eléctrico atrae a los cardúmenes de peces, y biólogos investigadores han reportado los beneficios del campo eléctrico para fomentar el crecimiento del alga verde que hace simbiosis con los pólipos de coral y ayuda en su nutrición, evita el blanqueo del arrecifer, es decir, la muerte del coral.

La reconstrucción con mallas eléctricas del arrecife frangeante dañado tiene varias ventajas, la más importante es que la porción reconstruida se suelda

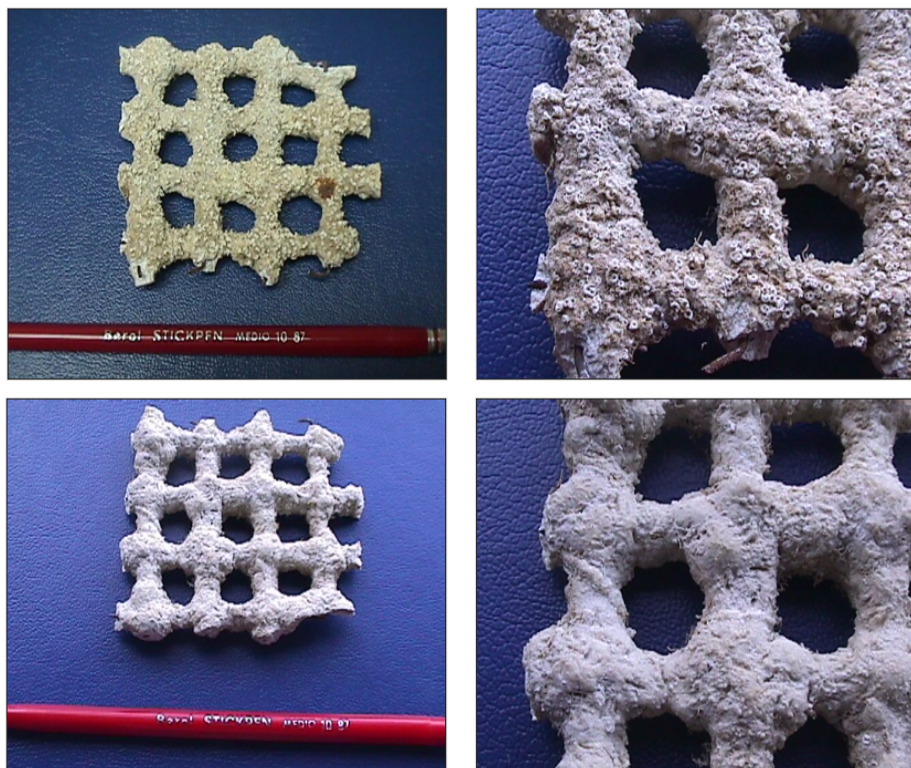


Figura 42. Resultado de una prueba piloto de 8 meses del crecimiento de arrecife artificial por electrodeposición en el Muelle Naval del puerto de La Guaira efectuada por el Prof. Carlos Hernández de la UCV en 1989. Malla metálica recubierta completamente con cristales de carbonato de calcio. Crecimiento incipiente de corales incrustantes ramosos y desarrollo de serpúlidos que se consolidan y cementan con el arrecife natural.

naturalmente a la parte dañada, se fomenta el crecimiento del alga verde y por lo tanto de los corales a cierta distancia del segmento en reparación, y por último atrae a los peces al lugar, donde pueden dedicarse a la reproducción, incrementando así la diversidad del ecosistema y produciendo comida para los habitantes de Isla de Aves.

Para eliminar la desventaja de tener una fuente de alimentación eléctrica externa, que pueda ser visible desde el aire, La Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales, conjuntamente con el Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC) y PDVSA-Intevep, está probando un ingenioso módulo de electro-cementación ideado por el Dr. José Vera de PDVSA-Intevep que contiene un ánodo de magnesio o aluminio en su centro lo cual lo convierte en una pila eléctrica y genera un campo eléctrico en la malla, ver **Figura 43**. Los ánodos se consumen en aproximadamente un año y

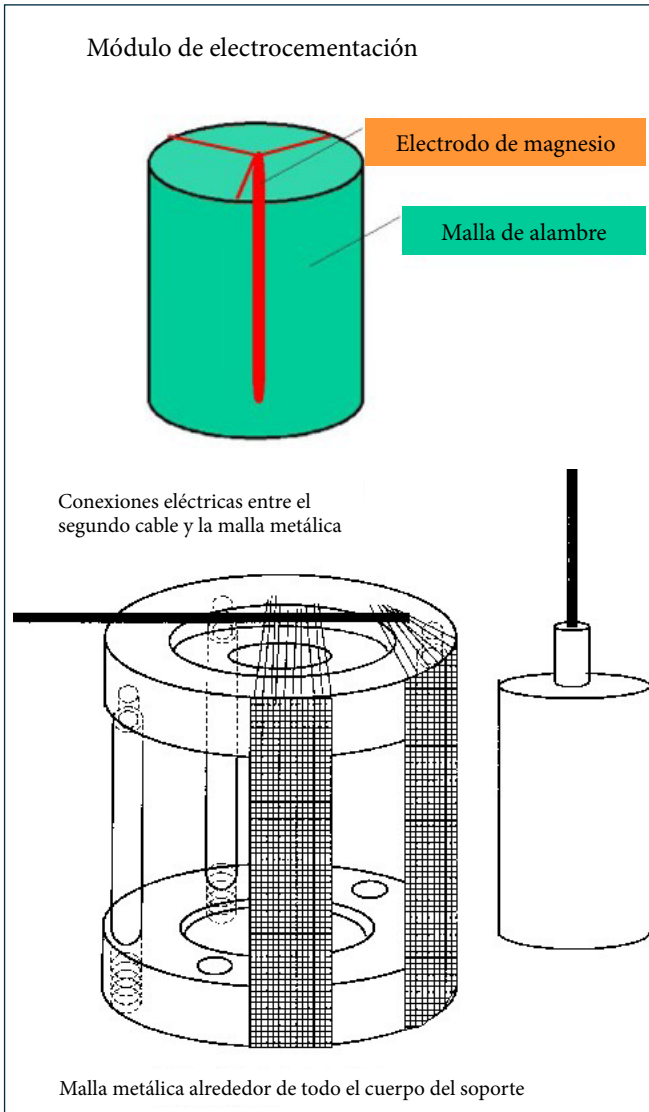


Figura 43. Módulo de electrocementación con fuente de poder incorporada. Diseño de ingeniería de detalle por los Dres. Roberto Callarotti y José Vera.

medio, tiempo suficiente para colonizar la estructura de acuerdo a la literatura consultada.

Los módulos de electrocementación experimentales fueron construidos con el patrocinio del proyecto A-532 de PDVSA-Intevep y están instalados en la estación biológica experimental de bahía de Mochima que mantiene el

IVIC para las investigaciones de biología marina en el país. Pasado el período de evaluación para determinar la geometría exacta del módulo y el flujo de corriente óptimo para garantizar la mejor colonización del mismo, se piensa instalar una cantidad apreciable en Isla de Aves para reconstruir los arrecifes y proveer barreras contra la pérdida de sedimentos.



Proyecto de la ACFIMAN
para preservar el
hábitat de la tortuga
Chelonia mydas

6. Proyecto de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales para preservar el hábitat de la tortuga *Chelonia mydas*

La Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales ha presentado el «Anteproyecto Isla de Aves —problema de la reducción de superficie— anteproyecto de acción remedial» en reuniones con especialistas venezolanos en oceanología, biología y geología marina, botánica, ornitología e ingeniería de costas, oleaje y corrientes de sedimentación.

Este anteproyecto se ha presentado también al Directorio de PDVSA Exploración y Producción en fecha 29 de enero de 1999, quienes manifestaron en comunicación del 2 de febrero de 1999 su «*interés por el proyecto de vital importancia para asegurar nuestra soberanía sobre una gran superficie de mar patrimonial*» y prometieron que «*la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales puede contar con el apoyo de PDVSA para implantar el mismo dentro de la realidad presupuestaria de la empresa*».

Como resultado de estas conversaciones y gestiones se presentó en 1999 el «Proyecto para preservar el hábitat de la tortuga *Chelonia mydas*» en los siguientes términos:

6.1 Objetivo

Restituir paulatinamente la superficie terrestre de Isla de Aves a un tamaño acorde con la cartografía de 1887, con la finalidad de preservar la zona de reproducción de la tortuga *Chelonia mydas* y de las numerosas especies de aves que le dieron el nombre a la isla.

6.2 Metodología

Bioecológica incorporando algunos principios importantes de ingeniería costanera.

Los trabajos se concentrarán en varios aspectos de acuerdo a la disponibilidad de recursos:

6.2.1 Preservación del terreno existente

- a) Siembra de mangle, uva de playa y cocoteros por personal de la Marina, Academia de Ciencias y voluntarios conservacionistas durante el 4.º trimestre de 1999.
- b) Establecimiento de un retén-criadero de tortugas recién nacidas.
- c) Construcción de un criadero de larvas de pólipos de coral.

6.2.2 Preservación y reparación del arrecife frangeante - única fuente de sedimentos

- a) Diagnóstico de la salud de los corales.
- b) Reparación del arrecife norte.
- c) Reparación del arrecife este a la altura del istmo.

6.2.3 Restitución de playa perdida

- a) Batimetría detallada y monitoreo del campo de corrientes hasta los 30 m de profundidad.
- b) Modelaje físico y matemático de los tramos de arrecife propuestos.
- c) Extensión del arrecife norte.
- d) Colocación de la berma oeste, frente al istmo.
- e) Extensión del arrecife sur.

En la **Figura 44** se muestra sobre una fotografía aérea reciente de Isla de Aves la localización aproximada de las medidas bioecológicas e ingenieriles propuestas en este proyecto.

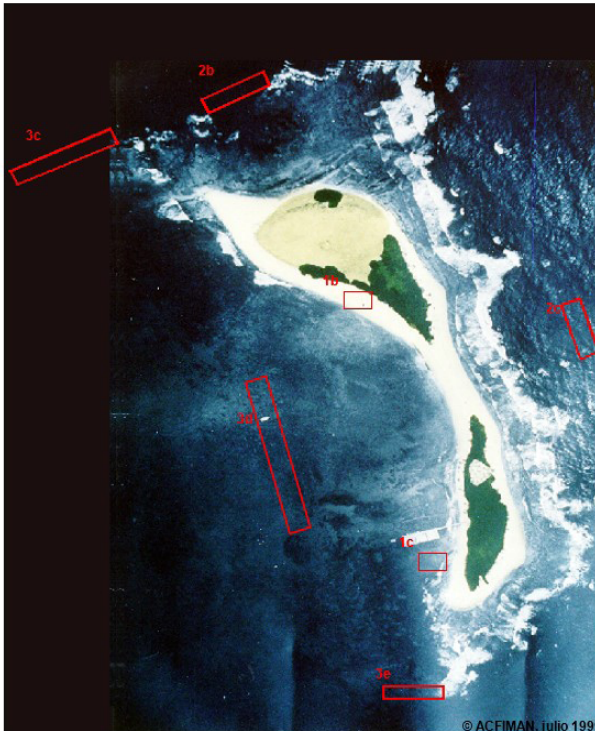


Figura 44. Medidas bioecológicas e ingenieriles propuestas en Isla de Aves.

Arrecife artificial

6.3 Resultados esperados

El conjunto de medidas biológicas-ecológicas e ingenieriles propuestas genera en el corto plazo la preservación de la superficie actual de la isla, y con ello salva la tortuga de su extinción en esta parte del Caribe.

A mediano plazo se espera la duplicación de la superficie de playa, *i.e.* el hábitat de desove y reproducción de las tortugas y de numerosas especies de aves, ver **Figura 45**. Conjuntamente con el aumento de superficie, sería lógico esperar también un incremento apreciable de la fauna de aves y tortugas. Con la restitución y saneamiento de los arrecifes se garantiza el continuo suministro de sedimentos, además de aumentar la biomasa y biodiversidad de peces, crustáceos, etc. en los alrededores de Isla de Aves. El cultivo y cría de langostas y cangrejos podría ser una fuente adicional de alimentación del personal militar y científico de la base naval Simón Bolívar.

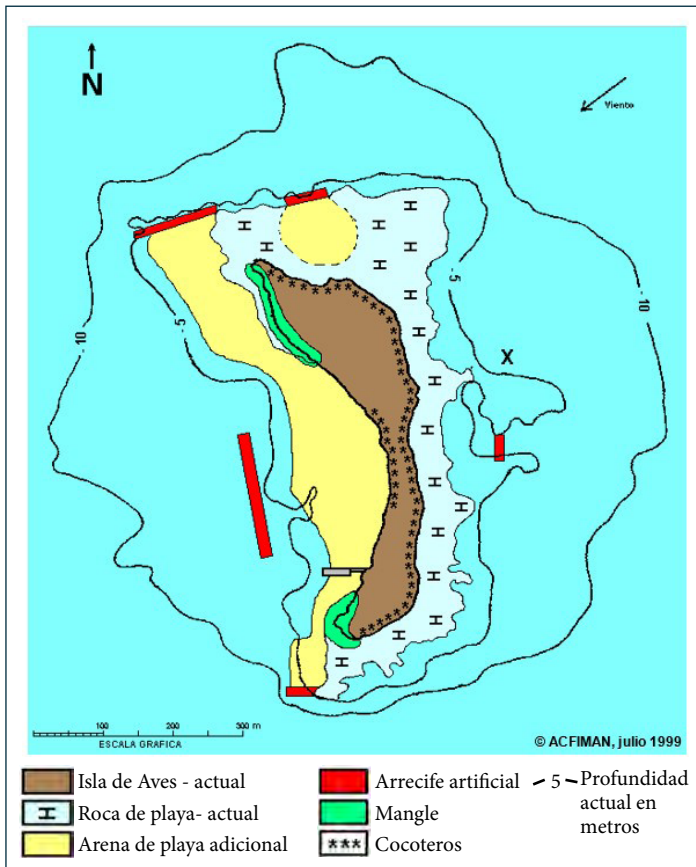


Figura 45. Resultado esperado del «Proyecto de restitución y preservación de Isla de Aves».

6.4 Financiamiento

El proyecto de restituir la superficie de Isla de Aves tiene varias vertientes, cada una de las cuales podría tener financiamiento diferente.

Preservación de la zona de reproducción de la tortuga verde *Chelonia mydas*, una de las pocas zonas en el mar Caribe donde esta especie en peligro de extinción se reproduce, puede ser financiada por organizaciones ambientalistas y conservacionistas de la Unesco y de la Comunidad Europea. Allí se podrían financiar la siembra de mangle, parte de la extensión artificial de los arrecifes frangeantes y bermas protectoras de la playa occidental.

Preservación, reparación y extensión de los arrecifes frangeantes produce mayor superficie de la isla, lo cual afianza la soberanía sobre una importante extensión de mar patrimonial y plataforma submarina. Esta parte debería financiarse con aportes de PDVSA, que es la beneficiaria directa en el caso de encontrarse nuevos yacimientos de hidrocarburos y gas en esta zona.

La preservación, ampliación y mejoramiento del hábitat de reproducción de numerosas especies de aves, contribuye a preservar la biodiversidad de la zona tropical y como tal debería obtenerse aportes de organizaciones conservacionistas internacionales.

Literatura sugerida

7. Literatura sugerida

- Aguilar T., N., y León, P. Isla de Aves. Ministerio de la Defensa, Comandancia General de la Marina, Caracas, (1974), 15 p.
- Aguilera, L. y Gallovich, F. Ensayos sísmicos de refracción efectuados en la Isla de Aves. *Mem. Soc. Cienc. Nat. La Salle* **30**(87), 205-212 (1970).
- Almeida, P. y Goddard, D. Biología y geología del fondo alrededor de la Isla de Aves, hasta 10 metros de profundidad. *Asoc. Venez. Cienc. Natur.*, Bol. **128-129**, 135-162 (1974).
- Anónimo, Con arrecifes artificiales salvarán a Isla de Aves. El Universal. (Primera referencia a electrodeposición en una entrevista con el Profesor Carlos Hernández de la UCV) (27-12-1989).
- Anónimo. Isla de Aves, *Bohemia* No.1954 (30-07-2001) p. 16.
- Arteaga, María A., y Allais, Alfredo. Refugio de fauna silvestre Isla de Aves, un hogar seguro para las tortugas verdes. *Carta Ecológica* No. 76, 1-3 (1996).
- Biju-Duval B., Mascle A., Montadert L., and Wanneson J. Seismic investigations in the Colombia, Venezuela and Granada Basins, and on the Barbados Ridge for future ipod drilling, *Geologie en Mijnbouw* **57** (2), 195-216 (1978).
- Bock, W. D. The use of foraminifera as indicators of subsidence in the Caribbean. *Trans. 6th Caribbean Geol. Conf.*, Caracas, (1972) pp. 439-440.
- Bower, P.A. The Caribbean Range considered in the European concept of a geosyncline. *Mem. VI Conf. Geol. Del Caribe*, Margarita, Venezuela, (1972) pp. 227-238.
- Bricker, O. P. *Carbonate Cements*. John Hopkins Univ. Press. *Stud. Geol.*, **19**, 376 (1971).
- Bunce, E. T. *et al.*, The Lesser Antilles Arc and the eastern margin of the Caribbean Sea. In: A. E. Maxwell (ed.): *The Sea* (vol. 4) Wiley - Interscience (New York) (1970) pp. 359-385.
- Butterlin, J. *La Constitution Géologique et la Structure des Antilles*, Centre National de la Recherche Scientifique, París, (1956) p. 453.
- Case, J. E., Geophysical studies in the Caribbean Sea. En: Nairn & Stehli (eds.), *The ocean basins and margins* (vol. 3) - Plenum Press (New York) (1975) pp. 107-180.
- Centeno Graü, M. *Estudios Sismológicos*, Ediciones de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales, Caracas (1969).
- Dudley, R. Del Arcano del Marte. *Cartografía Histórica de Venezuela* 1635, (1946).
- Dunn, G. E. & Miller, B.I., *Atlantic Hurricanes* Louisiana State University Press, (1960) pp.326.
- Edgar, N. T. *et al.* Sedimentary hiatus in the Venezuelan Basin - *Initial Rept. DSDP 15*, U.S. Governm. Printing Off. (Washington) 1051-1062 (1973).

- Estados Unidos de Venezuela, Ministerio de Relaciones Exteriores, Tratados Públicos y Acuerdos Internacionales de Venezuela, 1820-1900a, *Convención de Arbitraje relativa a la soberanía de la Isla de Aves y de indemnización por los sucesos de Coro, firmada en Caracas el 5 de agosto de 1857*, vol. 1, p. 207.
- Estados Unidos de Venezuela, Ministerio de Relaciones Exteriores, Tratados Públicos y Acuerdos Internacionales de Venezuela, 1820-1900b, *Convención de Arbitraje relativa a la soberanía de la Isla de Aves y de indemnización por los sucesos de Coro, firmada en Caracas el 5 de agosto de 1857* vol. 3, pp. 92-97.
- Ewing, J. L. *et al.*, Geophysical Investigations in Eastern Caribbean: Trinidad, Shelf Tobago Trough, Barbados Ridge, Atlantic Ocean, *Geol. Soc. America Bull.*, **68**, 897-912 (1957).
- Ewing, J., Talwani, M., y Ewing, M., Sediment Distribution in the Caribbean Sea. *Mem. IV Caribbean Geological Conference – Port of Spain*, (Ed.) J.B. Saunders (1968) pp. 317-323.
- Fairhead, J. D. *et al.* The South American Gravity Project. *Technical Reports. Department of Earth Sciences*, University of Leeds, Leeds, U.K. (1991).
- Flint, R. F., *Glacial and Quaternary Geology*. Wiley, New York, N. Y., (1971) pp. 892.
- Fox, P.J. *et al.*, The geology of the Caribbean crust: Tertiary sediments, granitic and basic rocks of the Aves Ridge, *Tectonophysics* **12**, 89-109 (1971).
- Fox, P.J. & B.C. Heezen, Geology of the Caribbean crust. En: Nairn & Stehli (eds.) *The ocean basins and margins* (vol. 3), Plenum Press, New York, (1975) pp. 421-466.
- Galloovich, E. y Aguilera, L. Ensayos Sísmicos de Refracción efectuados en la Isla de Aves. *Mem. Soc. Cient. Nat. La Salle* **30**, 296 (1970).
- Gibson-Smith, J. Una Colección de Moluscos Marinos de Isla de Aves, Venezuela. *Fundación La Salle de Ciencias Naturales*, Venezuela, Caracas, (1971) p. 28.
- Gibson, R. I. y Millegan, P. S. Geologic Applications of Gravity and Magnetic: Case Histories. SEG Geophysical References Series, No 8, *AAPG Studies in Geology*, 43 (1998).
- González de Juana, C., Iturralde de Arozena, J. y Picard, X. *Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas*. Caracas, Ed. Foninves, 2 tomos, (1980) p. 1021.
- Hadgialy, M., Isla de Aves. Centinela del mar Caribe. *Geografía e Historia*: Pub. Asoc. de Escritores Venezolanos, Caracas, (1945), p. 28.
- Harding, E. T. y Kotsch, W. J. *Heavy Weather Guide*. Banta, Menasha, Wisc., (1965) p. 209.
- Harland, W. B., Cox, A. V., Llewellyn, P. G., Pickton, C. A. G., Smith, A. G y Walters, R. *Geologic Time Scale*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, (1982).
- Harris, W. L., *Las Reclamaciones de la Isla de Aves*. Biblioteca, Universidad Central de Venezuela, Caracas, (1968) p.129.

- Heirtzier, J. R. Sea-floor spreading, *Scientific American*, **219**(6), 60 (1968).
- Hess, H. H. Geological Interpretations of data collected on the cruise of the U. S. Barracuda in the West Indies. *Prelim. Report: Trans. Amer. Geophys. Union, 18th Annual Meet.*, (1937) pp. 69-77.
- Hess, H. H. Gravity anomalies and island arc structures with particular reference to the West Indies. *Am. Philos. Soc. Proceedings*. **79**(1), 71-96 (1938).
- Hess, H. H. Caribbean Research Project, 1965, and bathymetric chart. *Geol. Soc. America Mem.* **98**, 1 (1966).
- Holcombe, T. L. *et al.* Paleocurrents in the eastern Caribbean: geologic evidence and implications, *Marine Geol.* **23**, 35-56 (1977).
- Hopkins, H. R. Geology of the Aruba Gap abyssal plain near DSDP site 153 - Initial Rept. DSDP 15, *US Governm. Printing Off.* Washington, 1039-1050 (1973).
- Hopley, D. and Mackay, M. G. An investigation of morphological zonation of beach rock erosional features. *Earth Surf. Proc.* **3**, 363-377 (1978).
- Houtz, R. E. *et al.* Structure of the Colombia Basin, Caribbean Sea, from profiler sonobuoy measurements, (Abstr.) *8th Caribbean Geol. Conf.* (Willemstad, 1977), 74 (1977).
- Hummelinck, P.W. y Waagennar, P. Studies on the fauna of Curazao and other Caribbean Islands, 4. *The Hague. Martinus Nijhoff.* pp. 5, 20, 104 y fig. 18. (1953).
- Hummelinck, P. W. Islote Aves, een vogeleiland in de Caraibische Zee. *De West-indische Gids* **33**, 23-34 (1952).
- Hunt, John M. *Petroleum Geochemistry and Geology*. W.H. Freeman and Company, San Francisco (1979) pp. 617.
- Hydrographic Office de Washington Hydrographic Office, U.S. Navy, (Carta Hidrográfica), (1946).
- Hydrographic Office, U.S. Navy, Sailing Directions for the West Indies, 6° (ed.) p. 80. (Descripción de la Isla) (1949).
- James, N. P., Diagenesis of scleractinian corals in the subaerial vadose environment, *J. Paleontol.* **48**, 785-799 (1974).
- Jones Parra, J. *Atlas de Bolsillo de Venezuela*, (1953) p. 76.
- Karig, D. E. *et al.* Accretion and subduction in pacific trenches. *Geol. Soc. Amer. Bull.* **86**, 377-389 (1975).
- Keary, P. Gravity and seismic reflection investigation into the crustal structure of the Aves Ridge, Eastern Caribbean - *Trans. 7éme Conf. Géol. Cara'ibes* (Guadeloupe, 1974), 311-320 (1976).
- Keller, G. H. *et al.* Mass physical properties of Tobago Trough sediments. En: C. Petzall (Ed.), *VI Conferencia Geológica del Caribe* (Margarita, 1971), 1972, pp. 405-408.

- Khudoley, K. M. y Meyerhoff, A. A. Paleogeography and geological history of Greater Antilles. *Geol. Soc. Am. Mem.*, **129**, 199 (1971).
- Labat. Père Jean-Baptiste. *Nouveau Voyage aux Isles de l'Amérique, etc.* 6 tomos, Paris (1722) (tomo 4, pp. 310, 311; tomo 6, pp. 358-418). Otras ediciones en 1724, 1725 y 1742).
- Ladd, J. *et al.* Compressional features of the northern and southern margin of the Venezuela Basin (Abstr.) *8th Caribbean Geol. Conf.* (Willemstad, 1977), 96-97 (1977).
- Laredo, M. y Picard, X. Aplicaciones a la ingeniería de métodos geofísicos marinos (método Sparker). *Bol. Geol. (Venezuela)*, **7**(4), 3151-3164 (1977).
- Le Pichon, X. Life and Adventures of Captain E. A. Johnson, Saba, p. 29. *Uitgave Dept. Onderwijs en Volksvoord* (Menciona las aves de la isla) (1950).
- Le Pichon, X. Sea Floor spreading and continental drift. *J. Geophys. Res.* **73**, 3361 (1968).
- Maloney, N. J. y Schubert, C. La Isla de Aves; ¿Una isla que desaparecerá? *Acta Cientif. Venezolana*, **19**, 152-154 (1968).
- Maloney, N. J., Schubert, C., Marlowe, J. I. y Ramsey, A. T. Geología de la Isla de Aves, Venezuela. *Bol. Inf. A.V.G.M.P.*, **11**, 235-242 (1968).
- Maloney, N. J., Schubert, C., Marlowe, J. I. y Ramsay, A. T. Geology of Aves Island, Venezuela. *Trans. 5th Caribbean Geol. Conf., Queens Coll. Press. Geol. Bull.*, **5**, 97-102 (1971).
- Marlow, J. I. *et al.* Tectonic transition in the northeastern Caribbean. *J. Res. U.S. Geol. Surv.* **2**, 289-302 (1974).
- Marlowe, J. I. Dolomite, phosphorite and carbonate diagenesis on a Caribbean seamount. *J. Sediment. Petrol.*, **41**, 809-827 (1971b).
- Marlowe, J. I. Geological reconnaissance of parts of Aves Ridge. *Trans. 5th Caribbean Geol. Conf., Queens Coll. Press. Geol. Bull.*, **5**, 61-63 (1971a).
- Másclé, A. *et al.* Sediments and their deformations in active margins of different geological settings. *Int. Symp. Geodyn. south-west Pacific* (Noumea, 1976), Technip (Paris) **10**, 327-344 (1977).
- Maurasse, F. *et al.* Ophiolite complex in the southern península of Haiti: a view at the Caribbean crust (Abstr.) *8th Caribbean Geol. Conf.* (Willemstad, 1977), 115-116 (1977).
- Mc Donald, W. O. Continental drift and the Caribbean. *Bol. Inform. Asoc. Ven. Geol. Min. y Petróleo* **11**(1), 17-23 (1968).
- McKee, E. D. Storm sediments on a Pacific atoll *J. Sediment. Petrol.* **29**, 354-361 (1970).
- Méndez, B. J. Morfología submarina alrededor de Isla de Aves. (Abstr.) *XXXIII Convención Anual Asovac*, (1983) p. 65.

- Méndez B. J. Formación del arrecife frangeante en Isla de Aves durante la transgresión del Holoceno (Abstr.) *XXXIII Convención Anual Asovac*, (1983) p. 67.
- Méndez B. J. Procesos de acreción en la Prominencia de Aves desde el Sangamon (Abstr.) *XXXIII Convención Anual Asovac*, (1983) p. 66.
- Méndez B. J. Terrazas submarinas del frente arrecifal en el Archipiélago Los Roques, Aves de Barlovento, Aves de Sotavento y La Blanquilla. *Mem., VI Cong. Geol. Venez.*, **8**, 5549-5569 (1985).
- Méndez B. J. La Isla de Aves, *Diario El Universal – Revista Estampas*, pp. 38-44 (1984)
- Méndez, B. J. Isla de Aves, Formación, Léxico Estratigráfico de Venezuela, 3ª. Ed. (1977).
- Ministerio de Minas e Hidrocarburos. Fundación La Salle, *Estudio sísmico batimétrico de la Isla de Aves* (1972).
- Mitcheli, R. G. Isla de Aves. Unknowuncertain: *Geol. en Minbouw* **19**, 45-50 (1957).
- Morales Paúl, I. La Constituyente dibuja el mapa venezolano, También hemos ganado. *El Nacional*, p. A4 – A5. (27-09-1999).
- Morris, Davis W. The Lesser Antilles. *Amer. Geog. Soc. of New York*; Pub. N.º 2 (1926).
- Muñoz, N. G. Turbiditas en sedimentos profundos de la Cuenca Oceánica de Colombia e influencia del Río Magdalena, *Geos* **15**, 7-101 (1966).
- Nagle, F. Rocks from seamounts and scarpments on the Aves Ridge. En: C. Petzall (Ed.). *VI Conferencia geológica del Caribe* (Margarita, 1971) 409-413 (1972).
- National Geographic Magazine Marzo. Mapa de las Antillas (1954).
- National Science Foundation – National Ocean Sediment Coring Program. *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project – Site 30*, **IV**, 215-241 (1971).
- National Science Foundation – National Ocean Sediment Coring Program. *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project – Site 148*, **XV**, 217-271 (1971).
- Officer, C. B. *et al.* Geophysical investigations in the eastern Caribbean. En: Ahrens *et al.* (eds.) *Physics and chemistry of the Earth* (vol. 3), Pergamon Press (London) (1959) pp. 17-109.
- Okuda, T. Bosquejo general de las condiciones hidrográficas en el mar Caribe. *Cuadernos Azules UDO*, N.º 15, 43-84 (1974).
- Oldendorps, C. G. A. Geschichte der Mission der Brüder auf den caribischen Inseln, S. Tomás, S. Croix und S. Jan. 1777.
- Pantin, H. J. Nuevas observaciones geológicas acerca de la Isla de Aves, Venezuela. *Mem., VI Conf. Geol. Caribe*, 74-78 (1972).
- Pantin, H., J. Nuevas observaciones geológicas acerca de la Isla de Aves, Venezuela, Instituto de Tecnología y Ciencias Marinas de la Universidad Simón Bolívar, (1971) pp. 22

- Pérez, J. Evaluación geoquímica de rocas madre, crudos y menes en un área comprendida entre la quebrada Totumo y el caño de Buena Esperanza, Sierra de Perijá, Estado Zulia. *Trabajo Especial de Maestría*, Universidad Central de Venezuela (1991) pp. 263.
- Peter, G. *et al.* Tectonics of the southwestern North Atlantic and Barbados Ridge Complex. *Amer. Ass. Petr. Geol. Bull.* **60**, 1078-1106 (1976).
- Peter, G. Geologic structure offshore North-Central Venezuela. *Mem., VI Conf. Geol. Caribe*, 283-294 (1972).
- Pettijohn, F. J. *Sedimentary Rocks* (3d ed.). Harper and Row, New York, N. Y. (1975) pp. 628
- Phelps, W. H. El posible hundimiento parcial de la Isla de Aves. *Bol. Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales*, **XVII** (50), 3-34 (1953).
- Phelps, W. H., y Phelps, Jr., W. H. Las aves de la Isla de Aves *Soc. Venez. Cienc. Naturales, Bol.*, **XVIII** (88), 63-72 (1957).
- Pinchon, Rey Pére. Perdu au milieu de la Mer Caraïbe: un ilot inconnu de 500 mètres abrite 100.000 oiseau *e' Sciences et Avenir* (Paris), N.º 65, 323-326 (1952).
- Planesa-Ingenieros Consultores. Estudio Sísmico Batimétrico en la Plataforma de la Isla de Aves. *Fund. La Salle de Cienc. Nat.*, Caracas, (1972) pp. 20.
- Pressor, C.s, Trouillot, E. y Trouillot, H. Historiographie d'Haiti. *Instituto Panamericana de Geografía e Historia*, México. (Capítulo sobre la vida de Pére Labat: 1663-1750), (1953) pp. 65-71.
- Ravenne, C. *et al.* Model of a young intra-oceanic arc. the New Hebrides islands arc. *Int. Symp. Geodyn. southwest Pacific* (Noumea, 1976), Ed. Technip (París) 63-78 (1977).
- Röhl, E. *Fauna Descriptiva de Venezuela*, (Descripción de *Chelonia mydas*) (1942), p. 33.
- Saunders, J. B. Field trip guide in Barbados- *Mem. 4th Caribbean Geol. Conf.* (Trinidad, 1965) 443-449 (1968).
- Saunders, J. B., Edgar, N. T., Donnelly, T. W. and Hay, W. W. Cruise synthesis. En: N. T. Edgar, J. B. Saunders *et al.* (eds.), *Initial Reports of the Dee-Sea Drilling Project, 15*, U. S. Govt., Printing Office, Washington, D.C. (1973) pp. 1077-1111.
- Scholle, P. A., A color illustrated guide to carbonate rock constituents, textures, cements, and porosities. *Mem. Am. Assoc. Pet. Geol.*, **27**, 241 (1978).
- Schubert, C. y M. Laredo, 1984, Geology of Aves Island (Venezuela) and Subsidence of Aves Ridge. *Caribbean Sea. Marine Geol.* **59**, 305-318 (1984).
- Schubert, C. Venezuela y la Nueva Tectónica Global, *Acta Cient. Venezolana.* **21** (1), 13-16 (1970).

- Schubert, C. ¿Desaparecerá la Isla de Aves?, *Líneas -Revista de la Electricidad de Caracas*, N.º 224 (1975) pp. 23-27.
- Schuchert, C. *Historical Geology of the Antillean-Caribbean Region*, J. Wiley and Sons, New York (1935) pp. 750-751.
- Shipboard Scientific Party, Leg 4 of the Deep-Sea Drilling Project *Science*. **172**, 1197-1205 (1971).
- Speed, R. C. Geology of Barbados: implications for an accretionary origin. *Oceanologica Acta*, N.º SP, 259-265 (1981).
- Speed, R. C., and Larue, D. K. Barbados: Architecture and implications for accretion. *Journ. Geophys. Research*, **87**, (B5), 3633-3643 (1982).
- Stach, E., *et al.* *Coal Petrology* 2nd. Edition, Gebrueder Borntraeger, Berlin, (1982) p. 535.
- Stephan, J. F. El contacto cadena Caribe - Andes Merideños entre Carora y El Tocuyo (Estado Lara, Venezuela) (Abstr). *8th Caribbean Geol. Conf.* (Willemstad), 197-198 (1977).
- Talwani, M. *et al.* Multichannel seismic study in the Venezuelan Basin and the Curacao Ridge. *The Maurice Ewing Symposium* (1977).
- Tomblín, J. F. The Lesser Antilles and Aves Ridge. In: Nairn & Stehli (eds.): *The ocean basins and margins* (vol. 3), Plenum Press (New York): (1975) pp. 1 – 64.
- University of California. *Summary of deep-sea drilling project, Leg. 4* (1969).
- Westbrook, G. K. The structure of the crust and upper mantle in the region of Barbados and the Lesser Antilles. *Geophys. J. R. Astr. Soc.* **43**, 201-242 (1975).
- Westercamp, D. Evolution des series volcaniques de Martinique (FWI) et des arcs insulaires des Petites Antilles, dans leur context structural, (Abstr). *8th Caribbean Geol. Conf.* (Willemstad) 227-228 (1977).
- Weyl, R. *Geologie der Antillen* Gebrüder Borntraeger, Berlin, (1966) pp. 301.
- Zuloaga, G. Plano topográfico y geológico de la Isla de Aves (con asistencia de Dr. W.H. Phelps). Escala 1:2.500, (1954).
- Zuloaga, G. The Isla de Aves story. *Geog. Rev.*, **45**, 172-180 (1955).

Artículos de Prensa

- 1943** • Hadgialy, Miguel. (1943) La Esfera, 6 de enero. “Por el Engrandecimiento de la Patria”.
- 1945** • Hadgialy, Miguel. (1945) EL Herald, 31 de agosto.
- 1974** • Nweihed, Kaldone G., 19-11-1974, Conozca la Isla de Aves., El Universal y Boletín No. 129 de la Universidad Simón Bolívar, 4 pp.
- 1975** • Hoyos, Jesús, diciembre 1975, En el Mar Caribe una isla venezolana de aves y tortugas. Revista Líneas, Electricidad de Caracas, p. 17-22.
 - Zuloaga, Guillermo, enero-marzo 1975, Isla de Aves, Revista ARAVENEL, No. 6, p. 41-42. (Describe la expedición del Ornis de William H. Phelps, la primera expedición científica venezolana a la isla).
 - Méndez B., José, La Isla de Aves – que volcán en el pasado. El País, p. 40-44.
- 1977** • Delpretti, Eduardo, 9-11-1977, En peligro de perderse el Mar Patrimonila de la Isla de Aves. El Nacional, p. C-12
- 1978** • Anónimo, 30-06-1978, Hace 113 Años España declaró la Soberanía Venezolana sobre Isla de Aves. El Nacional, p. C-2.
 - Delpretti, E., y Perdomo, E., 7-9-1978, Isla de Aves – un tesoro oceánico. El Nacional. (Reportaje a raíz de la inauguración de la Estación Científico-Naval “Simón Bolívar” por el presidente Carlos Andrés Pérez).
- 1998** • Anónimo, 9-06-1998, Denuncian abandono de la Isla de Aves, El Universal.
- 1999** • La Rotta Morán, Alicia, 14-06-1999, Venezuela se consolida en Isla de Aves. El Uninersal, p. 1-20 (excelente recuento de la problemática de la isla).
 - Fábregas, Pedro, 08-08-1999, Venezuela cedió a Puerto Rico soberanía aérea de Isla de Aves. El Nacional, p.H4-H5 (excelente presentación de datos geográficos y geopolíticos).
 - Cardona, Rodolfo, 23-09-1999, Comisión verificará líneas de Isla de Aves. El Universal, p. 1-10.
 - Márquez D., Isaías A, 05-11-1999, Isla de Aves, vanguardia de Venezuela. El Nacional, p. A-8

-
- 2000
- Angarita B., Ana M., 06-05-2000, \$ 15 millones aprobará Congreso para salvar del hundimiento a la Isla de Aves. Últimas Noticias, p.4
 - Solé, Genaro, 03-06-2000, Isla de Aves: frontera inocente. El Nacional, p.A-10
 - Solé, Genaro, 13-06-2000, Isla de Aves: frontera inocente (II). El Nacional, p.A-5
 - Cardona M., Rodolfo, y La Rotta Morán, Alicia, 15-06-2000, presidente y Alto Mando inspeccionarán Isla Aves (*sic*) El Universal, p. 1-16
 - Armada Venezolana, 28-10-2000, Base Científico Naval en Isla de Aves tendrá nueva estructura, y Isla de Aves se convierte en centro de atención para el mundo científico. El Universal, p. 2-13.
- 2001
- Anónimo, 12-07-2001, Isla de Aves sin novedad. TalCual, p.3.
 - Consalvi, Simón Alberto, 15-07-2001, La isla de las tortugas verdes. El Nacional, p. H-3
 - Romero Z., Dubraska, 28-07-2001, Isla de Aves estrena puesto de resguardo, por si acaso. TalCual, p.6.
 - CANA, 14-08-2001, Prime Minister of Antigua and Barbuda Lester Bird has slammed as “unnecessarily aggressive” a resolution introduced in Congress to annex Aves Island...
 - Guyanachroicle –en internet: www.guyanachronicle.com/topstory.html
- 2002
- AFP –París, 03-01-2002, La Isla de Aves ayudará a prever los sismos. El Nacional, p. C2
 - Anónimo, 03-01-2002, Hundimiento de Isla de Aves permitirá predecir sismos –Desaparecerá en 2055. El Universal, portada.
 - Collen, Patrice, AFP, 03-01-2002, Observan hundimiento de Isla de Aves para prever sismos. El Universal, p. 4-2, viene de la portada.

Anexos



Copia del Expediente No. 52.824 de fecha 23 de junio de 1920



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS
DIRECCIÓN GENERAL DE MINAS
DIRECCIÓN DE CONCESIONES MINERAS

*Ciudadano
Dr. Omar Uzcátegui
Gerente del Departamento
Análisis Exploratorio Integrado
PDVSA-INTEVEP*


OFICIO

CODIGO
DCM-115
FECHA
18-05-2001
Ref:

En atención a su solicitud de esta misma fecha, se le hace entrega de una copia del escrito de fecha 23 de junio de 1920 y mapa de la Isla de Aves, del expediente N° 52824.

Esperando que la información contenida en las referidas copias le sea de gran utilidad, quedo a sus gratas órdenes.

Atentamente,


*Angel Alberto Franco
Director de Concesiones Mineras*



Anexo: lo indicado

Cc: Director General de Minas

4

Ministerio de Fomento.

Presente.

Yo, J. M. Fossa, marino venezolano, mayor de edad y de este domicilio, ante Ud., respetuosamente ocurro para exponer:

Me propongo celebrar con el Ejecutivo Federal en conformidad con el artículo 6 de la Ley de Minas vigente, un contrato por el término de quince años para explotar y aprovechar el huano y demás sustancias fertilizantes existentes en islote conocido con el nombre de Avus, situado en el mar Caribe a una latitud de 43° 27' 56" N. O. de Greenwich y N. 15° 52' de longitud. A tal fin me propongo ocupar a esta representación el relativo proyecto de Contrato y el croquis del islote referido para que se sirva considerarlo e informarme de lo que se resuelve en el particular.

En Justicia - Caracas a 13 de junio de 1960

J. M. Fossa

3

El Ministro de Fomento de los Estados Unidos de Venezuela, debidamente autorizado por el Ejecutivo Federal, por una parte; y por la otra el ciudadano J. M. Fossa, mayor de edad, venezolano, marino y vecino de Caracas, quien en lo adelante se llamará el contratista, han convenido en celebrar el siguiente contrato:

Artículo 1.- El Ejecutivo Federal, de acuerdo con el artículo 6 de la Ley de Minas, concede al contratista por el término de cinco años, contados a partir de la fecha del presente contrato, el permiso exclusivo para explotar, vender, asociar o exportar el huano y demás sustancias fertilizantes existentes en la Isla Avus del Mar Caribe, situada a 43° 27' 56" longitud Oeste de Greenwich y latitud Norte 15° 52', constante de hectáreas más o menos.

Artículo 2.- El Contratista pasará mensualmente al Ministerio de Fomento una relación pormenorizada de la explotación; y consignará en la Oficina de Recaudación de Fondos Nacionales, conforme a la planilla de liquidación que le expida el Ministerio de Fomento, dos boletines por cada tonelada que explote de las mencionadas sustancias. El Ministerio comprobará en cada caso la exactitud de la relación mensual de explotación.

Artículo 3.- El Contratista, para la explotación de las mencionadas sustancias debe cumplir las prescripciones de la Ley de Minas y su respectivo cumplimiento.

Artículo 4.- Para garantizar el cumplimiento de estas obligaciones, el Contratista depositará en el Banco de Venezuela, con anterioridad a la firma del contrato, la cantidad de \$ 100.000.000 en Deuda Nacional Interna Consolidada del 35 anual, correspondiendo los intereses de este depósito al Contratista. Si el contrato quedare incumplido, corresponde al Fisco Nacional el depósito a que se refiere este artículo.

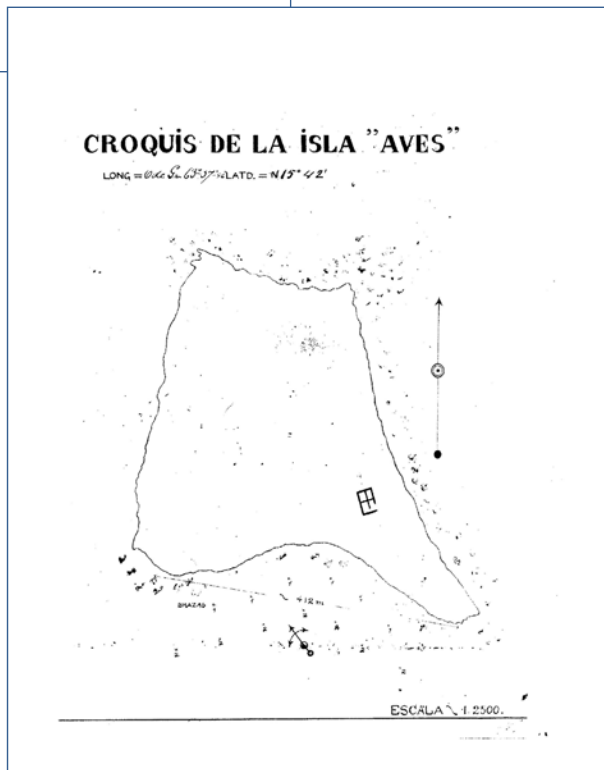
Artículo 5.- Este contrato podrá ser traspasado en todo o en parte a tercera persona o compañía con la aprobación del Ejecutivo Federal, pero en ningún caso podrá traspasarse a Gobierno extranjero.

Artículo 6.- Las dudas y controversias de cualquier naturaleza que surtiesen al respecto sobre este contrato y que no puedan ser resueltas anti-

2

gabiente por las partes contratantes será decidida por los tribunales competentes de Venezuela, de conformidad con sus leyes, sin que por ningún motivo ni causa puedan ser origen de reclamaciones extranjeras.

Hechos dos en un tenor á un solo efecto.....



Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales
Palacio de las Academias, av. Universidad, Apartado de Correo 1421.
Caracas, 1010-A. Venezuela