

Análisis de los efectos erosivos de la palma (*Cocos nucifera* L.) en los sistemas playa-duna de República Dominicana

Francesc Xavier Roig-Munar ^{1,3,6}, Pablo Fraile Jurado ², Oliver Olivo Batista ⁴, Josep Pintó ³, Pablo Del Toro Piñero ⁵, Carla García-Lozano ³ & Bernardí Gelabert Ferrer ⁶

1. Investigador independiente, consultor ambiental. c/ Carrixaret 18- apt. 6, es Migjorn Gran, Menorca, 07749, illes Balears.

2. Departamento de Geografía Física y A.G.R. Universidad de Sevilla. c/ Doña María de Padilla s/n, 41004, Sevilla

3. Laboratorio de Análisis y Gestión del Paisaje, Universitat de Girona. Plaça Ferrater Mora, 17003 Girona.

4. Departamento de Planificación y Proyectos del Ministerio de Turismo de República Dominicana. Santo Domingo.

5. Grupo Hotelero Piñero. Plaza Mediterráneo, 5, 07014 Palma de Mallorca, illes Balears.

6. Grup de Ciències de la Terra, Departamento de Biología Universitat de les Illes Balears. Crta. Valldemossa km 7,5 07122 Palma (Mallorca, illes Balears).

Este estudio analiza el impacto de la distribución del coco (*Cocos nucifera* L.) en las playas de la República Dominicana y su relación con la erosión costera y la dinámica de los sistemas playa-duna.

Se compararon 31 sistemas playa-duna utilizando 17 variables cualitativas para evaluar la influencia de las palmeras sembradas con fines agrícolas o turísticos en la morfología, ocupación antrópica y dinámica de las playas.

Los resultados indican que las playas con palmeras sembradas con fines turísticos presentan mayor compactación, descalces y erosión, así como menor resiliencia en el sistema playa-duna. Estas playas también tienen una mayor presencia de complejos turísticos, limpieza mecánica y retirada de restos vegetales, lo que contribuye a la alteración del perfil y la vegetación propia de la playa. Las palmeras pueden actuar como aceleradores del flujo de olas, agravando la pérdida de sedimento y aumentando el riesgo de caída de las propias palmeras, lo que conlleva riesgos personales.

Se concluye que la eliminación de los cocoteros y la restauración integral de las playas, incluyendo la recuperación de frentes dunares y vegetación asociada, son acciones necesarias para mejorar la estabilidad y dinámica de las costas dominicanas. Además, se sugiere la importancia de desarrollar estrategias de planificación y gestión que promuevan la conservación y restauración de los sistemas playa-duna en áreas turísticas y agrícolas.

Palabras clave: playas, Caribe, palmeras (*Cocos nucifera* L.), erosión.

Analysis of the erosive effects of palms (*Cocos nucifera* L.) in the beach-dune systems of the Dominican Republic

This study examines the impact of coconut (*Cocos nucifera* L.) distribution on the beaches of the Dominican Republic and its relationship with coastal erosion and beach-dune system dynamics.

A total of 31 beach-dune systems were compared using 17 qualitative variables to assess the influence of palm trees planted for agricultural or touristic purposes on beach morphology, anthropic occupation, and dynamics.

The results indicate that beaches with palm trees planted for touristic purposes exhibit higher compaction, slumping, and erosion, as well as lower resilience in the beach-dune system. These beaches also have a higher presence of tourist complexes, mechanical cleaning, and removal of vegetal debris, which contributes to the alteration of the beach profile and native vegetation. Palm trees can also act as wave flow accelerators, exacerbating sediment loss and increasing the risk of the palms themselves falling, which entails personal risks.

It is concluded that the removal of coconut palms and comprehensive beach restoration, including the recovery of dune fronts and associated vegetation, are necessary actions to improve the stability and dynamics of Dominican coasts. Furthermore, the importance of developing planning and management strategies that promote the conservation and restoration of beach-dune systems in touristic and agricultural areas is suggested.

Key words: beach, Caribbean, palm trees (*Cocos nucifera* L.), erosion.

La figura del cocotero (*Cocos nucifera* L.) es la de una típica palmera asociada a las playas tropicales. Es la palma icónica y una de las palmeras más emblemáticas, fotografiada por turistas en playas bucólicas, base de la gastronomía, cultura de muchos países y fuente de inspiración de muchos artistas. Pero los cocoteros son más que un adorno en playas emblemáticas, según Granados-Sánchez & López-Ríos (2002) el cocotero es una especie de palmera de la familia Arecaceae. La familia Arecaceae, denominada comúnmente palmeras, cuenta aproximadamente 2.522 especies incluidas en 185 géneros, de las cuales 459 especies de 50 géneros se encuentran presentes en las regiones tropicales y subtropicales de América del Sur (Pintaud *et al.*, 2008) y un total de 77 variedades de cocoteros repartidas por todo el trópico (Menon & Pandalai, 1958). Se encuentra ampliamente distribuida en islas y zonas costeras tropicales de todo el mundo, entre los 26°C de latitud N y S.

Es una planta tropical que prospera bien en climas sin marcadas fluctuaciones estacionales, con una temperatura promedio superior a 20°C y precipitación media anual de 1.000 a 1.800 mm, pudiendo soportar mayores precipitaciones en suelos con buen drenaje. Crecen en una amplia gama de suelos livianos, medianos y pesados por debajo de los 600 m de altitud, tolerando suelos arcillosos encharcados y/o suelos de laterita con una capa de roca poco profunda y/o capa dura.

Tienen marcada preferencia por los suelos arenosos con un mayor crecimiento del sistema radicular y diámetro del tronco. Crece bien cerca de playas y en terrenos halinos e infértiles, e incluso en suelos poco profundos de atolones coralinos, ya que debido a su gran demanda de cloro, la salinidad no presenta ningún problema para su desarrollo, siendo uno de los pocos cultivos que pueden verse en las playas (Alfonso & Ramírez, 2008). Tiene un buen desarrollo en suelos

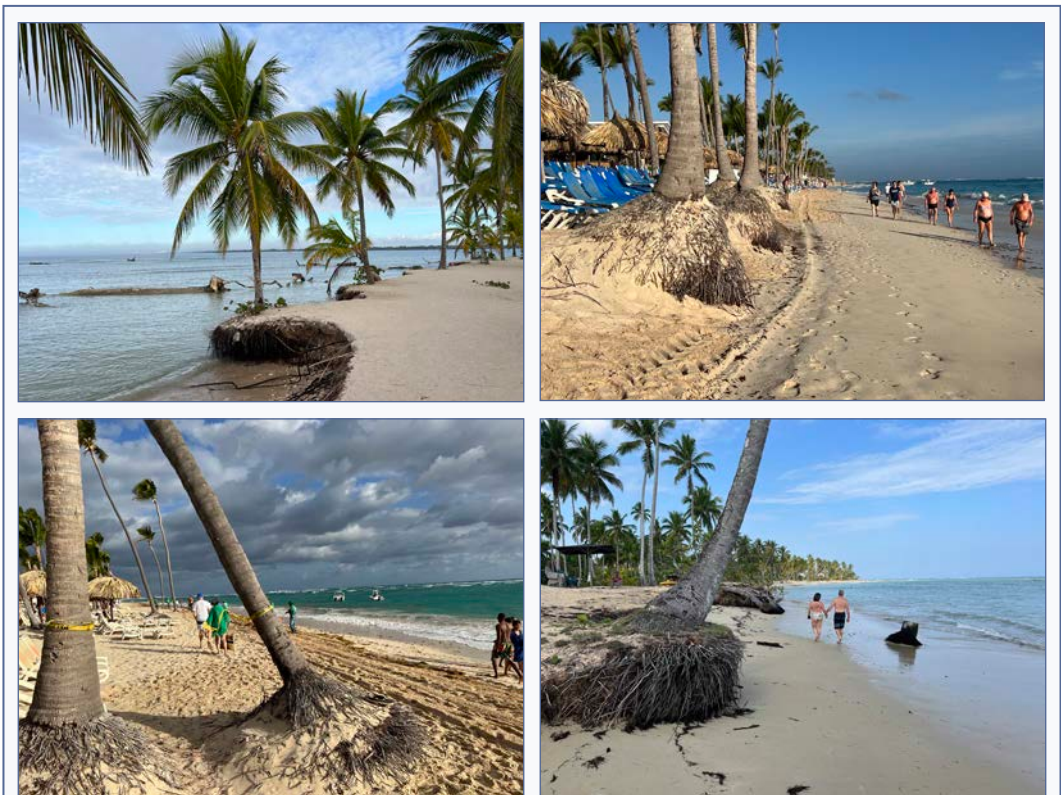


FIGURA 1. Imágenes de raíces de palma de coco expuestas sobre sustratos de playa en playa la Romana, las Terrenas, Cayo Levantado y Bávaro. Imágenes de marzo de 2023.

Images of coconut palm roots exposed on beach substrates in La Romana, Las Terrenas, Cayo Levantado and Bávaro beaches. Images from March 2023.

con presencia de materia orgánica, aireación, buen drenaje y pH de 5,5 a 7,0, pero puede tolerar suelos ácidos hasta el pH 4,5 y alcalinos de hasta pH 8,2. La profundidad mínima del suelo para su óptimo desarrollo radicular debe ser de 80 a 100 cm (Del Cañizo, 1991), desarrollando mecanismos de adaptación para crecer en suelos arenosos sujetos a inundación, con un extenso sistema de raíces que proporciona un anclaje eficiente para soportar fuertes vientos y resistencia fisiológica para tolerar la salinidad del suelo e incluso heladas ocasionales. El sistema de raíces de la palma de coco varía según el sustrato en el que se encuentre, en tierra firme la longitud de las raíces alcanza 5 m y en sustratos arenosos 7 m, con un radio de hasta 6 m (Fig. 1), permitiendo la retención efectiva del sustrato donde crece (Carr, 2011). Esta vegetación, a su vez, incide en la infiltración y salinidad del agua intersticial de los sedimentos (Lara & Cohen, 2006), principalmente arenas (62 μm -2 mm). Los altos niveles de

radiación en las playas inciden en la estructura y vigor de las diferentes formas de crecimiento y constituyen un factor limitante para el establecimiento de especies tolerantes a la sombra (Durán & Méndez, 2010). Tiene una mayor tolerancia al déficit hídrico, asegurando su supervivencia en períodos de descenso moderado de los niveles freáticos (Cintra et al., 2009). *Cocos nucifera* L. se distribuye en regiones tropicales y subtropicales de África, el Caribe y América del S, y su mayor variabilidad se presenta en el SE asiático y en segundo lugar en el Caribe.

Perfil playa-duna del Caribe

Las playas forman parte de un sistema complejo y dinámico que conforma al sistema playa-duna (Psuty, 2004), provocando que las alteraciones en las playas afecten a las formas dunares y viceversa (Martínez et al., 2004). La estabilidad de la línea de costa depende en gran medida de la presencia de dunas, funcionando

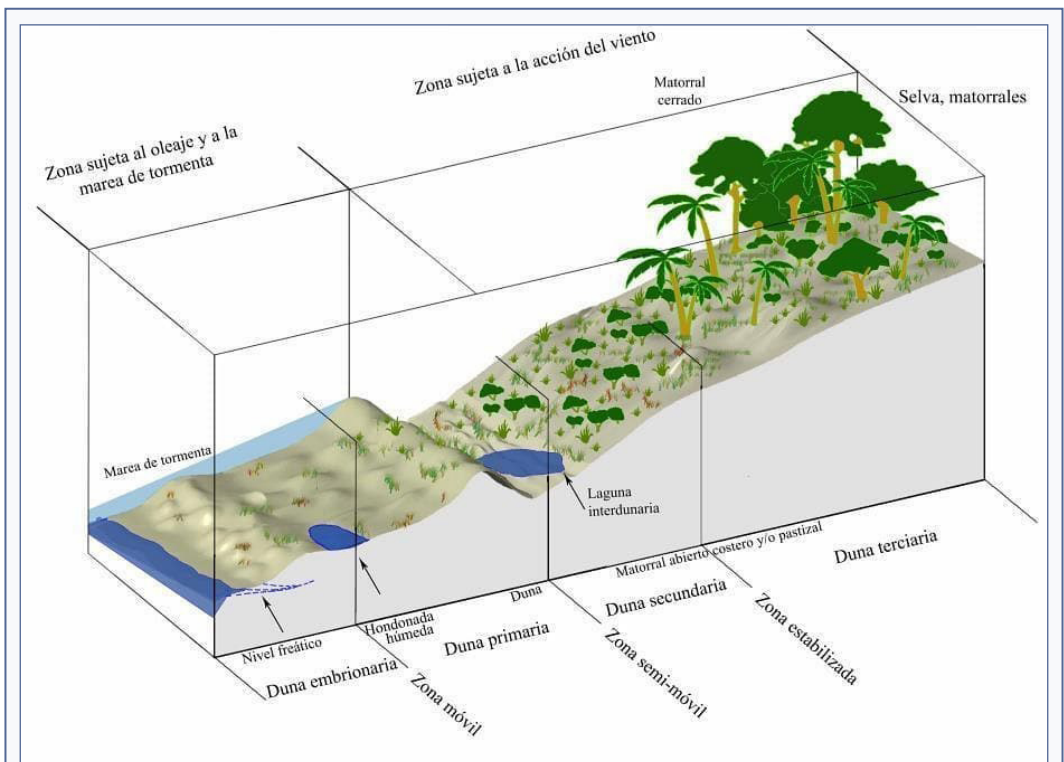


FIGURA 2. Estructura tipo del sistema playa-duna del Caribe, según Martínez & Moreno-Casola (1996).

Typical structure of the Caribbean beach-dune system, according to Martínez & Moreno-Casola (1996).

como reservas sedimentarias que proveen y almacenan sedimento entre playa-duna (Roig-Munar *et al.*, 2018). La morfología playa-duna queda condicionada por diferentes factores, como el suministro de arena, la tasa de transporte sedimentario (Delgado-Fernández, 2011), la incidencia del oleaje y el viento (Walker *et al.*, 2006), el estado de la playa a largo plazo (Davidson-Arnott *et al.*, 2005), la ocurrencia y la magnitud de tormentas y la vegetación (Miot da Silva *et al.*, 2008). La interrupción o disminución del balance sedimentario puede provocar la desaparición de las playas (Nordstrom *et al.*, 1990), funcionando las dunas costeras como barreras naturales de protección ante fenómenos extremos (Martínez *et al.*, 2004).

La estructura de las dunas del Caribe fue descrita por Martínez & Moreno-Casola (1996) mediante el perfil playa-duna desde la playa emergida hasta sus formas dunares, donde se pueden formar uno o más cordones (Fig. 2). Según Martínez (2009) en latitudes tropicales las plantas rastreras son más comunes y favorecen la fijación de sedimento en las zonas medias y altas de la playa y de las formas embrionarias de playa alta. Las dunas primarias pueden formar uno o más cordones, y son de escasa potencia. En estas latitudes conforme se van estabilizando las dunas, se observa un predominio del pastizal en la duna secundaria, no apreciando en las zonas de playa alta y dunas primarias palmas (Hesp, 2004). Tierra adentro se da un proceso de colonización por arbustos con el paso del tiempo, y su permanencia varía dependiendo del régimen local de lluvias y las fluctuaciones del nivel del manto freático (Martínez *et al.*, 2004). Los impactos sobre estas morfologías apuntan las causas de degradación al desarrollo turístico masivo y a una elevada presión antrópica que generan impactos continuos (Nordstrom, 2008; Roig-Munar *et al.*, 2018). A nivel geomorfológico el perfil presenta índices de sensibilidad, que a lo largo de los años se han visto afectados por una incorrecta planificación y gestión, focalizado en los sectores de playa y formas dunares, suponiendo que en condiciones de tormenta los daños son mayores en zonas donde las morfologías han sido eliminadas, alteradas o modificadas, tanto a nivel morfológico como botánico (Roig-Munar *et al.*, 2021, 2022).

La costa del Caribe presenta peligrosidad ante la presencia de huracanes, habiendo impactado huracanes de alta intensidad con relativa frecuencia en

las últimas décadas (Silva *et al.*, 2003). Con cada nuevo huracán la posibilidad de recuperación de los sistemas playa-duna erosionados es cada vez más remota debido a la debilitada resiliencia del sistema a lo largo de su perfil natural (Gonzalez-Leija *et al.*, 2013). La alteración y erradicación del sistema genera una erosión continua y provoca la pérdida de morfología y vegetación, con lo que el sistema se vuelve móvil y vulnerable al oleaje y al viento, generando morfologías erosivas progradantes con tendencia a la desaparición y pérdida de sedimento (Hesp, 2002). Este proceso degenerativo del sistema se agrava por la subida del nivel del mar, que determina el nivel local de embate del oleaje, provocando la pérdida y redistribución del sedimento, así como la pérdida de la barrera de protección, y una mayor movilidad de sedimento tierra adentro (Villatoro *et al.*, 2010). Este escenario también se ve agravado por presentar una temporada turística de carácter anual, sin que el sistema disponga de períodos que favorezcan cierta renaturalización (Roig-Munar *et al.*, 2022). En este contexto la vegetación es uno de los factores que interactúan en la dinámica y la configuración del sistema, donde su composición y estructura depende de la topografía, salinidad, sustrato, nivel y frecuencia de la inundación (Perillo *et al.*, 2009; Dawson & Smithers, 2010). Sin embargo, el establecimiento de cultivos o plantas ornamentales sobre el perfil playa-duna (Fig. 2) pueden modificar los procesos de sedimentación y agravar la erosión, condicionando tendencias de erosión a corto y medio plazo.

Origen del coco

El término coco proviene del portugués “cocu”, en referencia al fruto, que sugiere la cara de un mono (McCurrach, 1970). El origen del cocotero ha sido tema de debate entre Asia y América. Debido a su presencia y al largo historial en las regiones tropicales y subtropicales de todos los continentes, no había certeza sobre su origen, y los botánicos del siglo XVII consideraban la palma como especie asiática. Martius (1823-1850) argumentó un origen americano basándose en un análisis taxonómico y en similitudes entre palmas cocsoides nativas de América Central y de América del S. De Candolle (1855, 1884), en el libro *Origen de las Plantas Cultivadas*, argumentó que solo pudo encontrar dos razones a favor de un origen americano pero diez a favor de Asia. Cook (1910) determinó un origen

americano especulando que los climas secos de localidades del interior de América del S eran las únicas condiciones donde se podría esperar la palma en estado salvaje. Edmondson (1941) demostró que las nueces de coco pueden germinar después de flotar en agua de mar durante periodos de hasta 110 días. Según Granados-Sánchez & López-Ríos (2002) la dispersión a través del Pacífico parece haber ocurrido desde Nueva Guinea a la Polinesia y de aquí a América Tropical, llegando las poblaciones de *Cocos nucifera* L. directamente de las Islas Salomón e Islas Filipinas, costas del Pacífico. La teoría de que el coco es de origen insular asiático-pacífico y no de origen tropical americano se basa en su alto grado de diversidad genética en la región asiática-pacífica en relación a la de América tropical (Corner, 1966; Opeke, 1982). Las evidencias genéticas sugieren una relación entre la población actual en la costa del Pacífico de Panamá y los cocoteros en las islas Filipinas (Storey et al., 2007; Gunn et al., 2011).

Posteriormente según Clement et al. (2013) el cocotero no es originario del Caribe, es producto de introducciones realizadas durante el período colonial español. En el caso del cocotero el flujo de información es emblemático, ya que Vasco de Gama fue el primero en llevar coco a Portugal en 1499, después de dejar

plántulas en las islas Cabo Verde, donde crecieron hasta la edad reproductiva y se distribuyeron a las Américas (Harries, 1977). Por lo tanto, el cocotero debe haber sido llevado en barco desde el Pacífico Occidental, siendo la explicación más aceptada es que fue introducido después de la conquista española.

Lo más controvertido de esta discusión se refiere al coco informado por el primer explorador europeo en la costa del Pacífico de Panamá a principios del siglo XVI. El diario de Cristóbal Colón registra el 17 de noviembre de 1492, en la costa N de Cuba: "Muchas palmeras altas... con una nuez muy grande del tipo perteneciente a la India..." (Columbus, 1893). Pero Colón había identificado erróneamente la palma real (*Roystonea spp.*), reportadas en la costa del Pacífico de Panamá por Gonzalo Fernández de Oviedo y Valdés, en el libro *Historia natural de la Indias* (1526, 1535), reportando, además, su presencia hacia el S, cerca de las costas del Perú (Bruman, 1944). Los conquistadores que navegaban hacia el Nuevo Mundo en las primeras décadas del siglo XVI sabían que los cocos eran especiales, ya que en 1501 el rey Manuel de Portugal escribió a Fernando e Isabel de España, ensalzando el valor primordial de los cocos como fuente de agua potable y cordaje para veleros (Patiño, 2002). Sin embargo, la primera información

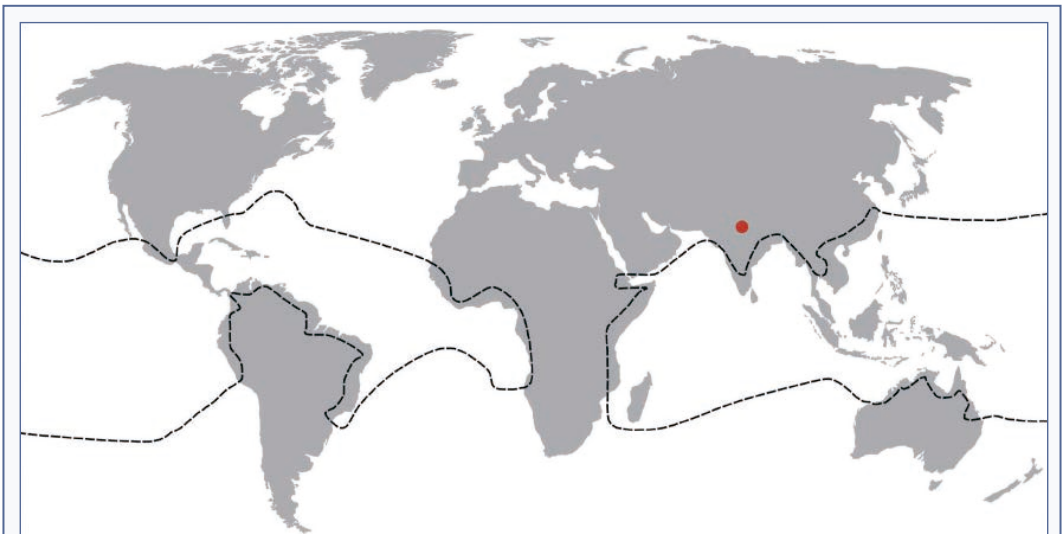


FIGURA 3. Distribución moderna de *Cocos nucifera* (línea discontinua), según Shukla et al. (2012) y la presente localidad fósil (punto rojo) en el planeta. Fuente: Srivastava, R. & Srivastava, G. (2014).

Modern distribution of *Cocos nucifera* (dashed line), according to Shukla et al. (2012) and the present fossil locality (red dot) on the planet. Source: Srivastava, R. & Srivastava, G. (2014).

completa disponible sobre los usos del coco en Asia fue publicada por Ludovico di Varthema (1510), basado en sus viajes por Asia entre 1501 y 1508, consultado por Magallanes antes de partir en sus expediciones, en 1519, y por Fernández de Oviedo antes de ir a Panamá en 1521. De ahí que Patiño (2002) destaca que Fernández de Oviedo y otros autores de la época utilizan información de Asia y las Américas en sus informes sin especificar el origen en detalle, basándose en su análisis (Patiño, 1963) de estos documentos como el origen de la información de Fernández de Oviedo (1526, 1535). Zizumbo-Villarreal & Quero (1998) analizaron el resumen y generalidades de Fernández de Oviedo para determinar si el coco estuvo presente en Panamá en la época de la conquista europea, y ambos autores aceptan con cautela que los informes de Fernández de Oviedo son correctos. Según Zizumbo *et al.* (1993) y Zizumbo (1996) la primera introducción podría haber sido en el Pacífico, en la costa en 1539 desde Panamá.

La posible presencia del cocotero desde mediados del siglo XVI en esta región, la profusión del cultivo y la utilización del cocotero para el consumo de aguamiel como bebida alcohólica hacia 1580, hace pensar que existió efectivamente una primera introducción procedente de Panamá, hacia 1539. En los viajes a través de México, en 1565, se transportaron cocos, siendo unas de las primeras vías de intercambio de cocoteros de la región entre el Caribe y el Pacífico mexicano (Bruman, 1945).

Clement *et al.* (2013) presentan varias hipótesis basadas en evidencias etnobotánicas, arqueológicas y lingüísticas precolombinas para dar cuenta de las observaciones históricas analizadas. Estas cuatro hipótesis son:

A. Los cocos se originaron en las Américas según De Candolle (1855), posteriormente desmentido en 1883. La hipótesis del origen americano fue establecida por Cook (1910) y desacreditada por Gunn (2004) mediante filogenia genética molecular.

B. Los cocos fueron transportados en canoas desde las islas del Pacífico por polinesios antes de que los europeos los llevaran a América, hipótesis que fue descartada por Baudouin & Lebrun (2009). Fitzpatrick y Callaghan (2009) realizaron simulaciones de los supuestos viajes del coco. Los viajes del E de las islas polinesias hacia América muestran que son posibles desde puntos de partida como Samoa, Tonga, el E de la

Polinesia francesa y Rapa Nui. El viaje desde Rapa Nui hasta la costa americana tardaría alrededor de un mes, dos meses desde las Marquesas, y entre 66 y 128 días desde Tonga o Samoa. La simulación de los viajes desde la Polinesia oriental hasta la costa americana tienden a ser llevados hacia el N de Perú por vientos y corrientes en la última parte de su viaje, tocando algunos tierra en la costa N de Ecuador (D'Arcy, 2006). Los de Hawái llegan a la costa de Nicaragua y Costa Rica, y la distancia y duración probable de los viajes desde el E de Micronesia (Kiribati) son similares a los de Samoa o Tonga, con más probabilidades de llegar a la costa de Panamá.

C. Los cocos flotaron desde las islas del Pacífico desde la antigüedad hasta nuestros días. Hipótesis basada en el hecho de que los cocos pueden dispersarse flotando a cierta distancia y echar raíces en la costa. Pero dada la relación genética entre la costa del Pacífico de Panamá y de las islas Filipinas los autores se preguntan si podrían haber flotado a través del océano Pacífico, o si deben haber sido transportados. Ambos casos han sido discutidos, abogando autores por la dispersión y otros autores por la introducción.

D. Los cocos fueron transportados en canoas directamente desde Filipinas. Esta hipótesis se basa en el análisis de Baudouin & Lebrun (2009) que mostró la estrecha relación genética entre cocos en las Filipinas y Panamá.

A pesar de estas cuatro hipótesis los registros disponibles de cocos conocidos de Australia, Nueva Zelanda y América del S indican su distribución en diferentes sucesiones estratigráficas del Mioceno-Plioceno, mientras que otros registros indican la aparición más temprana en la península de la India. La evidencia que apoya la opinión de que el coco se originó en la región de Melanesia proviene del descubrimiento de fruta fósil de *C. zeylandia* en Nueva Zelanda y restos fósiles de *C. nucifera* en Nueva Guinea, de más de 4.000 años de edad, así como restos fósiles en Vanuatu de más de 5.000 años de edad (Buckley y Harries, 1984). Los fósiles más antiguos de coco pueden ser del Cretácico tardío, dispersándose más tarde en el SE asiático y otras partes del mundo, navegando hacia el N en la placa india mediante la dispersión (Ward & Brookfield, 1992). Por tanto su registro fósil ofrece un horizonte bien datado (65,5–61,7 Ma), conjuntamente con el análisis filogenético de palmas de Colombia (Futey *et al.*, 2012). Se han documentado registros fósiles de cocos de todos

los continentes de Gondwana, India, Australia, Nueva Zelanda, América del Sur, excepto África y Antártida, especialmente endocarpos fosilizados, registrados en Australia en el período Plioceno como *Cocos nucifera* (Rigby, 1995), y en sedimentos del Mioceno y Plioceno de Nueva Zelanda (Ballance et al., 1981; Berry, 1926). En 2014 Srivastava y Srivastava aportan un nuevo dato de la fruta fósil en Madhya Pradesh, centro de la India, durante el período de sedimentación del fósil, la India estaba separada del resto de los continentes de Gondwana (Fig. 3), rebatiendo las teorías que no eran compatibles con el registro fósil (Harries 1978, 1978; Gómez-Navarro et al., 2009; Clement et al., 2013).

Parrota (1993) determinó que los límites del área de distribución natural del coco, en base a las teorías de su origen en la región Indo-Malaya, Pacífico Occidental, y actualmente su distribución pantropical (Fig. 4), probablemente es el resultado directo o indirecto de su cultivo asociados a los períodos coloniales españoles y portugueses introduciéndolos desde Asia al Caribe, el NE de la América del S (Corner, 1966). Hoy en día, el coco es pantropical y crece en sitios apropiados entre las latitudes 26° N y 26° S. Los límites del extremo N y S de su área de distribución introducida incluyen la Florida, el N de la India y Madagascar.

Las plantas silvestres como el cocotero representan un recurso esencial para muchos pobladores

del mundo, pueden ser utilizadas con diversos propósitos, en especial como fuente de alimento y de ingresos económicos (Torrico & Trillo, 2015). Con frecuencia se hace referencia a la palma de coco (*Cocos nucifera* L.) como el árbol de la vida, debido a su gran valor como planta de uso múltiple, encontrándose en el duodécimo lugar de la lista de especies de plantas alimenticias más importantes para el ser humano (Granados-Sánchez & López-Ríos, 2002). El coco ha sido plantado a través del Caribe y se ha naturalizado a lo largo de costas arenosas. Los cocoteros se encuentran entre las familias de plantas más utilizadas por poblaciones rurales, por su amplia distribución geográfica, abundancia, estacionalidad, predictibilidad, alto valor nutritivo y por proveer recursos para la construcción de viviendas, artefactos y herramientas. Considerada una de las especies perennes de mayor importancia a nivel mundial, ya que su cultivo tiene la capacidad de generar empleo e ingresos en muchos países a través del consumo de frutas frescas o agua de coco, originando más de 100 productos y subproductos de importante valor económico. Además el coco se utiliza como planta ornamental, adornando espacios públicos y privados (Silva & Jerónimo, 2012). Como cultivo en los trópicos ocupa alrededor de 3.000 millones de ha cultivadas en todo el mundo, involucrando a más de 13.000.000 de personas relacionadas directa o indirectamente, y sus múltiples

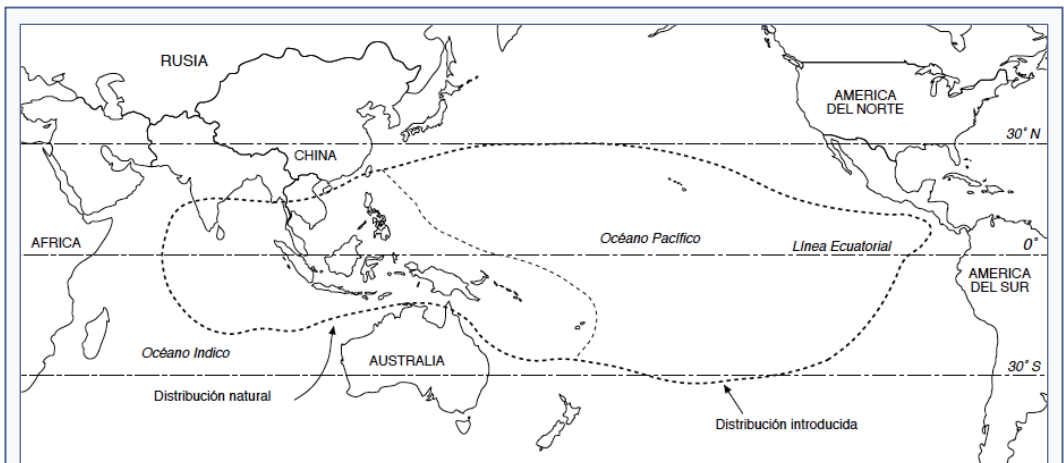


FIGURA 4. Distribución natural y pre-colombina artificial del coco, *Cocos nucifera*. La región interna de menor tamaño representa el área de origen aparente; la región externa de mayor tamaño representa la distribución artificial antes de 1500 D.C. Fuente: Parrota (1993).

Natural and artificial pre-Columbian distribution of the coconut, *Cocos nucifera*. The smaller inner region represents the apparent area of origin; the larger outer region represents the artificial distribution before A.D. 1500. Source: Parrota (1993).

usos hacen de este cultivo pantropical un valor incalculable a miles de pequeños agricultores (Borgtoft & Balslev, 1993). Según Clement *et al.* (2013) el coco fue un importante cultivo de plantación durante gran parte de los siglos XIX y XX, y posiblemente fue la primera planta de cultivo pantropical, siendo una planta de alto

valor económico que proporciona muchas de las necesidades básicas para supervivencia en las sociedades tradicionales, especialmente en el Pacífico S y O, donde tienen un papel en el siglo XXI como biocombustible.

Durán & Méndez (2010) esgrimen que el cocotero juega un papel primordial en el equilibrio de las playas,

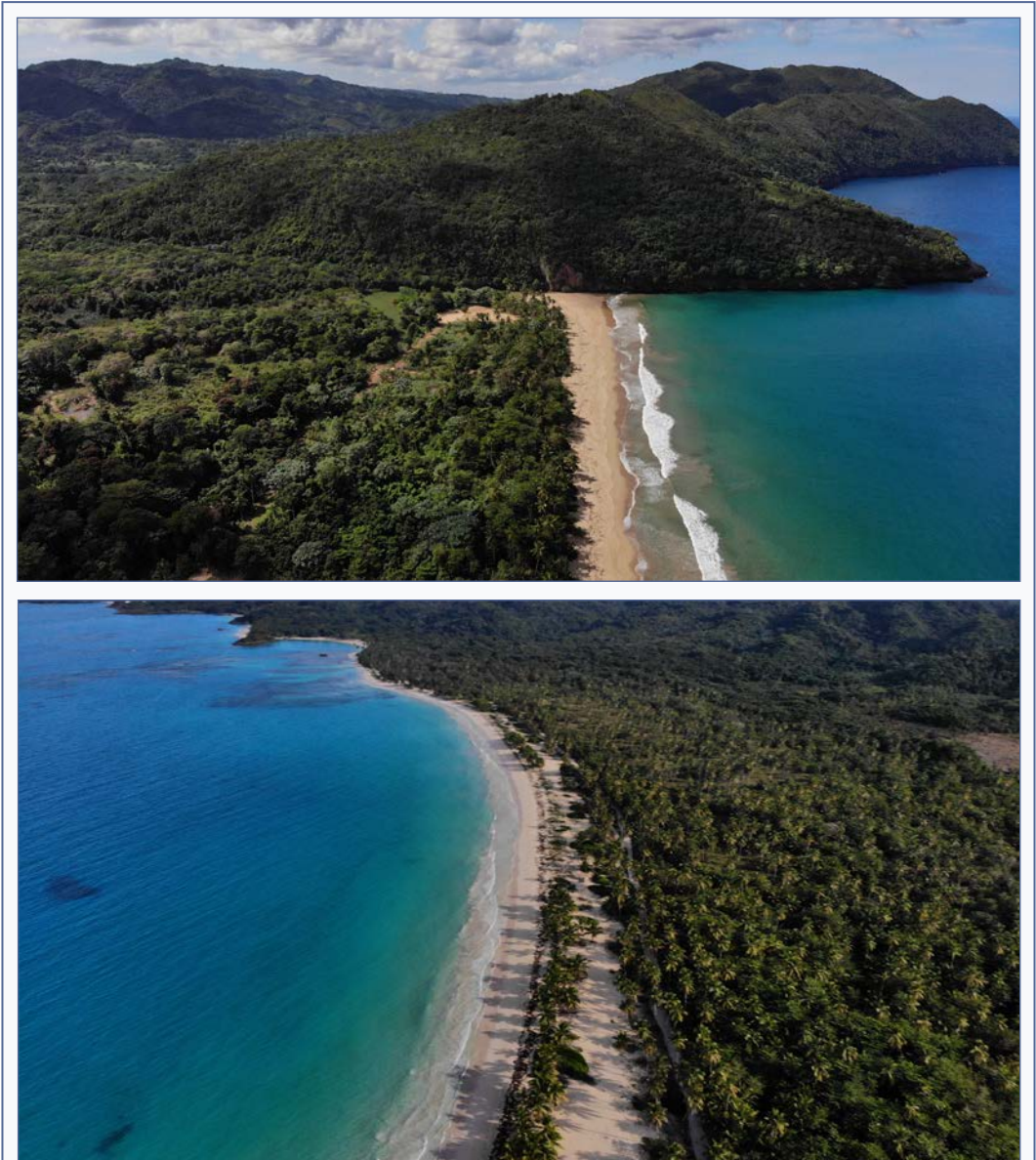


FIGURA 5. Plantaciones de cocoteros en zona traseras de sector playa-duna de playa Rincón y el Valle. Imágenes de enero de 2023.

Coconut plantations in the rear area of the beach-dune sector of Playa Rincón y el Valle. Images from January 2023.

garantizando la protección del suelo y las comunidades vegetales ante mareas y fuertes vientos, así como la protección de poblaciones que viven adyacentes en zonas costeras. Adicionalmente, la salinidad y la inundación causada por tormentas causan mortalidad de

árboles adaptados a condiciones de inundación por agua dulce (Stanturf *et al.*, 2007). Según Carr (2011) la compleja red de raíces de las palmas da cohesión a los sedimentos y pueden disminuir el impacto de eventos extraordinarios, como ciclones y tsunamis. Boobalan y

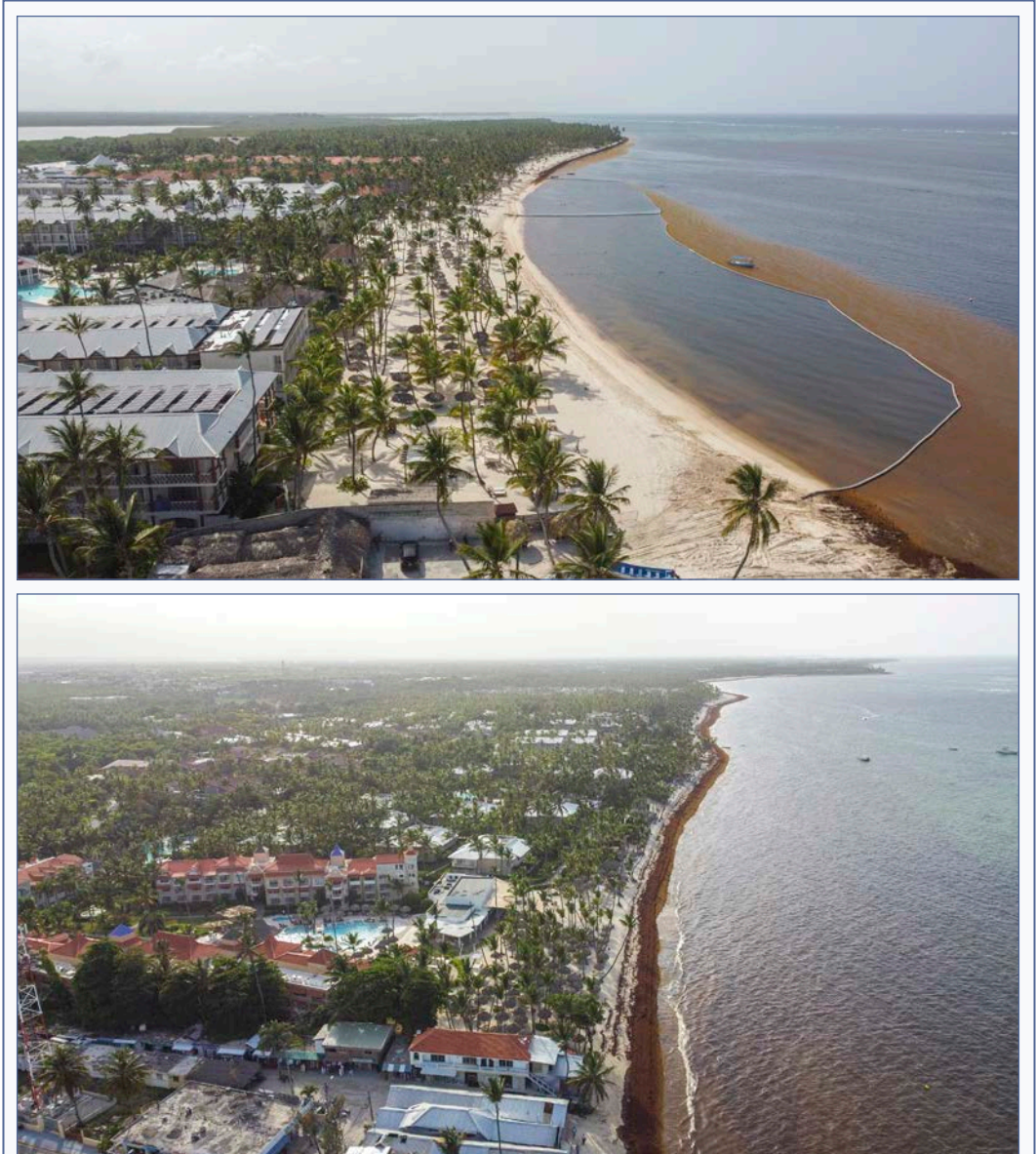


FIGURA 6. Ocupación hotelera de frentes de playa-duna y siembra de palmas en la zona de playa emergida en playa Bávaro y Cortecito. Imágenes de enero de 2023.

Hotel occupancy of beach-dune fronts and planting of palms in the emerged beach area in Bávaro and Cortecito beaches. Images from January 2023.

Ramanujam (2014) argumentan que se puede proteger mediante cocoteros la erosión del suelo en las regiones costeras, así como la paliación de los efectos de los tsunamis. Según Rajendra & Sumariati (2018) lo más importante a discutir sobre los cocoteros en playas debe centrarse principalmente en su papel clave en la seguridad de las personas frente a los grandes eventos de tormentas, huracanes y tsunamis, fortaleciendo el enfoque de protección y los beneficios económicos, sociales y culturales. Los autores proponen promover las plantaciones debido a la resistencia de las palmeras al oleaje con raíces verticales y horizontales de 8 a 16 m respectivamente. Stubbs *et al.* (2019) demostraron el efecto lastre que ejercieron los cocoteros ante los efectos del huracán Iniki en 1992, revelando una consistencia de suelo, similar al cemento, comparable a la fenomenología analizada en sistemas radicales de otras especies (Shane *et al.*, 2011). Según Lin *et al.* (2021) la palma de coco es una de las especies más tolerantes para proteger las zonas costeras contra las inundaciones, la mareas reales y tsunamis, ya que la densa estera de raíces ayudan a sostener las capas superficiales del suelo. No obstante, la erosión costera afecta a la vegetación, al exponer las raíces superficialmente y causar su desecación, salinización y descalce, así como el potencial de asfixia por sedimentación. Aunque los problemas de erosión se incrementan con los eventos meteorológicos y la subida del nivel del mar, la interrupción de la dinámica litoral por los desarrollos turísticos es el principal factor que aumenta la erosión en playas turísticas del Caribe. A pesar de esto muchos gestores incorporan estas especies al paisajismo, con el supuesto fin de atrapar la arena, dar sombra y embellecer las playas con el elemento emblemático de las playas. Pero el resultado es la generación y la aceleración de procesos erosivos asociados a las palmas de primera línea debido a su densa red raticular y a ejercer un papel de sustrato rígido (Fig. 1).

Área de estudio

En República Dominicana el cultivo más extendido en zonas litorales es el de la palma de coco (*Cocos nucifera*), especie muy utilizada desde la época de colonización española. La costa NE de República Dominicana tiene un clima tropical subhúmedo, y el contenido de humedad en el perfil del suelo explica en gran medida la existencia de grandes plantaciones de coco cerca de

las playas, ya que los altos valores de nutrientes en las capas del subsuelo a lo largo del año favorecen su desarrollo. Los terrenos de explotación eran grandes zonas litorales llanas y asociadas a sistemas playa-duna, no ocupando nunca el frente de playa ni la zona de afectación de máximo oleaje (Fig. 5).

Actualmente República Dominicana se enfrenta a una creciente demanda de productos derivados del coco a nivel mundial, donde el 90% de los productos elaborados en el país terminan en el extranjero. Anualmente el país produce 287.000 t de coco, elaborando más de trece productos derivados de esta fruta, y es líder mundial en la exportación de crema dulce de coco. Actualmente estas plantaciones son maduras y requieren su regeneración, pero el problema principal para el sustento de esta agricultura es el desarrollo turístico, ya que los hoteles ocupan las plantaciones de coco o bien los espacios de potencial plantación (Fig. 6). El modelo turístico ha erradicado grandes extensiones de cocoteros en el país, pero también ha erradicado la función natural y/o ecológica del paisaje dunar, supeditándolo a la función estética y recreativa, generando daños con altos costos socioeconómicos y geoambientales. La imagen paradisíaca de extensas playas de arena blanca rodeada de cocoteros, que tanto se publica y atrae a los turistas, es una muestra de riesgo de erosión al que se enfrentan los ecosistemas playa-duna turísticos en el Caribe. Aunque las palmas de coco se han vuelto parte de las postales en las playas del Caribe, “embelleciendo” las playas, son especies exóticas que restan espacio a plantas nativas. Los procesos de erosión asociados a palmeras, cuando no se colocan a la distancia requerida y/o sobre la playa, se encuentran asociados al sistema radicular de la planta, dando lugar a la compactación de la arena, impidiendo la creación de formas y acelerando la erosión, agravados por los sistemas de limpieza de playas, tanto de maquinaria como retirada de restos vegetales (Roig-Munar *et al.* 2022).

Hipótesis, objetivos y metodología

Partimos de la hipótesis que a presencia de palmas (*Cocos nucifera* L.) sobre el sistema playa-duna dan lugar a la erosión de playa asociada a los mecanismos de fijación raticular, a la falta de mecanismos de retención de sedimento, a la ocupación del espacio más dinámico del sistema y a un comportamiento de las estructuras

raticulares como elementos de fijación, rigidización y distorsión del oleaje sobre el sistema playa, dinámico por naturaleza. Por ende el objetivo del trabajo es el análisis mediante 17 variables cualitativas en 31 sistemas playa-duna de República Dominicana (Fig. 7). El uso de las variables están basadas en valores que definen su estado morfológico, uso y ocupación antrópica, planificación, gestión y respuestas del sistema (Roig-Munar et al. 2006).

La metodología utilizada se ha basado en el trabajo de campo y la definición de una matriz de variables cualitativas descritas en la Tabla 1, siendo estas con valores comprendidos de 0 a 4.

A la matriz de las 31 playas estudiadas se le realizó un análisis de medias en el que se compararon los valores obtenidos en los grupos de las variables de palmeras

sembradas para la explotación agraria y palmeras sembradas por explotación turística con fines ornamentales. Los resultados obtenidos fueron validados estadísticamente mediante el test de la Chi-Cuadrado para un nivel de confianza del 95 %, de tal manera que fuese posible determinar si el resto de variables analizadas (compactación, descalce, estado del sistema dunar, presencia de formas efímeras, etc.) dependen estadísticamente de las dos variables a priori independientes anteriormente señaladas. Se identificaron como variables dependientes la 1 y la 2 de la Tabla 2, playas con palmeras sembradas para la explotación y playas con palmeras sembradas para el turismo, y se asignaron valores que oscilaron entre 0 y 4 a las 15 variables independientes restantes evaluadas de acuerdo con la Tabla 1. No obstante, el pequeño tamaño de las

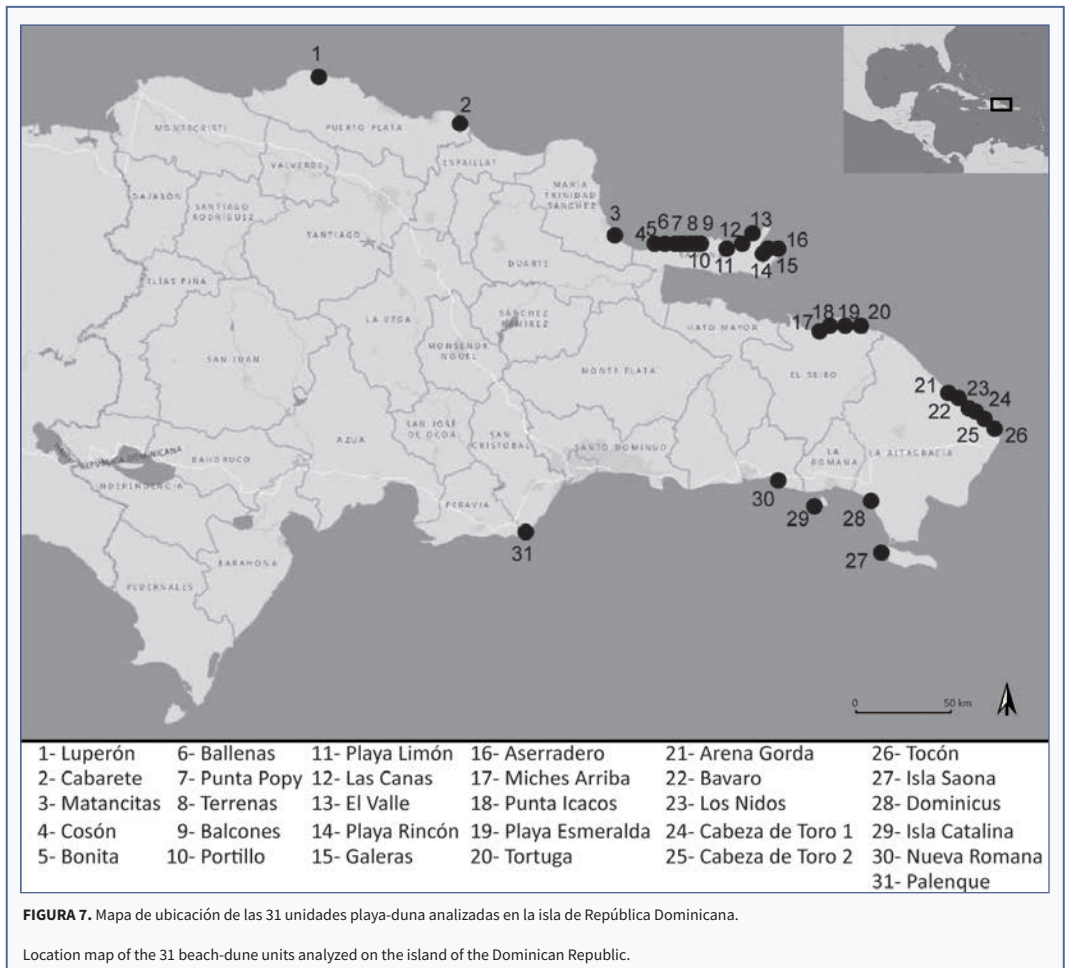


FIGURA 7. Mapa de ubicación de las 31 unidades playa-duna analizadas en la isla de República Dominicana.

Location map of the 31 beach-dune units analyzed on the island of the Dominican Republic.

muestras elegidas deben llevar a tomar los resultados obtenidos con cierta cautela y como resultados preliminares, tanto en aquellos en los que el test arroja resultados nulos, es decir, que no existen diferencias entre las muestras de palmeras sembradas para explotación y no sembradas para explotación, o entre las muestras sembradas con fines turísticos y no sembradas con fines turísticos.

Resultados

Los resultados obtenidos, tomando como variable independiente la siembra de palmeras con fines de explotación agraria, están sintetizados en la Fig. 8 e indican que existen diferencias estadísticamente significativas con un 95 % de confianza en las variables ED, PK, RC, UT, LE, RV, CT y AP. La figura debe interpretarse de tal modo que los valores más altos corresponden a

N	Variable	Acrómino	0	1	2	3	4
1	Sembradas explotación	SE	No		Medio		Sí
2	Sembradas turismo	ST	No		Medio		Sí
3	Compactación	CP	Nula		Media		Alta
4	Descalce	DC	Nulo		Medio		Alto
5	Sistema dunar	SD	Si				No
6	Estado dunas	ED	1	2	3	4	5
7	Morfologías efímeras	MF	Sí		Algunas		No
8	Uso turístico	UT	No		Medio		Alto
9	Uso recreativo	UR	No		Medio		Alto
10	Limpieza mecánica	LE	No		Media		Alta
11	Estacionamiento	PK	No		Poco		Alto
12	Fetch	FT	Bajo		Medio		Alto
13	Retroceso costa	RC	No		Medio		Alto
14	Retirada restos vegetales	RV	No		Medio		Sí
15	Complejo turístico	CT	No				Sí
16	Complejos residenciales	CR	No				Sí
17	Aportaciones arena	AP	No				Sí

TABLA 1. Descripción de las 17 variables contempladas en el análisis.

Description of the 17 variables considered in the analysis.

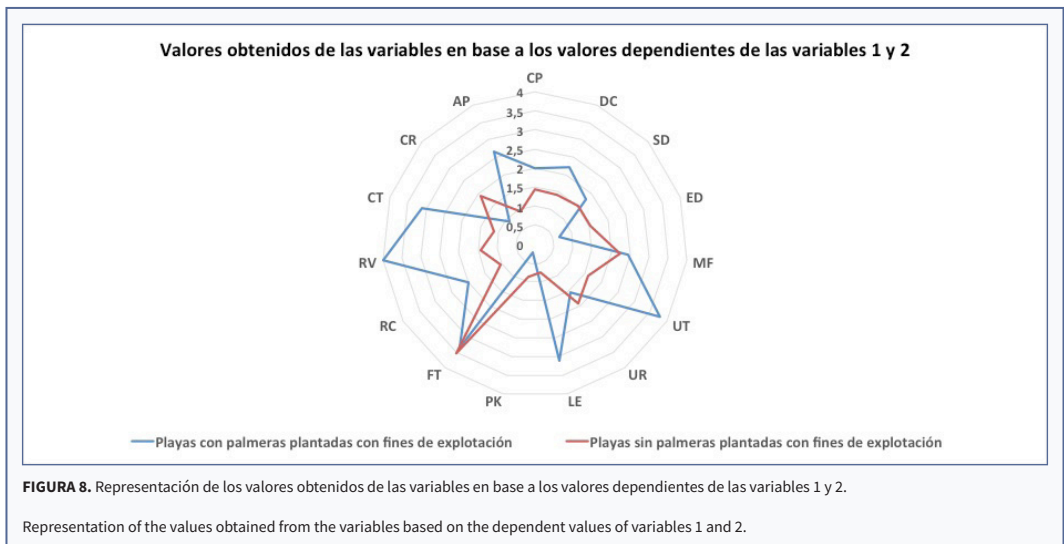


FIGURA 8. Representación de los valores obtenidos de las variables en base a los valores dependientes de las variables 1 y 2.

Representation of the values obtained from the variables based on the dependent values of variables 1 and 2.

peores estados de las formas dunares, en base a la clasificación de las formas establecida por Hesp (2022), y a la afectación del conjunto del sistema en base a sus puntos de sensibilidad definidos por Roig-Munar et al. (2022), y asociada a una mayor intervención humana en todo el conjunto del sistema. Mientras que los valores más bajos se corresponden con estadios más naturales de conservación del perfil playa-duna, con estadios de estabilidad o procesos incipientes de erosión sin valores altos de regresión y pérdida de sedimento fuera del perfil natural.

En cuanto a las muestras elegidas en función de si las palmeras de playas proceden de siembra o son para el turismo, el análisis de medias aparece sintetizado en la Fig. 9. Todas las variables analizadas muestran diferencias significativas excepto las variables UR, FT y CR. La interpretación de estos resultados puede sintetizarse, con diferencias estadísticamente significativas con un 95 % de confianza, entre playas en las que las palmeras se han sembrado con fines de explotación económica, en:

El estado de las formas dunares es significativamente

N	Variable	Descripción
1	Sembradas por explotación	Se contempla si las palmas han sido sembradas para la explotación agrícola, generalmente fuera de la zona de playa-duna.
2	Sembradas por turismo	Se contempla si las palmas han sido sembradas con finalidades ornamentales por los complejos turísticos. Hecho que supone en muchas ocasiones el uso de playa como zona de siembra y la erradicación de vegetación autóctona, así como la fijación del sistema.
3	Compactación del suelo	Valor cualitativo de la compactación del suelo en las zonas de playa con presencia de palmas, hecho que favorece cierta rigidez del sistema playa (Stubbs et al., 2019).
4	Descalce de palmas	Medida cualitativa sobre el descalce de palmas en la zona de playa, especialmente las de primera línea o frente de playa.
5	Sistema dunar	Presencia o ausencia de sistema dunar en la zona alta de playa.
6	Estado de las dunas	Estadio de las formas dunares en base a la clasificación de Hesp (2002), que establece mediante categorías el grado de naturalidad y erosión del sistema como punto de equilibrio (Roig-Munar et al., 2022).
7	Morfologías efímeras	Presencia de formas efímeras de playa alta asociadas a vegetación natural rastrera como indicador de naturalidad y conservación del perfil playa-duna.
8	Uso turístico	Grado cualitativo del uso turístico del sistema.
9	Uso recreativo	Grado cualitativo del uso recreativo del sistema.
10	Limpieza mecánica	Actuaciones de limpieza mecánica que afectan la estabilidad del conjunto de la playa emergida, tanto por erosión como por compactación de toda el área de actuación (Roig-Munar, 2004)
11	Parking	Presencia de estacionamientos, regulados o no sobre el sistema playa-duna, hecho que implica compactación.
12	Fectch	Valor medido en distancia de la costa más lejana como factor de incidencia del oleaje en tiempo y la distancia recorrida por el mismo viento en un tramo de agua sin obstáculos.
13	Retroceso de línea de costa	Tasas cualitativas de retroceso de la línea de costa en base a los valores establecidos en los últimos 20 años.
14	Retirada restos vegetales	Actuaciones de limpieza y retirada de restos vegetales como factor de erosión continuada de playas y pérdida de sedimento asociado (Roig-Munar et al., 2021, 2022).
15	Complejo turístico	Presencia de complejos turísticos como estructura de ocupación de todo el frente de línea de costa y afectación a las formas dunares.
16	Complejos residenciales	Presencia de complejos residenciales como edificios aislados sin irrumpir en todo el conjunto de playa.
17	Aportaciones arena	Actuaciones de regeneración artificial de playas o aportaciones de sedimento exógeno como elemento distorsionador de la granulometría de playa y la modificación de su perfil natural.

TABLA 2. Asignación de valores cualitativos de las 17 variables analizadas.

Assignment of qualitative values of the 17 variables analyzed. Table 2.

mejor en aquellos sistemas sembrados con fines de explotación agraria, ya que las siembras se realizaron generalmente detrás de los cordones de dunas, permitiendo al sistema su dinámica entre playa emergida y playa sumergida. En cualquier caso el estado de las dunas es peor en las playas con palmeras sembradas con fines turísticos, ya que la siembra ha sido con altas densidades y sobre espacios dinámicos.

En el valor retroceso de la línea de costa obtenemos un resultado menor en las playas sembradas con fines de explotación agraria, ya que actualmente se conserva el frente dunar y no es objeto de gestiones continuas que favorezcan la erosión del sistema playa en toda su extensión, ni sus formas dunares han sido gravemente afectadas.

El uso turístico que se da en todas sus modalidades de mayor intensidad en las playas con palmeras sembradas con fines turísticos afecta a la estabilidad de la playa con erradicación de procesos y favorecimiento de descalces (Fig. 1), entre los que destaca la limpieza mecánica, mayor en las playas con palmeras sembradas con fines de explotación turística, erradicando morfologías efímeras y vegetación asociada, perdiendo volúmenes de playa, y afectando al sistema por compactación y descalce, ya sea por tareas que favorecen compactación y erradicación de formas, ya sea por su siembra en la zona de afectación de oleaje. En estas playas también se realizan retiradas de restos vegetales, reduciendo la aportación de materia orgánica al

sistema y suponiendo la pérdida irreversible de sedimento adherido (Roig-Munar *et al.*, 2022).

En los complejos turísticos, son más presentes en las playas con palmeras sembradas con fines turísticos, en cambio los complejos residenciales en muchas ocasiones conservan morfologías dunares y la densidad de siembra de palmas es menor sobre la playa. Así mismo las tareas de limpieza mecánica no se dan apenas en complejos residenciales, aunque sí la pérdida de sedimento asociado a la retirada de restos vegetales.

Las aportaciones exógenas de arena, o traslados dentro de la misma unidad, son mayores en las playas turísticas, alterando la composición granulométrica, y por ende mayor inestabilidad del sistema y afectación a las zonas coralígenas y praderas de thalassias. Estas aportaciones se circunscriben a playas turísticas donde los procesos erosivos del conjunto del sistema, con retroceso de línea de costa y pérdida de volúmenes de playa, son atribuibles a la planificación y la gestión del sistema con carácter regresivo.

Por lo tanto, se puede resumir en que las playas con palmeras sembradas con fines turísticos presentan una elevada compactación, con importantes descalces y pocas morfologías dunares, y que no obstante en aquellas playas donde los hay tienen un estado de conservación malo o medio. Al ser playas con limpieza mecánica habitual, y usos turísticos acentuados, especialmente por la presencia de complejos turísticos que conllevan la retirada de restos vegetales. Todo ello, además de los

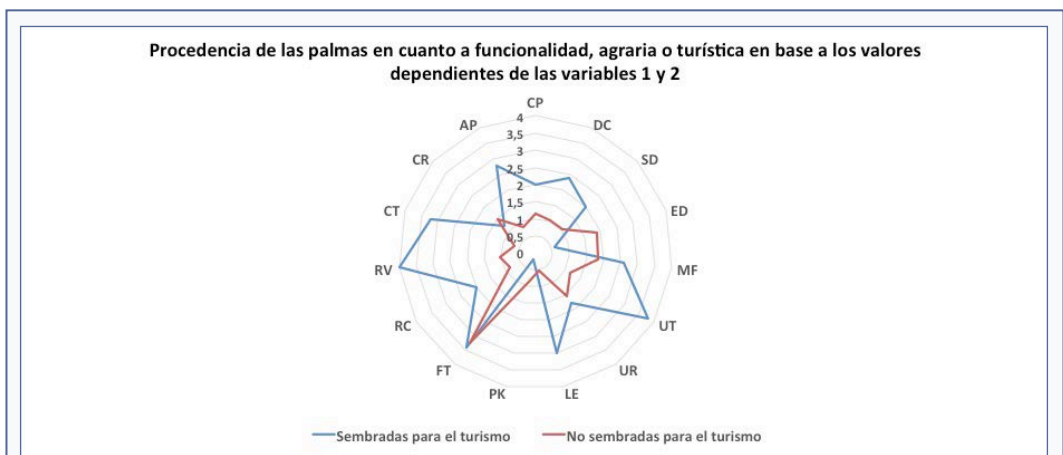


FIGURA 9. Procedencia de las palmas en cuanto a funcionalidad, agraria o turística en base a los valores dependientes de las variables 1 y 2.

Origin of the palms in terms of functionality, agricultural or tourist based on the dependent values of variables 1 and 2.

fuertes descalces conlleva fuertes retrocesos costeros pese a las aportaciones artificiales de arena, coherente con un peor estado de conservación de las dunas, son ausentes en muchos de los lugares estudiados.

En el caso de las playas sembradas con fines de explotación a finales del siglo XIX, hay una mayor homogeneidad respecto a las que no se han sembrado nunca con fines de explotación, lo cual queda parcialmente explicado porque en esta segunda categoría se incluyen tanto playas naturales como playas con palmeras sembradas con fines turísticos, por lo que resulta una categoría considerablemente heterogénea. Al comparar los resultados obtenidos en las playas con palmeras sembradas con fines turísticos y las playas con palmeras sembradas con fines de explotación, no se observa una alta semejanza entre ambos grupos. Sin embargo, al analizar las figuras, se puede apreciar que los procesos tienden a ser más extremos en las playas con palmeras sembradas para fines turísticos, lo que sugiere que este tipo de siembra podría tener un impacto mayor en el estado de las playas y su entorno, impacto que se agrava con el oleaje, al actuar como elementos rígidos (Fig. 1) y la subida del nivel del mar.

Conclusiones

Los cocos, como cualquier otro tipo de palma, de forma natural se encuentran entre 10 o 15 m sobre el límite donde llega el oleaje, no presentando en las playas turísticas este patrón de distribución, y por ende alterando parte de la zona de transición entre playa emergida y sumergida.

El presente trabajo es una primera aproximación a los efectos erosivos de la presencia de palmas de coco sobre las playas y su afectación a la dinámica y estabilidad del sistema playa-duna.

A pesar de que hay autores que abogan por la siembra de cocoteros para minimizar riesgos geológicos hay que rechazar la idea de incorporar esas especies como elementos al paisajismo de playa como retentor de arena, ornamental o sombra. Se demuestra que playas turísticas con siembras de palmas presentan menor resiliencia como sistema playa-duna y mayor compactación del sustrato, que se traduce en erosión de frentes de playa por el papel ejercido por las palmas, que actúan como elemento fijador de arena debido a su sistema raticular. Se observa que en muchas ocasiones en las zonas de oleaje las palmas actúan como aceleradores

del flujo de ola hacia el interior de la playa, denudada de formas y vegetación, agravando la pérdida de sedimento y debilitación de la propia palma, dando lugar al riesgo de caída y por ende a riesgos personales.

Lo más importante en la gestión de la playa es la conservación o restauración integral que se manifieste en la conformación de un perfil de playa óptimo desde el punto de vista funcional y dinámico. El caso de los cocoteros se establece la conveniencia de su eliminación, tanto por su efecto erosivo, como por su efecto de especie exótica que no cumple las funciones ecológicas del sistema playa-duna, alterando el perfil y la vegetación propia de playa. Es importante no solo eliminar parte de las palmas de primera línea si no también sus raticulares sobre la zona de playa emergida. Estas acciones han de ir encaminadas a la recuperación de frentes dunares y vegetación asociada.

Agradecimientos

Los resultados del presente estudio se enmarcan en los proyectos de consultoría ambiental asociados a espacios turísticos y recreativos del litoral de República Dominicana, en el marco de los proyectos de ordenación y gestión litoral de complejos hoteleros del Grupo Hotelero Piñero. Así mismo, los autores agraden a los dos revisores anónimos las correcciones realizadas del manuscrito.

Bibliografía

- Alfonso, J. A. & Ramírez, T. (2008).** *Manual técnico del cultivo del cocotero (Cocos nucifera L.)*. Centro de Comunicación Agrícola de la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA).
- Ballance, P. F., Gregory, M. R. & Gibson, G. W. (1981).** Coconuts in Miocene turbidities in New Zealand: possible evidence for tsunami origin of the same turbidity currents. *Geology*, 9, 592-598.
- Baudouin, L. & Lebrun, P. (2009).** Coconut (*Cocos nucifera* L.) DNA studies support the hypothesis of an ancient Austronesian migration from Southeast Asia to America. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 56, 257-262.
- Berry, E. W. (1926).** Cocos and Phymatocaryons in the Pliocene of New Zealand. *American Journal of Science*, 12, 181-184.
- Boobalan, A. J. & Ramanujam, N. (2014).** Coconut as a promoter in Indian coastal management. *Archives of Applied Science Research*, 6 (3), 108-109.
- Borgtoft, P. H. & Balslev, H. (1993).** *Palmas útiles. Especies ecuatoriales para agroforestería y extractivismo*. Ediciones ABYA-YALA.
- Bruman, H. J. (1944).** Some observations on the early history of the coconut in the New World. *Acta Americana*, 2 (3), 200-243.
- Bruman, H. J. (1945).** Early culture in Western Mexico. *Hispanic Ameri-*

- can *History Review*, 25, 301-314.
- Buckley, R. & Harries, H. (1984).** Self-sown wild-type coconuts from Australia. *Biotropica*, 16 (2), 148-151.
- Carr, M. K. V. (2011).** The water relations and irrigation requirements of coconut (*Cocos nucifera*): a review. *Experimental Agriculture*, 47, 27-51.
- Cintra, F. L. D., Resende, R. S., Leal, M. L. S. & Portela, J. C. (2009).** Efeito de volumes de água de irrigação no regime hídrico de solo coeso dos tabuleiros e na produção de coqueiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33, 1041-1051.
- Clement, C., Zizumbo-Vilarreal, D., Brown, C., Gerard, R., Alves, W. & Harries, H. (2013).** Coconuts in the Americas. *The Botanical Review*, 79, 342-370.
- Columbus, C. (1893).** *The Journal of Christopher Columbus (during his first voyage 1492-1493)*. Translation by C.R. Markham. The Hakluyt Society.
- Cook, O. F. (1910).** History of the coconut palm in America. *Contributions from the national herbarium*, 14 (2), 271-342.
- Corner, E. J. H. (1966).** *The natural history of palms*. University of California Press.
- D'Arcy, P. (2006).** *The people of the sea: Environment, identity and history in Oceania*. University of Hawaii Press.
- Davidson-Arnott, R., MacQuarrie K. & Aagaard, T. (2005).** The effect of wind gusts, moisture content and fetch length on a beach. *Geomorphology*, 68, 115-129.
- Dawson, J. L. & Smithers, S. G. (2010).** Shoreline and beach volume change between 1967 and 2007 at Raine Island, Great Barrier Reef, Australia. *Global Planet Change*, 72, 141-154.
- De Candolle, A. (1855).** *Géographie botanique raisonnée, vols. 1-2*. Masson.
- De Candolle, A. (1884).** *Origin of cultivated plants*. New York: D. Appleton.
- Dehouck, A., Dupuis, H. & Sénéchal, N. (2009).** Pocket beach hydrodynamics: the example of four macrotidal beaches Brittany, France. *Marine Geology*, 266, 1-17.
- Del Cañizo, P. J. A. (1991).** *Palmeras*. Ediciones Mundi-Prensa.
- Delgado-Fernández, I. (2011).** Meso-scale modelling of aeolian sediment input to coastal dune. *Geomorphology*, 130, 230-243.
- Durán, R. & Méndez, M. 2010.** Biodiversidad y desarrollo humano en Yucatán. CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA.
- Edmondson, CH. (1941).** Viability of coconut after floating in sea. *Occasional Papers of the Bernice Pauahi Bishop Museum of Polynesian Ethnology and Natural History, Hawaii*, 16, 293-304.
- Fernández de Oviedo, G. (1526).** *Sumario de la natural historia de las Indias*. Ramón de Petras, Toledo. 1995. Edición de N. del Castillo Mathieu, Universidad de Bogotá.
- Fernández de Oviedo, G. (1535).** *La historia general de las Indias*. Juan Cromberger. Edición de J. A. de los Ríos y Serrano. Imprenta de la Real Academia de Historia.
- Fitzpatrick, S. M. & Callaghan, R. (2009).** Examining dispersal mechanisms for the translocation of chicken (*Gallus gallus*) from Polynesia to South America. *Journal of Archaeological Science*, 36, 214-223.
- Futey, M. K., Gandolfo, M. A., Zamaloa, M. C., Cúneo, R. & Cladera, G. (2012).** Arecaeace fossil fruits from the Paleocene of Patagonia, Argentina. *Botanical Review*, 78, 205-234.
- Gomez-Navarro, C., Jaramillo, C., Herrera F., Wing, S. L. & Calljas, R. (2009).** Palms (Arecaceae) from a Palaeocene rainforest of northern Colombia. *American Journal of Botany*, 96, 1300-1312.
- Gonzalez-Leija, M., Marino-Tapia, I., Silva-Casarin, R., Enriquez, C., Mendoza, E., Escalante-Mancera, E., Ruiz-Rentería, F. & Uc-Sanchez, E. (2013).** Morphodynamic evolution and sediment transport processes of Cancun beach. *Journal of Coastal Research*, 29(5), 1.146-1.157.
- Granados-Sánchez, D. & López-Ríos, G. F. (2002).** Manejo de la palma de coco (*Cocos nucifera* L.) en México. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, vol. 8, núm. 1*, 39-48
- Gunn, B., Baudouin, L. & Olsen, K. M. (2011).** Independent origins of cultivated coconut (*Cocos nucifera* L.) in the Old World Tropics. *PLoS ONE* 6, e21143.
- Gunn, B. F. (2004).** The phylogeny of Cocoeae (Arecaceae) with an emphasis on *Cocos nucifera*. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 91, 505-522.
- Harries, H. C. (1977).** The Cape Verde region (1499 to 1549): The key to coconut culture in the Western Hemisphere? *Turrialba* 27, 227-231.
- Harries, H. C. (1978).** The evolution, dissemination and classification of *Cocos nucifera*. *Botanical Review* 44, 265-320.
- Hesp, P. (2002).** Foredunes and blowouts: initiation, geomorphology and dynamics. *Geomorphology*, 48, 45-268.
- Hesp, P., (2004).** Coastal dunes in the tropics and temperate regions: location, formation, morphology and vegetation processes. En M.L. Martínez, N. P. Psuty, & R. A. Lubke (ed.). *Coastal dunes, ecology and conservation* (pp. 29-49). Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Lara, R. J. & Cohen, M. C. L. (2006).** Sediment porewater salinity, inundation frequency and mangrove vegetation height in Bragança, North Brazil: an ecohydrology-based empirical model. *Wetlands Ecology and Management*, 14, 349-358.
- Lin, J., Alasia, J. P., & Helsen, J. (2021).** Risks linked to organizational and policy issues. In R. Bourdeix, J. M. Sourisseau & J. Lin (ed.). *Coconut Risk Management and Mitigation Manual for the Pacific Region* (pp. 99-100). Land Resources Division, SPC.
- Martínez, M. L. (2009).** *Las playas y las dunas costeras: un hogar en movimiento*. Fondo de Cultura Económica.
- Martínez, M. L. & Moreno-Casasola, P. (1996).** Effects of burial by sand on seedling growth and survival in six tropical sand dune species

- from the Gulf of Mexico. *Journal of Coastal Research*, 12 (2), 406-419.
- Martínez, M. L., Psuty, N. P. & Lubke, R. A. (2004).** A perspective on coastal dunes. En M. L. Martínez, N. P. Psuty & R. A. Lubke (ed.). *Coastal dunes, ecology and conservation* (pp. 3-10). Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Martius, C. F. P. (1823–1850).** *Historia naturalis palmarum*. Leipzig: T. O. Weigel.
- McCurrach, C. J. (1970).** *Palms of the world*. Harper & Brothers.
- Menon, K. P. V. & Pandalai, K. M. (1958).** *The coconut palm: A monography*. Central Coconut Committee.
- Miot da Silva, G., Hesp, P. A., Peixoto, J. & Dillenburg, S. R. (2008).** Foredune vegetation patterns and alongshore environmental gradients: Moçambique beach, Santa Catarina Island, Brazil. *Earth Surface Processes and Landforms*, 33, 1.557-1.578.
- Nordstrom, K. F. (2008).** *Beach and dune restoration*. Cambridge University Press.
- Nordstrom, K. F., Psuty, N. & Carter, B. (ed.) (1990).** *Coastal Dunes: Form and Process*. Wiley & Sons. Ltd.
- Opeke, L. K. (1982).** *Tropical tree crops*. John Wiley and Sons.
- Parrotta, J. A. (1993).** *Cocos nucifera* L. Coconut, coconut palm, palma de coco. [Informe SO-ITF-SM-57]. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station.
- Patiño, V. M. (1963).** *Plantas cultivadas e animales domesticos en America Equinoccial. Tomo II. Frutales*. Imprenta Departamental.
- Patiño, V. M. (2002).** *Historia y dispersión de los frutales nativos del Neotrópico*. Centro Internacional de Agricultura Tropical.
- Perillo, G., Wolanski, E., Cahoon, D. R. & Brinson, M. M. (2009).** *Coastal wetlands an integrated ecosystem approach*. Elsevier.
- Pintaud, J. C., Galeano, G., Balslev, H., Bernal, R., Borchsenius, F., Ferreira, E., De Granville, J. J., Mejía, K., Millán, B., Moráes, M., Noblik, L., Stauffer F. W. & Kahn, F. (2008).** Las palmeras de América del Sur: diversidad, distribución e historia evolutiva. *Revista Peruana de Biología*, 15, 1 7-29.
- Psuty, N. P. (2004).** The coastal foredune: a morphological basis for regional coastal dune development. En M. L. Martínez, N. P. Psuty & R. A. Lubke (ed.). *Coastal dunes, ecology and conservation* (pp. 11-27). Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Rajendra, A. & Sumariati, A. R. (2018).** The role of coconut plants in relation to disaster management in the tropical coastal regions. *MA-TEC Web of Conferences* 229, 01012.
- Rigby J. F. (1995).** A fossil *Cocos nucifera* L. fruit from the latest Pliocene of Queensland, Australia. En: D. D. Pant, D. D. Nautiyal, A. N. Bhatnagar, K. R. Surange, M. N. Bose & P. K. Khare (ed.). *Proceedings of the International Conference on the global environment and diversification of plants through geological time* (pp. 379-381). Allahabad: South Asian Publications.
- Roig-Munar F. X., Martín-Prieto, J. A., Comas-Lamarca, E. & Rodríguez-Perea, A. (2006).** Space-time analysis (1956-2004) of human use and management of the beach dune systems of Menorca (Balearic I.). *Journal of Coastal Research, Special Issue 48*, 107-111.
- Roig-Munar, F. X., Martín Prieto, J. A., Rodríguez Perea, A. & Blázquez Salom, M. (2018).** Restauración de sistemas dunares en las islas Baleares (2000-2017): una visión crítica. *Investigaciones Geográficas*, 69, 119-136.
- Roig-Munar, F. X., Olivo-Batista, O., Martín-Prieto, J. A., Balaguer-Huguet, P., Rodríguez-Perea, A., Gelabert, B. I. & del Toro, P. (2021).** Cuantificación de la pérdida de sedimento por la retirada de depósitos de *Thalassia testudinum* en las playas del Caribe: efectos geomorfológicos. *Nemus*, 11, 28-37.
- Roig-Munar, F. X., Olivo-Batista, O., del Toro Piñero, P., Rodríguez Perea, A., Gelabert Ferrer, B. & García-Lozano, C. (2022).** Pérdida de sedimento asociada a la retirada de depósitos de *Sargassum* spp. en las playas del Caribe. *Nemus*, 12, 48-63.
- Shane, M. W., McCully, M. E., Canny, M. J., Pate, J. S. & Lambers, H. (2011).** Development and persistence of sandsheaths of *Lyginia barbata* (Restionaceae): relation to root structural development and longevity. *Annals of Botany*, 108, 1.307-1.322.
- Shukla, A., Mehrotra, R. C. & Guleria, J. S. (2012).** *Cocos sahnii* Kaul: A *Cocos nucifera* L.-like fruit from the Early Eocene rainforest of Rajasthan, Western India. *Journal of Biosciences*, 37 (4), 769-776.
- Silva, R., Govaere, G., Salles, P., Bautista, G. & Díaz, G. (2003).** Oceanographic vulnerability to hurricanes on the Mexican coast. En N. W. H. Allsop (ed). *28th International Conference on Coastal Engineering. Solving Coastal Conundrums* (Cardif, UK, 7-12 de julio de 2002) (pp. 39-51). Thomas Telford.
- Silva, G. O. & Jerônimo, C. E. (2012).** Estudo de alternativas para o aproveitamento de resíduos sólidos da industrialização do coco. *Revista Monografias Ambientais, Santa Maria, v.10, n.10, 2.193-2.208*.
- Srivastava, R. & Srivastava, G. (2014).** Fossil fruit of *Cocos* L. (Arecaceae) from Maastrichtian-Danian sediments of central India and its phytogeographical significance. *Acta Palaeobotanica*, 54(1), 67-75.
- Stanturf, J. A., S.L. Goodrick & K. W. Outcalt. (2007).** Disturbance and coastal forests: a strategic approach to forest management in hurricane impact zones. *Forest Ecology and Management*, 250, 119-135.
- Storey, A. A., Ramírez, J. M., Quiroz, D., Burley, D. V., Addison, D. J., Walter, R., Anderson, A. J., Hunt, T. L., Athens, J. S., Huynen L. & Matisoo-Smith E. A. (2007).** Radiocarbon and DNA evidence for a pre-Columbian introduction of Polynesian chickens to Chile. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 104, 10335-10339.
- Stubbs. C. J., Cook, D. D. & Niklas, K. J. (2019).** general review of the biomechanics of root anchorage. *Journal of Experimental Botany, Vol. 70, No. 14, 3.439-3.451*.

- Torraco, J. K. & Trillo, C. (2015).** Prácticas de manejo, usos y valoración de taxones de Cactaceae en el noroeste de Córdoba, Argentina. *Bonplandia*, 24, 5-22.
- Varthema, L. (1510).** *The itinerary of Ludovico di Varthema of Bologna from 1502 to 1508*. Traducción de la edición original de 1510 de John Winter Jones de 1863. Reimpresión por Asian Educational Services, 1997.
- Villatoro, M. M., Amos, C. L., Umgieser, G., Ferrarin, C., Zaggia, L., Thompson, C. E. & Are, D. (2010).** Sand transport measurements in Chioggia inlet, Venice lagoon: Theory versus observations. *Continental Shelf Research*, 30(8), 1.000-1.018.
- Walker, I. J., Hesp, P. A., Davidson-Arnott, R. G. & Ollerhead, J. (2006).** Topographic steering of alongshore airflow over a vegetated foredune: Greenwich Dunes, Prince Edward Island, Canada. *Journal of Coastal Research*, 22 (5), 1279-1291.
- Ward R. G. & Brookfield M. N. (1992).** The dispersal of the coconut: Did it float or was it carried to Panamá. *Journal Biogeography*, 19, 467-480.
- Zizumbo-Vilarreal, V. D. (1996).** History of coconut (*Cocos nucifera* L.) in Mexico: 1539-1810. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 43, 505-51.
- Zizumbo-Vilareal, V. D., Hemfindez, E. R. & Harries, H. C. (1993).** Coconut varieties in Mexico. *Economic Botany*, 47(1), 65-78.
- Zizumbo-Vilarreal, V. D., & Quero, H. J. (1998).** Re-evaluation of early observations on coconut in the New World. *Economic Botany*, 52, 68-77.