

REPORTE TÉCNICO

Monitoreo satelital de sargazo

Caracterización de la presencia, distribución y biomasa

Zona Económica Exclusiva de México — sector Caribe (ZEEM)

Año de análisis 2025

Sensor Sentinel-2 MSI · detección operativa LANOT

Laboratorio Nacional de Observación de la Tierra (LANOT)

Instituto de Geografía · Universidad Nacional Autónoma de México

Sistema de monitoreo de sargazo · Región 1 — Caribe mexicano

Elaborado por: M.C. Uriel de Jesús Mendoza Castillo

Contenido

Secciones	3
1. Introducción y objetivo	4
2. Datos y métodos	5
2.1 Origen de los datos	5
2.2 Flujo de procesamiento	5
2.3 Definiciones y supuestos clave	5
Área de sargazo.....	5
Fracción de cobertura (FC).....	5
Biomasa húmeda	6
Clasificación por ubicación y distancia a costa	6
2.4 Parámetros del cálculo	6
3. Resultados.....	7
3.1 Estacionalidad	7
3.2 Distribución espacial	10
3.3 Características de las manchas de sargazo	14
3.4 Biomasa estimada e incertidumbre	15
4. Pronóstico para 2026	18
4.1 Pronóstico EDITO / SeSaM (CLS · IRD · MOi · CNES)	18
4.2 Pronóstico FORESEA (IRD / LEGOS).....	20
4.3 Interpretación conjunta	20
5. Limitaciones y consideraciones	21
6. Conclusiones	22
7. Referencias	23
Anexo técnico — reproducibilidad	¡Error! Marcador no definido.

Resumen

Durante **2025** el sistema de detección operativa de **LANOT** identificó la presencia de sargazo (*Sargassum* spp.) en el sector Caribe de la Zona Económica Exclusiva de México (ZEEM) a partir de imágenes **Sentinel-2 MSI**. Tras la depuración de falsos positivos y el recorte a la ZEE, el inventario anual ascendió a **252 659 polígonos** de presencia, equivalentes a un área detectada de **382.72 km²** a lo largo de 70 días con observación útil distribuidos en 72 pasadas del satélite.

Aplicando una fracción de cobertura $FC = 1.0$ (límite superior) y una densidad de tapete pleno de **3.4 kg/m²** de peso húmedo, la biomasa húmeda estimada alcanza $\approx$ **1 301 245 toneladas** (1.30 millones de toneladas). Esta cifra debe interpretarse como una cota máxima: bajo escenarios más conservadores de cobertura fraccional ($FC = 0.10 - 0.40$) la biomasa se sitúa entre 130 mil y 520 mil toneladas.

El fenómeno mostró una marcada estacionalidad concentrada en **julio y agosto** ($\approx 78\%$ del área anual), con un mes pico en agosto. Espacialmente, la práctica totalidad del sargazo ($\approx 99.9\%$) se detectó en océano abierto, y cerca del 70 % del área se ubicó a más de 20 km de la línea de costa, lo que es coherente con un fenómeno de transporte oceánico de gran escala antes de su eventual arribazón al litoral.

Indicador	Valor 2025	Unidad
Polígonos de presencia	252 659	conteo
Área de presencia anual	382.72	km ²
Biomasa húmeda ($FC = 1.0$)	1 301 245	toneladas
Mes pico	Agosto (2025-08)	—
Días con observación	70	días
Pasadas Sentinel-2	72	pasadas
Área media por polígono	0.0015 (~1 500 m ²)	km ²
Área máxima de polígono	1.73	km ²

Tabla 1. Indicadores principales del monitoreo anual de sargazo en la ZEEM (sector Caribe), 2025.

1. Introducción y objetivo

El sargazo pelágico (*Sargassum natans* y *S. fluitans*) es una macroalga flotante que, desde 2011, forma extensos cinturones en el Atlántico tropical y el Caribe. Sus arribazones masivos afectan a la zona costera del Caribe mexicano con impactos sobre los ecosistemas, la pesca, el turismo y la calidad del agua. El monitoreo sistemático mediante teledetección es una herramienta esencial para anticipar arribazones, dimensionar el fenómeno y orientar la gestión costera.

Este reporte tiene como objetivo **caracterizar la presencia y abundancia de sargazo durante el año 2025 en el sector Caribe de la Zona Económica Exclusiva de México (ZEEM)**, a partir de las detecciones operativas de Sentinel-2 MSI del sistema LANOT, e incluir una estimación de biomasa húmeda junto con estadísticas de distribución temporal, espacial y respecto a la costa.

El alcance geográfico corresponde al corredor del Caribe Mexicano y el mar adentro asociado, cubierto por 10 tiles Sentinel-2 de la zona UTM16. Las cifras presentadas se refieren exclusivamente al sargazo contabilizado dentro de la ZEE mexicana del Caribe; el sargazo situado fuera de ese límite no se incluye.

2. Datos y métodos

2.1 Origen de los datos

La fuente primaria es el sensor **Sentinel-2 MSI (nivel L2A)**, procesado por la detección operativa de LANOT. Los resultados se almacenan en una base de datos PostgreSQL/PostGIS (tabla sargazo, región 1) como polígonos vectoriales en el sistema de referencia EPSG:4326. Cada polígono conserva los atributos id, idpoligono, tile, fecha, fechadia, area_km2, distcosta_km, lugar y nom_playa.

La detección es de naturaleza **binaria**: cada polígono representa presencia de sargazo. En la base de datos no se conserva el índice radiométrico por píxel; únicamente se preservan la geometría y su área (area_km2). Esta característica condiciona el método de estimación de biomasa descrito más adelante.

Tras el recorte a la ZEE (sector Caribe) la cobertura espacial queda definida por **10 tiles MGRS** de la zona 16: T16QDE, T16QDF, T16QDG, T16QDH, T16QDJ, T16QEE, T16QEF, T16QEG, T16QEH y T16QEI. Los tiles del sur (T16QCD/CE/CF, T16QDD, T16QED y los de la fila P) quedaron fuera del límite de la ZEE mexicana del Caribe y no se contabilizan.

2.2 Flujo de procesamiento

El procesamiento sigue una cadena reproducible de cinco etapas:

1. **Consulta anual.** Exportación desde la base de datos de todos los polígonos del año a un GeoJSON único de la región, conservando atributos y área (recalculada con ST_Area cuando es necesario). No se convierten a puntos: se mantienen los polígonos.
2. **Limpieza manual.** Eliminación de falsos positivos (nubes, reflexión solar o sun glint, embarcaciones, entre otros).
3. **Recorte a la ZEE.** El archivo depurado se recorta a la Zona Económica Exclusiva, generando el archivo definitivo sargazo_region1_2025_limpio_zeem.geojson con 252 659 polígonos.
4. **Estadísticas y biomasa.** Cálculo de totales y desgloses (mes, tile, ubicación, distancia a costa), escenarios de FC y biomasa. Todas las estadísticas se calcularon sobre el archivo recortado a la ZEE.
5. **Figuras.** Generación de gráficas y mapas (mapa de densidad por celda hexagonal).

2.3 Definiciones y supuestos clave

Área de sargazo

Cada elemento (feature) es un polígono de presencia; su superficie se toma del atributo area_km2. El **área de presencia anual se define como la suma del área de todos los polígonos del año**. La unidad de cuenta es el polígono de detección, no el píxel.

Fracción de cobertura (FC)

En la literatura para Sentinel-2 MSI en océano, la cobertura fraccional se obtiene de $FC = \text{desviación de AFAI} / K$, con $K \approx 0.08$, parámetro que debe recalibrarse localmente con espectros de sargazo «puro». Dado que aquí la detección es binaria y **no se dispone del AFAI almacenado**, la FC no puede recuperarse por píxel y se aplica como un factor configurable sobre el área detectada.

Para este reporte se adoptó **FC = 1.0**, es decir, se trata el área detectada como cobertura plena. Por transparencia se reportan además los escenarios $FC = 0.10, 0.20$ y 0.40 . La biomasa debe interpretarse como dependiente de FC, siendo $FC = 1.0$ el **límite superior**.

Biomasa húmeda

La biomasa se estima en dos pasos:

- Área de cobertura = área de presencia $\times$ FC.
- Biomasa húmeda = área de cobertura $\times$ densidad de tapete pleno.

Se empleó una densidad de **3.4 kg/m²** (peso húmedo) de tapete pleno de sargazo flotante en océano, valor tomado de la literatura. El resultado se expresa en toneladas (ton) de peso húmedo.

Clasificación por ubicación y distancia a costa

Cada polígono se clasifica por ubicación en océano, playa o cuerpo de agua continental (c_aguacont), asignación realizada en el procesamiento original por intersección con capas de referencia. La distancia a la costa (distcosta_km) se agrupa en cuatro franjas: 0–1, 1–5, 5–20 y > 20 km.

2.4 Parámetros del cálculo

Parámetro	Valor
Año	2025
Región / tabla	1 / sargazo
Archivo de entrada	sargazo_region1_2025_limpio_zeem.geojson
Fracción de cobertura (FC) aplicada	1.0
Densidad de biomasa húmeda	3.4 kg/m ²
Recorte espacial	Zona Económica Exclusiva (Caribe)
Sistema de referencia	EPSG:4326 (WGS84)

Tabla 2. Parámetros de configuración registrados para el cálculo de estadísticas y biomasa de 2025.

3. Resultados

En 2025 se contabilizaron **252 659 polígonos de presencia de sargazo**, con un área de presencia anual de **382.72 km²** y una biomasa húmeda estimada de **≈ 1 301 245 toneladas** bajo FC = 1.0. El área media por polígono fue de 0.0015 km² (cerca de 1 500 m²) y la máxima de 1.73 km², lo que indica que el inventario está dominado por una enorme cantidad de manchas pequeñas con unas pocas agregaciones de gran tamaño.

3.1 Estacionalidad

La presencia de sargazo se concentra de forma muy acusada en el verano boreal. Los meses de **julio (144.46 km²) y agosto (153.01 km²)** aportan en conjunto cerca del 78 % del área anual, con el máximo en agosto. Se observa un repunte secundario en septiembre (24.76 km²) y un ascenso previo durante mayo y junio (16.52 y 23.23 km²). Los mínimos corresponden al invierno, con apenas 0.37 km² en enero y 0.62 km² en diciembre.

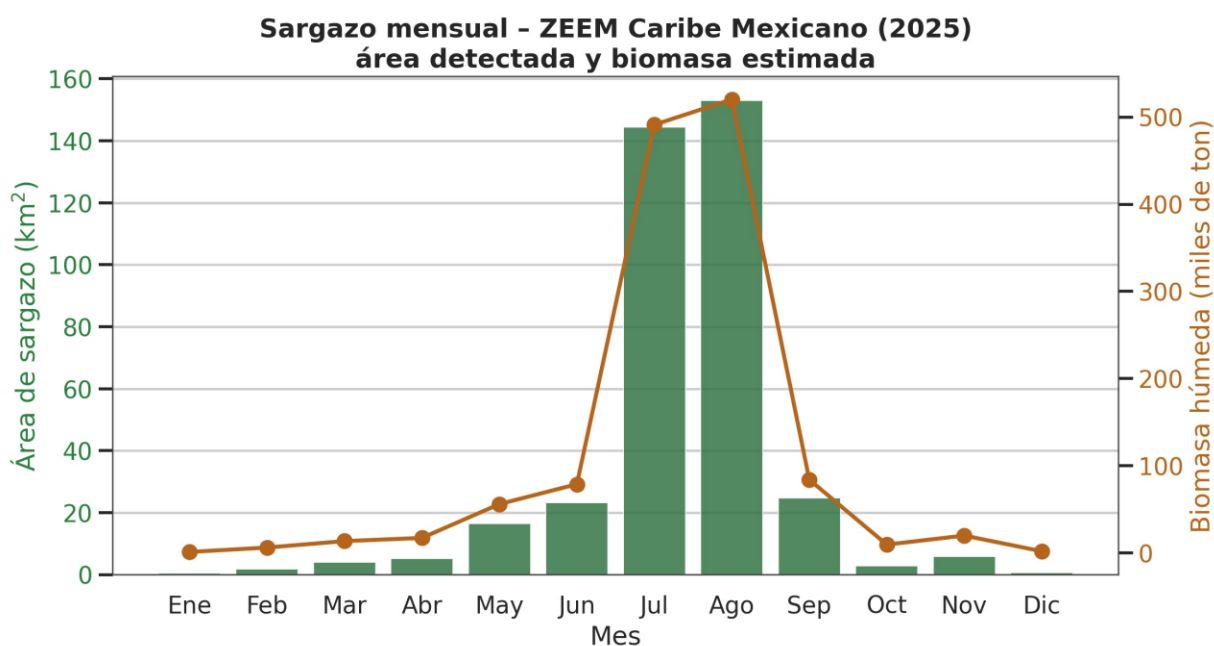


Figura 1. Área de sargazo detectada (barras) y biomasa húmeda estimada (línea) por mes en la ZEEM (sector Caribe), 2025. El pico estival de julio-agosto domina el balance anual.

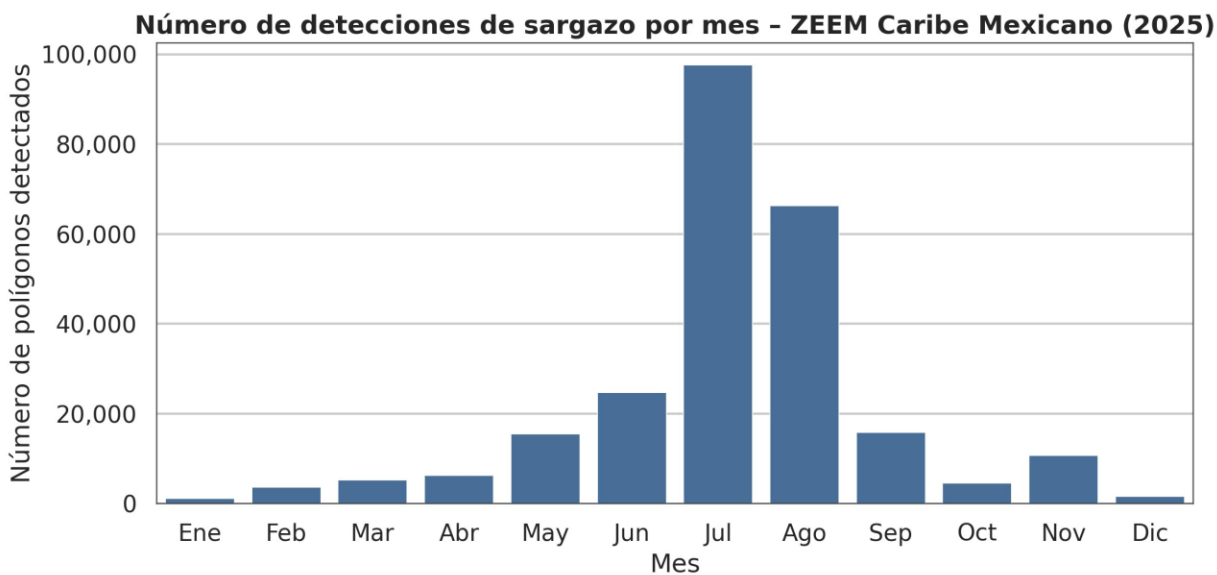


Figura 2. Número de polígonos de sargazo detectados por mes. La distribución de detecciones reproduce el patrón estacional del área, con el máximo en julio.

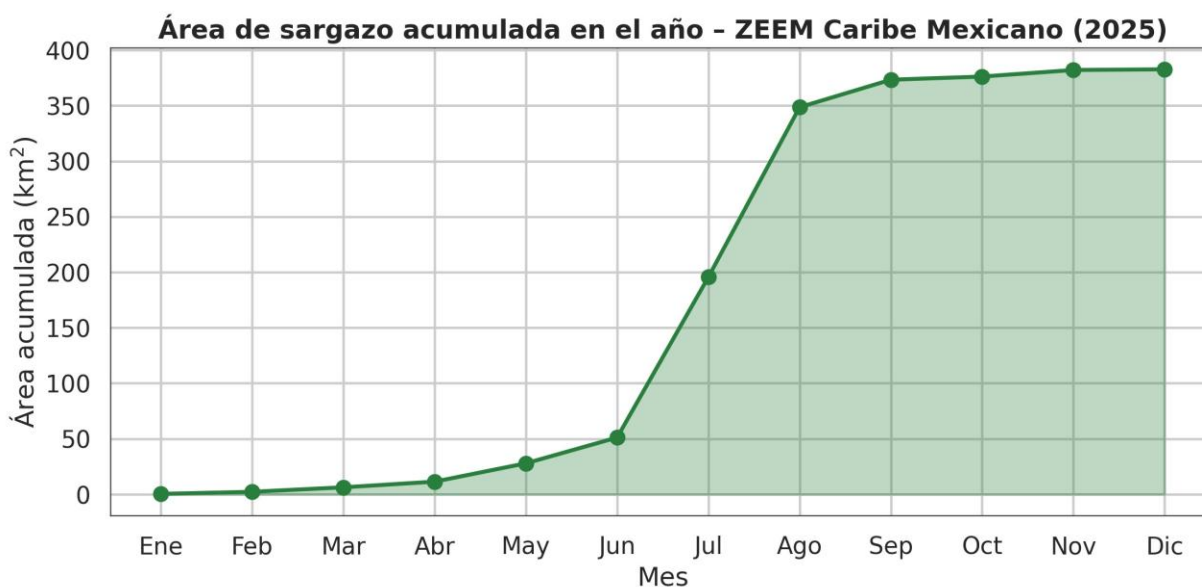


Figura 3. Área de sargazo acumulada a lo largo del año. La curva muestra el salto abrupto entre junio y agosto, tras el cual la acumulación prácticamente se estabiliza.

Mes	Polígonos	Área (km²)	Biomasa (ton)
Enero	1 084	0.37	1 262
Febrero	3 607	1.86	6 340
Marzo	5 164	4.03	13 717
Abril	6 163	5.11	17 361
Mayo	15 480	16.52	56 155
Junio	24 711	23.23	78 973
Julio	97 580	144.46	491 156
Agosto	66 301	153.01	520 230
Septiembre	15 838	24.76	84 190
Octubre	4 550	2.86	9 708
Noviembre	10 672	5.90	20 058
Diciembre	1 509	0.62	2 096
Total	252 659	382.72	1 301 245

Tabla 3. Desglose mensual de polígonos, área de presencia y biomasa húmeda estimada (FC = 1.0), 2025.

3.2 Distribución espacial

La distribución por tiles muestra que el grueso del sargazo se concentra en el corredor central y oriental del área de estudio. El tile con mayor área fue **T16QEJ, con 66.65 km² ($\approx$ 226 616 ton)**, seguido de T16QEF (53.52 km²) y T16QDF (52.11 km²). Los tiles del extremo norte (T16QDJ) y de baja cobertura (T16QDE, T16QEE) aportan cantidades marginales.

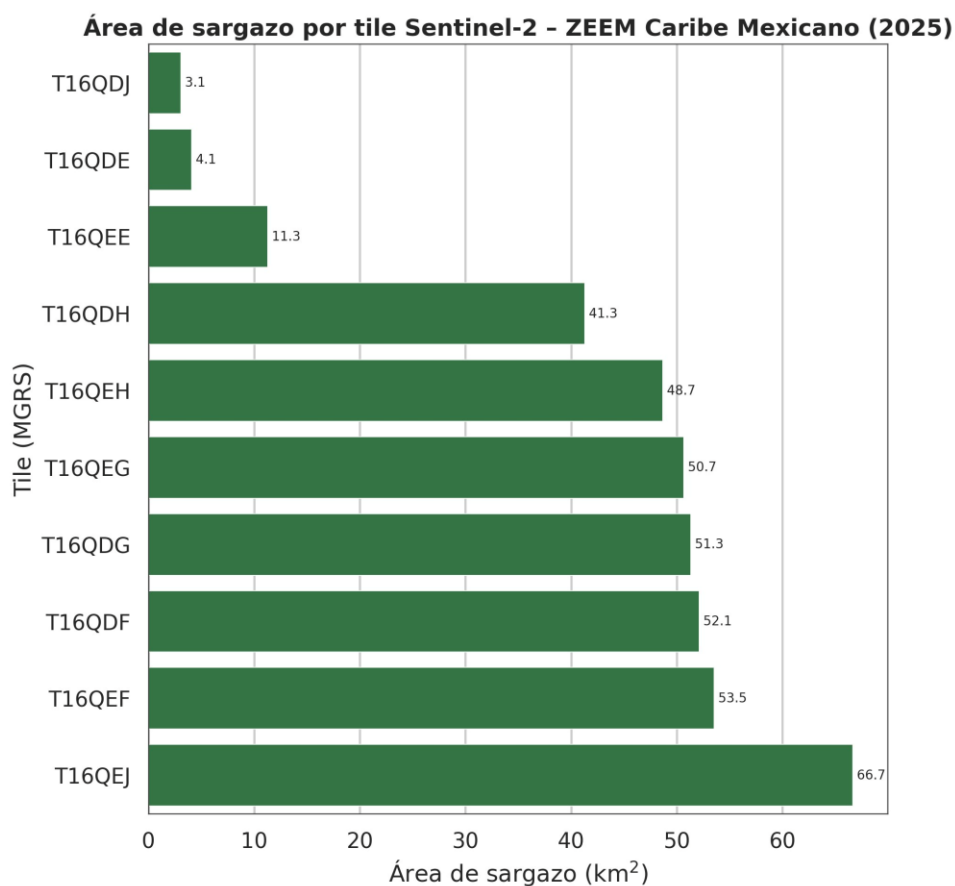


Figura 4. Área de sargazo por tile Sentinel-2 (MGRS). T16QEJ concentra la mayor superficie detectada del año.

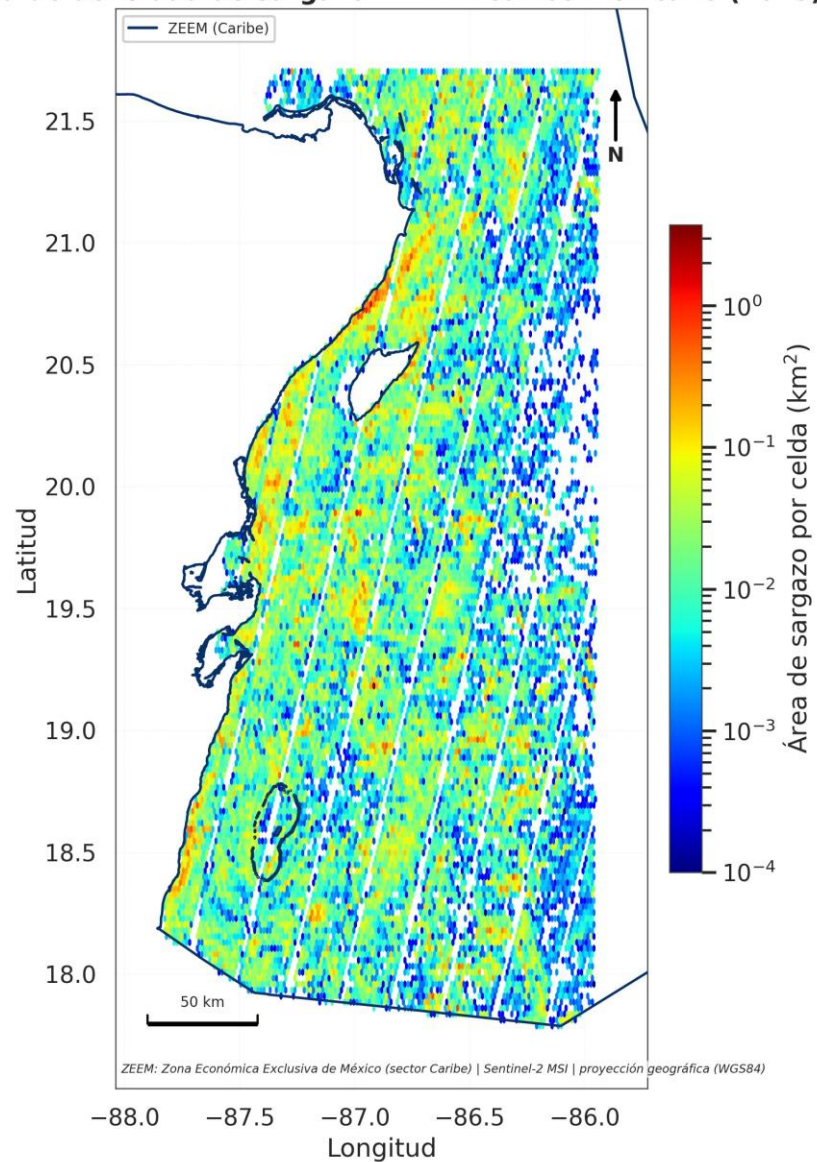
Mapa de densidad de sargazo - ZEEM Caribe Mexicano (2025)

Figura 5. Mapa de densidad anual de sargazo (celda hexagonal). La densidad representa la suma del área de sargazo por celda (km^2) en escala logarítmica; se dibuja únicamente la línea de la ZEE (INEGI), con barra de escala (50 km) y flecha de norte. Proyección geográfica WGS84. Las franjas diagonales corresponden a artefactos del muestreo orbital de Sentinel-2 y no a patrones físicos del sargazo.

Evolución estacional del sargazo - ZEEM Caribe Mexicano (2025)

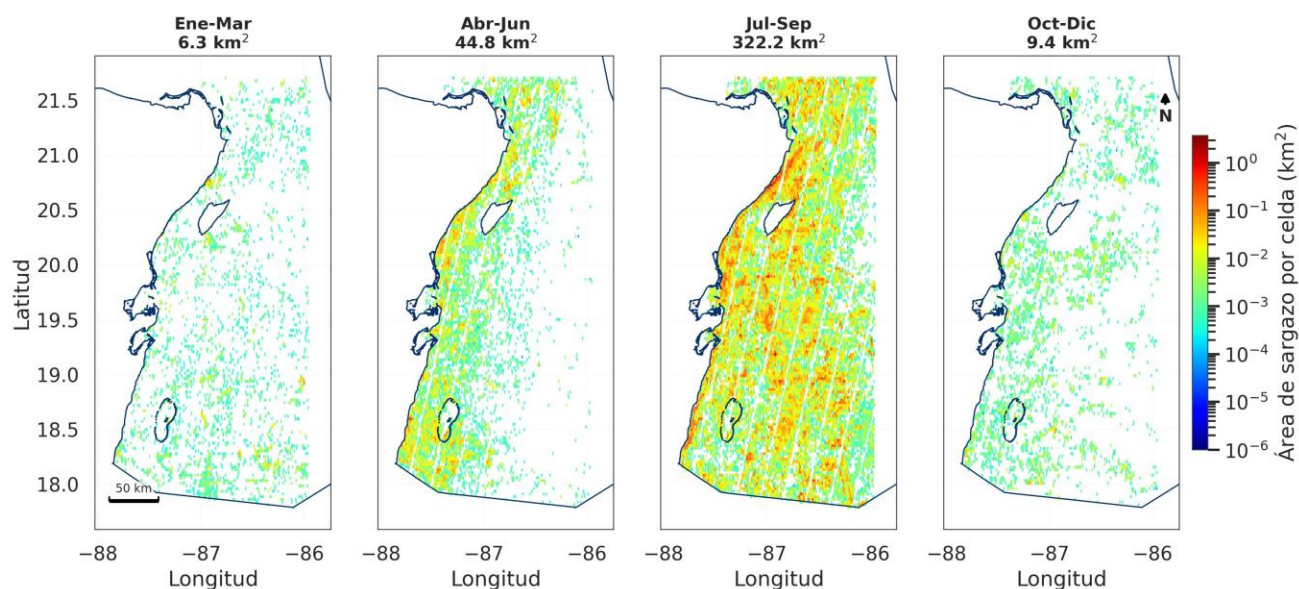


Figura 6. Evolución estacional del sargazo por trimestre (Ene–Mar, Abr–Jun, Jul–Sep, Oct–Dic). El trimestre Jul–Sep concentra la mayor cobertura (322.2 km²), evidenciando el carácter estival del fenómeno.

Respecto a la **ubicación**, la práctica totalidad del sargazo se detectó en océano abierto: **382.28 km² ($\approx 99.9\%$)**, frente a apenas 0.37 km² en playa y 0.07 km² en cuerpos de agua continentales. Esto refleja que la detección Sentinel-2 captura el fenómeno predominantemente en su fase de transporte oceánico, antes del arribazón al litoral.

Distribución del sargazo por ubicación - ZEEM Caribe Mexicano (2025)

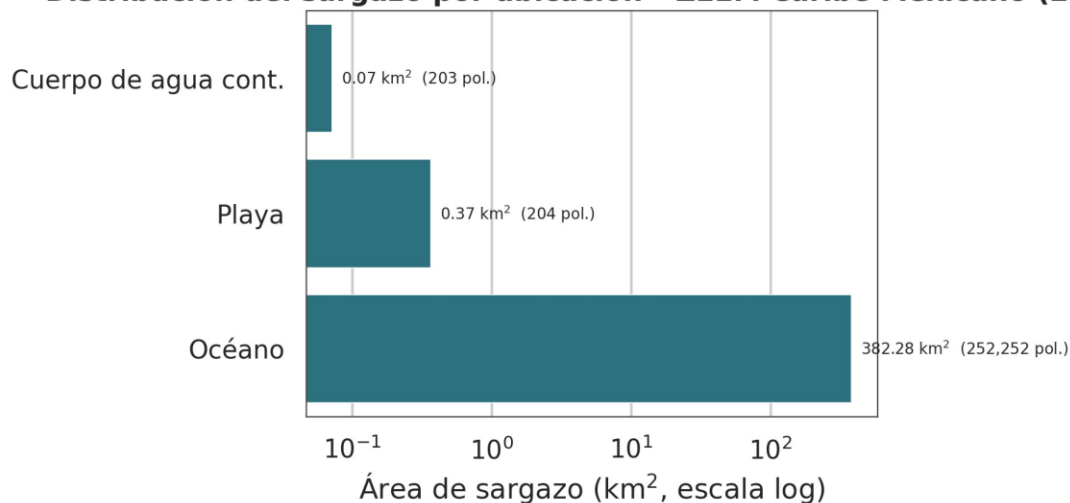


Figura 7. Distribución del área de sargazo por ubicación (escala logarítmica). El océano domina ampliamente sobre playa y cuerpos de agua continentales.

La distribución por **distancia a la costa** confirma este patrón: cerca del **70 % del área (268.10 km²)** se localizó a más de 20 km de la costa, un 18 % en la franja de 5–20 km, un 11 % entre 1 y 5 km, y solo un 1.3 % (5.07 km²) en el primer kilómetro litoral.

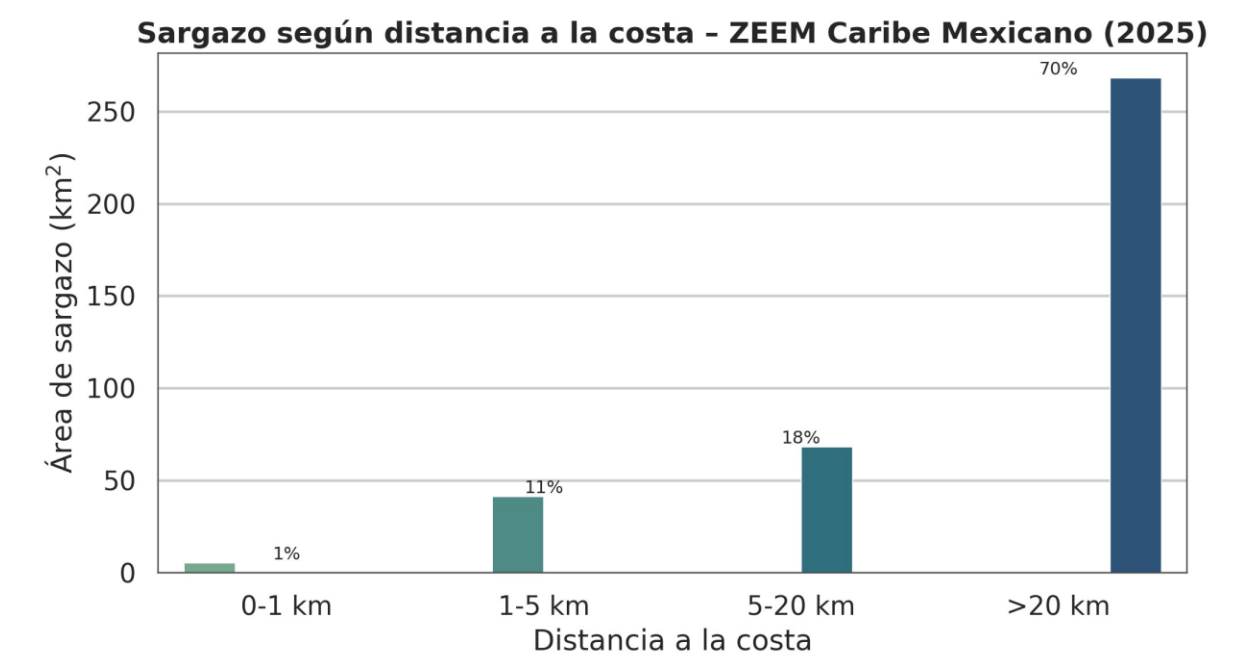


Figura 8. Área de sargazo según distancia a la costa, con el porcentaje del total anual sobre cada barra. El predominio de la franja > 20 km es coherente con un fenómeno oceánico de gran escala.

Franja de distancia	Área (km²)	Biomasa (ton)
0–1 km	5.07	17 254
1–5 km	41.32	140 490
5–20 km	68.22	231 948
> 20 km	268.10	911 553

Tabla 4. Área y biomasa húmeda estimada por franja de distancia a la costa (FC = 1.0), 2025.

3.3 Características de las manchas de sargazo

La distribución del tamaño de los polígonos es fuertemente asimétrica y de cola larga. La gran mayoría de las detecciones corresponde a manchas pequeñas, con una **mediana cercana a 400 m²**, mientras que un número reducido de agregaciones alcanza superficies muy superiores (hasta 1.73 km²). Este comportamiento es típico del sargazo flotante, que se organiza en numerosas balsas y filamentos dispersos más que en grandes masas continuas.

Distribución del tamaño de los polígonos de sargazo - ZEEM Caribe Mexicano (2025)

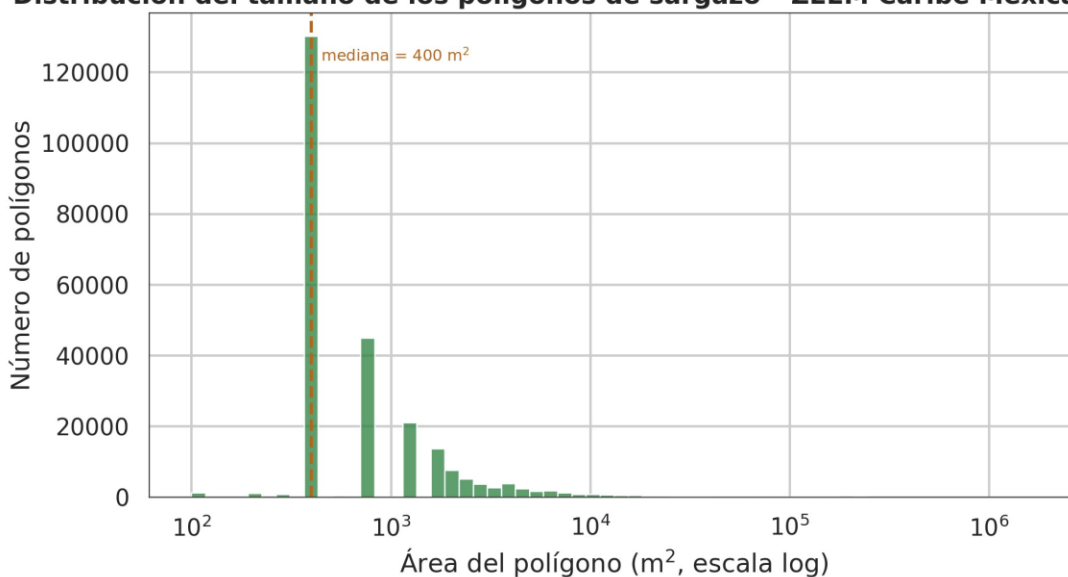


Figura 9. Histograma del tamaño de los polígonos de sargazo (eje X en escala logarítmica). La mediana se sitúa en torno a 400 m², con una cola larga hacia tamaños mayores.

3.4 Biomasa estimada e incertidumbre

Bajo el escenario adoptado ($FC = 1.0$; densidad 3.4 kg/m^2), la biomasa húmeda anual asciende a **≈ 1 301 245 toneladas**. Dado que la FC no se calibró localmente, esta cifra constituye un límite superior. La siguiente tabla y la Figura 10 ilustran la fuerte dependencia de la biomasa respecto al factor FC: una FC del 40 % reduciría la estimación a ≈ 520 mil toneladas, y una FC del 10 % a ≈ 130 mil toneladas.

Escenario FC	Cobertura (km^2)	Biomasa (ton)	Nota
FC = 0.10	38.27	130 124	—
FC = 0.20	76.54	260 249	—
FC = 0.40	153.09	520 498	—
FC = 1.00	382.72	1 301 245	Seleccionado

Tabla 5. Biomasa húmeda estimada según el escenario de fracción de cobertura (FC). El área de presencia (382.72 km^2) es común a todos los escenarios.

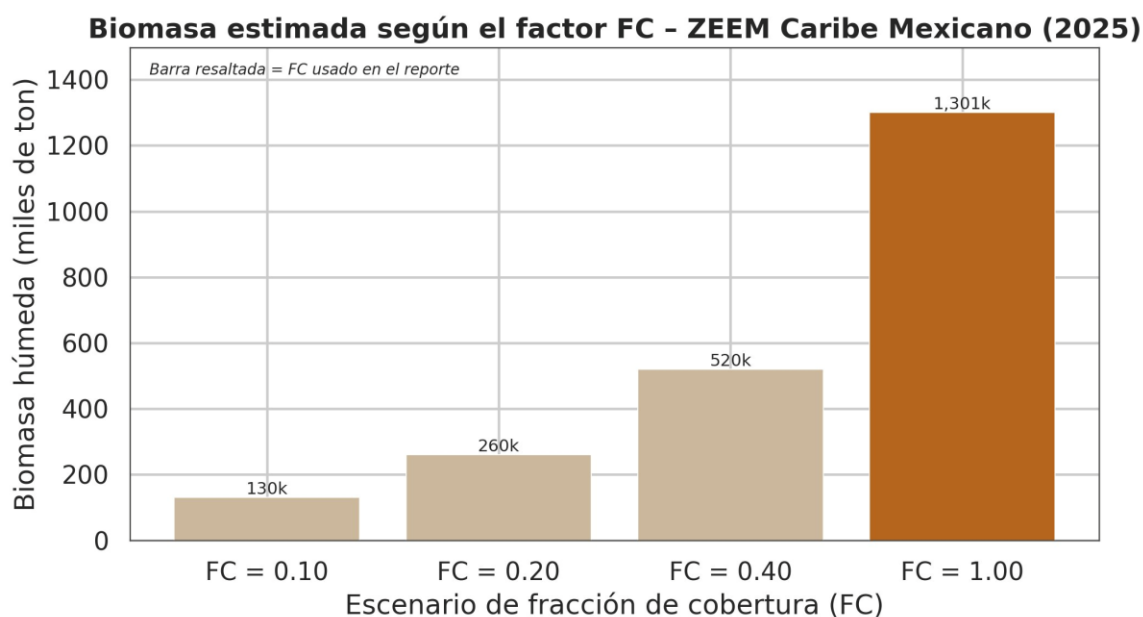


Figura 10. Biomasa húmeda estimada según el factor de cobertura fraccional (FC). La barra resaltada corresponde al valor adoptado en el reporte ($FC = 1.0$).

La distribución espacial de la biomasa replica la del área, dado que ambas se relacionan por factores constantes. El tile **T16QEJ** concentra la mayor biomasa (≈ 226 616 ton), y el océano abierto acumula el 99.9 % del total (≈ 1 299 756 ton).

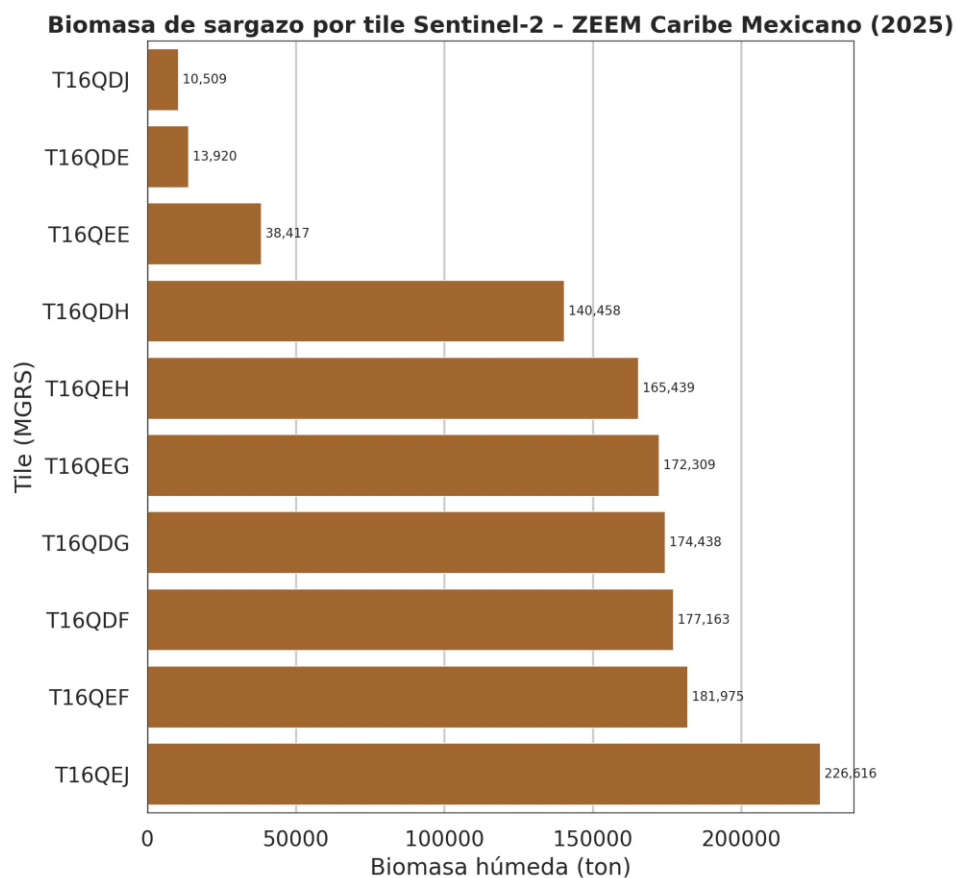


Figura 11. Biomasa húmeda estimada por tile Sentinel-2 (MGRS), 2025.

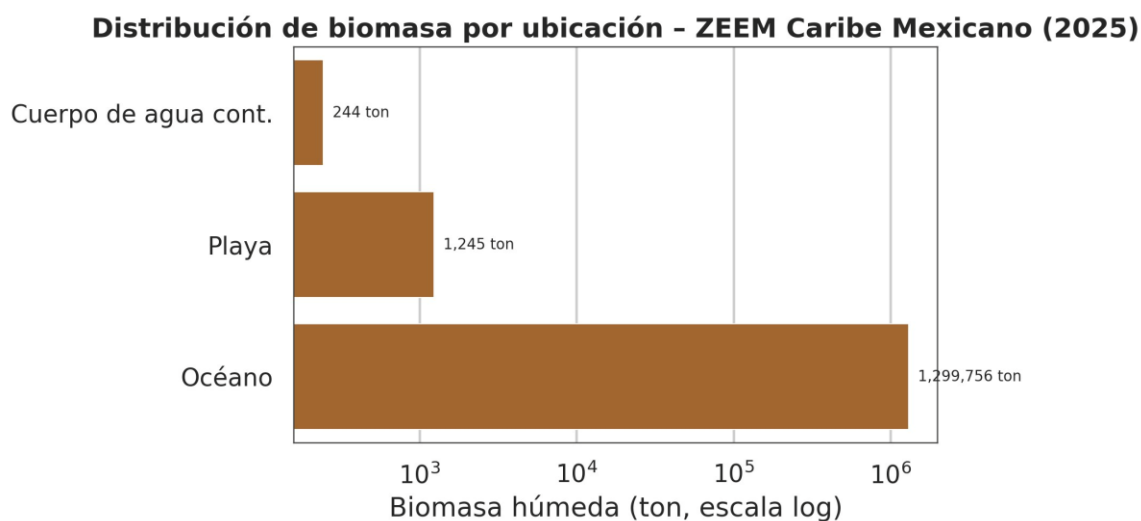


Figura 12. Distribución de la biomasa húmeda por ubicación (escala logarítmica). El océano concentra prácticamente toda la biomasa estimada.

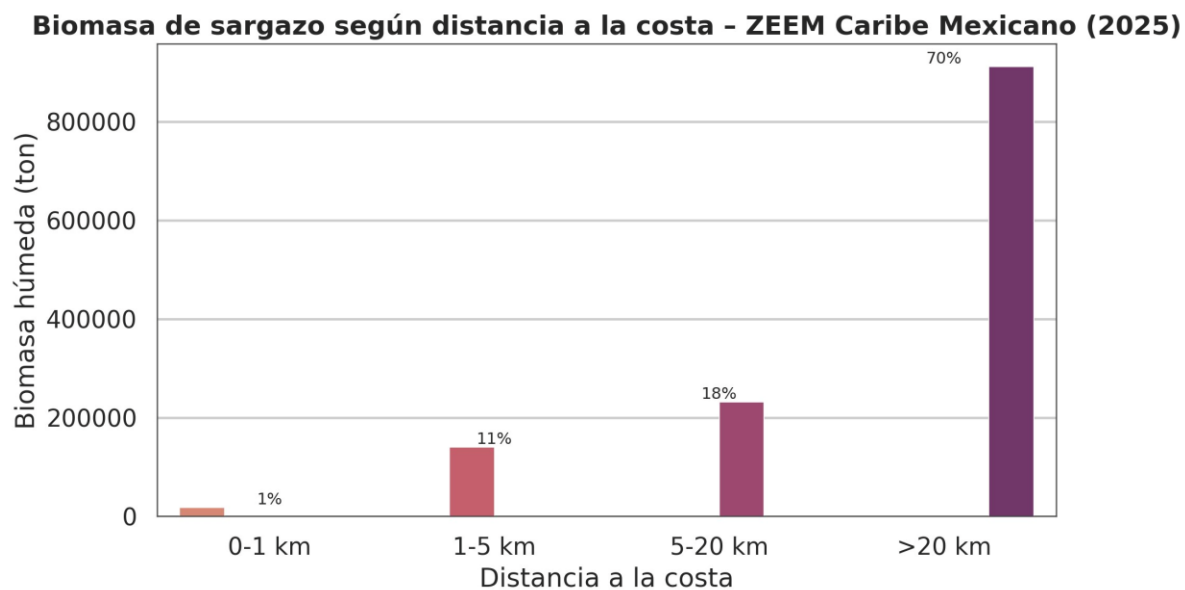


Figura 13. Biomasa húmeda según distancia a la costa, con el porcentaje del total sobre cada barra.

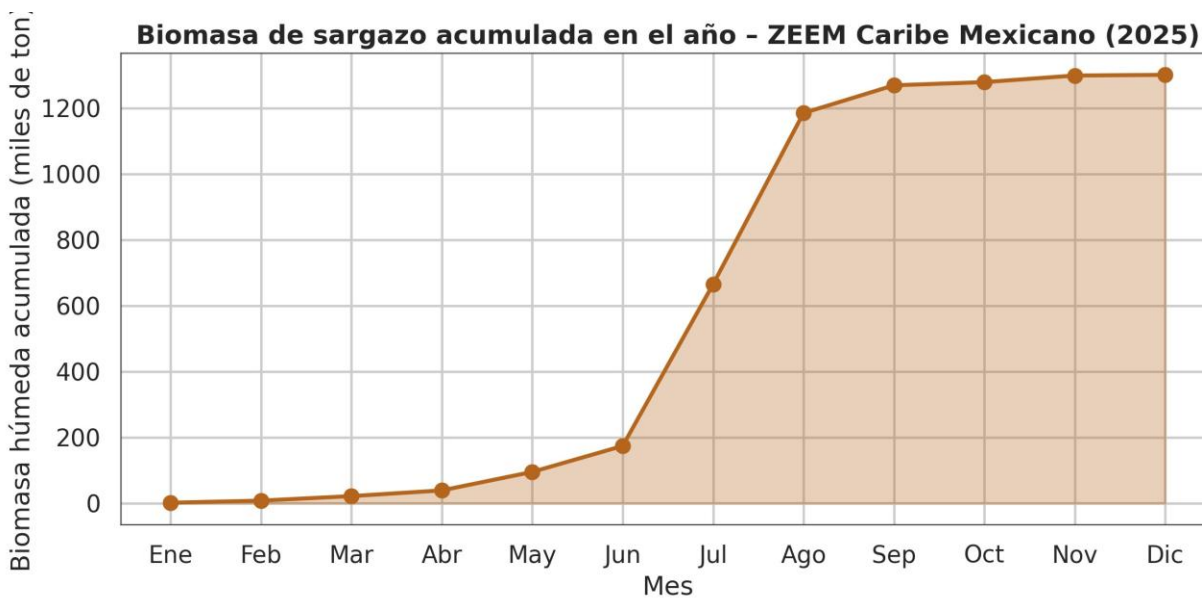


Figura 14. Biomasa húmeda acumulada a lo largo del año (miles de toneladas). El salto estival de julio-agosto define el grueso del aporte anual.

4. Pronóstico para 2026

Como complemento al monitoreo histórico basado en detección satelital de alta resolución, se incorporan dos pronósticos estacionales independientes para 2026, ambos referidos al **31 de julio de 2026**, fecha próxima al pico de la temporada alta de sargazo. Estas estimaciones permiten anticipar el orden de magnitud esperado del fenómeno durante el verano boreal.

A diferencia del inventario 2025, que se basa en **detección real con Sentinel-2 MSI** a resolución mayor, los pronósticos provienen de modelos oceánico-atmosféricos que operan sobre **celdas de mayor tamaño ($\approx 0.25^\circ$, unos 25×25 km)**. Por esta razón, **las cifras de pronóstico tienden a estar sobreestimadas** respecto a la detección directa: cada celda gruesa agrega áreas de mar libre de sargazo junto con las manchas reales, mientras que Sentinel-2 resuelve la presencia efectiva del alga. Ambos enfoques son por tanto complementarios y no directamente comparables en términos absolutos.

4.1 Pronóstico EDITO / SeSaM (CLS · IRD · MOi · CNES)

El servicio de pronóstico EDITO, desarrollado en el marco del proyecto **SeSaM SCO** (CLS, IRD, MOi, CNES), se basa en la configuración de conjunto NEMO-Sarg1.0 provista por IRD/LEGOS (Jouanno et al., 2021), forzada con datos oceánicos NEMO4.2 y atmosféricos SEAS5. Las condiciones iniciales provienen de detecciones de distribución de sargazo de S3-OLCI aportadas por CLS.

Para la Zona Económica Exclusiva de México ($3\,187\,013\text{ km}^2$), el pronóstico estima un **pico de densidad de $35\text{ m}^2\text{ km}^{-2}$ el 21 de julio de 2026**. El área total cubierta por sargazo en la ZEE sería de **113 km^2** equivalente a unos 16 271 campos de fútbol, con una **masa indicativa de $\approx 380\,434$ toneladas** según una densidad media de 3.34 kg/m^2 (Wang et al., 2018).

Indicador (EDITO · ZEE de México)	Valor pronosticado 2026
Pico de densidad	$35\text{ m}^2\text{ km}^{-2}$ (21 jul 2026)
Área cubierta por sargazo en la ZEE	113 km^2
Equivalencia ilustrativa	$\approx 16\,271$ campos de fútbol
Masa indicativa en la ZEE	$\approx 380\,434$ toneladas
Densidad media asumida	3.34 kg/m^2 (Wang et al., 2018)
Superficie total de la ZEE	$3\,187\,013\text{ km}^2$

Tabla 6. Resumen del pronóstico EDITO/SeSaM para la ZEE de México en la temporada alta de 2026 (referido al 21–31 de julio).

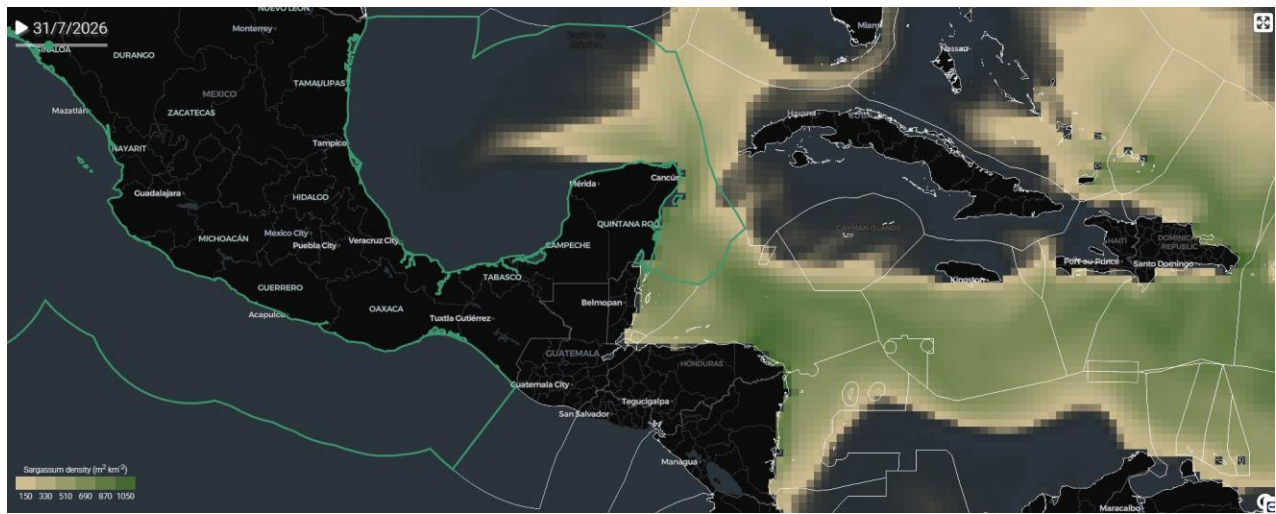


Figura 15. Densidad de sargazo pronosticada por EDITO para el 31 de julio de 2026 ($\text{m}^2 \text{km}^{-2}$) en el Golfo de México y Caribe. El límite verde corresponde a la ZEE mexicana. Fuente: EDITO / proyecto SeSaM SCO (CLS, IRD, MOi, CNES).

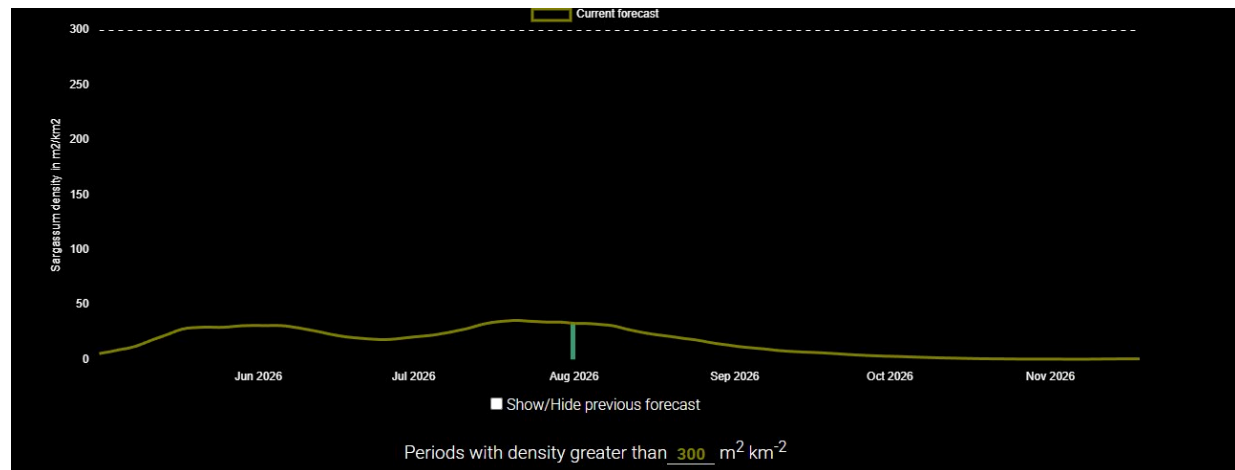


Figura 16. Evolución anual pronosticada de la densidad de sargazo ($\text{m}^2 \text{km}^{-2}$) en la ZEE de México durante 2026, con el pico estival en torno a agosto. La línea discontinua marca el umbral de $300 \text{ m}^2 \text{km}^{-2}$. Fuente: EDITO / SeSaM SCO.

4.2 Pronóstico FORESEA (IRD / LEGOS)

De forma independiente, el sistema **FORESEA** (Sargassum Seasonal Forecast) ofrece un pronóstico estacional de la cobertura fraccional (FC) de sargazo en el Atlántico tropical. La cobertura fraccional indica el porcentaje de área cubierta por sargazo dentro de cada celda de 0.25° (aproximadamente 25×25 km). Se trata de una aplicación de investigación y desarrollo, actualizada mensualmente, cuyo sistema y evaluación de desempeño se describen en Jouanno et al. (2023).

La corrida del 1 de mayo de 2026 con un horizonte de 2 meses (init MODIS 2026-05-01) proyecta, para finales de julio de 2026, un cinturón de sargazo bien desarrollado a lo largo del Atlántico tropical, con núcleos de alta cobertura fraccional ($FC > 0.12$) en la región central y aportes hacia el Caribe oriental, antesala del transporte hacia el Caribe mexicano durante la temporada alta.

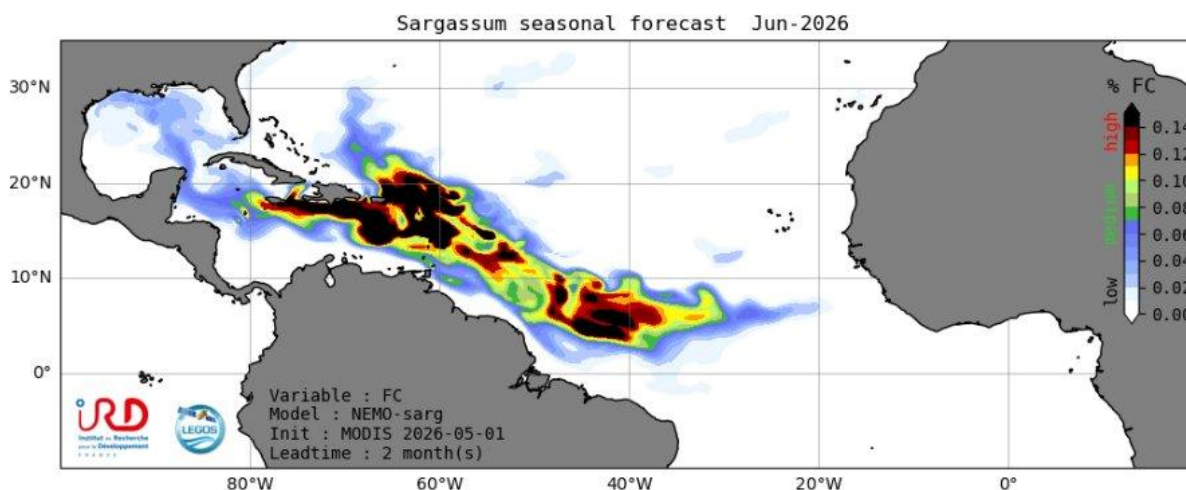


Figura 17. Pronóstico estacional de cobertura fraccional (% FC) de sargazo para junio–julio de 2026 (modelo NEMO-sarg, init MODIS 2026-05-01, horizonte 2 meses). Se aprecia el gran cinturón atlántico de sargazo. Fuente: IRD / LEGOS (FORESEA).

4.3 Interpretación conjunta

Ambos pronósticos coinciden en señalar una **temporada alta concentrada en julio–agosto de 2026**, coherente con la estacionalidad observada en 2025. La masa indicativa de EDITO para la ZEE (≈ 380 mil toneladas) es del mismo orden de magnitud que los escenarios intermedios de biomasa estimados con Sentinel-2 en 2025 ($FC = 0.20\text{--}0.40$: 260 mil – 520 mil toneladas), lo que aporta cierta consistencia entre el dato observado y el pronosticado.

No obstante, debe recordarse que estas cifras de pronóstico, al derivarse de **modelos sobre celdas gruesas (~ 25 km)**, tienden a sobreestimar respecto a la detección real de Sentinel-2 y deben emplearse como guía de anticipación del fenómeno, no como medición directa de su magnitud.

5. Limitaciones y consideraciones

Las cifras de este reporte deben interpretarse a la luz de las siguientes limitaciones metodológicas:

1. **FC no calibrada localmente.** Al ser una detección binaria sin AFAI almacenado, la conversión a biomasa depende del factor FC asumido. FC = 1.0 entrega el límite superior; los valores reales de biomasa probablemente son menores (véanse los escenarios). Se recomienda recalibrar FC y densidad con datos de campo.
2. **Densidad de literatura.** El valor de 3.4 kg/m² no fue medido localmente y constituye una fuente adicional de incertidumbre.
3. **Artefactos orbitales.** Las franjas diagonales visibles en los mapas son artefactos del muestreo de las órbitas y pasadas de Sentinel-2, no patrones físicos del sargazo.
4. **Limpieza manual de falsos positivos.** La depuración reduce las comisiones pero es un proceso subjetivo; pueden subsistir omisiones, como sargazo no detectado por nubosidad o cuando está sumergido, además de que se eliminó la mayoría del sargazo en playa, al tener mayores errores de detección el actual algoritmo.
5. **Cobertura temporal irregular.** Solo hubo 70 días con observación útil; la nubosidad limita la detección, especialmente durante la temporada de lluvias.
6. **Recorte a la ZEE.** Las cifras corresponden al sector Caribe de la ZEE mexicana; el sargazo situado fuera de la ZEE no se contabiliza.

6. Conclusiones

El monitoreo con Sentinel-2 MSI permitió caracterizar el comportamiento del sargazo en la ZEEM (sector Caribe) durante 2025. El año se caracterizó por una **fuerte estacionalidad estival**, con julio y agosto concentrando alrededor del 78 % del área detectada y un máximo absoluto en agosto.

Espacialmente, el sargazo se distribuyó de forma predominantemente **oceánica y mar adentro**: cerca del 70 % del área se ubicó a más de 20 km de la costa y el 99.9 % en océano abierto, con el tile T16QEJ como el de mayor presencia. La distribución del tamaño de las manchas, dominada por agregaciones pequeñas (mediana $\approx 400 \text{ m}^2$), es coherente con la dinámica del sargazo flotante.

La biomasa húmeda estimada (≈ 1.30 millones de toneladas bajo $FC = 1.0$) debe entenderse como una **cota superior**. Su valor real depende crucialmente de la fracción de cobertura y de la densidad del tapete, parámetros que conviene calibrar con observaciones de campo para reducir la incertidumbre. Los escenarios de FC presentados ofrecen un rango de referencia (130 mil – 1.30 millones de toneladas) útil para la toma de decisiones.

Se recomienda dar continuidad al monitoreo interanual con este flujo reproducible, incorporar la calibración local de FC y densidad, y explorar la integración de observaciones SAR para mitigar la limitación impuesta por la nubosidad en la temporada de lluvias.

Para 2026, los pronósticos estacionales de EDITO/SeSaM y FORESEA anticipan nuevamente una **temporada alta en julio–agosto**, con una masa indicativa para la ZEE de México del orden de las 380 mil toneladas según EDITO. Estas estimaciones, derivadas de modelos sobre celdas gruesas ($\sim 25 \text{ km}$), son útiles como guía de anticipación, pero tienden a sobreestimar respecto a la detección real de Sentinel-2; su combinación con el monitoreo observacional ofrece un marco más robusto para la gestión costera.

7. Referencias

- Descloitres, J., Minghelli, A., Steinmetz, F., Chevalier, C., Chami, M., & Berline, L. (2021). Revisited estimation of moderate resolution Sargassum fractional coverage using decametric satellite data (S2-MSI). *Remote Sensing*, 13(24), 5106. <https://doi.org/10.3390/rs13245106>
- Laval, M., Belmouhcine, A., Courtrai, L., Descloitres, J., Salazar-Garibay, A., Schamberger, L., Minghelli, A., Thibaut, T., Dorville, R., Mazoyer, C., Zongo, P., & Chevalier, C. (2023). Detection of Sargassum from Sentinel satellite sensors using deep learning approach. *Remote Sensing*, 15(4), 1104. <https://doi.org/10.3390/rs15041104>
- Jouanno, J., Morvan, G., Berline, L., Benshila, R., Aumont, O., Sheinbaum, J., & Ménard, F. (2023). Skillful seasonal forecast of Sargassum proliferation in the Tropical Atlantic. *Geophysical Research Letters*, 50, e2023GL105545. <https://doi.org/10.1029/2023GL105545>
- Jouanno, J., Benshila, R., Berline, L., Soulié, A., Radenac, M.-H., Morvan, G., Diaz, F., Sheinbaum, J., Chevalier, C., Thibaut, T., Changeux, T., Menard, F., Berthet, S., Aumont, O., Ethé, C., Nabat, P., & Mallet, M. (2021). A NEMO-based model of Sargassum distribution in the Tropical Atlantic: description of the model and sensitivity analysis (NEMO-Sarg1.0). *Geoscientific Model Development*, 14(6), 4069–4086. <https://doi.org/10.5194/gmd-14-4069-2021>
- Wang, M., Hu, C., Cannizzaro, J., English, D., Han, X., Naar, D., Lapointe, B., Brewton, R., & Hernandez, F. (2018). Remote sensing of Sargassum biomass, nutrients, and pigments. *Geophysical Research Letters*, 45(22), 12359–12367. <https://doi.org/10.1029/2018GL078858>