



**ESTUDIO INTEGRADO DE LA CALIDAD DEL AGUA  
EN LAS LAGUNAS COSTERAS DE KARATASKA,  
TANSING, AURATÁ Y EN EL RÍO KRUTA:  
*BASE PARA LA GESTIÓN DE PESQUERÍAS CON  
ENFOQUE ECOSISTÉMICO***

**PraWanka**  
Desarrollo Inclusivo Territorial

 Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Agencia Suiza para el Desarrollo  
y la Cooperación COSUDE

  
**HONDURAS**  
GOBIERNO DE LA REPÚBLICA

 **Ayuda  
en Acción**

  
**actalliance**



## ESTUDIO INTEGRADO DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LAS LAGUNAS COSTERAS DE KARATASKA, TANSING, AURATÁ Y EN EL RÍO KRUTA:

*BASE PARA LA GESTIÓN DE PESQUERÍAS  
CON ENFOQUE ECOSISTÉMICO*

**PraWanka**  
Desarrollo Inclusivo Territorial

 Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Agencia Suiza para el Desarrollo  
y la Cooperación COSUDE

  
**HONDURAS**  
GOBIERNO DE LA REPÚBLICA

 **Ayuda  
en Acción**

  
**CASM**  
actalliance

## **Estudio integrado de la calidad del agua en las lagunas costeras de Karataska, Tansing, Auratá y en el río Kruta:**

### ***Base para la gestión de pesquerías con enfoque ecosistémico***

Edición, junio de 2022

**PRAWANKA Programa de Desarrollo Económico Inclusivo Territorial de la Mosquitia, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), Fundación Ayuda en Acción, Comisión de Acción Social Menonita (CASM)**

Coordinación y revisión:

**Luis Grádiz** - Director de PRAWANKA  
**Wildres Rodríguez** - Facilitadora de la cadena de pesca de PRAWANKA  
**Roberto Bussi** – Director de País (Ayuda en Acción)  
**Dilmer Maradiaga** – Gerente de Programas (Ayuda en Acción)

Elaboración de estudio:

**Juan Carlos Carrasco Navas – Parejo**  
**Belkis Carolina Montalván Torres**  
**Martín Alfredo Murillo Bustillo**

Revisión de diseño, texto y fotografía

**Lizzeth Ordoñez Ferrera** – Oficial de Comunicaciones (Ayuda en Acción)  
**Rafael Calderón** – Comunicador social (PRAWANKA)  
**Laura Flores** – Oficial de Monitoreo (PRAWANKA)

Diseño y diagramación:

**EDICIONES RAMSÉS S. DE R. L.**  
Edificio Chiminike, segundo nivel, bulevar Fuerzas Armadas,  
Página web: [www.edicionesramsés.hn](http://www.edicionesramsés.hn)

Agradecimiento:

**Instituto Tecnológico Superior de Tela – UNAH**  
*Coastal and Marine Lab*

**ISBN: 978-99926-25-94-1**



# ESTUDIO INTEGRADO DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LAS LAGUNAS COSTERAS DE KARATASKA, TANSING, AURATÁ Y EN EL RÍO KRUTA:

*BASE PARA LA GESTIÓN DE PESQUERÍAS  
CON ENFOQUE ECOSISTÉMICO*

**PraWanka**  
Desarrollo Inclusivo Territorial



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Agencia Suiza para el Desarrollo  
y la Cooperación COSUDE



**HONDURAS**  
GOBIERNO DE LA REPÚBLICA



**Ayuda  
en Acción**



**actalliance**



# INDICE

I. Resumen	6
II. Introducción	8
III. Métodos	9
IV. Objetivo	12
V. Resultados y discusión	12
5.1 Hidrología	12
5.2 Geomorfología y batimetría	15
5.3 Nutrientes inorgánicos	17
5.3.1 Exportación de materia orgánica y de nutrientes inorgánicos al mar: subsidio a las cadenas alimenticias marinas	20
5.4 Biomasa fotosintética, producción primaria: <i>efectos sobre la producción secundaria con enfoque en peces</i>	21
5.5 Índice de estado trófico multivariado de la calidad del agua	23
5.6 Bacteriología	25
VI. Glosario de términos	29
VII. Referencias	30



## I. Resumen

En lagunas costeras y estuarios, existe fuerte relación entre rendimientos pesqueros y niveles de productividad primaria (PP). En estos sistemas, los peces son la especie dominante y en términos de rendimiento pesquero son más productivos que otros sistemas incluyendo arrecifes y lagos naturales. Una característica del sistema estudiado, es que sus desembocaduras permanecen comunicadas con el mar durante todo el año, permitiendo el continuo intercambio de materia y energía, incluyendo el reclutamiento de peces.

Medimos 13 variables ambientales distribuidas en 29 sitios, laguna de Karataska, Tansing y Auratá ( $n= 23$ ) y en el río Kruta ( $n= 6$ ). La temperatura y salinidad mostraron poca variabilidad espacial y en profundidad, indicando que ambos sistemas están mezclados. La salinidad fue baja ( $< 0.5$  UPS), lo que es atribuible al gran volumen de agua dulce que ingresó durante las tormentas Eta e Iota. La salinidad en ambientes estuaricos determina en gran medida la diversidad y distribución de los peces. En salinidades intermedias (5 a 8 UPS), la diversidad es mínima, porque excluye gran parte de especies marinas y de agua dulce.

El oxígeno disuelto (OD), en las lagunas presentó niveles adecuados ( $7.7 \pm 1.2$  mgO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>). Mientras en el río Kruta, hubo escasez ( $2.7 \pm 1.3$  mgO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>). Por debajo de los 50 cm de profundidad. Valores menores a 5 mgO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> pueden afectar a peces juveniles y menores a 3.5 mgO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> afectan a peces adultos. La concentración baja de oxígeno en río Kruta, se atribuye a que la luz solar penetró solo el 39% de la columna de agua limitando la fotosíntesis a la superficie del agua. Así como, una fuerte demanda biológica de oxígeno (DBO) generada por la degradación bacteriana de gran cantidad de materia orgánica detrítica (MO) procedentes de 1400 km<sup>2</sup> de humedales adyacentes, que ingresó al sistema durante las inundaciones y escorrentías provocadas por las tormentas Eta e Iota.

Se observaron valores de PH bajos (ácidos) en las tres lagunas y en el río Kruta, con  $6 \pm 0.5$  y  $5.3 \pm 0.2$  respectivamente. Estos valores son coherentes con altas tasas de consumo de OD por la degradación bacteriana de grandes cantidades de MO. Los valores ideales de PH para los peces oscilan entre 6.5 y 8.5, valores menores a 5.5 pueden ralentizar el crecimiento y afectar la reproducción y por debajo de 4.5 pueden provocar la muerte de los peces.

La concentración de nitrógeno inorgánico disuelto (NID = NO<sub>3</sub><sup>-</sup> + NO<sub>2</sub><sup>-</sup> + NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) fue de  $8.5 \pm 4.2$  mgL<sup>-1</sup> y  $3.4 \pm 1.1$  mgNID L<sup>-1</sup> en lagunas y río respectivamente. En promedio el amonio representó solo el 12% del NID, siendo un buen indicador de que la MO se está degradando en presencia de oxígeno.

En ambos sistemas la PP, es decir la producción de MO fotosintética a partir de la fijación de CO<sub>2</sub> atmosférico (Carbono azul) presenta fuertes limitaciones por deficiencia de fósforo (Nitrógeno: Fósforo > 16), debido a que los suelos circundantes son ricos en carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>), formando complejos insolubles con el fósforo, restringiendo la disponibilidad para el fitoplancton.

Los silicatos presentaron altos valores en las tres lagunas y río Kruta, con valores medios de  $16.9 \pm 26.4$  mgL<sup>-1</sup> y  $39.1 \pm 26.4$  mgL<sup>-1</sup> respectivamente. La principal fuente de silicato al río Kruta, es la erosión de sus riberas, debido a la fuerte deforestación, que, además genera alta vulnerabilidad ante eventos climáticos extremos. Por otra parte, la profundidad media en las lagunas es de  $3.29 \pm 0.51$  m, indicando que reciben bajas cargas de sedimentos inorgánicos. Lo cual se explica por el buen estado de conservación de las zonas adyacentes.

Comprender el continuo ecológico es clave: cuenca - río - estuario - zona costera - mar abierto. Los flujos de energía desde sistemas terrestres (nutrientes y MO) subsidian a las cadenas alimenticias marinas, lo que finalmente se convierte en altos rendimientos pesqueros. Esto queda evidenciado en el sistema Karataska-Kruta, debido a la alta carga de nutrientes y de MO exportada al mar a través de las desembocaduras. El caudal de descarga de la laguna de Karataska se estimó en  $1666.8 \text{ m}^{-3}\text{s}^{-1}$ , exportando  $3.33 \text{ kgNID m}^{-3}\text{s}^{-1}$ ,  $35.19 \text{ KgSiO}_4^{-4} \text{ m}^{-3}\text{s}^{-1}$ , y  $6.33 \text{ KgChla m}^{-3}\text{s}^{-1}$  (Clorofila *a*). Mientras el caudal de descarga de río Kruta fue de  $455.1 \text{ m}^{-3}\text{s}^{-1}$ , exportando  $1.01 \text{ kgNID m}^{-3}\text{s}^{-1}$ ,  $7.8 \text{ KgSiO}_4^{-4} \text{ m}^{-3}\text{s}^{-1}$ ,  $3.6 \text{ KgChla m}^{-3}\text{s}^{-1}$ .

Los valores de biomasa orgánica (clorofila *a*) y PP ( $\text{g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ) fueron bajos. En las lagunas fue de  $4.1 \pm 1 \text{ mg Clorofila } a \text{ m}^{-3}$  y de  $0.5 \pm 0.1 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  respectivamente. En el río Kruta, los valores fueron de  $7.2 \pm 2.8 \text{ mg Clorofila } a \text{ m}^{-3}$  y de PP de  $0.1 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ . Lo anterior se atribuye a que se exportó al mar una fracción importante de materiales durante las tormentas Eta e Iota. Es clave comprender cuáles son los factores que modulan la productividad en el sistema, porque está relacionado con las cadenas alimenticias acuáticas y, por lo tanto, con las pesquerías, cuyo estudio además requiere, conocer la densidad, biomasa, crecimiento, reproducción, supervivencia y tiempo de desarrollo de las especies.

Mantener la calidad del agua, manglares y humedales, es prioridad, debido a que su aporte de MO es clave para sostener tramas alimenticias acuáticas y finalmente las pesquerías en el sistema Karataska-Kruta y zonas marinas (Cayos Miskitos). Potencialmente, las pesquerías son estas zonas que dependen de los usos secuenciales que los peces hacen de los diferentes hábitats estuaricos (manglares, zonas de pastos, aguas abiertas, zonas palustres, desembocaduras), que están acoplados a su ciclo de vida (juvenil, adulto, adulto en reproducción), lo cual es un tema clave de estudio, siendo necesario integrar ciencia, el expertis y la gobernanza local.

Gran parte de la problemática de la calidad del agua en el sistema Karataska-Kruta, se debe al vertimiento de aguas cloacales directamente a las lagunas y río. De los 21 sitios muestreados, el 100% dieron resultados positivos para Coliformes totales ( $n=14$ ) y *Enterococcus faecalis* ( $n=21$ ). Lo cual es fuerte limitante para la potencialidad económica del sector pesquero, sobre todo, la venta de pescado fresco. La detección de Coliformes totales y los altos valores de *E. faecalis* en productos pesqueros comercializados, haría evidente la falta de controles higiénicos en la cadena de valor, principalmente en los eslabones asociados a la calidad ambiental, procesamiento, almacenamiento, transporte y comercialización.

Un incremento de fósforo, por ejemplo, por acciones agrícolas, podría desatar altos niveles de PP del fitoplancton, de macrófitos acuáticos, de manglares y de humedales, con ello una alta DBO, podría tener consecuencias catastróficas, como ser la mortandad de peces. En la planificación de las pesquerías en el sistema Karataska-Kruta, es fundamental considerar futuras acciones de desarrollo urbano, expansión agrícola y forestal en la toda la zona de influencia. El ámbito de la gestión de las pesquerías con enfoque ecosistémico en la Moskitia, contribuye al logro de varios de los ODS de la agenda 2030.



## II. Introducción

Las lagunas costeras y los estuarios, surgen al finalizar la última glaciación o glaciación de Würm hace 10,000 a.C. dando paso al período Holoceno (Penck y Bruckner 1909). Durante este período el nivel medio del mar se encontraba a 120 m por debajo del nivel actual, con el proceso de descongelación el nivel del mar fue aumentando paulatinamente e inundando zonas costeras, formando los ambientes estuaricos en depresiones costeras asociadas a valles de ríos (Pineda-Portillo 1997).

Los estuarios en comparación con otros ecosistemas costeros reciben un mayor aporte de nutrientes debido a su posición intermedia entre la tierra y el océano costero, y la descarga de material de las cuencas fluviales asociadas (Bate et al. 2002; Lill et al. 2013). Hay muy poca información sobre estos sistemas en las regiones tropicales (Kjerfve et al. 2001; Sosa-Avalos et al. 2013). Por lo tanto, consideramos que la contribución de los sistemas estuaricos tropicales a la producción planetaria primaria y los ciclos biogeoquímicos globales probablemente está subestimada debido a estudios insuficientes en comparación con las zonas templadas.

Los peces representan la especie dominante de necton estuarico y generalmente comprenden la mayor abundancia y biomasa (Yañez-Arancibia 1985). Cowan et al. (2013) consideran cuatro funciones que los peces utilizan en los hábitats estuaricos y las ordenan de la siguiente manera: alimentación 76%, vivero > 63%, desove > 24% y diádromo (migración) 9%. Estos porcentajes no suman el 100% porque algunas especies usan los estuarios para más de una función.

La alimentación de los peces en los estuarios está fuertemente relacionada con la etapa del ciclo de vida, el tipo de hábitat y la disponibilidad de alimentos. La dieta de los peces experimenta cambios significativos durante el ciclo de vida, lo que resulta en una diversidad de tipos de alimentación. En los estuarios templados y boreales, las redes tróficas son simples. En los estuarios cálidos y tropicales, a menudo, las redes tróficas son más complejas con varios consumidores dominantes de segundo orden (Deegan y Thompson 1985, Vega-Cendejas et al. 1994).

Los estuarios suman menos del 1% del área marina global, pero contribuyen entre el 50 y el 75% de los peces de interés comercial (Longhrust y Pauly 1987, Cowan et al. 2013). Los sistemas de estuarios son, en general, más productivos que otros ecosistemas de agua dulce y marinos en términos de rendimiento de peces (5,1 t km<sup>2</sup> y<sup>-1</sup> frente a plataformas continentales, arrecifes de coral y lagos naturales, con 4.8, 4.1 y 0.5 t km<sup>2</sup> a<sup>-1</sup> respectivamente), ya sea que se utilice la media o la mediana como medida de tendencia central (Kapetsky 1984).

En los sistemas estuaricos, existe una relación entre los rendimientos pesqueros con: **a)** los altos niveles de nutrientes inorgánicos, **b)** cantidad de materia orgánica, **c)** las entradas de agua dulce a través de los ríos (Kapetsky 1984, Pauly y Yañez-Arancibia 1994, Cowan et al. 2013), **d)** alta proporción superficie volumen (Deegan 2002), **e)** grandes áreas de mezcla de mareas, **f)** área litorales con vegetación, diversidad y tamaño de hábitats adyacentes (Cowan et al. 2013), **g)** velocidad y volumen de intercambio de agua entre el sistema estuarico y el mar (afecta el reclutamiento de peces) (Bourquard y Quingnard 1984, Yañez-Arancibia et al. 2007), y los niveles de productividad primaria (Nixon 1998). Por lo que la gestión de las pesquerías debe realizarse con enfoque ecosistémico (FAO 2011).

Según estudios sobre la calidad del agua de los ríos y lagunas costeras que se descargan en la región de arrecifes mesoamericanos (Bruke y Sugg 2006, Carrasco et al. 2020), uno de los principales impactos humanos en los ambientes estuarinos y las aguas costeras es el aporte de nutrientes inorgánicos. El enriquecimiento progresivo con nutrientes inorgánicos y materia orgánica puede conducir a densas floraciones de microalgas y aumentar el metabolismo creando una condición conocida como eutrofización.

El exceso de nutrientes en las aguas costeras tropicales puede conducir a un rápido crecimiento de fitoplancton que, unido a la materia orgánica en suspensión, puede reducir la transparencia de la columna de agua que actúa como filtro de la radiación fotosintética (Kemp et al. 2004). Las altas concentraciones de nutrientes en las aguas costeras también pueden reducir la resistencia de los corales al blanqueamiento térmico y a las enfermedades (Mumby, 1999; Voss y Richardson, 2006).

### III. Métodos

Entre el 3 y 16 de diciembre de 2020, se recolectaron datos de 13 variables ambientales donde se agruparon datos biológicos y físicos-químicos en 29 localidades distribuidas en las lagunas de Karataska, Tansing, Auratá y río Kruta (sistema Karataska-Kruta) (Fig. 1, Tabla 1).

#### Hidrología

En cada sitio de muestreo se elaboraron perfiles a cada 50 cm de profundidad, con la sonda (YSI 566), se midieron temperatura, salinidad, oxígeno, pH, total de sólidos disueltos. Con el disco Secchi se obtuvieron los datos de turbidez y profundidad de la zona fótica de cada sitio.

#### Batimetría

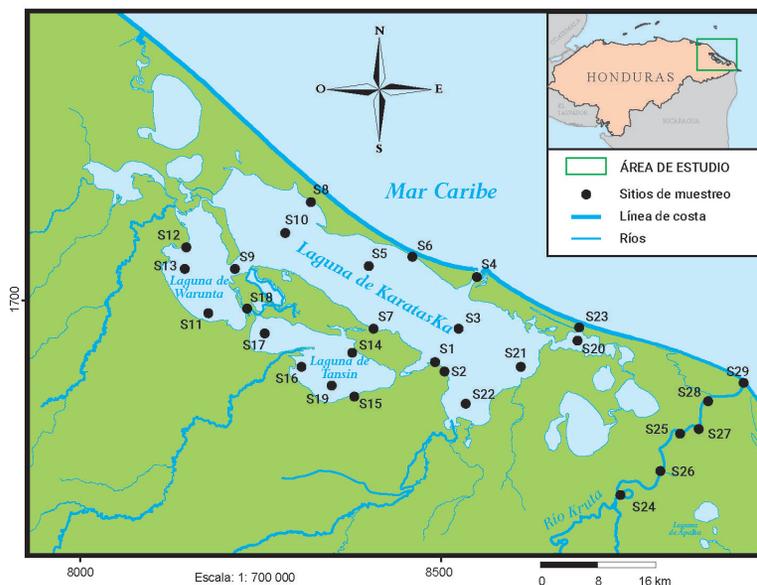
En cada sitio se midió la profundidad, mediante un fondeo realizado con un peso de 5 kg y un cordel de seda calibrado.

#### Nutrientes inorgánicos

Muestras de agua, fueron colectadas y almacenadas para el análisis de nutrientes inorgánicos disueltos. Las muestras se filtraron a través de filtros de fibra de vidrio (Whatman de 0.7  $\mu\text{m}$  de tamaño de poro) y se almacenaron en la oscuridad a 4 ° C hasta el análisis. Los nutrientes inorgánicos se determinaron de acuerdo con métodos HACH y sus concentraciones a bajo rango (LR) o rango alto (HR): Nitrógeno como amonio ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ) (TNT plus LR) (10031 HR), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) (10019 LR) (8153 HR), nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) (8192 LR) (8039 HR), fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) (TNT plus 10209/10210 LR/HR) y sílica ( $\text{SiO}_2$ ) (8185 HR/LR). Las mediciones espectrofotométricas se realizaron utilizando un espectrofotómetro HACH DR 1900. Cada uno de los valores obtenidos se multiplicaron por el factor gravimétrico específico para cada nutriente obteniendo las concentraciones finales en cada sitio.

#### Biomasa fotosintética y total de sólidos suspendidos

Se colectaron muestras de agua, de cada sitio de muestreo. Una vez en el laboratorio, 300  $\text{mL}^{-1}$  de agua de cada estación se filtraron a través de filtros de fibra de vidrio (Whatman GF / F 0.7  $\mu\text{m}$  de tamaño de poro) para el análisis de clorofila *a*. El filtro fue colocado en tubos individuales con 5  $\text{mL}^{-1}$  de metanol a 4 ° C durante 12 h en la oscuridad. El extracto se filtró de nuevo a través de filtros de fibra de vidrio (Whatman GF / F 0.7  $\mu\text{m}$  tamaño de poro) para eliminar posibles residuos de los filtros, y la absorbancia del extracto fue medida en un espectrómetro HACH DR 1900. Las concentraciones de Chla se calcularon de acuerdo con Ritchie (2008).



**Figura 1.** Ubicación de los 29 sitios de muestreo en las lagunas de Karataska, Auratá y Tansing y río Kruta (sistema Karataska-Kruta), diciembre 2020.

### Producción primaria y respiración oscura.

Se colectaron muestras para la producción primaria y las mediciones de tasas de respiración oscura en la columna de agua a 25 cm por debajo de la superficie. Se utilizó agua de cada sitio para llenar tres frascos Winkler transparentes y tres frascos Winkler oscuros e incubados *in situ* a 25 cm de profundidad durante 5 h, dentro de las cuales se realizó la medición de oxígeno y temperatura inicial y final.

La concentración en las botellas se midió utilizando una sonda de oxígeno (YSI EcoSense OD 200). Producción primaria neta volumétrica (P<sub>nh</sub>) y oscura respiración (R<sub>h</sub>) las tasas por hora se estimaron a partir de los cambios en O<sub>2</sub> concentraciones en las botellas transparente y oscura, respectivamente (Gaarder y Gran 1927). P<sub>nh</sub> y R<sub>h</sub> se expresaron en unidades de carbono utilizando la misma relación estequiométrica (1.2 O<sub>2</sub> / C. Ryter 1956).

Producción neta diaria de columna de agua integrada en profundidad (P<sub>n</sub>), bruta de producción (P<sub>g</sub>) y de respiración oscura (R) para la fótica y los estratos afóticos se calcularon según Soria-Píriz et al. (2017) de las tasas volumétricas integradas utilizando las siguientes ecuaciones:

$$P_g = P_n + R \quad (1)$$

$$P_n = (\alpha P_{nh}) - (\beta R_h) \quad (2)$$

$$R = (\alpha + \beta) R_h = 24R_h \quad (3)$$

Los términos  $\alpha$  y  $\beta$  representan las horas de luz diaria local y períodos oscuros, respectivamente, del día del muestreo.

## Índice multivariado de la calidad del agua

Para determinar el estado trófico de la columna de agua, se utilizó el Índice de estado trófico multivariado (TRIX) propuesto por Vollenweider et al. (1998), utilizando la fórmula:

$$\text{TRIX} = [\log (\text{Chla} * |\% \text{Od}| * \text{NID} * \text{PRS}) + 1.5] / 1.2 \quad (4)$$

Donde Chla: concentración de clorofila *a* ( $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ),  $|\% \text{Od}|$ : valor absoluto del porcentaje de desviación de la saturación de oxígeno disuelto:  $[100 - \% \text{Od}]$ , NID: nitrógeno inorgánico disuelto N como:  $[\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{NH}_4^+]$ , en ( $\mu\text{g NL}^{-1}$ ), PRS (fósforo reactivo) como fosfatos ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ). Las constantes  $K = 1,5$  y  $m = 12/10 = 1,2$  son valores de escala introducidos para ajustar el valor límite inferior del índice y la extensión de la escala trófica relacionada de 0 a 10 unidades TRIX.

## Bacteriología

Se utilizaron las pruebas indicadoras de Coliformes Totales de Lamotte y el AMT Rapid Bac EF, para *E. faecalis*, Incubadora (Ivyx scientific), gradillas, pipetas de 10 mL, jeringas de 10 mL para el decantado de muestra de Coliformes totales y *E. faecalis*. Las pruebas son sistemas de cultivos en viales que se hidratan con la muestra, luego se dejan en un período de incubación de 24hrs. en función de la rapidez de su respuesta de precipitación se determina la severidad de contaminación en el caso de *E. faecalis* y de la presencia o ausencia de Coliformes totales.

Tabla 1. Sitios de muestreo y sus coordenadas geográficas de ubicación

Sitio	Norte	Oeste	Sitio	Norte	Oeste
S1	15.275887	-83.773001	S16	15.28175	-83.95244
S2	15.271197	-83.773560	S17	15.31669	-83.99373
S3	15.320361	-83.756286	S18	15.35097	-84.02788
S4	15.382696	-83.729316	S19	15.27288	-83.90525
S5	15.384890	-83.865442	S20	15.30840	-83.59784
S6	15.411450	-83.810390	S21	15.27084	-83.67260
S7	15.321620	-83.862170	S22	15.23011	-83.74458
S8	15.482660	-83.940280	S23	15.31670	-83.59688
S9	15.390670	-84.051100	S24	15.11637	-83.54973
S10	15.444648	-83.970534	S25	15.18571	-83.46986
S11	15.348000	-84.052670	S26	15.13909	-83.49128
S12	15.436570	-84.101260	S27	15.18571	-83.46986
S13	15.392677	-84.083536	S28	15.22586	-83.43293
S14	15.295670	-83.888690	S29	15.24645	-83.38579
S15	15.240240	-83.888780			

## IV. Objetivo

El objetivo de este estudio, es comprender la ecología del sistema Karataska-Kruta (calidad del agua-biogeoquímica), desde un contexto funcional del medio estuarico y sus interacciones con el medioambiente adyacente (comunidades humanas, tierras agrícolas, sabanas, ríos, manglares-humedales, mar-arrecifes de coral), como factores dinámicos que modulan la productividad primaria (materia orgánica) y secundaria (peces), como soporte para generar herramientas que permitan la gestión de las pesquerías con un enfoque ecosistémico.

El ámbito de la gestión de las pesquerías con enfoque ecosistémico en zonas como la Moskitia, contribuye, al logro de varios de los objetivos de desarrollo sostenible de la agenda 2030 (ODS-PNUD), como ser: ODS 1 Fin a la pobreza, ODS 2 Hambre cero,

ODS 3 Salud y bienestar, ODS 6 Agua limpia y saneamiento, ODS 12 Producción y consumo responsable, ODS 13 Acción por el clima y ODS 14 Vida submarina, ODS 15 Vida de ecosistemas terrestres y ODS 17 Alianzas para el logro de los ODS.

## V. Resultados y discusión

### 5.1 Hidrología

Los resultados obtenidos en la primera campaña limnológica (dic, 2020), correspondiente a la época lluviosa, muestran que el sistema fluvio lagunar Karataska (lagunas de Karataska, Tansing, Auratá) y río Kruta (de ahora en adelante sistema Karataska-Kruta), se caracteriza, por presentar valores de temperatura y salinidad con muy poca variabilidad vertical (profundidad) y horizontal (espacial), es decir, el sistema está bien mezclado, lo que es atribuible al gran volumen de agua dulce (> 800 mm en un período de 15 días) que ingresó durante las tormentas Eta e Iota (Fig. 1).

Tanto en las lagunas como el estuario, la salinidad fue muy baja teniendo incluso un comportamiento limnético (salinidad < 0.5 UPS) que es típico de sistemas dulce acuícolas. Excepto en la desembocadura del río Kruta, donde alcanzó 20.2 UPS (dato medido en la fase de reflujos mareal. En general, en las lagunas la salinidad fue muy baja ( $0.4 \pm 0.7$  UPS). La homogenización de la salinidad en el sistema lagunar, se manifestó a pesar de la distancia de cada sitio de muestreo respecto al mar (S4) y de las barreras físicas generadas por la segmentación del sistema lagunar producto de su evolución geomorfológica formando actualmente tres cuerpos de agua (Fig. 2, Tabla 2).

El río Kruta se muestreó a lo largo de 30 kilómetros aguas arriba de su desembocadura. Los valores de salinidad superficial fueron típicos de un río (< 0.5 UPS), mientras que, en las capas más profundas, se observó una cuña de agua de mayor salinidad. El agua marina ingresa por la boca estuarica y se mezcla con el agua dulce del río, siendo impulsada por la carrera de mareas por las partes más profundas del lecho fluvial, generando condiciones medioambientales ideales para el establecimiento de manglares, donde *Rhizophora mangle* la especie dominante. La condición estuarica se mantiene por al menos 15 kilómetros, es decir, desde la desembocadura (S29) hasta la estación de muestreo S27, observándose un gradiente de salinidad en la medida que se aleja de la desembocadura, variando de 20 a 6 UPS entre la S29 y la S27 (Fig.1).

En las capas del fondo de la desembocadura de la laguna de Karataska (S4), también, se observó un leve incremento en la salinidad, así como en la estación de muestreo S3, ubicada cinco kilómetros al sur de la S4, lo que sugiere que la laguna de Karataska al igual que el río Kruta, es en alguna medida influenciada por las mareas, lo que genera una condición estuarica que se puede verificar por la presencia de manglares (Fig. 2).

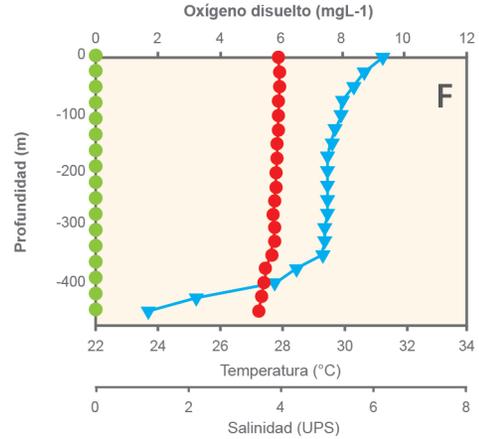
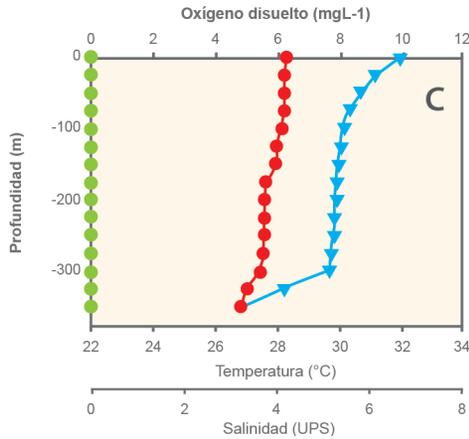
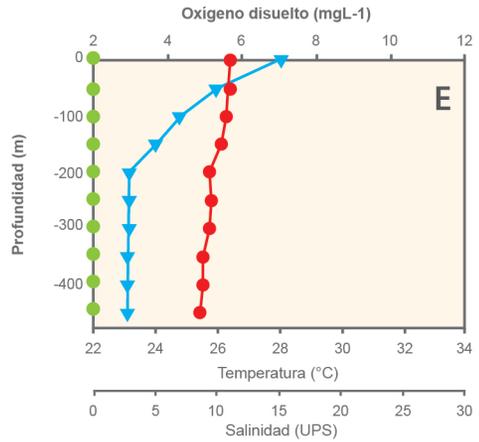
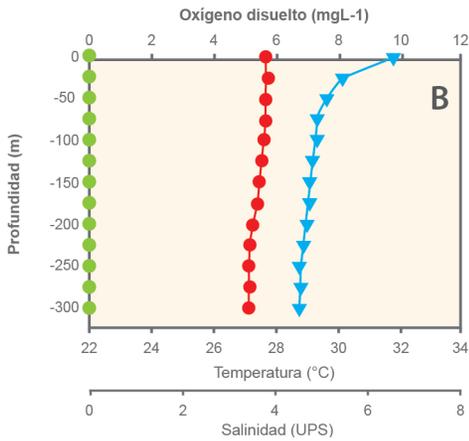
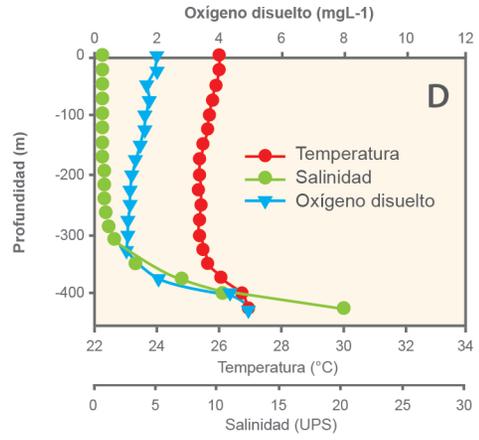
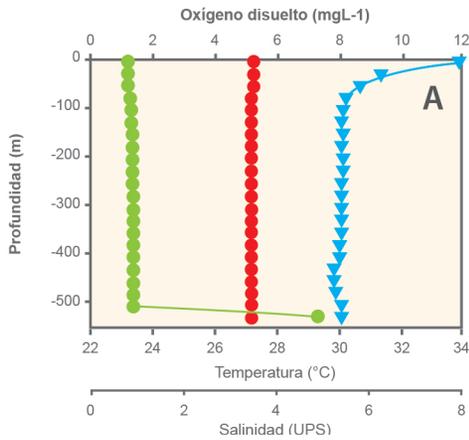
Debido a la ausencia de manglares en las lagunas de Tansing y Auratá, es posible que la cuña de agua marina no ingrese en ellas. Esta condición se hará potencialmente más evidente durante los muestreos que se realicen en la época seca. En general, la diversidad de hábitats estuaricos y de agua dulce que se encuentran en el sistema lagunar Karataska-Kruta, lo convierte en un sitio de interés para comprender diversos procesos y funciones ecológicas de ambientes de estos sistemas costeros, como puede ser el uso secuencial que los peces hacen de los diferentes hábitats dentro de las lagunas y ríos.

Durante la época lluviosa de 2011 y 2012, el promedio de la salinidad superficial en el sistema Karataska fue de  $0.9 \pm 1.4$  UPS y de  $3.4 \pm 2.1$  UPS en el tramo marginal del río Kruta (S28 y S29) (Carrasco 2014). Los valores anteriores, refuerzan el planteamiento que las altas precipitaciones (Eta e Iota) homogenizaron el sistema Karataska-Kruta, transformándolo al menos temporalmente en un sistema de agua dulce con las excepciones descritas. Por otra parte, durante la época seca de 2011 y 2012 (mayo), la salinidad promedio fue de  $4.1 \pm 4.6$  y de  $3.3 \pm 1$  UPS para las lagunas y tramo marginal del río Kruta (Carrasco 2014). Los valores de salinidad de ambas épocas seca y lluviosa (ciclo anual), muestran que, el sistema Karataska-Kruta es oligohalino (0.5 – 5.0 UPS), es decir de baja salinidad.

La salinidad es una de las variables más importantes en los estuarios, porque determina en gran medida la diversidad y distribución de los peces. Lo anterior está estrechamente relacionado con las estrategias de ciclo de vida de las especies, por ejemplo, los peces jóvenes tienen un sistema osmorregulador poco desarrollado, por lo que prefieren vivir en rangos de salinidad estrechos. En salinidades intermedias (5 a 8 UPS), la diversidad de especies es mínima, porque excluye muchas especies verdaderamente marinas y de agua dulce (Cowan et al. 2013).

En el caso del sistema Karataska-Kruta, la salinidad durante el ciclo anual está por debajo de 8 UPS (datos de 2011, 2012 y época lluviosa 2020), esta condición limita la diversidad de peces a aquellas especies tolerantes a rangos bajos de salinidad. Lo anterior, quedó evidenciado por Carrasco (2014), quien reportó 89 especies de peces para el sistema Karataska-Kruta y, 87 especies de peces para la laguna de Chachaguala (Caribe de Honduras), en ambos sistemas lagunares el esfuerzo de muestreo fue el mismo (Carrasco y Caviedes 2015).

El área superficial del sistema Karataska-Kruta supera los 830 km<sup>2</sup>, mientras que, el área de laguna de Chachaguala es de 0.83 km<sup>2</sup>. Por lo que el sistema Karataska-Kruta es mil veces más grande que la laguna de Chachaguala, aunque, la cantidad de especies de peces es similar en número, hay mucha mayor densidad en la laguna de Chachaguala. Lo anterior se atribuye a que la laguna de Chachaguala es un sistema euhalino durante todo el año, es decir, mantiene niveles de salinidad en torno a 33 UPS (Carrasco y Caviedes 2015), lo que permite que mayor número de especies sobre todo marinas utilicen de forma diversa los hábitats lagunares. El Patrón de mayor diversidad de peces en ambientes más estuaricos (ej. polihalinos y euhalinos), se ha observado en 17 sistemas estuaricos estudiados a lo largo de la costa Caribe de Honduras (Carrasco et al. en construcción).



**Figura 2.** Perfiles verticales de la variación en la columna de agua de la temperatura, salinidad y oxígeno disuelto, en seis estaciones representativas del sistema Karataska-Kruta, diciembre de 2020. Los perfiles corresponden: A, desembocadura de la laguna de Karataska (S4); B, Laguna de Karataska (S10); C, Laguna de Auratá (S13); D, desembocadura del río Kruta (S29); E, río Kruta (S26) y F, Laguna de Tansing (S19).

La concentración de oxígeno disuelto (OD) en las lagunas presentó niveles adecuados y poca variación ( $7.7 \pm 1.2 \text{ mgL}^{-1}$ ). Mientras que en el río Kruta presentó valores muy bajo para los peces ( $2.7 \pm 1.3 \text{ mgL}^{-1}$ ) por debajo de los 50 cm de profundidad. Valores menores a  $5 \text{ mgO}_2 \text{ L}^{-1}$  pueden afectar a peces juveniles y menores a  $3.5 \text{ mgO}_2 \text{ L}^{-1}$  afectan a peces adultos (Fig. 2).

La baja concentración de OD en río Kruta, se atribuye en parte, a que la radiación fotosintética penetra solamente el 39% (230 cm) de la columna de agua, es decir, a esa profundidad ocurre la PP o producción de oxígeno, en el resto de la columna de agua ocurren procesos de respiración, es decir es un ambiente heterotrófico, donde hay una fuerte demanda biológica de oxígeno (DBO) por los procesos de degradación de materia orgánica (MO).

Aunque la biomasa de microalgas en el río Kruta fue baja, es decir, el sistema produjo poca MO, escasez de OD se puede relacionar a una alta DBO generada por la respiración bacteriana en el proceso de degradación de grandes cantidades de MO. El ingreso de MO al río Kruta, se puede atribuir a que las inundaciones y escorrentías generadas por las tormentas Eta e Iota (800 mm de lluvia en 15 días), pudieron haber importado al río grandes cantidades de MO detrítica o particulada desde los manglares y desde los más de  $1400 \text{ km}^2$  de humedales adyacentes (Carrasco et al 2008). Cuando la cantidad de MO en un sistema acuático es superior a lo que se puede degradar de forma aeróbica (en presencia de oxígeno por oxidación), se genera una alta DBO y con ello la pérdida de la calidad del agua, afectando a la biota acuática, incluyendo eventos de mortandades de peces. Por otra parte, se observaron bajos valores de PH (ácidos) en ambos sistemas (Karataska  $6 \pm 0.5$ ; Kruta  $5.3 \pm 0.2$ ), es concordante con altas tasas de consumo de OD por bacterias en los procesos de descomposición de grandes cantidades de MO (Tabla 2). Los valores ideales de PH para los peces oscilan entre 6.5 y 8.5. PH ácidos o menores a 5.5 pueden ralentizar el crecimiento y afectar la reproducción y por debajo de 4.5 pueden provocar la muerte de los peces.

Un factor que puede generar acumulación de MO en el río o limitar la velocidad de exportación al mar, es la morfología del cauce del río Kruta. El río fluye sobre una extensa planicie costera, con bajo gradiente hidráulico formando un cauce meándrico-tortuoso. Esta característica, puede ralentizar la exportación de MO al mar, sobre todo la porción de esta que ha sido depositada sobre el sedimento en las partes más profundas y remansos de agua.

## 5.2 Geomorfología y batimetría

Se realizaron un total 29 fondeos ( $n=29$ ) para medir la profundidad en el sistema Karataska-Kruta (Fig. 3). En laguna de Karataska se obtuvo una profundidad media fue  $2.57 \pm 1.29 \text{ m}$  ( $n=12$ ), en laguna de Tansing la profundidad media fue de  $3.05 \pm 0.98 \text{ m}$  ( $n=4$ ), mientras que en laguna de Auratá la profundidad media fue de  $2.82 \pm 0.93 \text{ m}$  ( $n=3$ ). Dentro del sistema la mayor profundidad fue de  $15.85 \text{ m}$  ( $n=1$ ), que corresponde al canal que comunica, laguna de Tansing con laguna de Auratá. En el río Kruta la profundidad media fue de  $5.89 \pm 1.16 \text{ m}$  ( $n=6$ ) (Fig. 3).

En lagunas costeras raramente sobrepasan los cuatro metros de profundidad. Por lo general, en las aguas abiertas (zonas centrales y/o alejadas de la orilla) en sistema de lagunas (Karataska, Tansing y Auratá) la profundidad media fue es  $3.29 \pm 0.51 \text{ m}$ , mostrando muy poca variabilidad entre sitios, lo que sugiere que el sistema de lagunas está recibiendo bajas cargas de sedimentos inorgánicos. Lo cual se explica, porque las zonas adyacentes son humedales y sabanas bien conservadas y por la desconexión parcial del sistema de lagunas con el río Patuca.



**Tabla 2.** Características biológicas y físico-químicas de la columna de agua en el sistema Karataska-Kruta, diciembre 2020. Las líneas sin datos significan que en esos sitios no se recolectó esa variable. TRIX, significa Índice de Estado Trófico del Agua.

Sitio	Profundidad (m)	Clorofila <i>a</i> (mgm <sup>-3</sup> )	Pn (gCm <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )	Nitrato (mgL)	Nitrito (mgL)	Amonio (mgL)	Fosfato (mgL)	Silicato (mgL)	TRIX	
S1	1.18	4.41	0.11	9.74	0.02	1.59	< 0.15	28.31	6.9	Hipertrófico
S2	1.09	5.28		6.64	0.02	1.80	< 0.15	7.04	7.5	Hipertrófico
S3	3.25	4.89	0.002	3.54	0.02	0.02	< 0.15	11.02	6.7	Hipertrófico
S4	5.53	3.08		1.77	0.02	0.21	< 0.15	21.11	6.6	Hipertrófico
S5	3.23	3.47	0.54	10.62	0.05	0.00	< 0.15	15.15	5.8	Eutrófico
S6	1.27	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S7	0.80	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S8	1.52	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S9	3.26	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S10	3.25	5.36	0.92	7.97	0.01	0.32	< 0.15	7.80	7.3	Hipertrófico
S11	3.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S12	1.79	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S13	3.61	4.57	0.70	9.74	0.02	2.12	< 0.15	18.05	7.1	Hipertrófico
S14	2.20	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S15	2.08	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S16	3.25	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S17	3.23	3.49	-	14.61	0.01	0.00	0.17	8.11	7.6	Hipertrófico
S18	15.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S19	4.50	3.91	0.66	10.62	0.02	0.00	< 0.15	9.03	7.5	Hipertrófico
S20	2.27	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S21	3.18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S22	3.11	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S23	3.06	2.54	-	3.54	0.02	0.09	< 0.15	43.3	7.1	Hipertrófico
S24	7.35	8.72	-	4.87	0.00	0.32	< 0.15	31.21	8.2	Hipertrófico
S25	5.90	10.78	-	3.54	0.00	0.32	0.18	24.17	8.5	Hipertrófico
S26	4.70	8.15	-	2.21	0.00	0.32	< 0.15	67.78	7.8	Hipertrófico
S27	7.00	6.58	-	2.66	0.01	0.53	0.17	17.29	8.2	Hipertrófico
S28	5.90	6.61	0.01	3.10	0.00	0.64	0.16	76.96	8.2	Hipertrófico
S29	4.50	2.36	-	1.77	0.02	0.42	< 0.15	17.29	7.5	Hipertrófico

Para tener una idea general del efecto de la sedimentación en la profundidad media de las lagunas costeras, comparamos la profundidad media de las lagunas asociadas a Karataska, con las profundidades medias de las lagunas de Los Micos y Guaimoreto (Caribe de Honduras), que en promedio es de 2.1 (n=13) y 1.0 m (n=5) respectivamente. Las diferencias en profundidad, se debe a que ambas lagunas reciben grandes cargas de sedimentos inorgánicos provenientes de los ríos San Alejo y Aguán respectivamente, lo que las ha azolvado o envejecido acelerando el proceso morfológico natural de formación de humedales y valles (Carrasco y Flores 2008, Carrasco et al. 2019).

Estos cambios morfológicos alteran los ciclos biogeoquímicos, por ejemplo, en los sistemas someros, las tasas de regeneración y resuspensión de nutrientes suelen ser mucho mayor que en ambientes más profundos, lo que contribuye a la eutrofización o pérdida de calidad del agua, afectando servicios ecosistémicos como ser las pesquerías (Cloern 2001, Carrasco et al. 2019), por lo tanto, es crucial mantener en buen estado de conservación las zonas de influencia que drenan al sistema fluvio lagunar como ser los humedales y sabanas.



**Figura 3.** Mapa con las distintas profundidades (metros) medidas en 29 sitios muestreados en el sistema Karataska-Kruta, durante el mes de diciembre 2020.

### 5.3 Nutrientes inorgánicos

En las lagunas, la concentración de nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) y amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), fueron mayores respecto al río Kruta, siendo la concentración de nitrógeno inorgánico disuelto ( $\text{NID} = \text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{NH}_4^+$ ) de  $8.5 \pm 4.2 \text{ mgL}^{-1}$ , mientras que, en el río Kruta fue  $3.4 \pm 1.1 \text{ mgNID L}^{-1}$  (Tabla 2). En general, la concentración de NID está dentro del rango de otras lagunas costeras tropicales. En el caso del amonio, estuvo el rango de 0.0 a  $2.14 \text{ mgL}^{-1}$  y representó solamente el 12% del NID (Fig. 4).



El bajo porcentaje de amonio observado respecto al NID ( $\text{NH}_4^+$ : NID = 12%), es considerado indicador de que la MO se está degradando en condiciones aeróbicas. Lo anterior, debido a que altas concentraciones de amonio presente en ambientes acuáticos, está íntimamente relacionada con procesos biológicos de características heterotróficas, es decir, con la degradación de materia orgánica en ambientes anoxicos (Contreras et al. 1996). Por otra parte, el bajo porcentaje de amonio indica que las tasas de nitrógeno remineralizado o nuevo a partir de la MO es poco. En sistemas como las lagunas de Los Micos y Alvarado y Bahía de Puerto Cortés, el amonio representa más del 60% del NID (Carrasco et al. 2020). Situaciones similares se han observado en ambientes estuaricos en México (Contreras et al. 1996).

La concentración de fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) en el sistema Karataska-Kruta fue baja, de los 10 sitios muestreados se detectó solo en la S20 ( $0.17 \text{ mgPO}_4^{3-} \text{ L}^{-1}$ ). La situación fue similar en río Kruta, donde se detectó en tres de los seis sitios muestreados, siendo el valor medio de  $0.17 \pm 0.01 \text{ mgL}^{-1}$ . En el resto de los sitios la concentración de fosfato estuvo por debajo del límite de detección del método ( $\text{PO}_4^{3-} < 0.15 \text{ mgL}^{-1}$ ) (Fig. 4, Tabla 2).

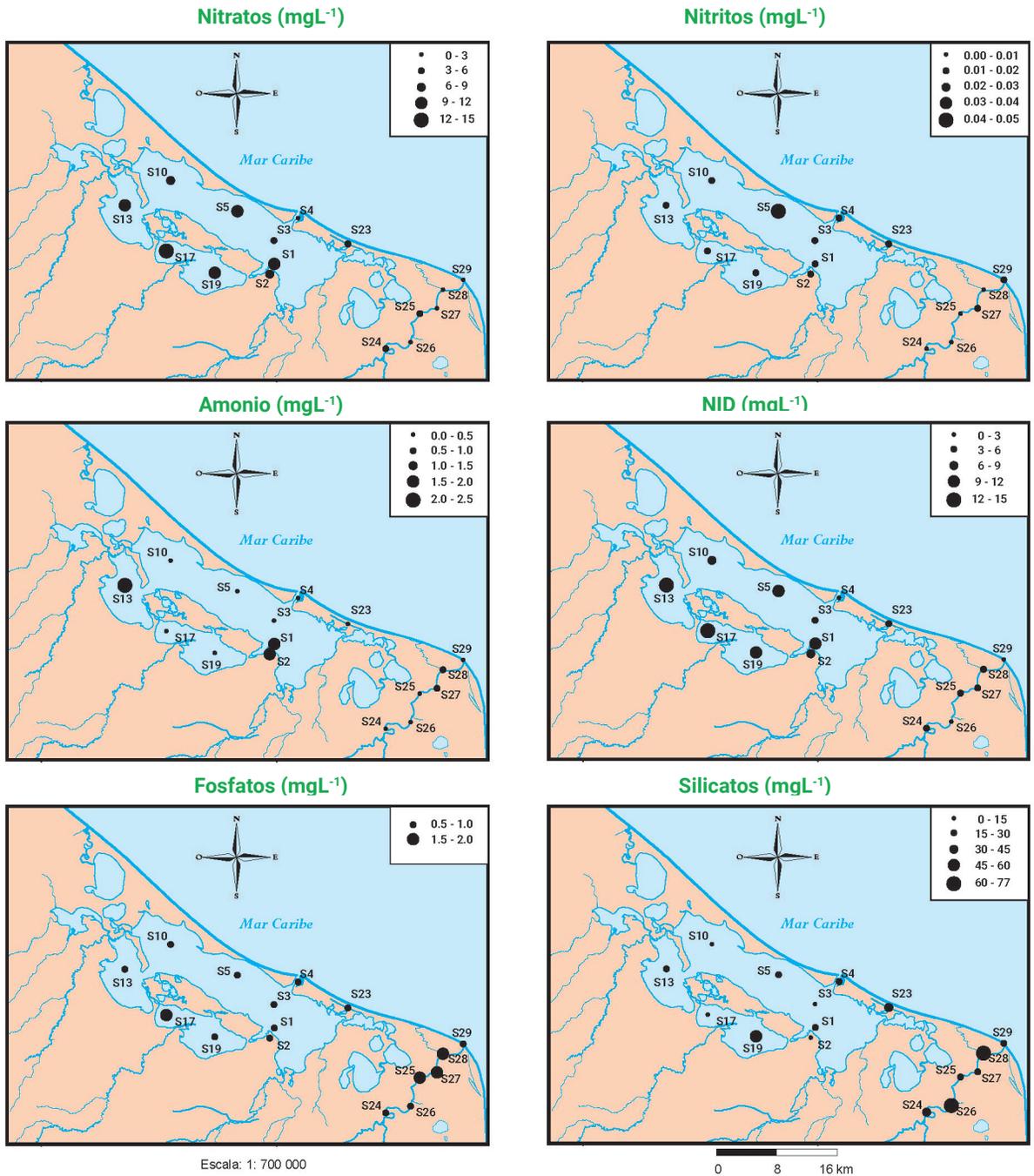
La relación estequiométrica Nitrógeno inorgánico disuelto: Fósforo inorgánico disuelto (NID: PID) propuesta por Redfield (1963) para el fitoplancton marino, muestra que, valores de esta relación por debajo de 16, indican que hay deficiencia de nitrógeno en el sistema (NID: PID < 16), es decir, la producción primaria fitoplanctónica (PP) está siendo limitada por deficiencia de nitrógeno. Mientras que, valores por arriba de 16, indican que la PP está siendo limitada por deficiencia de fosfato.

En la estación S20 (laguna de Karataska), la relación NID: PID fue de 86, mientras que, en las tres estaciones del río Kruta donde se detectó fosfato (S25, S27 y S28) la relación fue de  $21.9 \pm 2.9$ . La poca detección y concentración de fosfato y los altos valores de formas nitrogenadas ( $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{NH}_4^+$ ) dan como resultado una relación NID: PID > 16, indica que, la PP en ambos sistemas está siendo fuertemente limitada por deficiencia de fosfato. La deficiencia de fosfato se atribuye a los suelos de las sabanas de la Moskitia son ricos en carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ). El exceso de calcio en el suelo, forma complejos insolubles con el fósforo ([www.fao.org/soils-porta](http://www.fao.org/soils-porta)), restringiendo la disponibilidad de ambos nutrientes para el fitoplancton. Es probable que durante la época seca (mayo, 2021), al no haber mucha escorrentía y mantenerse la erosión hídrica, es decir arrastre de suelos a los cuerpos de agua se espera que la disponibilidad de fósforo aumente, así como la PP.

En general la concentración de silicatos ( $\text{SiO}_4^{4-}$ ) presentó valores altos. El valor promedio de este nutriente en las lagunas fue de  $16.9 \pm 26.4 \text{ mgL}^{-1}$ , mientras que, en río Kruta fue de  $39.1 \pm 26.4 \text{ mgL}^{-1}$ . Una de las principales formas de como este nutriente llega a los sistemas acuáticos es por escorrentía con altas cargas de sedimentos procedente de la erosión de suelos.

Consideramos que una de las fuentes principales de silicato al río Kruta, es el arrastre de sedimentos desde las tierras agrícolas, y principalmente de la fuerte erosión de los bancos aluviales del cauce del río, debido a la deforestación de las riberas, sobre todo en la cuenca alta y media. La eliminación de la vegetación de las riberas del río Kruta, deja al banco aluvial expuesto y vulnerable a

las corrientes del río, lo que provoca el socavamiento, desplome y arrastre del suelo, que finalmente es depositado en las zonas costeras y marinas.



**Figura 4.** Variación espacial de la concentración de nutrientes inorgánicos disueltos a 25 cm de profundidad y, relación NID ( $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{NH}_4^+$ ): fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) en 16 sitios de muestreo en el sistema Karataska-Kruta, durante el mes de diciembre 2020.



Quizás la erosión del banco aluvial del río Kruta, es una de las situaciones más insostenibles desde el punto de vista socio-ecológico, puesto que aparte de ser una fuente de alta contaminación. También, genera vulnerabilidad alta a los eventos climáticos extremos (tormentas y huracanes), como a las inundaciones, que en esa zona ocurren de forma natural, ya que es parte de la llanura de inundación del río o su valle aluvial, poniendo en riesgo la vida humana y sus bienes materiales.

### 5.3.1 Exportación de materia orgánica y de nutrientes inorgánicos al mar: subsidio a las cadenas alimenticias marinas

Uno de los atributos geomorfológicos de la laguna de Karataska y del río Kruta es que ambos permanecen comunicados con el mar durante todo el año. Lo que indica que hay un continuo importe de agua desde los ríos y que las cuencas tributarias que alimentan estos sistemas son relativamente grandes y están bien conservadas. La comunicación permanente con el mar permite el constante intercambio de materiales entre estos sistemas estuaricos y el mar impulsado principalmente por las mareas (Lill et al. 2013). Así cómo, el constante reclutamiento de organismos acuáticos en estos estuarios, incluyendo a los peces. Contrario, a lo que sucede en otros sistemas estuaricos comunicados con el mar solo durante la época lluviosa, como es el caso de la Laguna del Cacao, Barras de Cuero y Salado y La Laguna de Los Micos (Caribe de Honduras) (Carrasco y Flores 2008).

Las tormentas Eta e Iota, seguidas de una temporada de nortes lluviosos, incrementó el volumen de agua en ambos sistemas, así como el caudal de descarga al mar a través de las desembocaduras. El caudal de descarga de la laguna de Karataska al mar se estimó en  $1666.8 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , generando una exportación de  $3.33 \text{ kgNID m}^{-3}\text{s}^{-1}$ ,  $35.19 \text{ KgSiO}_4^{-4} \text{ m}^{-3}\text{s}^{-1}$ , y  $6.33 \text{ KgChla m}^{-3}\text{s}^{-1}$  (biomasa fitoplanctónica). Mientras que, el caudal de descarga del río Kruta al mar fue 3.3 veces menor que el Karataska, estimándose en  $455.1 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , exportando al mar  $1.01 \text{ kgNID m}^{-3}\text{s}^{-1}$ ,  $7.8 \text{ KgSiO}_4^{-4} \text{ m}^{-3}\text{s}^{-1}$ ,  $3.6 \text{ KgChla m}^{-3}\text{s}^{-1}$ . Existe una fuerte correlación ( $R^2 = 0.99$ ) entre los caudales de descargas y la concentración de materiales exportados. En la desembocadura no se detectó fosfato, por lo cual no fue posible hacer estimaciones.

La exportación de materiales a través de las bocas estuaricas, es un fenómeno que se estudió en la laguna de Los Micos, donde se observó que durante una tormenta tropical (dic, 2016), en un período de 48 h se exportó al mar aproximadamente  $8.5 \text{ g Chla m}^{-3}$ , el 20% de nitrógeno y 90% del fósforo (Carrasco et al. 2020).

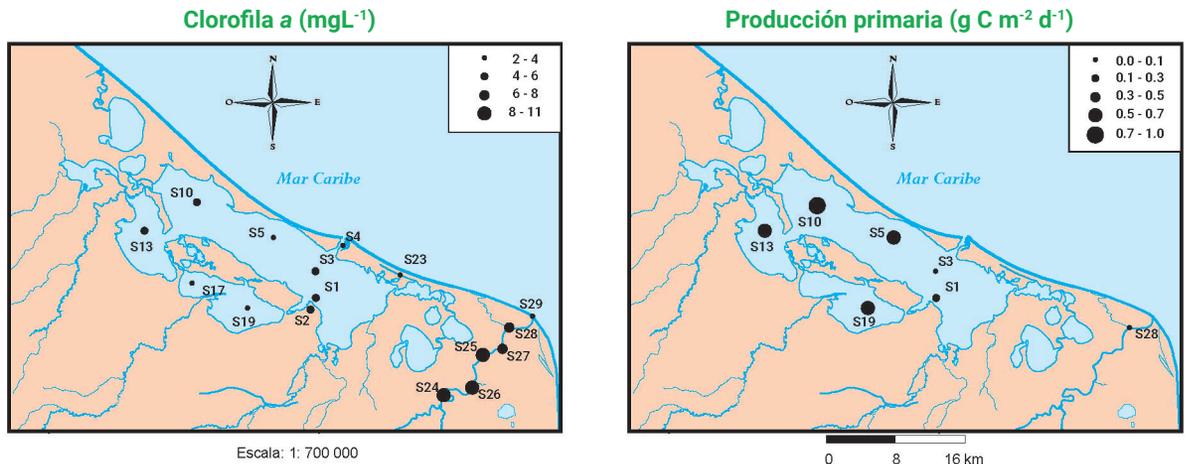
Uno de los aspectos claves de los sistemas estuaricos, es el continuo ecológico (cuena - río - estuario -zona costera - mar abierto), a través del cual, los flujos de energía desde los sistemas terrestres (ej. nutrientes inorgánicos y materia orgánica) subsidian a las cadenas alimenticias marinas, lo que se finalmente se convierte en altos niveles de PP y en rendimientos en pesqueros (Deegan et al. 1985).

## 5.4 Biomasa fotosintética, producción primaria: efectos sobre la producción secundaria con enfoque en peces

En los sistemas estuaricos, existe una fuerte relación entre los rendimientos pesqueros y los niveles de PP (Nixon 1998). Los sistemas estuaricos tropicales son reconocidos por sus altos niveles de PP como uno de los ecosistemas más productivos del mundo (Cloren et al. 2014). Al ubicarse los estuarios en zonas de interfase entre la tierra y el océano, reciben e intercambian grandes cantidades de materiales asociados a las cuencas hidrográficas y el mar adyacente (Lill et al. 2013).

En el sistema Karataska-Kruta, la biomasa de microalgas o MO (estimada como clorofila *a*) y la PP (estimada como gramos de carbono por metro cuadrado por día), mostraron valores bajos. En las lagunas, el valor medio de clorofila *a* para 16 sitios muestreados, fue de  $4.1 \pm 1$  mg clorofila *a*  $m^{-3}$ , mientras que, la PP mostró un valor medio de  $0.5 \pm 0.1$  g C  $m^{-2} d^{-1}$ . En el río Kruta, el valor promedio para 6 sitios muestreados fue de  $7.2 \pm 2.8$  mg clorofila *a*  $m^{-3}$ , y un valor de PP de  $0.1$  g C  $m^{-2} d^{-1}$  (un sitio muestreado) (Fig. 5, Tabla 2).

Para estuarios tropicales, existen vacíos de información respecto a los valores de PP, debido, a que la mayoría de estudios se han realizado en estuarios templados. Sin embargo, estudios en el Golfo de Nicoya, Costa Rica y en las lagunas de Los Micos y de Alvarado en el Caribe de Honduras, sugieren que los valores de PP para estuarios en Centroamérica podrían oscilar entre 1 y 4.3 g C  $m^{-2} d^{-1}$  (Soría-Piriz et al. 2017, Carrasco et al. 2020, Carrasco et al. en construcción). Excepto posterior a tormentas tropicales, huracanes y durante eventos hipertróficos catastróficos (mortalidad generalizada de la biota acuática) cuando la PP puede bajar a cero e incluso alcanzar valores negativos. Los bajos valores registrados de clorofila *a* y de PP en el sistema Karataska-Kruta, se atribuyen a que gran parte de fitoplancton (clorofila *a*) fue lavado o exportado al mar junto con el exceso de agua recibido durante las tormentas Eta e Iota, tal y como se explica en la sección anterior.



**Figura 5.** Variación espacial de la concentración de clorofila *a* y de la producción primaria del fitoplancton en 6 y 16 sitios de muestreo respectivamente, a 25 centímetros de profundidad en el sistema Karataska-Kruta, durante el mes de diciembre 2020.

Carrasco et al. (2020), observaron en la laguna de Los Micos (Caribe de Honduras) que después del lavado o exportación de una fracción significativa de clorofila *a* y nutrientes, la PP bajo considerablemente. Los autores también observaron que en un período menor a 30 días la laguna había



recuperado los niveles de materiales y de PP que tenía previo a la tormenta. Por lo tanto, los bajos valores de clorofila *a* y PP observados en el sistema Karataska-Kruta, puede ser una condición puntual en respuesta a las tormentas Eta e Iota, por lo que aún no deben considerarse valores representativos de la época lluviosa, pero sí como un efecto importante de las tormentas extremas en los ambientes estuaricos.

Los productores primarios (ej. fitoplancton), generan MO a partir de compuestos inorgánicos (fijación de CO<sub>2</sub> atmosférico) gracias a la energía del sol (fotosíntesis). Este es un factor importante a estudiar para poder comprender la ecología del sistema en estudio. Tiene que ver con las cadenas alimenticias acuáticas (flujos de energía en el ecosistema), por tanto, con la producción de peces, cuyo estudio además requiere, conocer la densidad, biomasa, crecimiento, reproducción, supervivencia y tiempo de desarrollo de las especies de peces (Huryn y Wallace 2000).

Los bajos de niveles de biomasa fitoplanctónica, es decir de producción de MO, así como, los bajos niveles de OD y de PH (ácido), sugieren que existe una importante cantidad de MO en el sistema que no es de origen fitoplanctónico o producida *in situ*. También, que esta MO está siendo degradada en la columna de agua y en los sedimentos por procesos bacterianos, que demandan una significativa cantidad de oxígeno del medio acuático, y que en el proceso (respiración bacteriana) producen una significativa cantidad de CO<sub>2</sub> que acidifica el medio.

Debido a que los valores de MO producida *in situ* fueron bajos, potencialmente las cadenas alimenticias acuáticas estén siendo subsidiadas por otras fuentes de carbono (materia orgánica), como pueden ser detritus de algas bénticas, macrófitos enraizados en el fondo de las lagunas, manglares y de humedales adyacentes. Por tanto, mantener la calidad del agua (ej. transparencia del agua para la que luz solar continúe llegando al fondo), de los manglares y de los humedales, es una prioridad. Debido a que el aporte de MO desde estas fuentes, es clave para sostener las cadenas alimenticias acuáticas y finalmente sostener las pesquerías, tanto en el sistema Karataska-Kruta como en la zona costera y marina (ej. Cayos Miskitos), influenciada por las descargas y exportación de carbono orgánico y otros nutrientes desde estos sistemas.

Existe una fuerte relación entre las áreas de manglar y pastos marinos, lo cual plantea el valor económico que representan los hábitats lagunares-estuaricos (Yáñez-Arancibia y Aguirre León 1988). Un claro ejemplo a nivel local (Honduras) del valor ecosistémico, son la pesca artesanal y de mediana escala que se realiza en las lagunas costeras de la bahía de Tela (Honduras), que representan un ingreso anual superior a los 2 millones de dólares, que se distribuyen en una cadena de valor que incluye al menos 400 familias de pescadores locales (Pascal et al. 2013).

El servicio ecosistémico de las pesquerías relacionadas a los ambientes estuaricos también se ha estudiado en otras zonas, por ejemplo, Deegan et al. (1985) concluyen que las capturas pesqueras del Golfo de México se correlacionan con áreas estuaricas, descargas de ríos, fisiografía y vegetación litoral. Los autores, resaltan la relación de los recursos pesqueros con los sistemas estuaricos (Laguna de Términos, México), puesto que estos sistemas son fundamentales en el sostenimiento de alguna etapa del ciclo de vida de más del 90% de las especies marinas que tienen valor comercial. Carrasco (2014), reporta 89 especies de peces para el sistema Karataska-Kruta, y que, el 86.4% (76 especies) son de origen marino y al menos el 56% de las especies son de interés comercial y para el consumo local.

Las pesquerías en el sistema Karataska Kruta, y potencialmente las realizadas en zonas costeras y marinas adyacentes, dependen del estado de conservación de estos sistemas estuaricos y de sus funciones ecológicas. Por ejemplo, de los usos secuenciales que los peces hacen de los diferentes hábitats estuaricos (manglares, zonas de pastos, aguas abiertas, zonas palustres, desembocaduras), están acoplados a sus estrategias biológicas de su ciclo de vida (juvenil, adulto, adulto en reproducción) (Lara-Domínguez y Yáñez-Arancibia 1999).

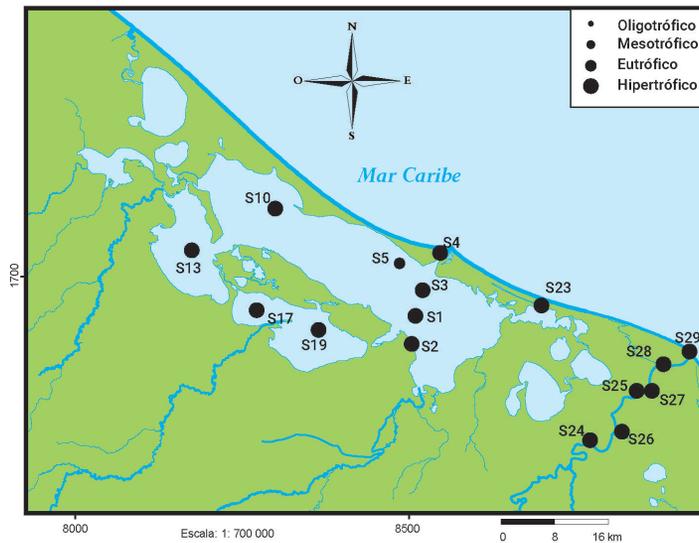
Lo anterior, muestra la relevancia de comprender el contexto ecológico del sistema Karataska-Kruta como parte del eslabón de la cadena que lleva a la gestión efectiva de las pesquerías basadas en los ecosistemas. Para ello es necesario, el conocimiento científico, el expertis y la gobernanza local. Lo que permitirá valorar otros servicios ecosistémicos como la calidad del agua, mitigación de los efectos del cambio climático, por ejemplo, efectos de huracanes, fijación de gases de efecto de invernadero (Fijación de CO<sub>2</sub>, carbono azul) y, gestionar ecosistemas adyacentes, como humedales y los sistemas socio-productivos que se realizan en la zona de influencia (cuenca), debido, a que los efectos de la deforestación, uso excesivo de agroquímicos o cualquier daño ambiental que se realice en la cuenca, tendrá impacto en los ambientes marginales como lo son los estuarios y sobre sus recursos.

### 5.5 Índice de estado trófico multivariado de la calidad del agua

El Índice de Estado Trófico Multivariado (TRIX) (Vollenweider et al. 1998), está diseñado para medir la calidad del agua en ambientes costeros y marinos, integra la concentración de nutrientes inorgánicos (NID y PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>), los niveles de oxígeno disuelto y la concentración de clorofila a. Los resultados muestran que, en promedio la calidad del agua en el sistema Karataska-Kruta es mala o hipertrófica, es decir, tiene el nivel trófico más alto (Fig. 6, Tabla 2).

El TRIX tiene un valor máximo de 10. Los valores más altos de contaminación se detectaron a lo largo del río Kruta, con un valor promedio de  $8.07 \pm 0.37$  (Hipertrófico), y un valor máximo de 8.53 en la S26. Mientras en las lagunas el valor medio fue de  $7.02 \pm 0.57$  (Hipertrófico), con valore minino para todo el sistema de 5.83 en la S5 (Eutrófico) (Fig. 6, Tabla 2). El estatus trófico normal en las lagunas costeras tropicales es el eutrófico o con una tendencia hacia ese estado, es decir, sus aguas son naturalmente ricas en nutrientes, lo que las hace sistemas frágiles y sensibles a incrementar su estado trófico en respuesta a pequeños incrementos en la concentración de nutrientes (Contreras et al. 1996).

## TRIX



**Figura 6.** Variación espacial del Índice Multivariado del Estado Trófico del agua (TRIX) en 16 sitios de muestreo en el sistema Karataska-Kruta, durante el mes de diciembre 2020. El estado trófico se ordena en los siguientes rangos: oligotrófico de 0 - 4, mesotrófico de 4 - 5, eutrófico de 5 - 6 e hipertrofico de 6-10.

La fertilidad de los suelos de las sabanas en la Moskitia suele ser baja, sobre todo por las altas concentraciones de  $\text{CaCO}_3$  que inmovilizan el fósforo y el hierro, nutrientes requeridos para el crecimiento del fitoplancton (microalgas) y de las plantas en general. No así, en los humedales, sobre todo por las vastas extensiones existentes en la zona de influencia, que pueden producir, sumar y adicionar una importante biomasa de MO a los sistemas acuáticos. Por lo tanto, el nivel trófico actual, se puede deber a la importación de nutrientes y MO desde la cuenca (zonas altas, sabanas y humedales). Sin embargo, se requiere de realizar replicas sistemáticas para comprender cuales son los mecanismos que controlan el estado trófico del sistema Karataska-Kruta.

Los altos valores de la proporción NID: PID ( $> 16$ ), sugieren que el sistema presenta limitaciones de fósforo. Sin embargo, observamos que el estatus trófico del agua es muy alto. Lo que sugiere que el sistema puede ser muy sensible a incrementos en la concentración de fósforo. Estos incrementos se pueden dar principalmente por el uso de fertilizantes en áreas adyacentes a los ríos y lagunas. Un exceso de fósforo, podría resultar en altos niveles de PP (producción de MO) no solo del fitoplancton, sino también, de macrófitos enraizados en el fondo de las lagunas, de manglares y humedales, y con ello una alta DBO, que podría tener consecuencias catastróficas para las comunidades acuáticas como, por ejemplo, mortandad de peces.

Los eventos de mortandad de peces son comunes en varios sistemas estuaricos a lo largo de la costa Caribe de Honduras (ej. laguna de Brus, Santa Rosa de Aguan, Guaimoreto, Laguna de Los Micos). Estos sistemas están ubicados en las zonas marginales de cuencas donde la agroindustria se ha expandido por vastas áreas o ha habido desarrollo urbano desordenado.

## 5.6 Bacteriología

Durante el mes de noviembre de 2020 (época lluviosa), se recolectaron 21 muestras de agua en total, en las cuales se analizaron bacterias procedentes de material fecal, como ser Coliformes totales ( $n=14$ ) y *Enterococcus faecalis* ( $n=21$ ). Los sitios de muestreo seleccionados están ampliamente distribuidos, con el objetivo de tener representatividad espacial y temporal de la contaminación fecal en el sistema (Fig. 7). Las pruebas de Coliformes totales proporcionaron información cualitativa, marcando resultados positivos de contaminación, a partir de 10 unidades formadoras de colonias (UFC) /100 ml de agua. Las pruebas de *E. faecalis*, proporcionaron información semicuantitativa, definida en siete rangos que van desde, Baja contaminación ( $<10$  UFC/100 ml) a contaminación Muy Alta ( $> 10^8$  UFC/100 ml) (Tabla 3).

**Tabla 3.** Determinación de poblaciones de *E. faecalis* y grados de contaminación. UFC: unidades formadoras de colonias

Horas	UFC/ml	Severidad de Contaminación
6	$>10^8$	Muy alta
8	$10^6-10^7$	Alta
10	$10^5-10^6$	Alta moderada
12	$10^4-10^5$	Moderada Alta
16	$10^3-10^4$	Moderada baja
18	$10^2-10^3$	Baja elevada
24	$<10$	Baja

Gran parte de la problemática ambiental del sistema Karataska-Kruta, concerniente a la calidad del agua está relacionada al vertimiento de aguas cloacales directamente o sin previo tratamiento a las lagunas y ríos. El 100% de los sitios muestreados dieron resultados positivos para Coliformes totales y *E. faecalis* (Fig. 7).

Los sitios que mostraron mayores niveles de contaminación fueron los ubicados próximos a las comunidades más grandes: Puerto Lempira, Kaukira ( $> 10^8$  UFC/100 ml) y Kuri y Kruta ( $10^6 - 10^7$  UFC/100 ml), mientras que, los sitios que mostraron Baja contaminación se ubicaron en la laguna de Tansing, siendo estos la comunidad de Mistruk y un sitio en el centro de esta laguna. En el resto de los sitios los resultados obtenidos estuvieron entre los rangos de contaminación de Moderada, Moderada-baja y Moderada-alta.

Las bacterias del grupo de los Coliformes son sensibles a cambios ambientales y normalmente duran poco tiempo en el ambiente, los resultados positivos para Coliformes totales en todos los sitios muestreados, indica que existen fuentes de contaminación reciente y potencialmente continúa en todo el sistema Karataska-Kruta. Lo anterior es evidente, sobre todo, después de los cambios ambientales extremos causados por el azote de las tormentas tropicales Eta e Iota y al menos dos frentes fríos en aproximadamente 30 días. Las lluvias extremas, provocaron escorrentía lo que puede haber incrementado la concentración de Coliformes totales y *E. faecalis* en el agua. Por otra parte, también, ha habido algún nivel de dilución y recambio de la masa de agua del sistema lagunar sobre todo en río Kruta, el cual es sometido al ciclo mareal diario.



Los resultados *E. faecalis* muestran que los niveles más altos de contaminación ocurren en zonas cercanas a las comunidades (Fig. 7). Lo que sugiere que las comunidades son fuentes puntuales de contaminación fecal al sistema Karataska-Kruta, esto debido al vertido de aguas cloacales de forma directa a los cuerpos de agua (Imagen 1).



**Imagen 1.** Comunidad de Kaukira. La flecha roja señala una letrina que vierte directamente al cuerpo de agua.

El pescado fresco es un producto altamente perecedero, por lo que en los procesos de captura y comercialización debe ser monitoreada la inocuidad y asegurar que es apto para el consumo humano. Marín et al. (2008), estudiaron la carga bacteriana en la cadena de valor de dos especies de pescado. Encontrando Coliformes totales en piel, vientre y carne, la piel fue la zona con mayor NMP/g (número más probable por gramo de muestra) de bacterias por gramo de muestra, seguida del vientre, con ambos resultados mayores a 1000 NMP/g y por último la carne que se mantuvo entre 3 y 499 NMP/g.

La contaminación por material fecal en los ecosistemas acuáticos es un problema sanitario (EPA 1986, OMS 2003, SEMARNAT 2012). La contaminación detectada en el sistema Karataska-Kruta, podría poner en riesgo la salud de los usuarios de los recursos del sistema, sean estos, agua para uso recreativo, y/o consumo o consumo de productos pesqueros.

Los niveles de contaminación detectada en el sistema Karataska-Kruta, limita las potencialidades económicas en el sector pesquero, sobre todo la venta de pescado fresco. La detección de Coliformes totales y los altos valores de *E. faecalis* (> 40 UFC/100 ml, OMS) en productos de consumo humano, en este caso pescado, haría evidente la falta de controles higiénicos, en la cadena de valor, principalmente en los eslabones asociados al procesamiento, transporte, comercialización y consumo.

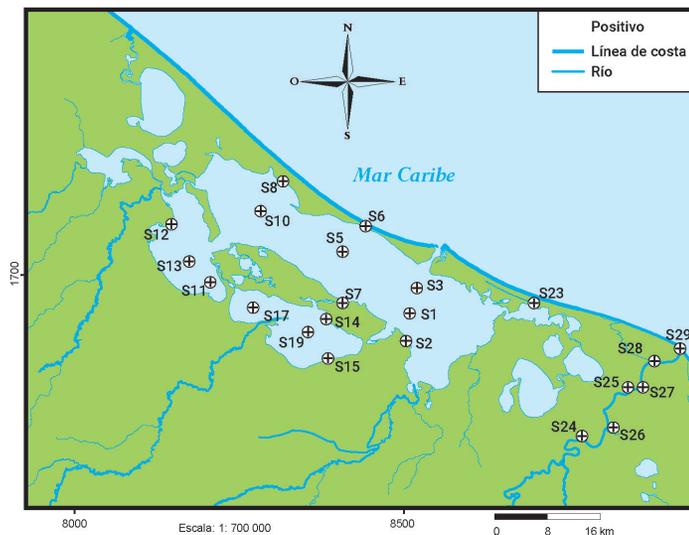
La gestión de las pesquerías con enfoque ecosistémico puede ser una forma exitosa de beneficiar a las comunidades pesqueras en el sistema Karataska-Kruta. Este enfoque de la pesca basado en los ecosistemas, involucra el manejo de múltiples objetivos para la salud del ecosistema, vale resaltar la interacción de las variables en los ecosistemas. Por ejemplo, la contaminación por nutrientes inorgánicos (Nitratos, Nitritos y Amonio) tiene una correlación directa creciente con la abundancia de enterococos (Cuitiva 2011). El ejemplo anterior, muestra las estrechas relaciones entre distintas variables y la fragilidad de los ecosistemas acuáticos. Por lo que, garantizar la calidad integrada del agua, garantiza a largo plazo la sostenibilidad de las pesquerías, la salud y las economías de las comunidades humanas.

El desarrollo de la actividad pesquera con enfoque ecosistémico contribuye a mantener servicios ecosistémicos distintos a la pesca, pero de los cuales depende la sostenibilidad de la pesca en sí. Este tipo de enfoque, puede permitir la diversificación económica (Ej. Calidad de agua para el ecoturismo), restar presión a los recursos pesqueros, continuar haciendo uso de medios tradicionales de transporte (vías fluviales libres de plantas acuáticas), fijación y captura de carbono azul, entre otros servicios ecosistémicos que contribuyen a regular el clima y mitigar los efectos de cambio climático y la vulnerabilidad de las comunidades locales.

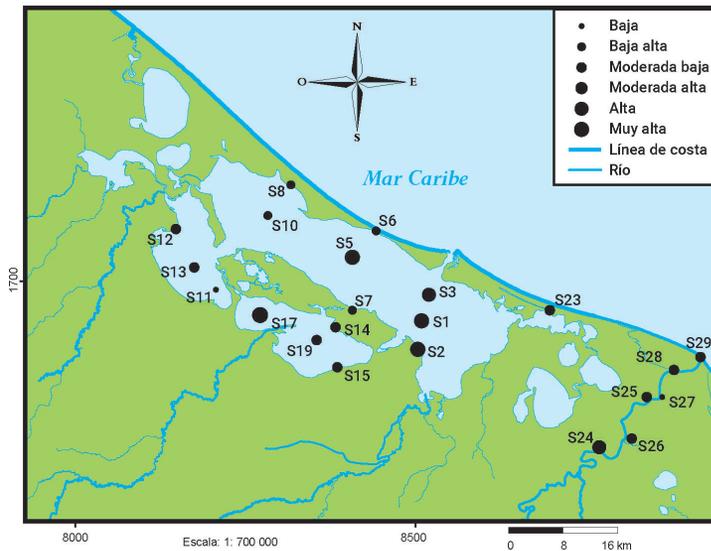
Para que las pesquerías sean una opción viable de comercialización en el tiempo, y aún más importante, saludables para el consumo local. Es necesario, bajar la carga de bacterias de origen fecal en el sistema Karataska - Kruta. Ello requiere de la estrecha articulación entre las autoridades locales, nacionales, otros cooperantes en la zona de la Moskitia y socios de PRAWANKA.

Debido a lo extenso del sistema Karataska - Kruta y la dispersión de las comunidades, se puede priorizar e iniciar a trabajar en las comunidades que más vertimiento de aguas cloacales realizan a las lagunas y ríos, por ejemplo, Puerto Lempira, Kaukira, Kruta y Kuri. Las actuaciones, desde la planificación a la implementación deben ser social, política, ambiental y económicamente sostenibles en el largo plazo, por ejemplo, Puerto Lempira y Kaukira pueden estar requiriendo de planes de desarrollo urbano y nuevos planes de arbitrio.

### Coliformes totales (UFC/100 ml)



## Enterococcus faecalis (UFC/100 ml)



**Figura 7.** Variación espacial de contaminación por Coliformes Totales y *Enterococcus faecalis* en 14 y 21 sitios de muestreo respectivamente. Las muestras de agua se recolectaron a 25 centímetros de profundidad en el sistema Karataska-Kruta, durante el mes de diciembre 2020.

Aparte de la gestión de las aguas residuales, se debe considerar en el corto plazo la gestión de desechos sólidos, lo que consideramos un serio problema, como ser, distintos tipos de plásticos y poliestireno. En la actualidad, gran parte de estos desechos son vertidos directamente a los cuerpos de agua. Es sabido que los plásticos y microplásticos son un problema ambiental que afecta directamente a los peces y otras especies de fauna, la salud de los humanos, servicios ecosistémicos (Ej. uso recreativo) y la salud de los ecosistemas acuáticos en general.

Esta primera etapa de estudio diagnóstico (noviembre, 2020), proporciona información de contaminación fecal durante la época lluviosa, por lo que no se debe extrapolar como base de la contaminación del sistema. Los resultados se deben interpretar como los niveles de contaminación del sistema durante la época lluviosa 2020. Comprender el estatus de contaminación del sistema, requiere como mínimo replicar el estudio durante la época seca (mayo 2021). Siendo lo recomendable, establecer un programa de monitoreo sistemático y continuo al menos durante las épocas lluviosa y seca que permitan comprender el comportamiento espacial y temporal del sistema Karataska - Kruta.

La actividad agrícola, la producción interna del sistema y el aporte de heces fecales, constituye una fuente de nutrientes al sistema Karataska - Kruta, por lo que es recomendable realizar el monitoreo bacteriológico conjuntamente al monitoreo de nutrientes y demás variables biogeoquímicas medidas en esta primera campaña limnológica.

Este tipo de estudio es pionero en la zona, la información generada brinda ventajas comparativas al resto de las zonas costeras del país, ya que permite la toma de decisiones de desarrollo con robustez científica. El conocimiento generado debe ser utilizado como herramienta de planificación, incidencia política, alianzas estratégicas y de gestión de nuevos recursos en pro del desarrollo sostenible de la zona.

## VI. Glosario de términos

### **DBO**

Es la Demanda Bioquímica de Oxígeno que tiene un agua. Se utiliza para medir el grado de contaminación.

### **Disco Secchi**

Es un instrumento de medición de la penetración luminosa, y por ello de la turbidez, en masas de agua como ríos, lagos y mares.

### **Estuario**

Es un cuerpo de agua costero semiencerrado que se forma cuando las aguas dulces provenientes de los ríos y quebradas fluyen hacia el océano hasta desembocar en el mar, mezclándose con el agua salada.

### **Fluvial**

Se utiliza en la geografía y en ciencias de la Tierra para referirse a los procesos y flujos asociados a los ríos, arroyos, a los depósitos y relieves creados por ellos.

### **HACH**

Instrumento analítico y reactivo para el análisis de agua.

### ***In situ***

Es una expresión latina que significa en el sitio o en el lugar.

### **MO**

Materia orgánica.

### **ODS**

Objetivos de desarrollo sostenible.

### **PH**

Es una variable química que nos permite medir el grado de acidez de una sustancia.

### **Productividad primaria (PP)**

Es el punto de partida de la circulación de energía y nutrientes a través de las cadenas tróficas.

### **Silicato**

Son una clase de minerales compuestos principalmente de oxígeno y silicio; son los minerales más comunes en la Tierra.

### **UPS**

Unidades prácticas de salinidad.



## VII. Referencias

- Bate, G. C., Whitfield, A. K., Adams, J. B., Huizinga, P., & Wooldridge, T. H. (2002). The importance of the river-estuary interface (REI) zone in estuaries. *Water SA*, 28(3), 271-280.
- Bourquard, C., & Quignard, J. P. (1984). Le complexe de pêche de Salses Leucate: Bordigue et barrages de poissons. *La Pêche Marit*, 1272, 3-11.
- Burke, L., & Sugg, Z. (2006). Modelamiento Hidrológico de la Descarga de las Cuencas Hidrológicas en el Arrecife Mesoamericano. *World Resources Institute*.
- Carrasco (2014) Monitoreo del sistema lagunar Karataska: Con énfasis de ecología de peces. Tegucigalpa. 19 pp.
- Carrasco & Caviedes (2015) Ecología del sistema lagunar Chachaguala. Tegucigalpa 25 pp.
- Carrasco, J. C., Corzo, A., & Papaspyrou, S. (2020). Seasonal cycles of phytoplankton biomass and primary production in a tropical temporarily open-closed estuarine lagoon– Effect of an extreme climatic event. *Science of The Total Environment*, 723, 138014.
- Carrasco-Navas, J. C; Flores, R. (2008). Inventario de Humedales de la República de Honduras. Ed. SERNA, Tegucigalpa. 153 pp.
- Carrasco, J. C., González, J. B., Gómez-Enri, J., & Sánchez, V. C. (2019). Contribución antropogénica a cambios geomorfológicos en una laguna costera tropical. *Cuaternario y Geomorfología*, 33(1-2), 13-26.
- Carrasco, J. C., Papaspyrou, S & Corzo, A. (en preparación). Environmental factors shape the distribution and structure of fish communities in coastal ecosystems of the Caribbean of Central America.
- Carrasco, J. C., Papaspyrou, S., Haro, S & Corzo, A. (en preparación). Coastal pollution in the Mesoamerican Barrier Reef System Region.
- Cloern, J. E. (2001). Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem. *Marine ecology progress series*, 210, 223-253.
- Cloern J. E., Foster, Q., Kleckner E. (2014) Phytoplankton primary production in the world's Estuarine coastal ecosystems. *Biosciences* 11, 2477-2501.
- Contreras, F., Castañeda, O., Torres-Alvarado, R., & Gutiérrez, F. (1996). Nutrientes en 39 lagunas costeras mexicanas. *Revista de Biología Tropical*, 417-425.
- Cowan, J. H., Yáñez-Arancibia, A., Sánchez-Gil, P., & Deegan, L. A. (2013). Estuarine nekton. *Estuarine ecology*, 327-355.
- CTN-CALAGUA-CAPRE (1996) Norma técnica nacional para la calidad del agua potable–Normas técnicas de las descargas de agua residuales a cuerpos receptores y alcantarillado sanitario. Acuerdo No. 058 y 084, Tegucigalpa, M.D.C., 31 de Julio de 1995.
- Cuitiva, D. E. R. (2012). Distribución de Enterococos como indicadores de contaminación fecal en aguas de la Bahía de Tumaco, Pacífico colombiano. *Revista cubana de Higiene y epidemiología*, 50(2), 136-148.
- Deegan, L. A. (2002). Lessons learned: the effects of nutrient enrichment on the support of nekton by seagrass and salt marsh ecosystems. *Estuaries*, 25(4), 727-742.
- Deegan, L. A., & Thompson, B. A. (1985). The ecology of fish communities in the Mississippi River deltaic plain. *Fish community ecology in estuaries and coastal lagoons: towards an ecosystem integration*, 35-56.

- FAO. 2011. Fisheries Management 4. Marine protected areas and fisheries. Roma: FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries No. 4. Suppl. 4.
- Gaarder, T., Gran, H., 1927. Investigation on the production of plankton in the Oslo-Fjord. Rapp. P. v. R. eun. Cons. Int. Explor. Mer. 42, 1-48.
- Huryn, A. D., & Wallace, J. B. (2000). Life history and production of stream insects. Annual review of entomology, 45(1), 83-110.
- Kapetsky, J. M., & Lasserre, G. (Eds.). (1984). *Management of coastal lagoon fisheries* (No. 61). Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Kemp, W. M., Batleson, R., Bergstrom, P., Carter, V., Gallegos, C. L., Hunley, W., & Murray, L. (2004). Habitat requirements for submerged aquatic vegetation in Chesapeake Bay: Water quality, light regime, and physical-chemical factors. *Estuaries*, 27(3), 363-377.
- Kjerfve, B., Seeliger, U., & De Lacerda, L. D. (2001). A summary of natural and human-induced variables in coastal marine ecosystems of Latin America. In *Coastal marine ecosystems of Latin America* (pp. 341-353). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Lara-Domínguez, A. L. & Yáñez-Arancibia, A. (1999). Productividad secundaria, utilización del hábitat y estructura trófica, p. 153-166. In: A. Yáñez-Arancibia y A. L. Lara-Domínguez (eds.). *Ecosistemas de Manglar en América Tropical*. Instituto de Ecología A.C. México, UICN/ORMA, Costa Rica, NOAA/NMFS Silver Spring MD USA. 380 pp.
- Lilia, Á. D. N. S., Torres, S. M. E., Marcela, C. L., Cárdenas, X. M. C., & Aguirre, W. L. R. (2019). Diagnóstico de la calidad bacteriológica del agua del Humedal Córdoba, Bogotá. *Nova*, 17(31), 87-95.
- Lill, A. W. T., Schallenberg, M., Lal, A., Savage, C., & Closs, G. P. (2013). Isolation and connectivity: Relationships between periodic connection to the ocean and environmental variables in intermittently closed estuaries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 128, 76-83.
- Longhurst A, Pauly D, editors. *Ecology of Tropical Oceans*. San Diego: Academic Press; 1987. 407 pp.
- Marín, C., Fonseca, C., Arias, S., Villegas, I., García, A., & Ishihara, H. (2009). Carga bacteriana de los peces *Cynoscion squamipinnis* (Perciformes: Scianidae) y *Lutjanus guttatus* (Perciformes: Lutjanidae) en la cadena de comercialización, Costa Rica. *Revista de biología tropical*, 57(1-2), 45-52.
- Mumby, P. J. (1999). Bleaching and hurricane disturbances to populations of coral recruits in Belize. *Marine Ecology Progress Series*, 190, 27-35.
- Nixon, S. W. (1988). Physical energy inputs and the comparative ecology of lake and marine ecosystems. *Limnology and Oceanography*, 33(4part2), 1005-1025.
- OMS-WHO (2003) Microbial aspects of beach sand quality. In: *Guidelines for safe recreational water environments. Volume 1: coastal and fresh waters*. Geneva: WHO; 2003.
- Pascal, J, Laurent Jean Marie, Saibe A, Burgos E, Carrasco J, Caviedes V, Alegría A. (2013): Valoración económica de los servicios ecosistémicos del parque Nacional Jeannette Kawas (PNU-MA-SERNA-DiBio). Tegucigalpa. 150 pp.
- Pauly, D., & Yáñez-Arancibia, A. (1994). Fisheries in coastal lagoons. *Coastal lagoon processes*, 377-399.
- Pineda-Portillo, N. (1997). Geografía de Honduras. Ed. Guaymuras, Tegucigalpa. 334 pp.
- Prescott, L., J. Harley & D. Klein. 2002. *Microbiology*. Mc Graw-Hill, Nueva York, EEUU.



- Redfield, A. C. (1963). The influence of organisms on the composition of seawater. *The sea*, 2, 26-77.
- Ritchie, R., 2008. Universal chlorophyll equations for estimating chlorophylls a, b, c, and d and total chlorophylls in natural assemblages of photosynthetic organisms using acetone, methanol, or ethanol solvents. *Photosynthetica* 46, 115-126.
- Ryan, K. J., & Ray, C. G. (2004). *Medical microbiology*. McGraw Hill, 4, 370. SEMARNAT (2012) Lineamientos para determinar la calidad del agua de mar con fines recreativos.
- Ryter, J., 1956. The measurement of primary production. *Limnol. Oceanogr.* 72-84.
- Soria-Píriz, S., García-Robledo, E., Papaspyrou, S., Aguilar, V., Seguro, I., Acuña, J., Morales, Á., Corzo, A., 2017. Size fractionated phytoplankton biomass and net metabolism along a tropical estuarine gradient. *Limnol. Oceanogr.* 62, S309-S326.
- Sosa-Avalos, R., Gaxiola-Castro, G., Olivos-Ortiz, A., Silva-Iñiguez, L., 2013. Nutrientes Inorgánicos y producción del fitoplancton en una laguna costera subtropical de México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 48, 143-154.
- United States Environmental Protection Agency (1986) Ambient water quality criteria for bacteria 1986. EPA 440-5-84-002, Washington, DC. USA. 10 pp.
- Vega-Cendejas, M. E., Hernández, M., & Arreguin-Sánchez, F. (1994). Trophic interrelations in a beach seine fishery from the northwestern coast of the Yucatan peninsula, Mexico. *Journal of Fish Biology*, 44(4), 647-659.
- Vollenweider, R. A., Giovanardi, F., Montanari, G., & Rinaldi, A. (1998). Characterization of the trophic conditions of marine coastal waters with special reference to the NW Adriatic Sea: proposal for a trophic scale, turbidity and generalized water quality index. *Environmetrics: The official journal of the International Environmetrics Society*, 9(3), 329-357.
- Voss, J. D., & Richardson, L. L. (2006). Nutrient enrichment enhances black band disease progression in corals. *Coral Reefs*, 25(4), 569-576.
- Yáñez-Arancibia A. (1985). *Fish Community Ecology in Estuaries and Coastal Lagoons: Towards an Ecosystem Integration*. UNAM Press, México DF.
- Yáñez-Arancibia, A., A.L. Lara-Domínguez, A. Aguirre León, S. Díaz-Ruiz, F. Amezcua Linares, P. Chavance y D. Flores, (1985). *Ecología de las poblaciones de peces dominantes en estuarios tropicales. Factores ambientales regulando las estrategias biológicas y poblaciones*, Chap. 15: 311-366.
- Yáñez-Arancibia A, Lara-Domínguez AL, Sánchez-Gil P, Day JW. In: Withers K, Nipper M, editors. *Estuary-sea Ecological Interactions: A Theoretical Framework for the Management of Coastal Environment*. Special Publication No. 1, Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies, Environmental Analysis of the Gulf of Mexico, Texas A&M University Corpus Christi; 2007. p 271-301, 700 pp.



# PraWanka

Desarrollo Inclusivo Territorial



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Agencia Suiza para el Desarrollo  
y la Cooperación COSUDE



**HONDURAS**  
GOBIERNO DE LA REPÚBLICA



**Ayuda  
en Acción**



**actalliance**



9 789992 625941