

ПАС-КОРДОН К.Е. <sup>1</sup> (<https://orcid.org/0009-0009-6673-6751>)

ОКОЛОДКОВ Ю.Б. <sup>2\*</sup> (<https://orcid.org/0000-0003-3421-3429>)

КОБО-ГРАДИН Ф. <sup>3</sup> (<https://orcid.org/0000-0001-5684-266X>)

<sup>1</sup> Інститут гідробіологічних досліджень, Центр морських досліджень і аквакультури, Університет Сан-Карлос-де-Гватемала (IIN-CEMA-USAC), м. Гватемала, Гватемала

<sup>2</sup> Інститут морських наук і рибальства, Університет Веракрузана (ICIMAR-UV), Бока-дель-Ріо, Веракрус, Мексика

<sup>3</sup> Університет Сантьяго де Компостела (USC), Понтеведра, Галісія, Іспанія

\*yuriokolodkov@yahoo.com

## РІЧНИЙ ЦИКЛ ФІТОПЛАНКТОНУ В ТИХОМУ ОКЕАНІ БІЛЯ БЕРЕГІВ ГВАТЕМАЛИ З УРАХУВАННЯМ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

**Реферат.** Вивчено річний цикл фітопланктону в центральній частині Тихоокеанського прибережжя Гватемали у зв'язку з фізико-хімічними факторами. Через відсутність базової інформації про особливості розвитку фітопланктону в цьому секторі Тихого океану, зокрема про фактори, що викликають шкідливе «цвітіння» водоростей, протягом року (з січня по грудень 2021 р.) на трьох ділянках акваторії поблизу порту Кецаль проводився щомісячний моніторинг. Період спостережень охоплював три гідрометерологічні сезони. Проби відбирали біля буїв Тексако, Рекалада та Ентре Моррос на глибині 1,5 та 5,0 м. Ці ділянки акваторії зазнають антропогенного впливу через судноплавство та міську агломерацію поблизу. Було оцінено структуру фітопланктонного угруповання (видовий склад, чисельність, багатство та різноманітність), з акцентом на потенційно токсичні та нетоксичні шкідливі види. Всього за період спостережень виявлено 53 види діатомових з 26 родів і 13 порядків та 42 види динофлагелат з 14 родів і 6 порядків. Суттєвих відмінностей у видовому складі мікроводоростей залежно від глибини відбору проб та різними кварталами року не виявлено. Порівняння загальної

Надійшла до редакції 07.02.2024. Після доопрацювання 19.04.2024. Підписана до друку 10.05.2024.  
Опублікована 20.09.2024

Ц и т у в а н н я . Пас-Кордон К.Е., Окологков Ю.Б., Кобо-Градин Ф. 2024. Річний цикл фітопланктону в Тихому океані біля берегів Гватемали з урахуванням фізико-хімічних параметрів. *Альгологія*. 34(3): 205–226. <https://doi.org/10.15407/alg34.03.205>

This is open access article under the CC BY license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

чисельності клітин водоростей між трьома ділянками не показало істотних відмінностей. Отримані результати представляють нову інформацію про угруповання фітопланктону гватемальської частини Тихого океану, де щорічно реєструються явища «цвітіння» води з подальшими екологічними наслідками та отруєнням людей.

**Ключові слова:** діатомові водорості, динофлагеляти, Гватемала, шкідливе «цвітіння» водоростей, *Margalefidinium*, мікроводорості, Тихий океан, фітопланктон, *Pyrodinium*, токсичний фітопланктон

## Вступ

У Гватемалі було проведено небагато досліджень морського фітопланктону, причому динофлагеляти були найбільш вивченою таксономічною групою. Перші такі дослідження проведені у зв'язку з масовим отруєнням людей у 1987 р.: загалом 193 особи отруїлися через вживання молюсків, для 22 з них ці випадки стали летальними (Rosales-Loessener et al., 1989). Paz-Cordón (1997) вказує, що найбільшій рясності досягали *Dinophysis caudata* Kent, *Gonyaulax verior* Sournia та *Pyrodinium bahamense* L. Plate var. *compressum* (Böhm) Steidinger, Tester et F.J.R. Taylor. В огляді (Leiva, 2008), присвяченому ролі динофлагелят як агентів шкідливого «цвітіння» води (ШЦВ) в Тихому океані біля берегів Гватемали, вказано, що такі випадки зафіксовані у 1985, 1987, 1989, 1990, 1995, 2001 і 2005 рр. У грудні 2018 р. було зареєстровано масовий розвиток *P. bahamense* var. *compressum*; біотести на мишах показали наявність сакситоксину (García-Pérez et al., 2018). У Карибському прибережжі Гватемали в таких екосистемах, як коралові рифи та зарості підводної рослинності, автори виявили потенційно токсичні бентосні динофлагеляти родів *Gambierdiscus* R. Adachi et Y. Fukuyo, *Prorocentrum* Ehrenb., *Coolia* A. Meunier та *Ostreopsis* Johs. Schmidt. У квітні 2022 р. зафіксовано 34 випадки отруєння людей, у т. ч. чотири летальні (Paz-Cordón et al., 2024).

Основною метою цього дослідження було вивчення річного циклу фітопланктону (його видового складу, рясності та різноманітності) в центральній частині Тихоокеанського прибережжя Гватемали у зв'язку з фізико-хімічними факторами, з акцентом на потенційно токсичні види.

## Матеріали та методи

### Район досліджень

Досліджена частина Тихоокеанського прибережжя Гватемали розташована в муніципалітеті Сан-Хосе департаменту Ескуїнтла, де середня температура коливається між 22 °C і 34 °C, з найнижчими значеннями в період з жовтня по грудень (рис. 1). Тут досить короткий сухий сезон у березні–

квітні. Вологість повітря коливається в середньому від 56% влітку (з листопада до квітня) і 85% взимку (з травня до жовтня) зі швидкістю вітру від 8 до 20 км/год і середньорічною кількістю опадів 3319 мм (Arévalo-Martínez, 1945; Comisión..., 1997; Wells et al., 2019)

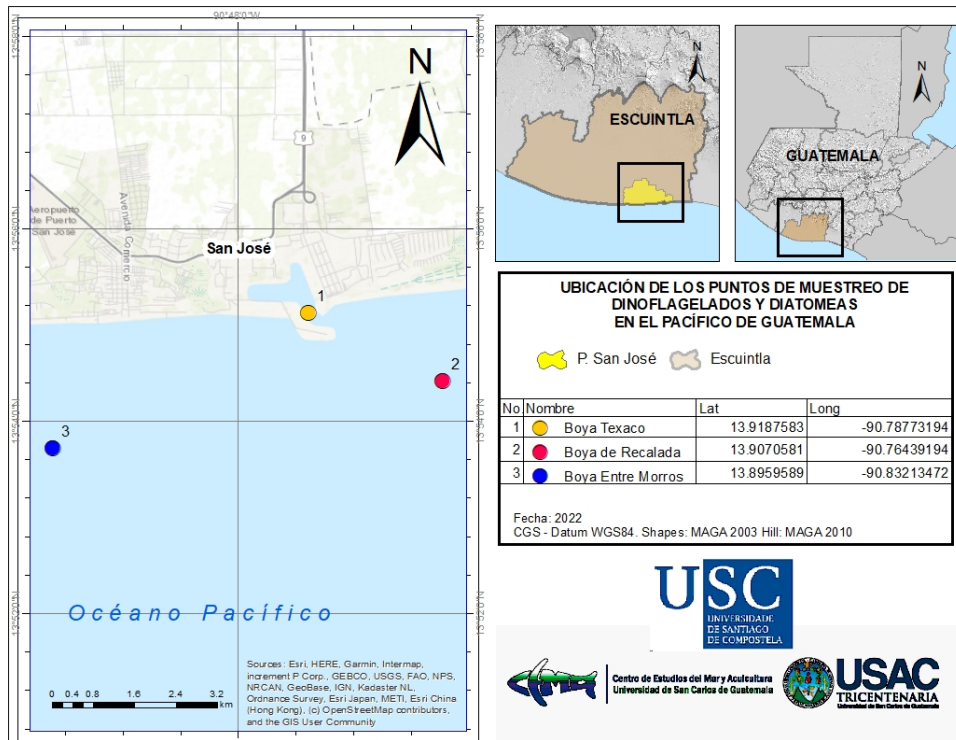


Рис. 1. Район досліджень та станції відбору проб (1 – буй Тексако; 2 – буй Рекалада; 3 – буй Ентре Моррос) в центральній частині гватемальського прибережжя Тихого океану в 2021 р.

Для дослідження було обрано три ділянки акваторії. Проби відбирали біля буїв Тексако (TEX):  $13^{\circ}53'43.292''\text{N}$  та  $90^{\circ}49'55.685''\text{W}$ , глибина ділянки 15–25 м; Рекалада (REC):  $13^{\circ}54'25.409''\text{N}$  та  $90^{\circ}45'51.811''\text{W}$ , глибина 25–30 м та Ентре Моррос (MOR):  $13^{\circ}55'7.53''\text{N}$  і  $90^{\circ}47'15.835''\text{W}$ , глибина 15–25 м.

Остання ділянка є найбільш критичним місцем для існування гідробіонтів, оскільки це місце входу торговельних суден і точка, в якій відбуваються найбільші коливання фізико-хімічних параметрів та перекидання донних осадів через високу перехідну активність і рух води.

#### Відбір проб

Відбір проб фітопланктону в центральній частині гватемальського сектору Тихого океану (Пуерто-Кетсаль) проводився щомісячно з січня до грудня

2021 р. У липні відбір не проводився через несприятливі погодні умови. На кожній із трьох ділянок проби відбирали на глибинах 1,5 і 5,0 м. Місця відбору проб були розташовані поблизу осадових шлейфів річок Ачігуате та Марія Лінда.

Прозорість води вимірювали за допомогою диска Секкі (діам. 20 см). Для визначення концентрації хлорофілу *a* (хл. *a*) і поживних речовин проби відбирали на одних і тих же місцях і глибинах. Загалом щомісяця відбирали шість зразків для аналізу хл. *a* за стандартними методами (АРНА, 2017), за допомогою пляшки Ван Дорна об'ємом 6,4 л між 8:00 ранку та 12:00 вечора. Зразки фіксували розчином Люголя на човні та зберігали в 500 мл скляних пляшках Kimax-Kimble. Крім того, у кожному місці відбору проб протягом 5 хв проводили горизонтальне буксирування сітки з розміром вічка 25 мкм.

#### *Визначення фізико-хімічних показників*

Температуру поверхні води (точність 0,1 °С), розчинений кисень (точність 0,01 мг/л) і відсоток насичення води киснем реєстрували на місці за допомогою оксиметра, показники рН (0,1 одиниці), електропровідності (точність 1 мкСм/см), солоності води та загальної кількості розчинених твердих речовин (РТР) (точність 0,1 мг/л) – за допомогою багатопараметричного зонда Hanna HI98194 (Hanna Instruments Inc., Woonsocket, RI, USA). Концентрацію хл. *a* (мг/л) визначали для оцінки біомаси фотосинтезуючого фітопланктону, оскільки вона є показником ступеня забруднення водних екосистем і важливим показником фізіологічного стану фітопланктону (Rivera et al., 2005). Зразки хл. *a* фільтрували за допомогою вакуумного насоса CPC, модель VPS4 (4 HP, 115/230 В, 50–60 Гц) і фільтрів зі скловолокна Whatman GF/F (діаметр пори 0,47 мкм). Фільтри мацерували товкачем, а для екстракції використовували 90%-ний ацетон. Екстракт зберігали в темряві протягом 24 год при охолодженні. Спектрофотометричні вимірювання ацетонових екстрактів проводили за допомогою спектрофотометра Nach DR6000 UV-Vis (УФ-видимий діапазон від 190 до 1100 нм, спектральна смуга пропускання 2 нм, спектральний контрольний промінь), VIS з кількома довжинами хвиль (445, 630, 665 і 750 нм). Амоній, загальний азот, загальний фосфор і сульфати (мг/л) проаналізовані методом абсорбції з використанням підготовлених розчинів і калібрувальних кривих на основі стандартних методів (АРНА, 2017).

#### *Ідентифікація та підрахунки*

Рясність клітин фітопланктону оцінювали за допомогою інвертованого мікроскопа Premier, модель PW-BDS200 (NingBo ProWay Optics and

Electronics Co., Ltd., Чжецзян, Китай), оснащеного об'єктивами 25x/0,40 та 40x/0,65. Підрахунок проводили в камерах з використанням седиментаційних циліндрів об'ємом 50 мл (2 год на кожен міліметр зразка) за методом Утермьоля (Utermöhl, 1958; Edler, Elbrächter, 2010).

#### Статистичний аналіз

Для визначення нормального розподілу даних щодо рясності фітопланктону був застосований тест Колмогорова-Смирнова. Оцінка вибірки проводилася шляхом побудови кривої накопичення видів за допомогою програми EstimateS версії 9.1.0. Було використано два непараметричні оцінювачі різноманітності ACE (Abundance-based Coverage Estimator) і Chao1. Для аналізу різноманітності виявлених видів фітопланктону використовувалася бібліотека BiodiversityR студії R. Пакет біорізноманіття залучали для розрахунку таких індексів: біорізноманіття Шеннона, альфа Фішера, домінування Сімпсона та рівномірності Пілу. Відмінності в рясності фітопланктону оцінювали між чотирма кварталами року дослідження в кожній з трьох точок відбору проб на глибині 1,5 і 5,0 м та аналізували загальну рясність. Для виявлення відмінностей використовували непараметричний тест Крускала-Уолліса. Щоб визначити, в якому кварталі виникли ці відмінності, було застосовано непараметричний критерій Манна-Уїтні.

#### Результати

##### Видове багатство

Всього виявлено 42 види динофлагелят, які належать до 14 родів шести порядків (табл. 1). Між станціями відбору проб виявлено значні відмінності у видовому багатстві. У пробах зі станції REC зареєстровано найбільшу кількість видів, а зі станції TEX – найменшу їхню кількість (рис. 2, а). З іншого боку, виявлено статистично значущі відмінності ( $p < 0,05$ ) у показниках відносної рясності фітопланктону в різні квартали року спостережень. Відповідно до тесту Манна-Уїтні, перший квартал (січень–березень) показав суттєво іншу чисельність ( $p < 0,05$ ), ніж другий (квітень–червень), третій (липень–вересень) та четвертий (жовтень–грудень) квартали – зі значенням 1181 кл/мл. У четвертому кварталі було виявлено 854 кл/мл. Найпоширеніми видами виявилися *Margalefidinium polykrikoides* (Margalef) F.Gómez, Richlen et D.M.Anderson (= *Cochlodinium polykrikoides* Margalef), *Pyrodinium bahamense*, *Prorocentrum gracile* F.Schütt, *P. micans* Ehrenb. і *Tripos furca* (Ehrenb.) Clap. et Lachm., вони траплялися в найбільшій кількості проб.

Таблиця 1. Список видів динофлагелат та діатомових водоростей, виявлених у 2021 р. на трьох станціях відбору проб, розташованих біля буїв Тексако, Рекалада та Ентре Моррос у центральній частині гватемальського прибережжя Тихого океану, та показники їхньої відносної рясності (кл/мл)

Порядок	Вид	Тексако	Рекалада	Ентре Моррос
<i>Gymnodiniales</i>	<i>Akashiwo sanguinea</i> (Hirasaka) G.Hansen et Ø.Moestrup 2000	1	0	128
<i>Gonyaulacales</i>	<i>Alexandrium catenella</i> (Whedon et Kof.) Balech 1985	7	13	0
<i>Dinophysiales</i>	<i>Dinophysis acuminata</i> Clap. et Lachm. 1859	0	1	0
<i>Dinophysiales</i>	<i>Dinophysis caudata</i> Saville-Kent 1881	46	42	21
<i>Gonyaulacales</i>	<i>Gonyaulax polygramma</i> F.Stein 1883	23	137	44
<i>Gonyaulacales</i>	<i>Gonyaulax spinifera</i> (Clap. et Lachm.) Diesing 1866	0	0	17
<i>Gonyaulacales</i>	<i>Gonyaulax verior</i> Sournia 1973	3	5	21
<i>Gymnodiniales</i>	<i>Gymnodinium</i> spp.	0	27	11
<i>Gymnodiniales</i>	<i>Margalefidinium polykrikoides</i> (Margalef) F.Gómez, Richlen et D.M.Anderson 2017	148	2,969	1,417
<i>Noctilucales</i>	<i>Noctiluca scintillans</i> (Macartney) Kof. et Swezy 1921	0	0	9
<i>Peridinales</i>	<i>Podolampas bipes</i> F.Stein 1883	8	4	1
<i>Prorocentrales</i>	<i>Prorocentrum compressum</i> (Bailey) T.H.Abé ex J.D.Dodge 1975	0	7	29
<i>Prorocentrales</i>	<i>Prorocentrum gracile</i> F.Schütt 1895	51	254	124
<i>Prorocentrales</i>	<i>Prorocentrum micans</i> Ehrenb. 1834	35	123	184
<i>Prorocentrales</i>	<i>Prorocentrum scutellum</i> B.Schröder 1900	2	70	58
<i>Prorocentrales</i>	<i>Prorocentrum rostratum</i> F.Stein 1883	0	10	18
<i>Peridinales</i>	<i>Protoperidinium abei</i> (Paulsen) Balech 1974	0	1	0
<i>Peridinales</i>	<i>Protoperidinium conicum</i> (Gran) Balech 1974	4	47	27
<i>Peridinales</i>	<i>Protoperidinium depressum</i> (Bailey) Balech 1974	19	18	1
<i>Peridinales</i>	<i>Protoperidinium divergens</i> (Ehrenb.) Balech 1974	0	0	1
<i>Peridinales</i>	<i>Protoperidinium grande</i> (Kof.) Balech 1974	14	25	9

<i>Peridinales</i>	<i>Protoperidinium obtusum</i> (G.Karst.) Parke et J.D.Dodge 1976	0	0	1
<i>Peridinales</i>	<i>Protoperidinium pellucidum</i> Bergh 1881	5	10	9
<i>Peridinales</i>	<i>Protoperidinium oceanicum</i> (Vanhöffen) Balech 1974	90	34	97
<i>Gonyaulacales</i>	<i>Pyrodinium bahamense</i> L.Plate 1906	53	72	176
<i>Gonyaulacales</i>	<i>Pyrophacus horologium</i> F.Stein 1883	11	109	29
<i>Gonyaulacales</i>	<i>Pyrophacus steinii</i> (J.Schiller) Wall et Dale 1971	18	36	26
<i>Gonyaulacales</i>	<i>Tripes azoricus</i> (Cleve) F.Gómez 2013	0	28	0
<i>Gonyaulacales</i>	<i>Tripes brevis</i> (Ostenf. et J.Schmidt) F.Gómez 2013	0	4	0
<i>Gonyaulacales</i>	<i>Tripes candelabrum</i> (Ehrenb.) F.Gómez 2013	0	3	0
<i>Gonyaulacales</i>	<i>Tripes declinatum</i> G.Karst., 1907	0	3	1
<i>Gonyaulacales</i>	<i>Tripes dens</i> Ostenf. et J.Schmidt 1901	0	2	0
<i>Gonyaulacales</i>	<i>Tripes furca</i> (Ehrenb.) Clap. et Lachm. 1859	64	257	133
<i>Gonyaulacales</i>	<i>Tripes fusus</i> (Ehrenb.) F.Gómez 2013	24	89	51
<i>Gonyaulacales</i>	<i>Tripes longirostrum</i> (Gourret) Hallegraeff et Huisman 2020	0	0	1
<i>Gonyaulacales</i>	<i>Tripes macroceros</i> (Ehrenb.) Vanhöffen 1897	7	38	7
<i>Gonyaulacales</i>	<i>Tripes massiliensis</i> (Gourret) F.Gómez 2013	1	4	0
<i>Gonyaulacales</i>	<i>Tripes trichoceros</i> (Ehrenb.) Kofoid 1908 var. <i>tripos</i> F.Gómez 2013	0	3	0
<i>Gonyaulacales</i>	<i>Tripes tripos</i> (Ostenf. et J. Schmidt) F.Gómez 2013 var. <i>tripos</i>	5	14	10
<i>Gonyaulacales</i>	<i>Tripes tripos</i> f. <i>tripodoides</i> Jörg. 1920 emend. Paulsen, 1931	10	14	0
<i>Gonyaulacales</i>	<i>Tripes tripos</i> var. <i>breve</i> Ostenf. et J.Schmidt 1901	4	2	0
<i>Gonyaulacales</i>	<i>Tripes vultur</i> Cleve 1900	0	0	1
<i>Rhaphoneidales</i>	<i>Asterionellopsis glacialis</i> (Castrac.) Round 1990	33	16	90
<i>Chaetocerotales</i>	<i>Bacteriastrum hyalinum</i> Lauder 1864	9	6	6
<i>Biddulphiales</i>	<i>Bellerochea malleus</i> (Brightw.) Van Heurck 1885	70	36	22
<i>Chaetocerotales</i>	<i>Chaetoceros aequatorialis</i> Cleve 1901	12	0	0
<i>Chaetocerotales</i>	<i>Chaetoceros affinis</i> Lauder 1864	46	26	22

<i>Chaetocerotales</i>	<i>Chaetoceros borealis</i> Bailey 1854	2	0	0
<i>Chaetocerotales</i>	<i>Chaetoceros curvisetus</i> Cleve 1889	69	37	178
<i>Chaetocerotales</i>	<i>Chaetoceros danicus</i> Cleve 1889	2	0	0
<i>Chaetocerotales</i>	<i>Chaetoceros decipiens</i> Cleve 1873	1	0	0
<i>Chaetocerotales</i>	<i>Chaetoceros lorenzianus</i> Grunow 1863	100	42	52
<i>Chaetocerotales</i>	<i>Chaetoceros pendulus</i> G.Karst. 1905	0	0	3
<i>Chaetocerotales</i>	<i>Chaetoceros peruvianus</i> Brightw. 1856	59	13	34
<i>Chaetocerotales</i>	<i>Chaetoceros singularis</i> Gran 1904	21	18	35
<i>Chaetocerotales</i>	<i>Chaetoceros</i> sp.	4	0	8
<i>Chaetocerotales</i>	<i>Climacodium frauenfeldianum</i> Grunow 1868	6	9	13
<i>Chaetocerotales</i>	<i>Coscinodiscus granii</i> L.F.Gough 1905	159	237	267
<i>Chaetocerotales</i>	<i>Coscinodiscus radiatus</i> Ehrenb. 1841	29	0	3
<i>Lithodesmiales</i>	<i>Ditylum brightwellii</i> (T.West) Grunow 1885	18	8	5
<i>Rhizosoleniales</i>	<i>Guinardia delicatula</i> (Cleve) Hasle 1997	5	0	0
<i>Rhizosoleniales</i>	<i>Guinardia flaccida</i> (Castrac.) H.Perag. 1892	16	0	2
<i>Rhizosoleniales</i>	<i>Guinardia striata</i> (Stolterf.) Hasle 1996	45	10	34
<i>Naviculales</i>	<i>Gyrosigma acuminatum</i> (Kütz.) Rabenh. 1853	4	17	2
<i>Naviculales</i>	<i>Haslea</i> sp.	21	10	6
<i>Lithodesmiales</i>	<i>Helicotheca tamesis</i> (Shrubsole) Ricard 1987	0	0	4
<i>Hemiaulales</i>	<i>Hemiaulus</i> sp.	15	5	6
<i>Thalassiosirales</i>	<i>Lauderia annulata</i> Cleve 1873	52	28	62
<i>Chaetocerotales</i>	<i>Leptocylindrus danicus</i> Cleve 1889	4	1	9
<i>Licmophorales</i>	<i>Licmophora abbreviata</i> C.Agardh 1831	1	0	0
<i>Lithodesmiales</i>	<i>Lithodesmium undulatum</i> Ehrenb. 1839	1	0	0
<i>Melosirales</i>	<i>Melosira varians</i> C.Agardh 1827	7	10	10
<i>Bacillariales</i>	<i>Nitzschia longissima</i> Kütz. 1849	50	4	11
<i>Eupodiscales</i>	<i>Trieres mobiliensis</i> (Bailey) Ashwort et E.C.Theriot 2013	7	13	9
<i>Eupodiscales</i>	<i>Odontella regia</i> (M.Schultze) Simonsen 1974	8	0	6
<i>Eupodiscales</i>	<i>Trieres chinensis</i> (Grev.) Ashwort et E.C.Theriot 2013	6	0	26



<i>Thalassiosirales</i>	<i>Planktoniella sol</i> (G.C.Wallich) Schütt 1892	4	18	1
<i>Naviculales</i>	<i>Pleurosigma angulatum</i> (J.T. Quekett) W.Sm. 1852	31	6	9
<i>Naviculales</i>	<i>Pleurosigma directum</i> Grunow 1880	30	3	2
<i>Naviculales</i>	<i>Pleurosigma elongatum</i> W.Sm. 1852	0	10	1
<i>Bacillariales</i>	<i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i> (Cleve) Heiden 1928	116	123	184
<i>Bacillariales</i>	<i>Pseudo-nitzschia fraudulenta</i> (Cleve) Hasle 1993	29	30	0
<i>Bacillariales</i>	<i>Pseudo-nitzschia subpacifici</i> (Hasle) Hasle 1993	42	0	4
<i>Rhizosoleniales</i>	<i>Rhizosolenia bergonii</i> H.Perag. 1892	2	1	3
<i>Rhizosoleniales</i>	<i>Rhizosolenia clevei</i> Ostenf. 1903 var. <i>clevei</i>	15	0	1
<i>Rhizosoleniales</i>	<i>Rhizosolenia clevei</i> var. <i>communis</i> Sundström 1984	0	0	5
<i>Rhizosoleniales</i>	<i>Rhizosolenia imbricata</i> Brightw. 1858	44	3	2
<i>Rhizosoleniales</i>	<i>Rhizosolenia robusta</i> Pritchard 1961	8	2	1
<i>Rhizosoleniales</i>	<i>Sundstroemia setigera</i> (Brightw. 1858) Medlin in Medlin et al. 2021	33	19	8
<i>Rhizosoleniales</i>	<i>Rhizosolenia styliformis</i> Brightw. 1858	2	0	0
<i>Thalassiosirales</i>	<i>Skeletonema costatum</i> (Grev.) Cleve 1873	186	248	1,271
<i>Thalassiosirales</i>	<i>Skeletonema tropicum</i> Cleve 1900	480	22	146
<i>Stephanopyxales</i>	<i>Stephanopyxis palmeriana</i> (Grev.) Grunow 1884	40	53	13
<i>Thalassionematales</i>	<i>Thalassionema frauenfeldii</i> (Grunow) Tempère et H.Perag. 1910	63	159	207
<i>Thalassionematales</i>	<i>Thalassionema nitzschioides</i> (Grunow) Mereschk. 1902	24	36	28

Загалом виявлено 53 види діатомових водоростей, що належать до 26 родів 13 порядків (див. табл. 1). Видове багатство діатомей на різних станціях відбору проб також суттєво відрізнялося. Найбільшу кількість видів зареєстровано на станції MOR, найменшу – біля буя REC. Достовірні статистичні відмінності ( $p = 0,049$ ) у рясності фітопланктону були лише між першим і другим кварталами. У той же час, згідно з непараметричним критерієм Манна-Уїтні, у четвертому кварталі показник рясності

фітопланктону значно відрізнявся ( $p < 0,049$ ) порівняно з 1–3 кварталами. Для третього кварталу рясність складала 1797 кл/мл. Найбільші показники трапляння мали центричні діатомові водорості *Skeletonema costatum*, *S. tropicum*, *Coscinodiscus granii* та *Chaetoceros lorenzianus*.

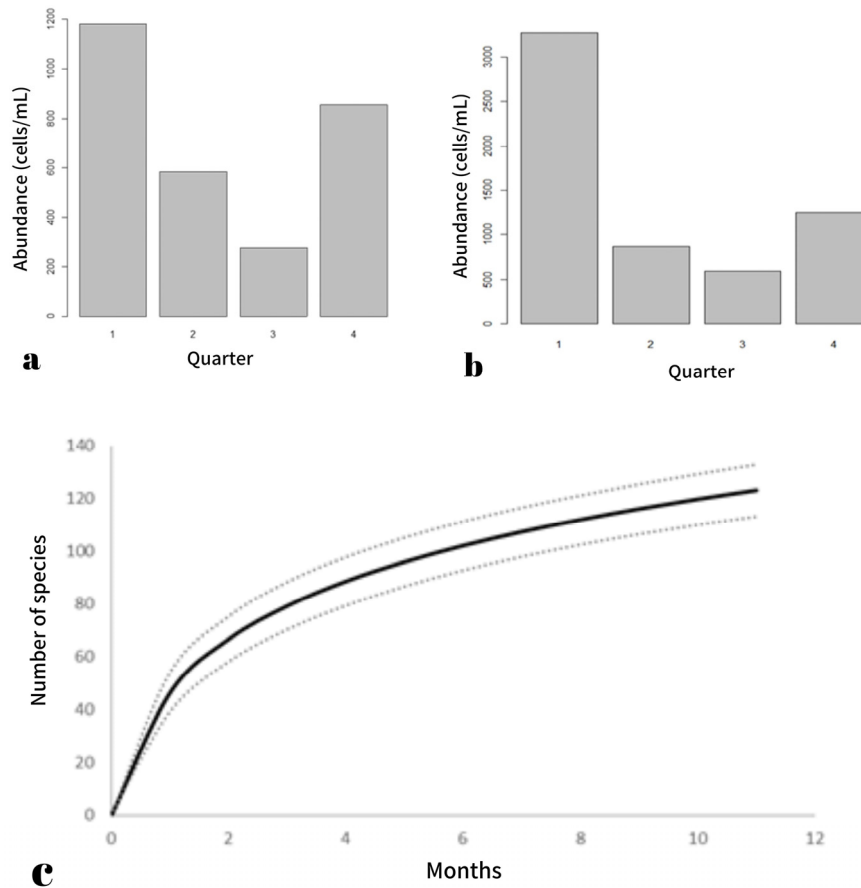


Рис. 2. Рясність та акумуляційна крива видів фітопланктону в гватемальському секторі Тихого океану в 2021 р.: *a* – рясність фітопланктону протягом чотирьох кварталів 2021 р. на ділянці Тексако (див. рис. 1); *b* – на ділянці Рекалада; *c* – річна акумуляційна крива видів (січень–грудень 2021 р.)

#### Рясність та поширення

Всього було пораховано 7790 клітин динофлагелят і 6121 клітину діатомових водоростей. Помітних відмінностей у цьому показнику між глибинами відбору проб (1,5 та 5,0 м) та різними кварталами року

(1 квартал:  $p = 0,7671$ ; 2 квартал:  $p = 0,3391$ ; 3 квартал:  $p = 0,7022$  і 4 квартал:  $p = 0,5818$ ) не виявлено.

Порівняння загальної рясності фітопланктону на трьох станціях відбору проб (TEX vs. REC:  $w = 107294$ ,  $p = 0,217$ ; TEX vs. MOR:  $w = 114700$ ,  $p = 0,5604$ ; MOR vs. REC:  $w = 119032$ ,  $p = 0,0975$ ) засвідчило відсутність істотних відмінностей. Також ми порівняли рясність представників основних таксономічних порядків у різних районах відбору проб.

На буї TEX не спостерігалось суттєвих відмінностей у рясності динофлагелят: *Gymnodiniales* vs. *Gonyaulacales* ( $w = 1050,5$ ;  $p = 0,9365$ ); *Gonyaulacales* vs. *Prorocentrales* ( $w = 1556$ ;  $p = 0,5414$ ) і *Gymnodiniales* vs. *Prorocentrales* ( $w = 304$ ;  $p = 0,7486$ ). Не було також відмінностей у показниках рясності діатомових водоростей з різних порядків: *Thalassiosirales* vs. *Chaetocerotales* ( $w = 1550$ ;  $p = 0,3228$ ) і *Thalassiosirales* vs. *Coscinodiscales* ( $w = 155,5$ ;  $p = 0,1255$ ). Проте відмічена значна різниця у рясності видів порядків *Chaetocerotales* та *Coscinodiscales* ( $p = 0,000743$ ). Було проведено порівняння за цим показником представників порядків динофлагелят та діатомових водоростей. Виявлено значні відмінності у рясності представників *Thalassiosirales* vs. *Gymnodiniales* ( $w = 409,5$ ;  $p = 0,01148$ ); *Thalassiosirales* vs. *Gonyaulacales* ( $w = 2189$ ;  $p = 6,948e-05$ ); *Chaetocerotales* vs. *Gymnodiniales* ( $w = 8000,5$ ;  $p = 0,02373$ ); *Chaetocerotales* vs. *Gonyaulacales* ( $w = 4324$ ;  $p = 2,025e-05$ ).

На ділянці REC помітних відмінностей між основними порядками динофлагелят не зареєстровано, за виключенням *Gymnodiniales* vs. *Gonyaulacales* ( $w = 1581$ ;  $p = 0,003366$ ) та *Gonyaulacales* vs. *Prorocentrales* ( $p = 0,00285$ ). Для діатомей порівняння виявило значну різницю між порядками *Chaetocerotales* та *Coscinodiscales* ( $w = 285$ ;  $p = 0,001238$ ). Порівняння рясності представників основних таксономічних порядків динофлагелят та діатомових водоростей на цій станції відбору проб засвідчило різницю між порядками динофлагелят: *Gymnodiniales* vs. *Gonyaulacales* ( $w = 1581$ ;  $p = 0,003366$ ), *Gonyaulacales* vs. *Prorocentrales* ( $w = 1024,5$ ;  $p = 0,00285$ ) та діатомових: *Chaetocerotales* vs. *Coscinodiscales* ( $w = 285$ ;  $p = 0,001238$ ). Значні відмінності зафіксовано між порядками динофлагелят та діатомових водоростей: *Chaetocerotales* vs. *Gonyaulacales* ( $w = 2524$ ;  $p = 0,0002889$ ), *Thalassiosirales* vs. =  $2554,5$ ;  $p = 0,0002889$ ).

На ділянці MOR порівняння показало суттєві відмінності між основними порядками динофлагелят: *Gymnodiniales* vs. *Gonyaulacales* ( $w = 1571$ ;  $p = 0,0001992$ ) та *Gonyaulacales* vs. *Prorocentrales* ( $w = 954,5$ ;  $p = 0,0001906$ ). Водночас між *Gymnodiniales* та *Prorocentrales* різниця була незначною ( $w = 418$ ;  $p = 0,06427$ ). Натомість порівняння показників рясності представників різних порядків діатомових водоростей не виявило

помітних розходжень: *Thalassiosirales* vs. *Chaetocerotales* ( $w = 924,5$ ;  $p = 0,5109$ ), *Chaetocerotales* vs. *Coscinodiscales* ( $w = 350,5$ ;  $p = 0,1212$ ) та *Thalassiosirales* vs. *Coscinodiscales* ( $w = 199,5$ ;  $p = 0,6449$ ). Співставлення за цим показником основних порядків динофлагелят та діатомей також не показало помітних відмінностей, за виключенням *Chaetocerotales* vs. *Gymnodiniales* ( $w = 295$ ;  $p = 0,0002889$ ).

Результати дослідження свідчать про статистично значущі відмінності в рясності представників низки порядків динофлагелят і діатомових водоростей на ділянках біля буїв TEX, REC і MOR. Зокрема, дані з ділянки TEX виявили статистично значущу різницю між показниками рясності представників *Chaetocerotales* і *Coscinodiscales*. На ділянці біля буя REC відмічені значні відмінності в рясності при порівнянні *Gymnodiniales* vs. *Gonyaulacales* і *Gonyaulacales* vs. *Prorocentrales* у динофлагелят, а також *Chaetocerotales* vs. *Coscinodiscales* у діатомових водоростей. Біля буя MOR суттєво відрізнялися показники рясності при порівнянні *Gymnodiniales* vs. *Gonyaulacales* та *Gonyaulacales* vs. *Prorocentrales* у динофлагелят.

#### *Порівняння рясності представників основних порядків діатомових та динофлагелят за станціями відбору проб*

Ми проаналізували показники рясності представників порядків *Gymnodiniales* і *Gonyaulacales* за дослідженими ділянками. До цих таксонів належить багато видів, що потенційно можуть викликати ШЦВ. Рясність представників порядку *Gymnodiniales* відрізнялася при порівнянні між ділянками TEX vs. REC ( $w = 91,5$ ;  $p = 0,001823$ ) та TEX vs. MOR ( $w = 93$ ;  $p = 0,002131$ ). Між ділянками MOR та REC ( $w = 185$ ;  $p = 0,6905$ ) різниці у рясності клітин цього порядку не виявлено. Попарне порівняння показників рясності видів порядку *Gonyaulacales* на досліджених ділянках показало суттєві відмінності між TEX vs. REC ( $w = 3082,5$ ;  $p = 2,733e-08$ ), TEX vs. MOR ( $w = 4247,5$ ;  $p = 0,004293$ ) та MOR vs. REC ( $w = 4280,5$ ;  $p = 0,008102$ ). Представники *Gymnodiniales* мали більшу рясність на ділянках TEX та MOR порівняно з REC, тоді як між MOR та REC немає помітної різниці.

#### *Крива накопичення видів та індекси різноманітності*

Отримана крива накопичення видів дала оцінку видового багатства між 113,03 і 132,97 при 95%-му рівні довіри (рис. 3, с). Для оцінки кількості видів у діатомових і динофлагелятових таксоценозах тихоокеанського прибережжя Гватемали були використані два непараметричні індекси різноманітності – ACE і Chao1. ACE оцінив кількість видів у 133,97 з ефективністю 92,56%, тоді як Chao1 оцінив наявність 138 видів з

ефективністю 89,86%. Незважаючи на те, що значення дещо відрізняються, вони досить близькі й дозволяють припустити, що було відібрано достатню

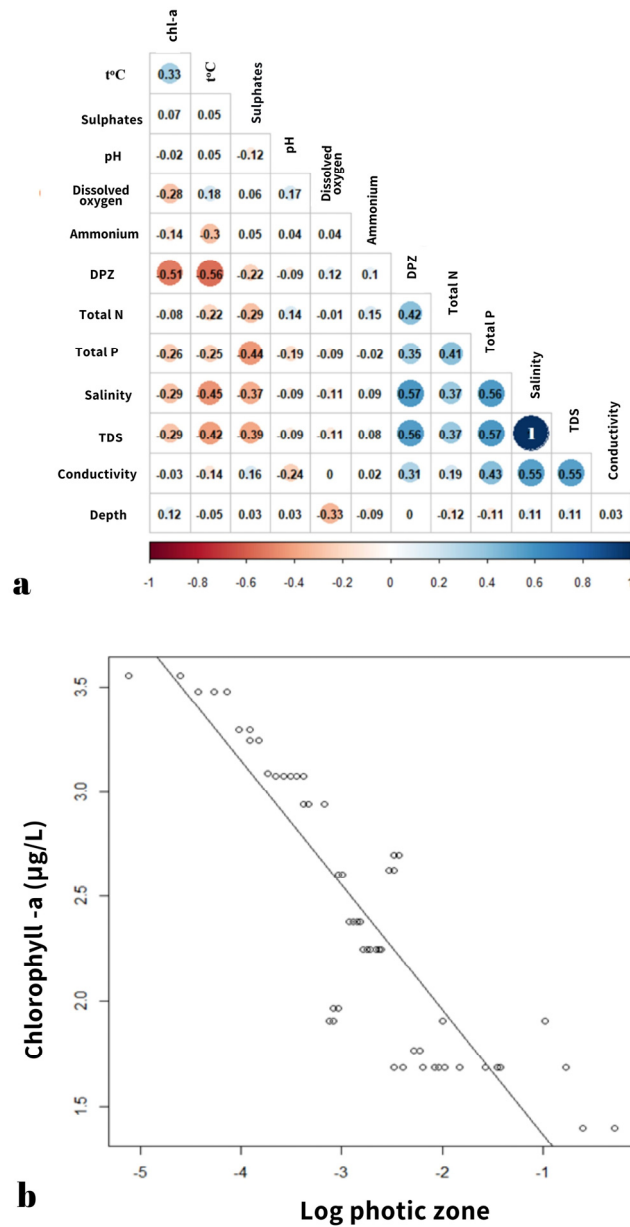


Рис. 3. Кореляції між деякими фізико-хімічними змінними в Тихоокеанському секторі Гватемали у 2021 р.: *a* – кореляція між параметрами якості води; *b* – лінійна залежність логарифму глибини фототичної зони та логарифму концентрації хл. *a*. Одиниці: глибина відбору проб і світлової зони (ГСЗ), м; провідність, мкСм/см; загальний вміст розчинених твердих речовин (РТР), загальний фосфор (P), загальний азот (N), амоній, розчинений кисень, сульфати та хлорофіл *a* (хл. *a*), мг/л; температура поверхневої води, °C

Таблиця 2. Індекси різноманіття за місяцями 2021 р. та станціями відбору проб

**А. Індекси різноманіття за місяцями**

Місяць	Індекс		Різнманіття	
	Шенона	Альфа Фішера	Сімпсона	Пілу
Січень	2,99516624	14,7904839	0,93238896	0,86422230
Лютий	2,26425705	3,44080505	0,70937034	0,58809617
Березень	<b>1,68969960</b>	3,12647510	0,68015098	<b>0,47151965</b>
Квітень	2,82717476	8,04578785	0,87571136	0,73842767
Травень	3,02277825	14,2352032	0,87571136	0,77268928
Червень	2,83478761	9,47291454	0,89443587	0,72098508
Серпень	2,86554637	11,3632148	0,91199674	0,77164151
Вересень	1,79340938	<b>2,62766848</b>	<b>0,61943449</b>	0,47982020
Жовтень	<b>3,15494048</b>	<b>15,74219290</b>	<b>0,93647645</b>	<b>0,83881218</b>
Листопад	2,86933998	9,76656815	0,89760989	0,74120149
Грудень	2,63712136	6,41144549	0,84402893	0,71488413

Примітка: напівжирним шрифтом виділено найнижчі та найвищі значення показника.

**В. Індекси різноманіття за станціями відбору проб**

Ділянка	Індекс		Різнманіття	
	Шенона	Альфа Фішера	Сімпсона	Пілу
Рекалада	3,982950	<b>13,320570</b>	0,924928	0,702475
Ентре Моррос	4,095068	<b>20,285030</b>	0,950703	0,734416
Тексако	4,804832	<b>51,016060</b>	0,980398	0,847431

Примітка: напівжирним шрифтом виділено найвищі значення показника.

В табл. 2А показані значення індексу різноманітності Шеннона для видів мікрофітопланктону (діатомових водоростей і динофлагелат) у кожному місяці року спостережень. Видове різноманіття коливається від 1,6896996 у березні до 3,15494048 у жовтні. Це свідчить про те, що різноманіття видів на пробу може змінюватися протягом року, можливо, через фактори навколишнього середовища.

Значення індексу рівномірності Пілу коливалися між 0,47 та 0,86 і вказують на те, що розподіл видів у вибірці не є рівномірним, а також не домінує один вид. Значення індексу Пілу змінювалися протягом року досліджень: найнижче значення – у лютому, найвище – у січні. Це свідчить про те, що рівномірність розподілу видів на пробу може змінюватися протягом року, можливо, через фактори навколишнього середовища.

По відношенню до відносної рясності виду протягом дослідженого періоду значення альфа-індексу Фішера сильно варіювали, з дуже низькими значеннями в лютому, березні та вересні (переважає один вид), дуже високими значеннями в січні, травні та жовтні (місяців із великою різноманітністю видів) і, меншою мірою (у пробі переважало кілька видів), у серпні. Це свідчить про те, що різноманітність видів на пробу значно змінюється від місяця до місяця (табл. 2А).

#### *Видова різноманітність за станціями відбору проб*

Порівняння значень індексів різноманітності досліджених ділянок показало, що для всіх трьох ділянок отримано високі індекси різноманітності, що вказує на високе видове багатство (табл. 2В). Крім того, ділянка TEX має найвищі значення з чотирьох індексів, що свідчить про те, що вона має більшу видову різноманітність і більш рівномірний розподіл відносної рясності видів порівняно з іншими двома станціями відбору проб. REC має найнижчі значення за всіма чотирма індексами, що вказує на нижчу видову різноманітність і менш рівномірний розподіл відносної кількості видів. На ділянці MOR отримані проміжні значення чотирьох індексів різноманітності.

Найвищий рівень кореляції отриманих значень відмічено між показниками солоності та РТР, що свідчить про те, що ці дві змінні тісно пов'язані між собою та їхні значення збільшуються або зменшуються разом. Крім того, кореляція між показниками солоності води та іншими змінними, такими як проникнення світла (глибина світлової зони – ГСЗ) і концентрація загального фосфору, а також кореляція між РТР і цими самими змінними, є помірною, що вказує на статистично значущий зв'язок, але не такий сильний, як між показниками солоності та РТР (рис. 3, а).

Лінійна залежність між логарифмом ГСЗ і логарифмом концентрації хл. *a* вказує на те, що існує пропорційна залежність між цими двома змінними в логарифмічній шкалі. Коефіцієнт детермінації ( $R^2$ ) 0,7822 свідчить про те, що 78,22% мінливості концентрації хл. *a* можна пояснити ГСЗ. А це значить, що ГСЗ є важливим фактором у розумінні мінливості концентрації хл. *a* у товщі води (рис. 3, б). Значення  $b$  0,5945457 вказує на нахил лінії регресії. Це значить, що для кожної одиниці збільшення логарифма ГСЗ відбувається зменшення на 0,5945457 одиниць у логарифмі концентрації хл. *a*. З іншого боку, значення  $a$  2,161139 вказує на значення перетину на вертикальній осі. Це значить, що коли логарифм ГСЗ дорівнює нулю, логарифм концентрації хл. *a* дорівнює 2,161139. Ці результати вказують на те, що зв'язок між ГСЗ і концентрацією хл. *a* є значущим і

може бути описаний лінійною залежністю в логарифмічній шкалі, де ГСЗ є важливим фактором мінливості концентрації хл. *a* у товщі води.

### Обговорення

Досліджені ділянки зазнають значного впливу як з боку антропогенних відходів, накопичених в Пуерто-Кецаль і Пуерто-Сан-Хосе (ділянка ТЕХ), так і з боку водотоків, розташованих поблизу зони відбору проб (річки Ачігуате та Марія-Лінда). Період досліджень співпав із явищем Ла-Нінья. Цей фактор демонструє, що в Тихому океані Гватемали середня температура води є визначальним фактором наявності або відсутності «цвітіння» водоростей (за даними Відділу досліджень і метеорологічних служб Національного інституту сейсмології, вулканології, метеорології та гідрології (INSIVUMEN, 2021) та Національної служби погоди Національного управління океанічних і атмосферних досліджень (NOAA, 2021). Здатність мікрowodоростей пристосовуватися та зберігати поживні речовини дозволяє їм «процвітати» в широкому діапазоні умов навколишнього середовища та домінувати над іншими організмами в їхньому середовищі існування. Світло, поживні речовини, температура, солоність, стабільність товщі води та гідрологічні фронти, ймовірно, відіграють вирішальну роль у розподілі та чисельності популяцій мікрowodоростей у тихоокеанській прибережній морській зоні Гватемали. Доступність поживних речовин пов'язана з викидами, спричиненими антропогенною діяльністю, і важлива в біогеохімічних циклах фітопланктону (Salcedo-Garduño et al., 2019).

### Видове багатство

У Гватемалі дослідження морського планктону були пов'язані з пошуком даних про причини виникнення значних токсичних явищ. Таким чином, жодних технічних звітів, щоб стосувалися морського планктону, не було до 1985 р., коли було вперше повідомлено про появу ШЦВ у Тихому океані біля берегів Гватемали. Однак тоді не вдалося визначити відповідальних за неї. Через два роки (1987 р.) сталася найгучніша на сьогодні подія, пов'язана з ШЦВ – 193 випадки отруєння людей, з яких 22 були смертельними. Агентом «цвітіння» виявився *Pyrodinium bahamense* var. *compressum* (Rosales-Loessener et al., 1996). Ця подія призвела до створення Міжвідомчої комісії з нагляду за червоними припливами, в якій СЕМА-USAC бере участь як науковий радник. Відтоді усі випадки, спричинені ШЦВ *P. bahamense* var. *compressum*, реєструвалися (1989, 1990, 1995, 2001 та 2005 рр.). У 2007 р. спалах шкідливого «цвітіння» був викликаний



динофлагелятами *Alexandrium* sp. та *Margalefidinium polykrikoides*, а також рафідофіцією водорістю *Chattonella antiqua* (Y. Nada) C. Ono.

Те, що сталося в 1987 р. в прибережних водах Центральної Америки від Коста-Ріки до штату Герреро, Мексика, а саме серія токсичних явищ, спричинених *P. bahamense* var. *compressum* з понад 300 випадками отруєнь і 10 смертельними випадками в регіоні Центральної Америки, вочевидь, було наслідком явища Ель-Ніньо (Carrillo-Ovalle, 2009).

Отримані в цьому дослідженні дані дають інформацію про річний цикл таксоценозів динофлагелят і діатомових водоростей (табл. 1). Більшість видів фітопланктону наводиться вперше для узбережжя Гватемали.

#### Рясність фітопланктону

Відмінності в рясності видів можуть бути спричинені низкою факторів навколишнього середовища, таких як концентрація поживних речовин, температура води, солоність і освітленість (Margalef, 1978; Litchman, Klausmeier, 2008). Цілком імовірно, що райони ділянок TEX і MOR мають більш сприятливі екологічні умови для видів *Gymnodiniales*, що пояснює їх більшу рясність у цих районах. З іншого боку, можливо, що зони ділянок REC і MOR мають більш сприятливі екологічні умови для видів *Gonyaulacales*, що пояснює їхню більшу рясність на цих ділянках. Значна різниця в рясності *Chaetocerotales* vs. *Gymnodiniales* та динофлагелят порівняно з діатомеями свідчить про те, що на представників певних порядків динофлагелят і діатомових водоростей можуть по-різному впливати фактори навколишнього середовища в кожній зоні відбору проб. Необхідні додаткові дослідження, щоб визначити причини цих відмінностей та їхній вплив на морську екосистему.

Однак щоб краще зрозуміти причини відмінностей у рясності видів на кожній станції відбору проб, необхідно оцінити інші фізико-хімічні та біологічні фактори. Наприклад, можна оцінити наявність хижаків чи конкурентів або наявність субстрату для виду на тій чи іншій ділянці. Важливо також відзначити, що ці відмінності в рясності видів можуть мати наслідки для структури та функції екосистеми, і тому важливо продовжувати моніторинг фітопланктону та оцінювати фактори, які впливають на його розподіл.

У літературних джерелах, на які ми посилаємось у цьому дослідженні, є деякі невідповідності між значеннями кількості клітин (низький) і токсичністю, вираженою в одиницях миші (МО)/100 г тканини молюска, занадто високий). Припускають, що це є результатом неоднорідності розподілу клітин фітопланктону в зоні «цвітіння» (в плямах) і відстані між

місцем відбору проб фітопланктону та місцем відбору проб двостулкових молюсків на токсичність.

#### *Індекси різноманітності*

Застосовані нами індекси надають інформацію про різноманіття видів у пробі. Високе значення індексу свідчить про більшу різноманітність видів, присутніх у пробі, тоді як низьке значення – про меншу різноманітність. Окрім індексів Шеннона та альфа Фішера наведено значення індексів рівномірності Сімпсона та Пілу (табл. 2А).

1 квартал. У січні 2021 р. значення індексу Шеннона було високим, що вказує на високу видову різноманітність у вибірці. Значення альфа-індексу Фішера та індексу Сімпсона також високі, що свідчить про збалансоване видове різноманіття та низьке домінування одного виду. Значення індексу рівномірності також високе, що говорить про рівномірний розподіл видів, присутніх у зразку. У лютому значення індексу Шеннона значно знижується порівняно з січнем, що свідчить про зменшення видового різноманіття у вибірці. Значення альфа-індексу Фішера та індексу Сімпсона також зменшуються, що вказує на більше домінування одного або кількох видів. Значення рівномірності розподілу значно зменшується, що свідчить про нерівномірний розподіл видів у зразку. У березні значення всіх чотирьох індексів ще більше знижуються, що свідчить про зменшення видового різноманіття та посилення домінування одного чи кількох видів.

2 квартал. У квітні та травні значення індексу Шеннона значно зростають порівняно з березнем, що свідчить про збільшення видового різноманіття у вибірці. Також зростають значення альфа-індексу Фішера та індексу Сімпсона, що вказує на збалансоване видове різноманіття та низьке домінування одного виду. Значення індексу рівномірності також збільшується, що вказує на більш рівномірний розподіл видів у вибірці. У червні значення всіх чотирьох індексів дещо знижуються порівняно з травнем, але значення індексу Сімпсона дещо зростає, що вказує на більше домінування одного чи кількох видів.

3 квартал. У серпні значення всіх чотирьох індексів зростають порівняно з червнем, що свідчить про збільшення видового різноманіття та збалансованість видового різноманіття. У вересні їх значення суттєво зменшуються порівняно з серпнем, що свідчить про зменшення видового різноманіття та більше домінування одного чи кількох видів.

4 квартал. У жовтні значення індексу Шеннона високі, що свідчить про високе видове різноманіття у вибірці. Значення альфа-індексу Фішера та індексу Сімпсона теж високі, що вказує на збалансоване видове

різноманіття та низьке домінування одного виду. Значення індексу рівномірності також високе, що свідчить про рівномірний розподіл видів, присутніх у вибірці. У листопаді значення альфа-індексу Фішера та індексу Сімпсона дещо зменшуються порівняно з жовтнем, проте значення індексу Шеннона та показників рівномірності залишаються стабільними, що свідчить про збалансоване видове різноманіття та низьке домінування одного виду.

Таким чином, у січні спостерігалось високе видове різноманіття зі значенням 3,00, яке також зростало в квітні, травні (3,02), серпні та жовтні. Потім значення цього показника знизились у лютому, березні, червні, вересні, листопаді та грудні.

Отже можна підсумувати, що значення індексів видового різноманіття для кожного місяця дають цінну інформацію про видове різноманіття на досліджуваній території та про те, як воно змінюється протягом року (табл. 2В). Ця інформація може бути корисною для кращого розуміння біорізноманіття території та для прийняття рішень щодо збереження та управління прибережними морськими екосистемами Тихого океану Гватемали.

## Висновки

На досліджених ділянках спостерігалось велике різноманіття видів. Ділянка TEX мала найвищу різноманітність і рівномірний розподіл відносної рясності виявлених видів. На ділянці REC зареєстровані найнижчі значення видового різноманіття, що пов'язано з антропогенним впливом (ця ділянка розташована поблизу річки Марія-Лінда та міської території).

Відмічено значну різницю у видовому багатстві досліджених станцій відбору проб, особливо це стосується видів порядків *Gymnodiniales* і *Gonyaulacales*. Види *Gonyaulacales* мали на ділянці TEX вищу рясність порівняно з іншими дослідженими ділянками. Відносна рясність видів протягом 2021 р. сильно варіювала, видове різноманіття також значно змінювалося щомісячно. На ці показники, ймовірно, впливає стан атмосфери, метеорологічні та океанографічні умови.

Отримані результати свідчать про наявність зв'язку між рясністю динофлагелят і діатомових водоростей та фізичними параметрами (температура, стратифікація, ГСЗ, освітленість, зміна інтенсивності штормів) досліджуваної території.

## Подяки

Дане дослідження є частиною канд. дисертації «Різноманітність, рясність і поширення динофлагеллят і діатомових водоростей, пов'язаних зі шкідливим «цвітінням» водоростей у зв'язку з фізико-хімічними змінними в центральній частині Тихого океану Гватемали» в Університеті Сантьяго-де-Компостела, Сантьяго-де Компостела, Галісія, Іспанія (докторська програма з сільськогосподарських та екологічних наук). Дякуємо Мережі дослідження морських прибережних стресорів у Латинській Америці та Карибському басейні (REMARCO) у рамках проекту RLA-7025, дослідникам Ребеці Магалі Мартінес-Дубон, Хосе Роберто Ортіс-Алдана та Франсіско Емануелю Поланко-Васкезу та групі студентів-волонтерів СЕМА-USAC. Ми також вдячні Еріку Нуньєсу-Васкезу (СІВНОР, Ла-Пас, Нижня Каліфорнія, Мексика), Карлосу Антоніо Пут-Дельгадо (Національний технічний інститут Мексики / Вищий технологічний інститут Чампотона, Чампотон, Кампече, Мексика) та Ісмаелю Гарате-Лізаррага (ІРН -СІСІМАР, Ла-Пас, Нижня Каліфорнія, Мексика) за їхні роз'яснення щодо питання токсичності. Марсія М. Гловінг (Сіетл, Вашингтон, США) люб'язно вдосконалила стиль англійської мови рукопису. Моніторинг став можливим завдяки співробітництву між СЕМА-USAC, Операційним управлінням, через Департамент морського спостереження та дослідження (ОВІМАР) компанії Quetzal Port і Тихоокеанського військово-морського командування.

## Список літератури

- APHA. 2017. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (23<sup>rd</sup> ed.). Washington: DC Amer. Publ. Health Assoc.
- Arévalo-Martínez R. 1945. *Guatemala*. Ciudad de Guatemala, Guatemala: Tipograf. Nac.
- Carrillo-Ovalle H.L. 2009. *Fase I: Estudio de los florecimientos algales (mareas rojas), en el Pacífico de Guatemala (Fodecyt No. 31-2007)*. Ciudad de Guatemala, Guatemala: Secretaría Nac. Cien. Tecnol.
- Comisión Portuaria Nacional. 1997. *Boletín informativo meteorológico*. Puerto Quetzal, Guatemala: Empresa Portuaria Quetzal.
- Edler L., Elbrächter M. 2010. The Utermöhl method for quantitative phytoplankton analysis. In: *Microscopic and molecular methods for quantitative phytoplankton analysis*. Manuals and Guides. 55. Paris: UNESCO. Pp. 13–20
- García-Pérez J., Carrillo-Ovalle L., Blanda E., Vargas-Montero M. 2018. First report of the genus *Gambierdiscus* from the Atlantic coast of Guatemala. *Harm. Algae News*. 61: 9–10.

- INSIVUMEH. 2021. *Perspectiva climática Trimestral 'Mayo-Julio*. Departamento de Investigación y Servicios Meteorológicos del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. 7 p. <https://insivumeh.gob.gt/?p=13162>
- Leiva A.V. 2008. *Eventos de marea roja ocurridos en el océano Pacífico de Guatemala*. Tesis de maestría. Ciudad de Guatemala, Guatemala: Univ. de San Carlos de Guatemala.
- Litchman E., Klausmeier C.A. 2008. Trait-based community ecology of phytoplankton. *Ann. Rev. Ecol., Evol., Syst.* 39: 615–639. <http://www.jstor.org/stable/30245179>
- Margalef R. 1978. Life forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment. *Oceanol. Acta.* 1(4): 493–509.
- NOAA. 2021. *Estado del Sistema de alerta del ENSO: Advertencia de La Niña*. Nat. Weather Service Nat. Ocean. Atmosphere. Admin. [https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/enso\\_disc\\_feb2021/ensodisc\\_Sp.shtml](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_disc_feb2021/ensodisc_Sp.shtml)
- Paz-Cordón K.E. 1997. *Identificación, abundancia y temporalidad estacional y espacial de Pyrrophytas y su relación con las variables ambientales presentes en Puerto Quetzal, San José, Escuintla*. Tesis licenciatur. Ciudad de Guatemala, Guatemala: Univ. San Carlos, Centro de Estud. Mar Acuicult.
- Paz-Cordón K.E., Okolodkov Y.B., Cobo-Gradín F. 2024. Harmful blooms caused by dinoflagellates in the Pacific of Guatemala (2019 to 2022). *Algologia.* 34(1): 33–19.
- Rosales-Loessener F.M.W., Porras E.D., Dix M.W. 1989. *Toxic shellfish poisoning in Guatemala*. In: *Red tides: Biology, environmental science and toxicology*. Amsterdam: Elsevier Sci. Publ. Pp. 113–116.
- Rosales-Loessener F., Matsuoka K., Fukuyo Y., Sanchez E.H. 1996. Cysts of harmful dinoflagellates found from Pacific coastal waters of Guatemala. In: *Harmful and Toxic Algal Blooms*. Tokyo: UNESCO. Pp. 193–195.
- Salcedo-Garduño M.G., Castañeda-Chávez M.R., Lango-Reynoso F., Sosa-Villalobos C.A., Landeros C., Galaviz-Villa I. 2019. Influence of physicochemical parameters on phytoplankton distribution in the lagoon system of Mandinga, Mexico. *Rev. Bio Cien.* 6: 1–25. <https://doi.org/10.15741/revbio.06.e427>
- Utermöhl H. 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. *Mitteilung – Int. Ver. Theor. Angew. Limnol.* 9: 41–71.
- Wells M., Karlson B., Wulff A., Kudela R., Trick C., Asnaghi V., Trainer V. 2019. Future HAB science: Directions and challenges in a changing climate. *Harm. Algae.* 91(1): 101632. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2019.101632>

**Paz-Cordón K.E.** <sup>1</sup> (<https://orcid.org/0009-0009-6673-6751>)

**Okolodkov Y.B.** <sup>2</sup> (<https://orcid.org/0000-0003-3421-3429>)

**Cobo-Gradín F.** <sup>3</sup> (<https://orcid.org/0000-0001-5684-266X>)

<sup>1</sup> Instituto de Investigaciones Hidrobiológicas, Centro de Estudios del Mar y Acuicultura, Universidad de San Carlos de Guatemala (IIH-CEMA-USAC), Ciudad de Guatemala, Guatemala

<sup>2</sup> Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, Universidad Veracruzana (ICIMAP-UV), Boca del Río, Veracruz, Mexico

<sup>3</sup> Universidad de Santiago de Compostela (USC), Pontevedra, Galicia, Spain

### **Annual cycle of phytoplankton in the Pacific ocean near Guatemala in relation to physicochemical parameters**

Due to the lack of basic information on the behavior of the phytoplankton community of the Guatemalan Pacific, particularly of the factors that cause harmful algal blooms, monthly monitoring was performed during a year (January–December 2021), which included three hydrometeorological seasons at three sampling sites in Puerto Quetzal (Texaco Buoy, Recalada Buoy and Entre Morros Buoy) at two depths (1.5 m and 5.0 m). These sites are influenced by shipping and nearby human populations. The structure of the phytoplankton community (species composition, abundance, richness and diversity), with an emphasis on potentially toxic and non-toxic harmful species, were evaluated. A total of 53 diatom species from 26 genera and 13 orders and 42 dinoflagellate species from 14 genera and six orders were identified. No significant differences between the sampling depths and different quarters of the year were found. The comparison of the total cell abundance between the three sites showed no significant differences. The results obtained present novel information on the phytoplankton community of the Guatemalan Pacific, filling a gap in a region where algal blooms occur annually with consequent ecological impacts and human poisonings.

**Key words:** diatoms, dinoflagellates, Guatemala, harmful algal blooms, *Margalefidinium*, microalgae, Pacific Ocean, phytoplankton, *Pyrodinium*, toxic phytoplankton

---

**Citation.** Paz-Cordón K.E., Okolodkov Y.B., Cobo-Gradín F. 2024. Annual cycle of phytoplankton in the Pacific ocean near Guatemala in relation to physicochemical parameters. *Algologia*. 34(3): 205–226.

<https://doi.org/10.15407/alg34.03.205>