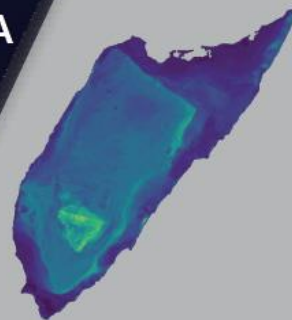


CARACTERIZACIÓN GENERAL DE LA COMPOSICIÓN BENTÓNICA DEL ARRECIFE VILLABLANCA

ISLA COZUMEL, QUINTANA ROO



JULIO DE 2025

www.wrcapitalnatural.com

WHITEROCK®
Capital Natural y Medio Ambiente

CARACTERIZACIÓN GENERAL DE LA COMUNIDAD BENTÓNICA DEL ARRECIFE VILLABLANCA - COZUMEL, QUINTANA ROO

1) OBJETIVO

El presente estudio tiene como objetivo el llevar a cabo una caracterización general de la comunidad macro bentónica presente en el sitio del proyecto (eje del muelle) denominado MUELLE COZUMEL, TERMINAL DE CRUCEROS promovido por la empresa MUELLES DEL CARIBE S.A. DE C.V., cuya Manifestación de Impacto Ambiental Modalidad Regional (MIA-R) cuenta actualmente con la autorización en materia de impacto ambiental con número de oficio resolutivo: SGPA/DGIRA/DG-05859-21. La localización del muelle se traslapa con la ubicación del denominado “Arrecife Villablanca” localizado en la isla de Cozumel, Quintana Roo.

2) METODOLOGÍA

Se llevó a cabo un levantamiento general de la composición bentónica del fondo marino correspondiente específicamente al eje del muelle definido por las coordenadas exactas especificadas en los ANEXOS asociados a la MIA-R del proyecto y autorizadas por la SEMARNAT de acuerdo al Oficio Resolutivo: SGPA/DGIRA/DG-05859-21 (ver Tabla I a,b y Figura 1). La longitud total del eje del muelle es de 800 metros cuyo arranque parte de la línea de costa al sur del club de playa Sunset extendiéndose 20 metros mar adentro (segmento 1) hasta alcanzar el primer vértice del cual parte el segmento 2 del muelle a un ángulo de aproximadamente 25° con respecto al eje del arranque del muelle. El segmento 2 cuenta con una longitud de aproximadamente 340 metros alcanzando el borde de la plataforma insular (“cantil”) en donde se localiza el segundo vértice a partir del cual parte el segmento 3 el cual corre sobre el borde de la plataforma insular de manera casi paralela a la línea de costa alcanzando una longitud de 440 metros.

Tabla 1a. Coordenadas exactas del eje del muelle autorizado por la SEMARNAT de acuerdo al Oficio Resolutivo: SGPA/DGIRA/DG-05859-21 R. Las coordenadas fueron tomadas de la Tabla IV.1: “Coordenadas de los transectos de muestreo del macrobentos dentro del SAR marino de Cozumel” la cual aparece en la versión extensa de la “Descripción del Sistema Ambiental Regional y señalamiento de tendencias del desarrollo y deterioro de la región: Medio Marino”, Anexo correspondiente al Capítulo IV de la MIA-R.

No.	X	Y	No.	X	Y
1	503080.477	2265868.04	38	502937.218	2265546.51
2	503076.407	2265858.91	39	502936.99	2265546.62
3	503075.95	2265859.11	40	502925.594	2265521.04
4	503064.555	2265833.54	41	502925.823	2265520.94
5	503065.012	2265833.33	42	502921.753	2265511.8
6	503060.942	2265824.2	43	502921.524	2265511.9
7	503060.485	2265824.4	44	502910.129	2265486.33
8	503049.089	2265798.82	45	502910.357	2265486.23
9	503049.546	2265798.62	46	502906.287	2265477.09
10	503045.476	2265789.49	47	502911.485	2265468.55
11	503045.02	2265789.69	48	502911.271	2265468.42
12	503033.624	2265764.11	49	502925.825	2265444.5
13	503034.081	2265763.91	50	502926.039	2265444.63
14	503030.011	2265754.78	51	502931.236	2265436.09
15	503029.554	2265754.98	52	502931.023	2265435.96
16	503018.387	2265729.3	53	502945.577	2265412.04
17	503018.615	2265729.2	54	502945.79	2265412.17
18	503014.545	2265720.07	55	502950.988	2265403.62
19	503014.317	2265720.17	56	502950.774	2265403.49
20	503002.921	2265694.59	57	502965.328	2265379.57
21	503003.15	2265694.49	58	502965.542	2265379.7
22	502999.08	2265685.36	59	502970.739	2265371.16
23	502998.852	2265685.46	60	502970.526	2265371.03
24	502987.456	2265659.88	61	502985.08	2265347.11
25	502987.684	2265659.78	62	502985.293	2265347.24
26	502983.614	2265650.65	63	502990.491	2265338.7
27	502983.386	2265650.75	64	502990.277	2265338.57
28	502971.991	2265625.17	65	503004.831	2265314.64
29	502972.219	2265625.07	66	503005.045	2265314.77
30	502968.149	2265615.93	67	503010.242	2265306.23
31	502967.921	2265616.04	68	503010.029	2265306.1
32	502956.525	2265590.46	69	503072.151	2265204
33	502956.753	2265590.36	70	503109.057	2265184.3
34	502952.684	2265581.22	71	503102.277	2265171.48
35	502952.455	2265581.33	72	503061.789	2265193.13
36	502941.06	2265555.75	73	502997.641	2265298.57
37	502941.288	2265555.65	74	502997.428	2265298.44

Tabla 1b. Coordenadas exactas del eje del muelle autorizado por la SEMARNAT de acuerdo al Oficio Resolutivo: SGPA/DGIRA/DG-05859-21 R. Las coordenadas fueron tomadas de la Tabla IV.1: “Coordenadas de los transectos de muestreo del macrobentos dentro del SAR marino de Cozumel” la cual aparece en la versión extensa de la “Descripción del Sistema Ambiental Regional y señalamiento de tendencias del desarrollo y deterioro de la región: Medio Marino”, Anexo correspondiente al Capítulo IV de la MIA-R.

No.	X	Y	No.	X	Y
75	502992.23	2265306.98	111	502938.982	2265587.33
76	502992.444	2265307.11	112	502943.052	2265596.46
77	502977.89	2265331.03	113	502943.28	2265596.36
78	502977.676	2265330.9	114	502954.676	2265621.94
79	502972.479	2265339.44	115	502954.447	2265622.04
80	502972.692	2265339.57	116	502958.517	2265631.17
81	502958.138	2265363.49	117	502958.746	2265631.07
82	502957.925	2265363.36	118	502970.141	2265656.65
83	502952.727	2265371.91	119	502969.913	2265656.75
84	502952.941	2265372.04	120	502973.983	2265665.88
85	502938.387	2265395.96	121	502974.211	2265665.78
86	502938.173	2265395.83	122	502985.607	2265691.36
87	502932.976	2265404.37	123	502985.378	2265691.46
88	502933.189	2265404.5	124	502989.448	2265700.59
89	502918.635	2265428.42	125	502989.677	2265700.49
90	502918.422	2265428.29	126	503001.072	2265726.07
91	502913.224	2265436.83	127	503000.844	2265726.17
92	502913.438	2265436.96	128	503004.914	2265735.31
93	502898.884	2265460.88	129	503005.142	2265735.2
94	502898.67	2265460.75	130	503016.766	2265760.68
95	502893.473	2265469.3	131	503016.309	2265760.88
96	502893.9	2265469.56	132	503020.379	2265770.02
97	502889.949	2265476.05	133	503020.836	2265769.81
98	502893.042	2265482.99	134	503032.231	2265795.39
99	502892.586	2265483.2	135	503031.775	2265795.59
100	502896.656	2265492.33	136	503035.845	2265804.73
101	502896.884	2265492.23	137	503036.301	2265804.52
102	502908.279	2265517.81	138	503047.697	2265830.1
103	502908.051	2265517.91	139	503047.24	2265830.3
104	502912.121	2265527.04	140	503051.31	2265839.44
105	502912.349	2265526.94	141	503051.767	2265839.23
106	502923.745	2265552.52	142	503063.162	2265864.81
107	502923.517	2265552.62	143	503062.706	2265865.01
108	502927.586	2265561.75	144	503066.775	2265874.15
109	502927.815	2265561.65	1	503080.477	2265868.04
110	502939.21	2265587.23			

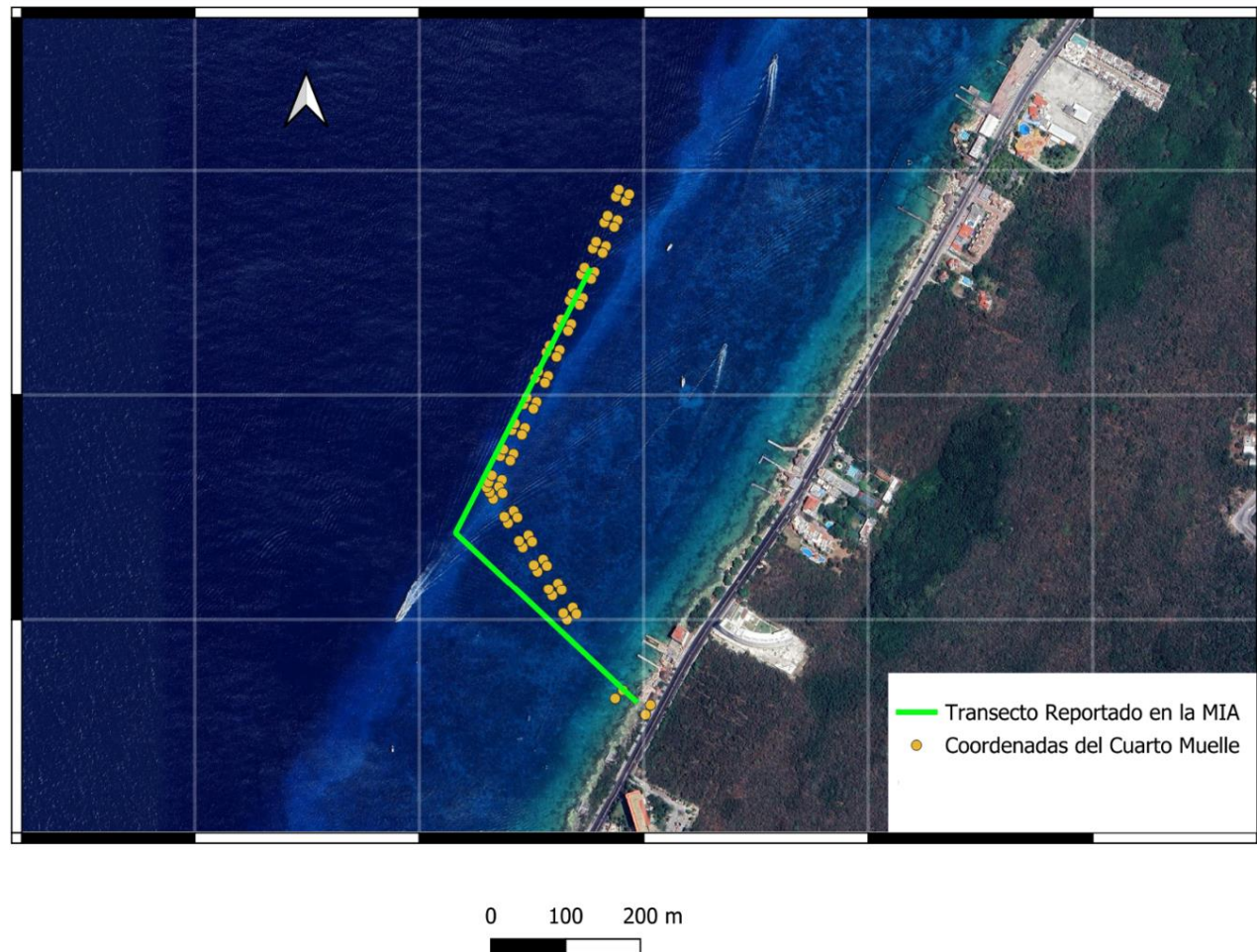


Figura 1. Discrepancia entre las coordenadas exactas del eje del muelle autorizado por la SEMARNAT de acuerdo al Oficio Resolutivo: SGPA/DGIRA/DG-05859-21 (círculos amarillos) y el Transecto P (línea verde: TP) a lo largo del cual se realizó la caracterización de biota y flora marina manifestada en la MIA-R por la empresa Muelles del Caribe S.A. de C.V. Las coordenadas de este último están tomadas de la Tabla IV.1: “Coordenadas de los transectos de muestreo del macrobentos dentro del SAR marino de Cozumel” la cual aparece en la versión extensa de la “Descripción del Sistema Ambiental Regional y señalamiento de tendencias del desarrollo y deterioro de la región: Medio Marino”, Anexo correspondiente al Capítulo IV de la MIA-R.

En este estudio se incluyó una caracterización cuantitativa de la composición general de la comunidad macro bentónica existente a lo largo del eje del muelle mediante foto transectos (ver más adelante) además de una evaluación cualitativa de la flora y fauna existente en la zona adyacente al mismo. Con base en las características del fondo marino en la costa occidental de la isla de Cozumel a lo largo del eje del muelle, se planteó que el eje del muelle atraviesa cuatro unidades ambientales marinas (UAs), las cuales reflejan ecosistemas marinos con características distintas:

UA-1: Consiste en un fondo preponderantemente arenoso con aproximadamente 100 metros de longitud a partir de la línea de costa (primer escalón).

UA-2: Zona de transición del fondo arenoso a zona pedregosa compuesta de macroalgas y de praderas de pastos marinos con 225 metros de longitud a partir del final de la UA-1 (primera terraza).

UA-3: Zona de duna submarina compuesta por un fondo arenoso con aproximadamente 25 metros de longitud a partir del final de la UA-2.

UA-4: Cordillera arrecifal con aproximadamente 450 metros de longitud (borde del cantil).

Con respecto a la longitud total del eje del muelle, la porción porcentual lineal correspondiente a cada UA es aproximadamente la siguiente: UA-1 (12.5%), UA-2 (28%), UA-3 (3%) y UA-4 (56.5%). La caracterización cuantitativa se llevó a cabo a lo largo de cuatro transectos los cuales fueron trazados al interior del eje del muelle (Figura 2). Previo al inicio del trabajo submarino, la georreferenciación de los transectos se realizó a bordo de una embarcación utilizando un GPS Garmin GPSMap 64stm una vez identificada la localización correcta, desde la embarcación se lanzaron boyas de referencia lastradas con plomos de buceo sujetos a cintillas de plástico. Lo anterior fue llevado a cabo para los transectos 1, 2 y 3. La excepción fue el transecto 4 debido a que la cordillera arrecifal está justamente alineada con el eje del muelle, además de contar, como puntos de referencia, el canal de arena en el lado este (UA-3) y el cantil (terminación de la plataforma insular) en el lado oeste, por lo que no es necesario el uso de las boyas de referencia.

Cada transecto se subdividió en múltiples sub transectos de 10 metros de longitud cada uno. El transecto 1 incluyó 6 sub transectos y se realizó al interior de la UA-1, mientras que el transecto 2 incluyó 8 sub transectos al interior de la UA-2, (en la zona adyacente a la UA-1). Por otra parte, el transecto 3 consistió en 8 sub transectos y también fue realizado al interior de la UA-2 pero en la zona más distante de la costa. Finalmente, el transecto 4 consistió en 7 sub transectos los cuales fueron llevados a cabo a lo largo de la UA-4. Cabe mencionar que no se realizó ningún transecto en la UA-3 debido a la escasa comunidad macro bentónica característica de las dunas submarinas, además de representar apenas el 3% de la longitud total del eje del muelle. La longitud total muestreada en los cuatro transectos es de 290 metros lo cual corresponde al 36.35% de la longitud total del muelle. En la Figura 2 se ilustra la zonificación planteada con base en las Unidades Ambientales, así como la distribución de los transectos y sub transectos a lo largo del eje del muelle.

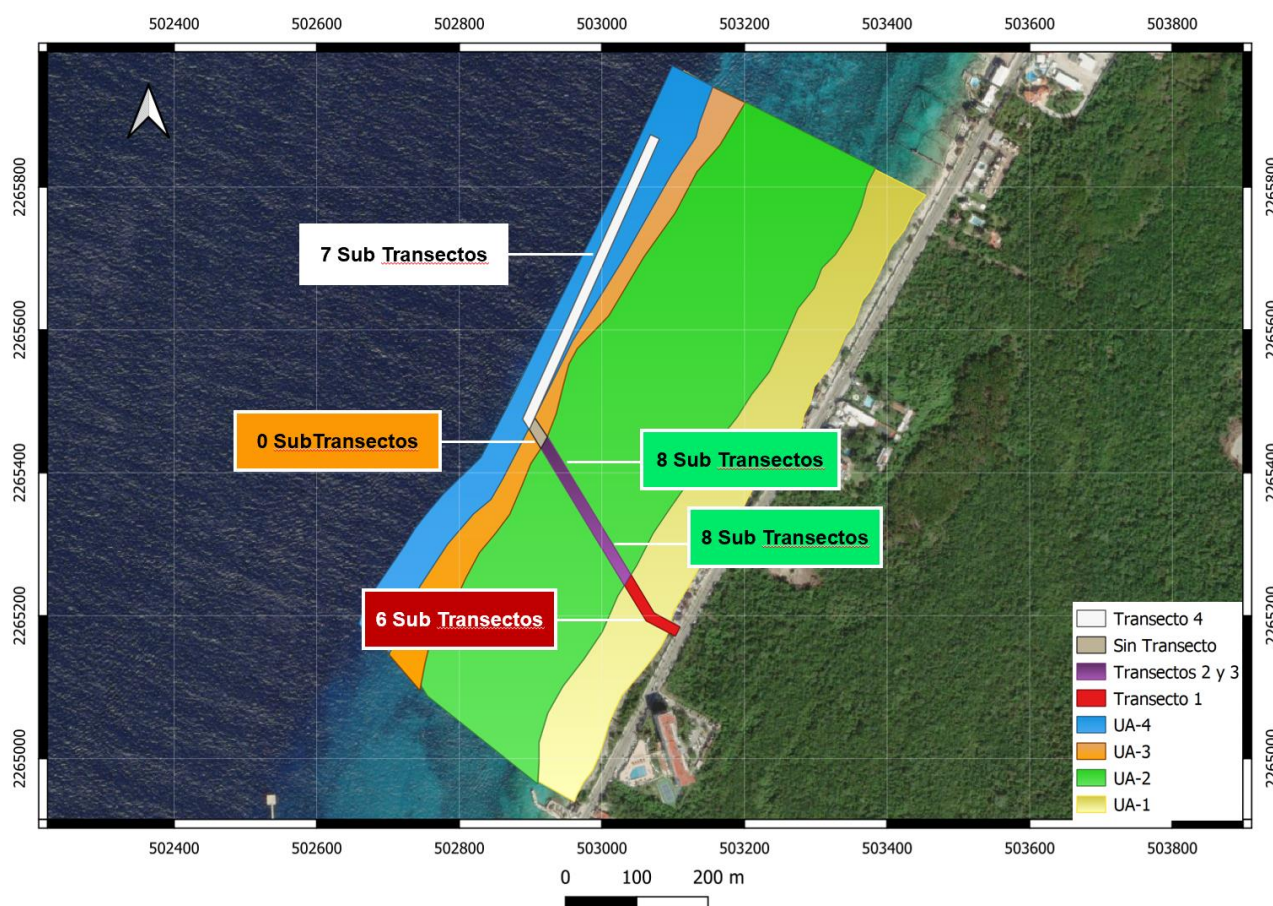


Figura 2. Localización de las Unidades Ambientales planteadas en este estudio y distribución de los transectos y los sub transectos a lo largo del eje del muelle.

Para marcar el eje de cada sub transecto se utilizó una soga de 10 metros la cual fue alineada en ambos extremos con respecto a las boyas de referencia. En cada transecto se obtuvieron fotogramas utilizando una cámara digital de alta resolución marca GoPro 12 Black de resolución 4K, a una distancia aproximada de 1 metro entre el lente de la cámara y la superficie arrecifal. Para mantener una superficie constante de muestreo para cada fotograma, se utilizaron cuadrantes de PVC de 1 m x 1 m. Los fotogramas se colectaron por triplicado a cada metro sobre la línea de transecto (30 fotografías por sub transecto en total).



Figura 3. Preparación del equipo de trabajo previo al inicio de las actividades subacuáticas (panel superior) y georreferenciación de las boyas de referencia lastradas que fueron utilizadas como referencia para alinear los sub transectos con el eje del muelle (panel inferior).

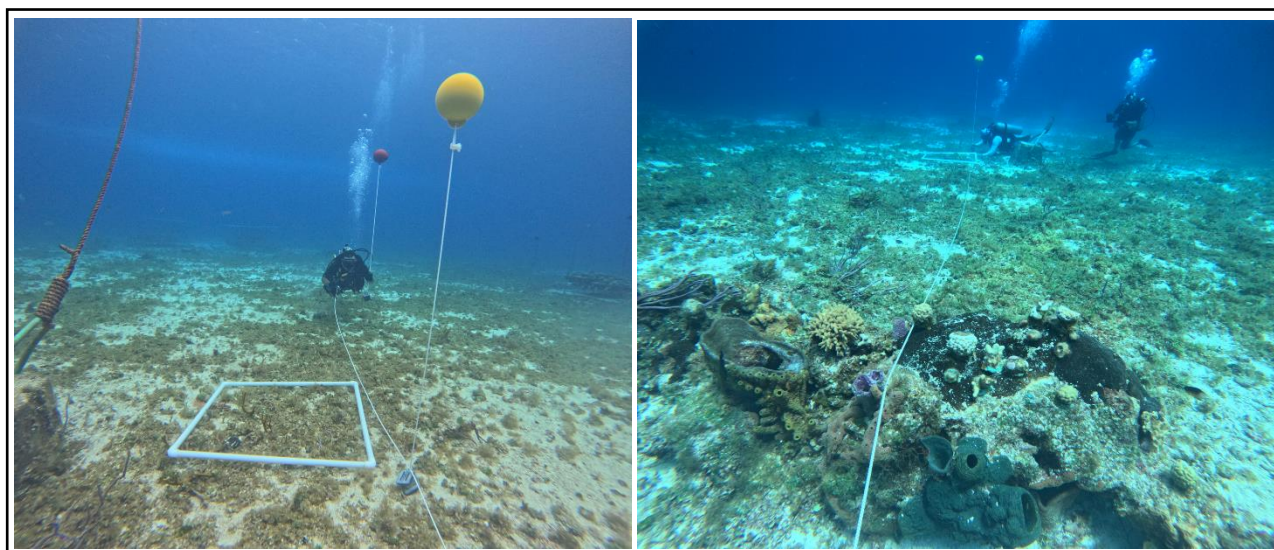


Figura 4. Detalle del trabajo de alineación de la línea del sub transecto con respecto a las boyas de referencia en diversos puntos de la UA-2.

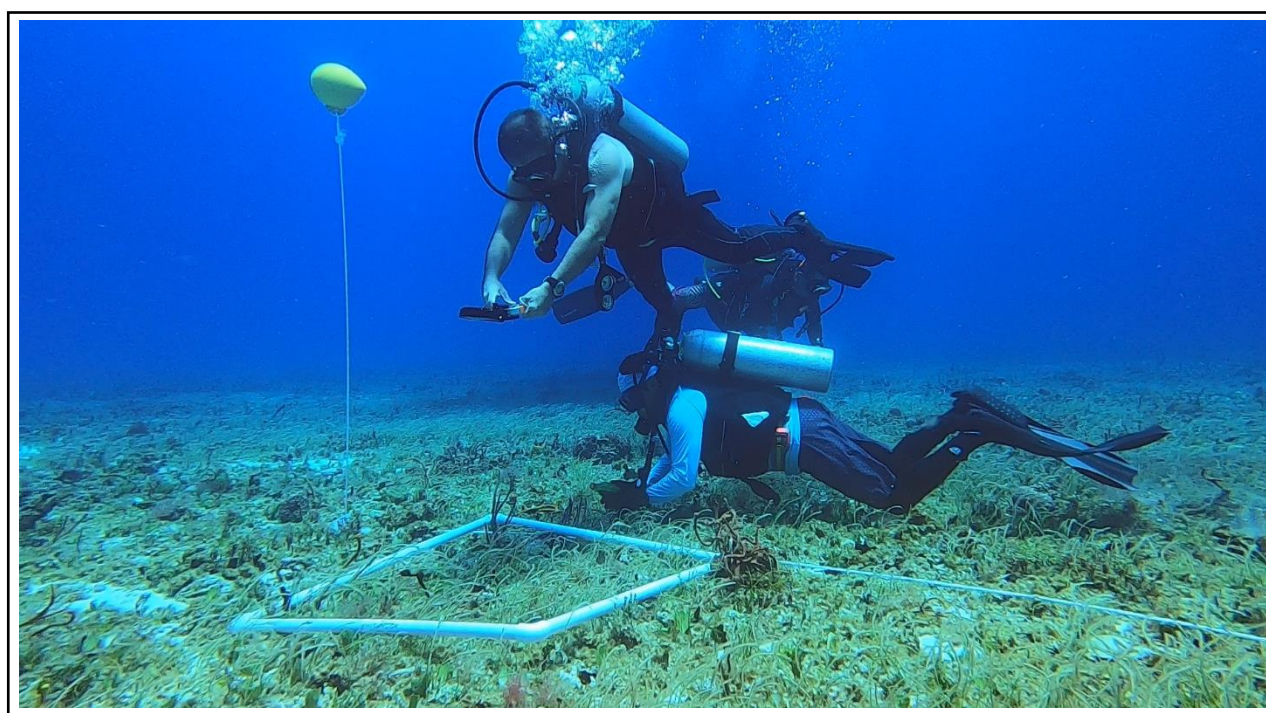


Figura 5. Detalle de la captura de fotogramas a lo largo de uno de los sub transectos en la UA-2.

Utilizando el mejor fotograma de los tres obtenidos en cada cuadrante se realizaron las estimaciones de cobertura de las principales categorías (corales, algas, esponjas, etc.); utilizando el programa de análisis digital de imágenes Coral Point Count con extensiones de Excel (CPCe 4.1; Kevin Kohler, National Coral Reef Institute, Nova Southeastern University, 2006). Este software permite automatizar el proceso de análisis de conteos aleatorios de puntos, así como calibrar imágenes, calcular el área planar y la longitud de las características bentónicas. A las imágenes de los transectos se les asignaron 30 puntos aleatorios espaciales para su identificación. Para el análisis, se combinaron todas las imágenes colectadas a lo largo de cada sub transecto y posteriormente se volvió a hacer el análisis para incluir todas las imágenes colectadas en cada transecto con el fin de poder tener una caracterización general de cada Unidad Ambiental.

Por otra parte, la evaluación cualitativa de la composición de la comunidad macro bentónica se llevo a cabo mediante video transectos de alta resolución (4k) utilizando cámaras GoPro 12 Black de manera continua, abarcando la longitud total del polígono del eje del muelle, así como la zona adyacente en ambos lados del mismo para obtener una descripción general de las características del fondo marino y la comunidad bentónica a lo largo del eje del muelle. Cabe mencionar que esta caracterización fue particularmente relevante para la UA-4 en la cual es complicado obtener fotogramas adecuados mediante la técnica de cuadrantes debido a los episodios de corrientes marinas (de norte a sur) preponderante en esa zona lo cual dificulta el posicionamiento adecuado del cuadrante, así como la alineación correcta de la cámara con el mismo para la obtención adecuada de fotogramas.



Figura 6. Detalle de la colocación del cuadrante al inicio de uno de los sub transectos correspondiente al transecto 1.



Figura 7. Detalle de la captura de fotogramas en el transecto 4 (panel superior) y detalle de la realización de video transectos a lo largo del transecto 4 (panel inferior).

3) RESULTADOS

La descripción general de cada una de las zonas caracterizada en los transectos se proporciona a continuación, así como los resultados del análisis de cobertura de las principales categorías (corales, algas, esponjas, etc.) obtenido con el programa Coral Point Count.

Transecto 1

El transecto 1 se planteó al interior de la UA-1 en la cual predomina un fondo arenoso con algunas rocas calcáreas en la línea de costa y con la presencia de un tapete algal conocido como “turf” el cual es característico de gran parte de la zona adyacente a la costa occidental de la isla de Cozumel. En esta zona se identificó una predominancia de macroalgas (turf, algas pardas y verdes principalmente) que alcanzó el 56.04 % mientras que el 30.89% este compuesto por arena, pavimento calcáreo y rocas sueltas. Las esponjas alcanzan una cobertura del 7.82% mientras que la cobertura coralina correspondiente es de 4.5% y la de los octocorales y gorgonidos es del 0.38%.

Tabla II. Resultados del análisis de porcentaje de cobertura para el transecto 1 realizado con el programa Coral Point Count.

Project:	ARRECIFE VILLABLANCA	Analysis date:	28 de Junio de 2025
Dataset name:	TRANSECTO 1	Analysis by:	Dr. Adrián Villegas Jiménez
Location:	Long: 503095.15	Codefile:	C:\CPCe_41_inst\shallow_coral_codes_41.txt
	Latitud: 2265183.95		
	Long: 503035.87		
	Latitud: 2265249.16		
File/sheetname:	E:\FOTOS Adicionales Nikon, GoPro y Drone 2025\Cuarto Muelle\FOTO TRANSECTOS\Transecto 1\TRANSECTO COMPLE		
TRANSECT NAME	ST1-FULL		
Number of frames	60		
Total points	1599		
Total points (minus tape+wand+shadow)	1599		
MAJOR CATEGORY (% of transect)		MEAN	STD. DEV.
CORAL (C)	4.50	4.50	
GORGONIANS (G)	0.38	0.38	
SPONGES (S)	7.82	7.82	
ZOANTHIDS (Z)	0.00	0.00	
MACROALGAE (MA)	56.04	56.04	
OTHER LIVE (OL)	0.00	0.00	
DEAD CORAL WITH ALGAE (DCA)	0.00	0.00	
CORALLINE ALGAE (CA)	0.19	0.19	
DISEASED CORALS (DC)	0.00	0.00	
SAND, PAVEMENT, RUBBLE (SPR)	30.89	30.89	
UNKNOWN (U)	0.19	0.19	
TAPE, WAND, SHADOW (TWS)	0.00	0.00	0.00
Sum (excluding tape+shadow+wand)	100.00		

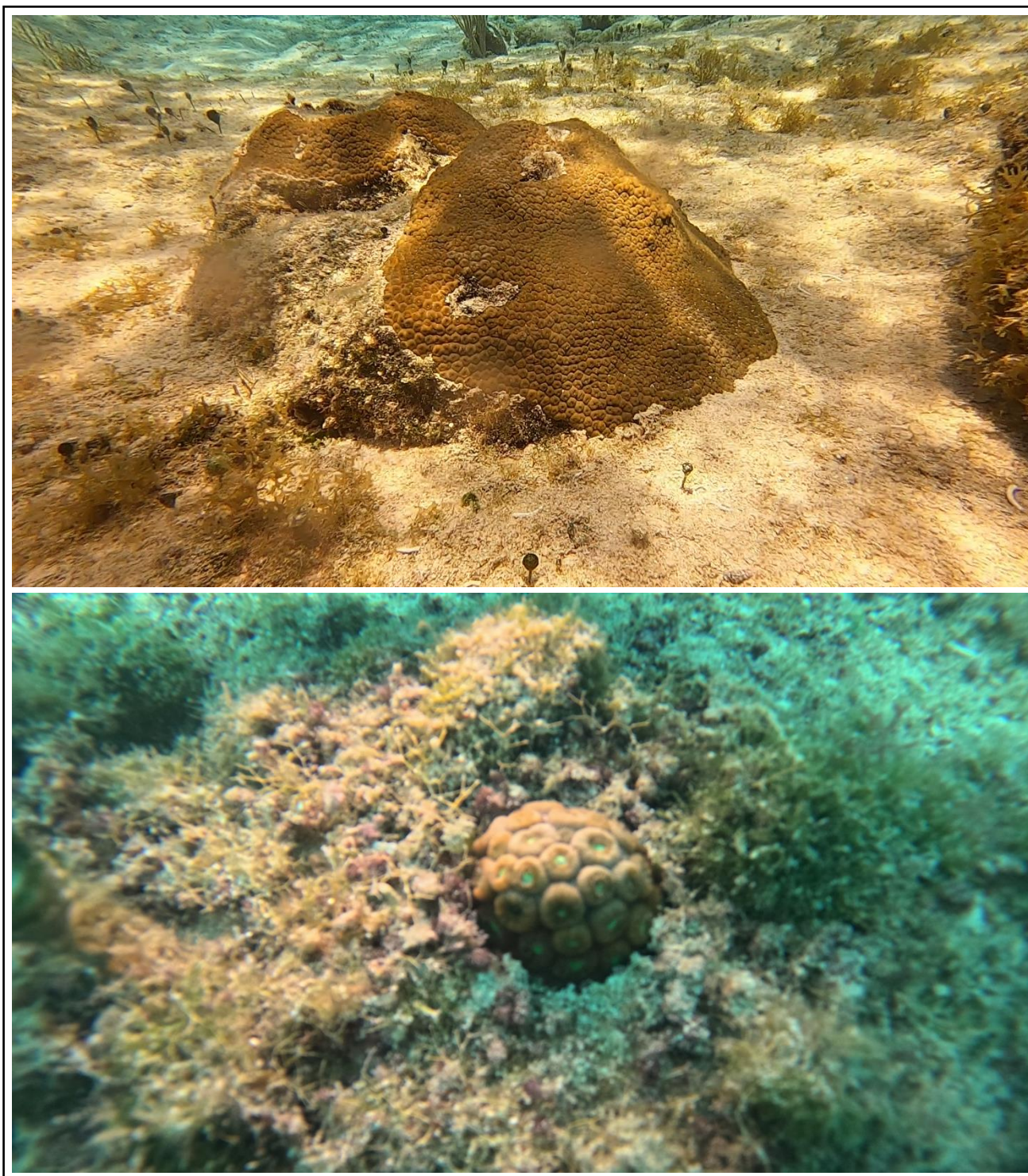


Figura 8. Detalle de un ejemplar de coral muy grande de la especie *Montastrea cavernosa* en regular estado de salud (panel superior) y detalle de un recluta de coral de la especie *Montastrea cavernosa* en excelente estado de salud (panel inferior).

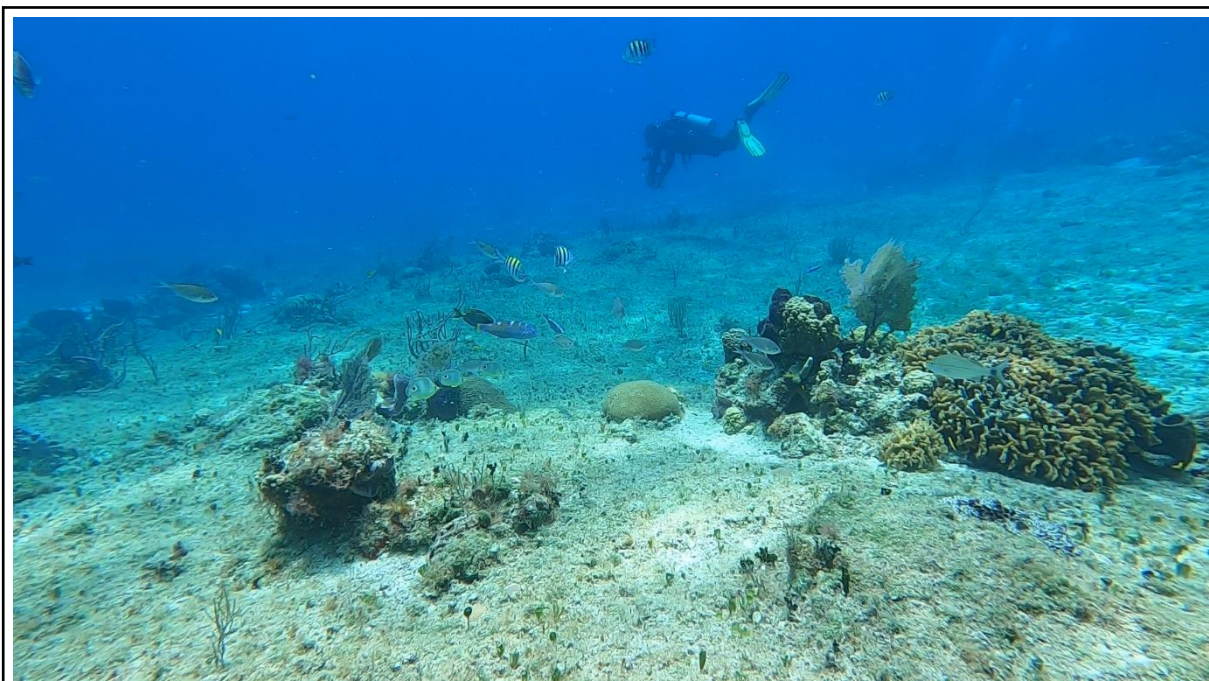


Figura 9. Panorámica de la zona adyacente al eje del muelle en la UA-1 en la cual se pueden observar numerosos ejemplares de coral de diversas especies, incluida *Agaria tenuifolia*, *Porites astreoides*, *Siderastrea siderea*, *Montastrea cavernosa*, etc. estado de salud (panel inferior).



Figura 10. Panorámica de la zona adyacente al eje del muelle en la UA-1 en la cual se pueden observar varias estructuras de cemento denominadas “Reef Balls” que se utilizan como agregadores de peces.

En la misma trayectoria del transecto 1, a unos metros de la línea de costa, se observaron dos ejemplares de la especie *Acropora palmata* la cual está protegida bajo la NOM-059. Además, en la zona adyacente al transecto 1 se identificaron varios ejemplares de diversas especies de coral incluida *Porites astreoides*, *Porites divaricata*, *Pseudodiploria strigosa*, *Favia fragum*, *Siderastrea siderea*, *Agaricia tenuifolia*, *Orbicella annularis*, *Orbicella faveolata* (éstas dos protegidas bajo la NOM-059), entre otras.

A pesar de ser una zona con un evidente grado de deterioro, es notable la presencia de reclutas de varias especies de coral entre ellas *Montastrea cavernosa*, *Porites astreoides*, *Favia fragum* y *Siderastrea siderea* lo cual refleja condiciones ambientales que permiten la viabilidad de las especies coralinas. Cabe resaltar también la presencia de varias plataformas planas de concreto con geometría irregular las cuales son utilizadas como sustrato para la fijación de fragmentos de coral como parte de un programa de intervención de miembros de la comunidad local. Cabe mencionar que la introducción de estas plataformas fue autorizada el 4 de enero de 2012 mediante el oficio resolutivo 04/SGA/033/12 como parte del proyecto denominado: “*Conservación del ambiente y perspectivas para el enriquecimiento de la calidad turística obtenida por los buzos visitantes a los arrecifes de coral de Cozumel, Quintana Roo, mediante el establecimiento de arrecifes artificiales frente a la zona costera conocida como playa Villablanca en Cozumel, Quintana Roo*”.

También se observaron numerosos “Reef Balls” que fueron introducidos hace años y que sirven como sitio de refugio y agregación de peces arrecifales. La cobertura de esponjas incluyó especies de tipo de bola, tubulares, incrustantes y de barril o de copa. También se observó la presencia de otros invertebrados sésiles tales como anemonas.

Transecto 2

El transecto 2 se planteó al interior de la UA-2, en la zona adyacente a la UA-1. Esta zona comienza aproximadamente en el primer escalón que denota el límite al oeste de la UA-1 y en ella se puede observar un fondo arenoso que rápidamente se convierte en un fondo compuesto por arenas gruesas, pavimento o laja calcárea y pedacería de coral. En esta zona se identificó una predominancia de macroalgas (algas pardas y verdes principalmente) y pastos marinos que juntos alcanzan el 50.4% pero sin proliferación del denominado tapete algal o “turf”. El 40% de la superficie está compuesta por arena, pavimento calcáreo y rocas sueltas. Las esponjas alcanzan una cobertura del 6.4% (principalmente tubulares pertenecientes al género *Aplysina spp.*) mientras que la cobertura coralina es de solo 0.3% y no se registra presencia significativa de octocorales o gorgonidos.

Tabla III. Resultados del análisis de porcentaje de cobertura para el transecto 2 realizado con el programa Coral Point Count.

Project:	ARRECIFE VILLABLANCA		Analysis date:	27 de Junio de 2025	
Dataset name:	TRANSECTO 2		Analysis by:	Dr. Adrián Villegas Jiménez	
Location:	Long: 503035.87		Codefile:	C:\CPCe_41_inst\shallow_coral_codes_41.txt	
	Latitud: 2265249.16				
	Long: 502918.87				
	Latitud: 2265441.11				
File/sheetname:	E:\FOTOS Adicionales Nikon, GoPro y Drone 2025\Cuarto Muelle\FOTO TRANSECTOS\Transecto 2\TRANSECTO COMPLETO				
TRANSECT NAME	ST2-FULL				
Number of frames	79				
Total points	2369				
Total points (minus tape+wand+shadow)	2369				
MAJOR CATEGORY (% of transect)		MEAN	STD. DEV.	STD. ERROR	
CORAL (C)	0.30	0.30			
GORGONIANS (G)	0.00	0.00			
SPONGES (S)	6.37	6.37			
ZOANTHIDS (Z)	0.00	0.00			
MACROALGAE (MA)	50.36	50.36			
OTHER LIVE (OL)	2.79	2.79			
DEAD CORAL WITH ALGAE (DCA)	0.04	0.04			
CORALLINE ALGAE (CA)	0.08	0.08			
DISEASED CORALS (DC)	0.00	0.00			
SAND, PAVEMENT, RUBBLE (SPR)	40.06	40.06			
UNKNOWN (U)	0.00	0.00			
TAPE, WAND, SHADOW (TWS)	0.00	0.00			
Sum (excluding tape+shadow+wand)	100.00				

Del 50.4% de la cobertura representada por la flora marina, el 44% son macroalgas, principalmente pardas de la especie *Lobophora variegata*, mientras que el 6.4% está representada por pastos marinos entre los cuales se identificaron las especies *Thalassia testudinum* (Pasto tortuga) y *Syringodium filiforme* (Pasto manatí) las cuales se encuentran protegidas por la NOM-059.

A continuación, se presentan imágenes de algunos de los fotogramas que fueron incluidos en el análisis cuantitativo, realizado con Coral Point Count, y que ilustran los porcentajes de cobertura mencionados anteriormente.

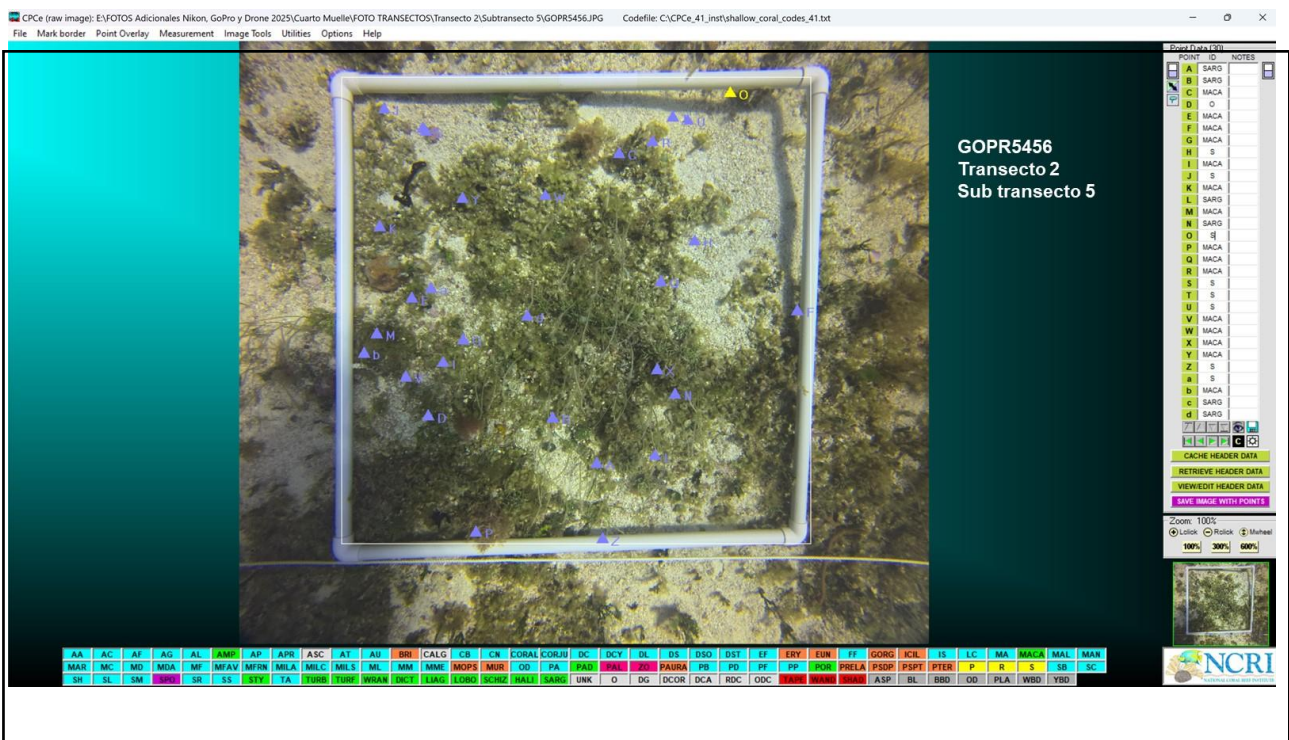


Figura 11. Fotograma analizado con Coral Point Count correspondiente al sub transecto 5 del transecto 2.

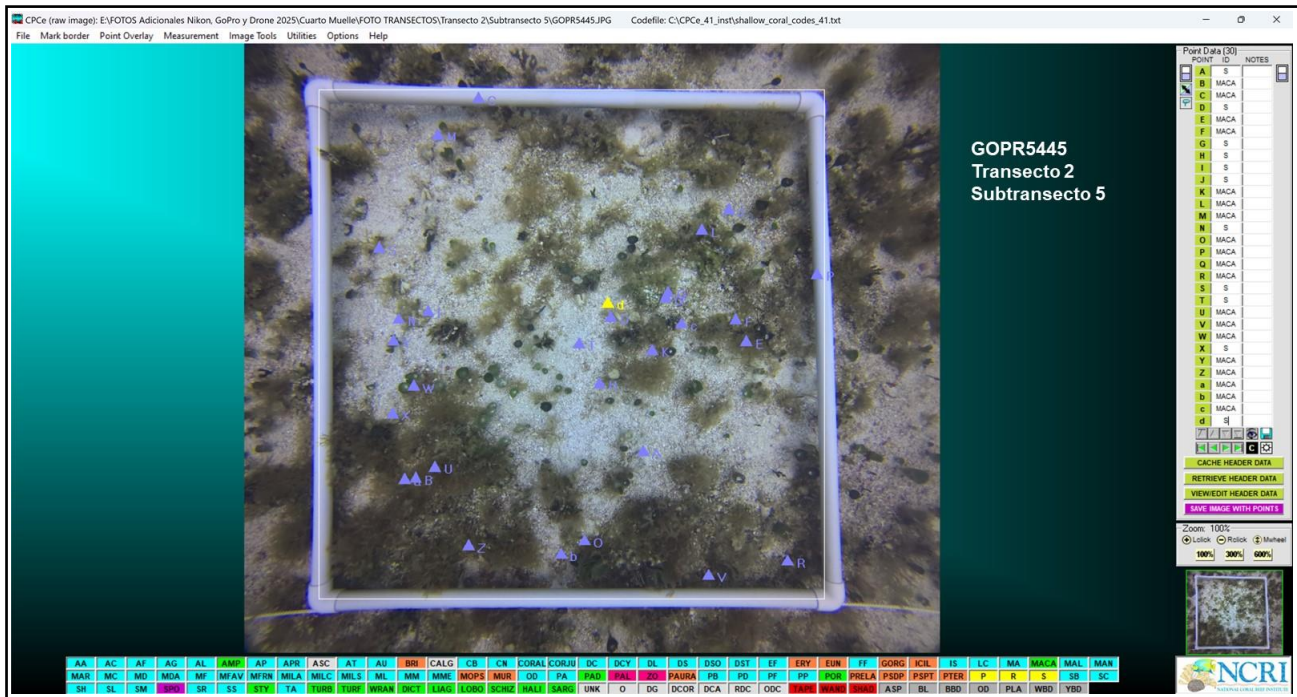


Figura 12. Fotograma analizado con Coral Point Count correspondiente al sub transecto 5 del transecto 2.

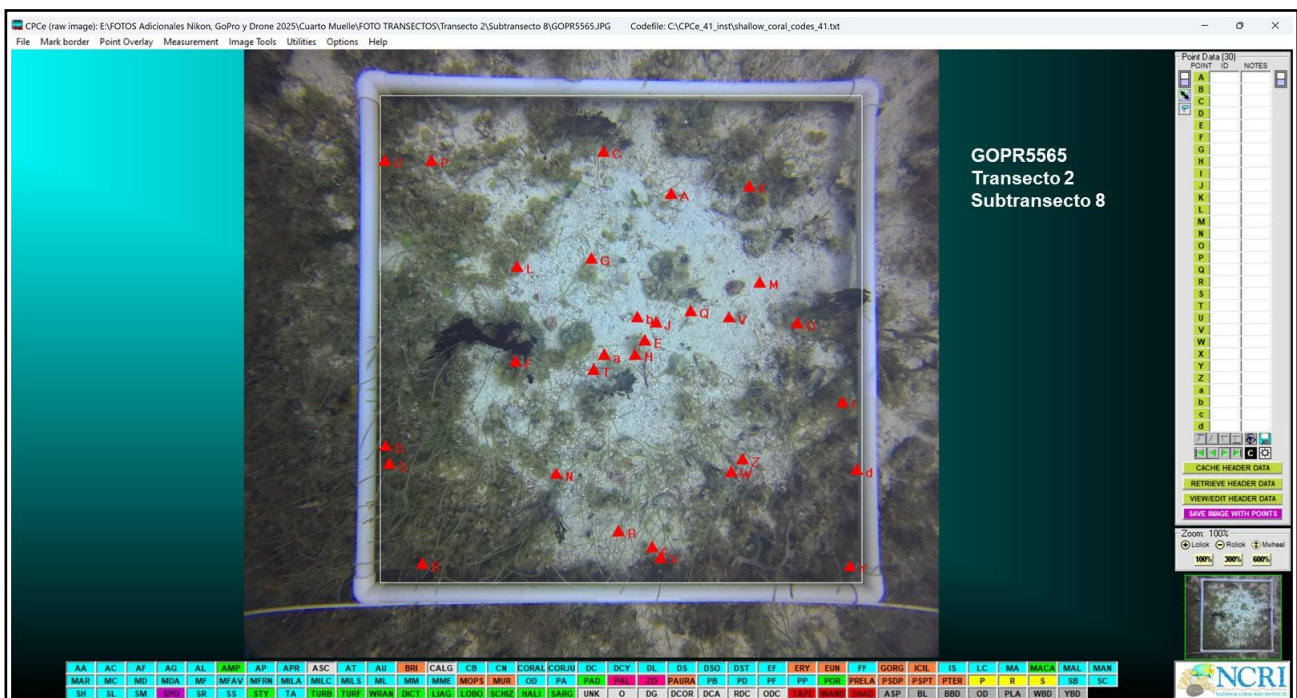


Figura 13. Fotograma analizado con Coral Point Count correspondiente al sub transecto 8 del transecto 2.

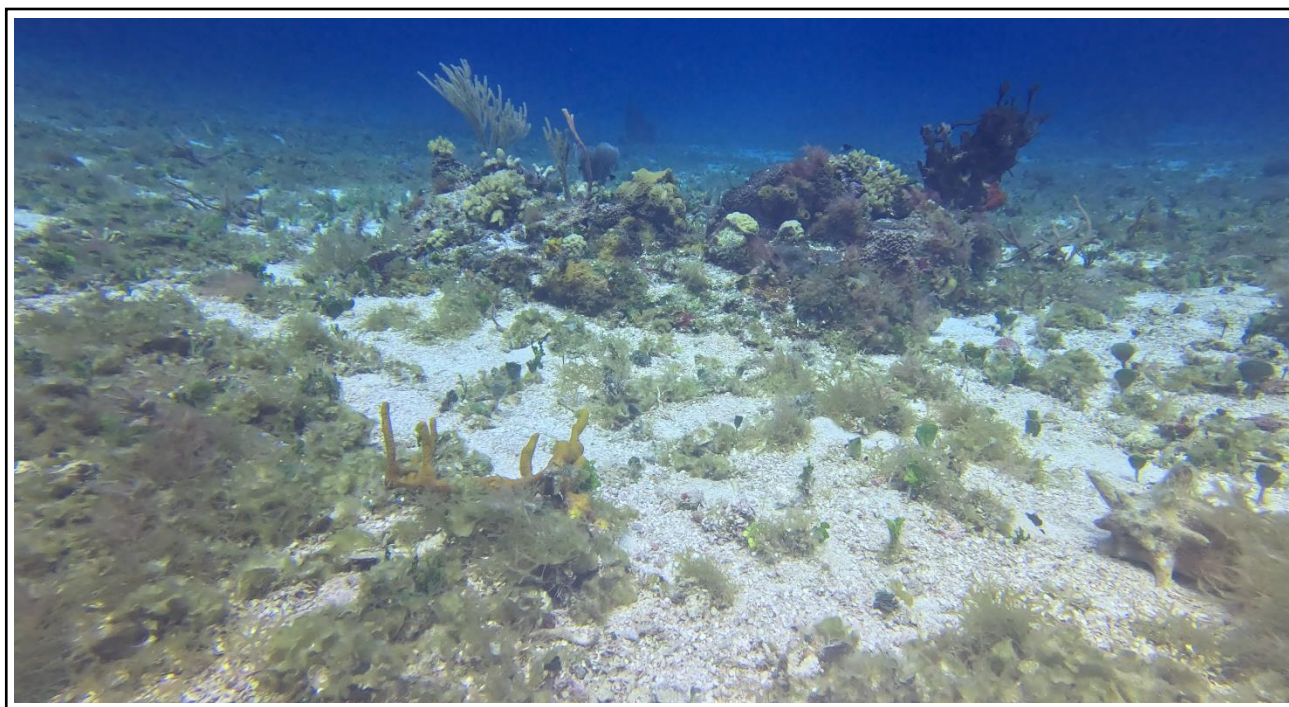


Figura 14. Panorámica de la zona adyacente al trazo del transecto 2 en la cual se puede observar la presencia de agregaciones coralinas con múltiples especies de coral, así como el fondo marino caracterizado por la presencia de arena, esponjas y y macroalgas.



Figura 15. Panorámica de la zona adyacente al trazo del transecto 2 en la cual se puede observar el fondo marino caracterizado por la presencia de arena, esponjas y y macroalgas.

Transecto 3

El transecto 3 se planteó en la zona más alejada de la UA-1 al interior de la UA-2. Esta zona es una continuación de la terraza submarina correspondiente al transecto 2 y en ella se puede observar un fondo menos arenoso que el del transecto 2 compuesto por arenas gruesas, pavimento o laja calcárea y pedacería de coral y con presencia significativa de flora marina. En esta zona se identificó una predominancia de macroalgas (algas pardas y verdes principalmente) y pastos marinos cuya combinada alcanzó el 48.2% sin proliferación del denominado tapete algal o “turf” que fue observado en el transecto 1. El 28.6% de la superficie compuesta por arena, pavimento calcáreo y rocas sueltas disminuye significativamente con respecto a lo observado en el transecto 2. Las esponjas alcanzan una cobertura del 8.2% % (principalmente tubulares pertenecientes al género *Aplysina spp.*), mientras que la cobertura coralina se mantiene en 0.3%, por debajo de la cobertura representada por algas calcáreas (0.4%) y tampoco se registra una presencia significativa de octocorales o gorgonidos. Se observó también un 14.5% de cobertura de cianobacterias (clasificado como “other” en la base de datos de Coral Point Count) las cuales probablemente pertenecen a la especie *Caldora penicillata* y en menor medida al género *Lyngbya sp.*

Tabla IV. Resultados del análisis de porcentaje de cobertura para el transecto 3 realizado con el programa Coral Point Count.

Project:	ARRECIFE VILLABLANCA		Analysis date:	26 de Junio de 2025	
Dataset name:	TRANSECTO 3		Analysis by:	Dr. Adrián Villegas Jiménez	
Location:	Long:	503035.87	Codefile:	C:\CPCe_41_inst\shallow_coral_codes_41.txt	
	Latitud:	2265249.16			
	Long:	502918.87			
	Latitud:	2265441.11			
File/sheetname:	E:\FOTOS Adicionales Nikon, GoPro y Drone 2025\Cuarto Muelle\FOTO TRANSECTOS\Transecto 3\TRANSECTO COMPLET				
TRANSECT NAME	ST3-FULL				
Number of frames	78				
Total points	2340				
Total points (minus tape+wand+shadow)	2340				
MAJOR CATEGORY (% of transect)		MEAN	STD. DEV.	STD. ERROR	
CORAL (C)	0.34	0.34			
GORGONIANS (G)	0.09	0.09			
SPONGES (S)	8.16	8.16			
ZOANTHIDS (Z)	0.09	0.09			
MACROALGAE (MA)	48.21	48.21			
OTHER LIVE (OL)	14.15	14.15			
DEAD CORAL WITH ALGAE (DCA)	0.00	0.00			
CORALLINE ALGAE (CA)	0.38	0.38			
DISEASED CORALS (DC)	0.00	0.00			
SAND, PAVEMENT, RUBBLE (SPR)	28.59	28.59			
UNKNOWN (U)	0.00	0.00			
TAPE, WAND, SHADOW (TWS)	0.00	0.00			
Sum (excluding tape+shadow+wand)	100.00				

Del 48.2% de la cobertura representada por la flora marina, el 34.9% son macroalgas, principalmente pardas de la especie *Lobophora variegata*, mientras que el 12.1% está representada por pastos marinos (el doble que lo observado en el transecto 2) entre los cuales se identificaron las especies *Thalassia testudinum* (Pasto tortuga) y *Syringodium filiforme* (Pasto manatí) las cuales se encuentran protegidas por la NOM-059. También se registra la presencia de algas verdes calcáreas como *Halimeda sp.* en 1.2%. Cabe mencionar que en este transecto se observó la presencia de cianobacterias las cuales probablemente pertenecen a la especie *Caldora penicillata* y en menor medida al género *Lyngbya sp.*

A continuación, se presentan imágenes de algunos de los fotogramas que fueron incluidos en el análisis cuantitativo, realizado con Coral Point Count, y que ilustran los porcentajes de cobertura mencionados anteriormente.

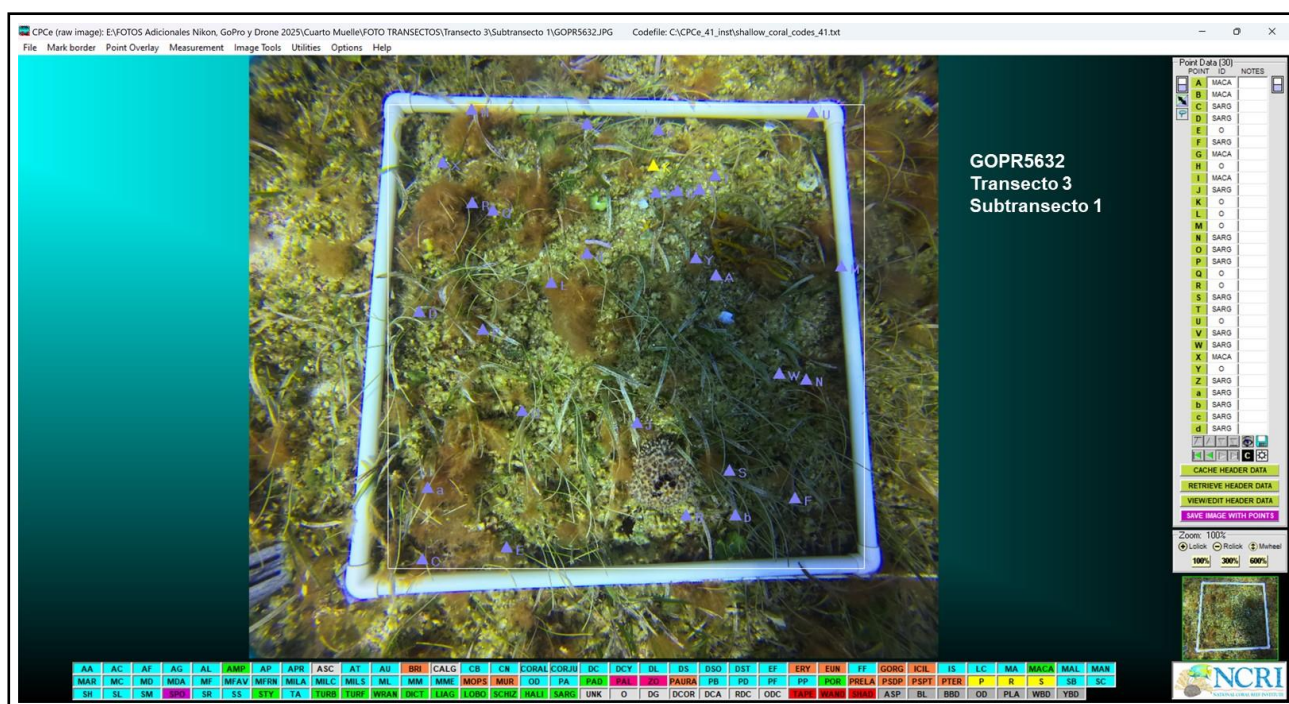


Figura 16. Fotograma analizado con Coral Point Count correspondiente al sub transecto 1 del transecto 3.

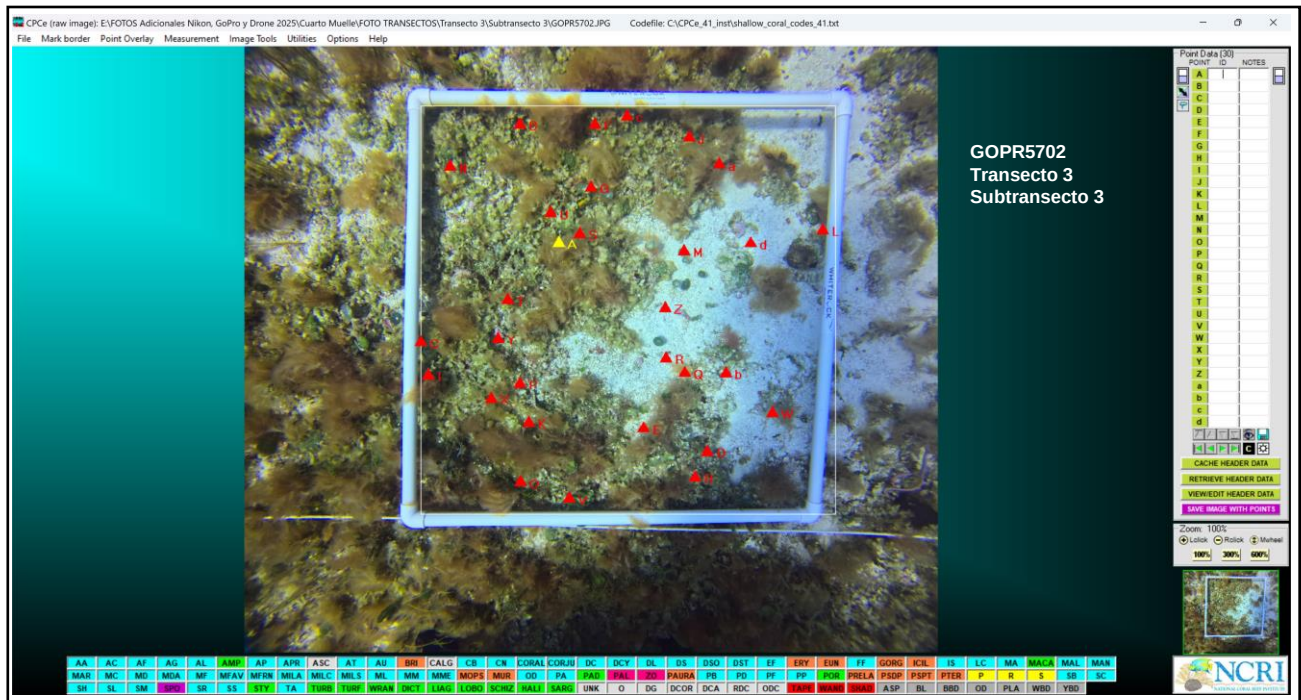


Figura 17. Fotograma analizado con Coral Point Count correspondiente al sub transecto 3 del transecto 3.

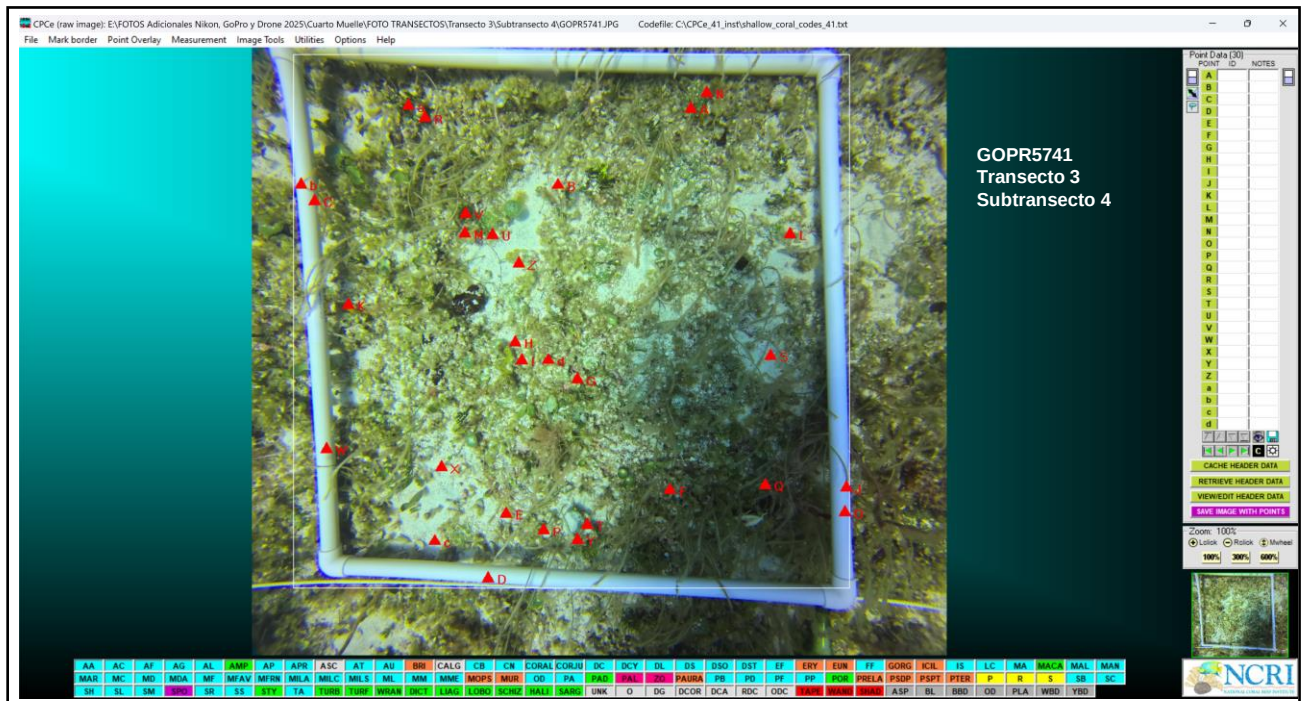


Figura 18. Fotograma analizado con Coral Point Count correspondiente al sub transecto 4 del transecto 3.

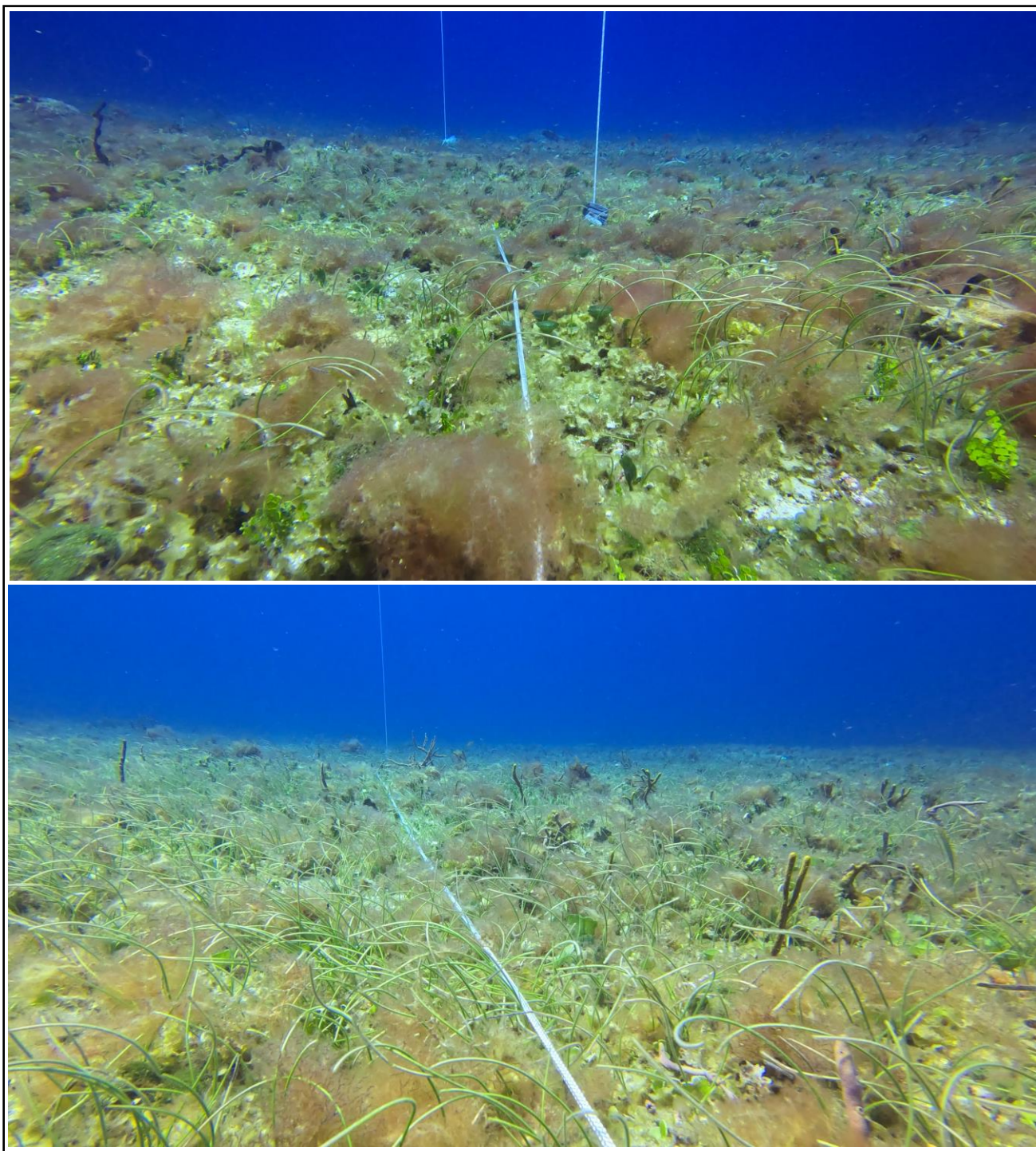


Figura 19. Panorámicas de las praderas de pastos marinos, representadas principalmente por la especie protegida bajo la NOM-059: *Syringodium filiforme*, sobre las cuales se trazaron varios sub transectos correspondientes al transecto 3. Cabe resaltar la presencia de brotes aislados de cianobacterias probablemente pertenecientes a la especie *Caldora penicillata*

Transecto 4

El transecto 4 se planteó sobre la cordillera del arrecife Villablanca correspondiente a la UA-4. Esta zona es la más profunda del eje del muelle y se ubica entre el borde del cantil (límite de la plataforma insular) y el límite oeste de la UA-3. En esta zona se plantea construir un tramo de 450 metros de longitud correspondiente al cuarto muelle de cruceros. Esta zona está compuesta por un macizo arrecifal de más de 1 kilómetro de largo con una altura variable la cual puede alcanzar más de 1 metro. La morfología del arrecife es irregular y su ancho es variable oscilando entre aproximadamente 25 y 40 metros. **Aunque el arrecife Villablanca no cuenta con una estructura tridimensional compleja como algunos de los arrecifes localizados al interior del Parque Nacional Arrecifes de Cozumel -los cuales presentan estructuras calcáreas voluminosas que alcanzan varios metros de altura y que cuentan con oquedades y geometrías intrincadas- cumple con todos los requisitos para ser denominado “arrecife” ya que es una estructura submarina formada a base de material calcáreo de origen biológico que constituye una barrera física y ofrece hábitat a múltiples especies marinas. El nivel de elevación del arrecife Villablanca con respecto al fondo marino, le permite evitar una acumulación permanente de sedimentos lo que a su vez promueve la proliferación de especies marinas tanto sésiles como móviles.**

En el transecto 4, el macro bentos está compuesto por 36.12% de arena, pavimento calcáreo y rocas sueltas seguido por las macroalgas (algas filamentosas rojas y verdes y algas calcáreas del género *Halimeda sp*) que alcanzaron el 29.15%, mientras que las esponjas alcanzan una cobertura del 27.3%. Asimismo, los corales duros y octocorales muestran valores similares de cobertura (2.04% y 2.64%, respectivamente) y por otra parte, se identifica una cobertura del 2.8% de la comunidad de hidroides que crecen sobre el macizo arrecifal o sobre esponjas. Este el transecto con mayor diversidad en lo referente a categorías y con la mayor cobertura por esponjas y corales (corales duros + octocorales). Cabe destacar también las especies de octocoral preponderantes identificadas: *Pterogorgia citrina* en primer lugar, seguida por *Iciligorgia schrammi*. Es importante señalar que la gran mayoría de las colonias de coral que fueron identificadas tanto en los levantamientos bentónicos como en los video transectos se encontraban en buen o excelente estado de salud.

Tabla V. Resultados del análisis de porcentaje de cobertura para el transecto 4 realizado con el programa Coral Point Count.

Project:	ARRECIFE VILLABLANCA			Analysis date:	25 de Junio de 2025		
Dataset name:	TRANSECTO 4			Analysis by:	Dr. Adrián Villegas Jiménez		
Location:	Long:	502893.02		Codefile:	C:\CPCe_41_inst\shallow_coral_codes_41.txt		
File/Sheetname:	Latitud:	2265469.81					
	Long:	503073.03					
	Latitud:	2265871.11					
E:\FOTOS Adicionales Nikon, GoPro y Drone 2025\Cuarto Muelle\FOTO TRANSECTOS\Transecto 3\TRANSECTO COMPLETO ZC							
TRANSECT NAME	ST4-FULL						
Number of frames	67						
Total points	2010						
Total points (minus tape+wand+shadow)	2010						
MAJOR CATEGORY (% of transect)			MEAN				
CORAL (C)	2.04		2.04				
GORGONIANS (G)	2.64		2.64				
SPONGES (S)	27.26		27.26				
ZOANTHIDS (Z)	0.00		0.00				
MACROALGAE (MA)	29.15		29.15				
OTHER LIVE (OL)	0.00		0.00				
DEAD CORAL WITH ALGAE (DCA)	0.00		0.00				
CORALLINE ALGAE (CA)	0.00		0.00				
DISEASED CORALS (DC)	2.79		2.79				
SAND, PAVEMENT, RUBBLE (SPR)	36.12		36.12				
UNKNOWN (U)	0.00		0.00				
TAPE, WAND, SHADOW (TWS)	0.00		0.00				
Sum (excluding tape+shadow+wand)	100.00						



Figura 20. Panorámica de la parte intermedia del transecto 4 en la cual se pueden observar numerosas esponjas de copa de gran tamaño, así como esponjas tubulares de diversas especies las cuales proliferan sobre el macizo del arrecife Villablanca.



Figura 21. Panorámicas de la parte intermedia del transecto 4 (panel superior e inferior), trazado a lo largo de la UA-4, en la cual se puede observar una comunidad arrecifal robusta representada por numerosos ejemplares de esponjas de copa de gran tamaño, así como esponjas tubulares de diversas especies y varios octocorales de las especie *Iciligorgia schrammi*, las cuales proliferan sobre el macizo del arrecife Villablanca.

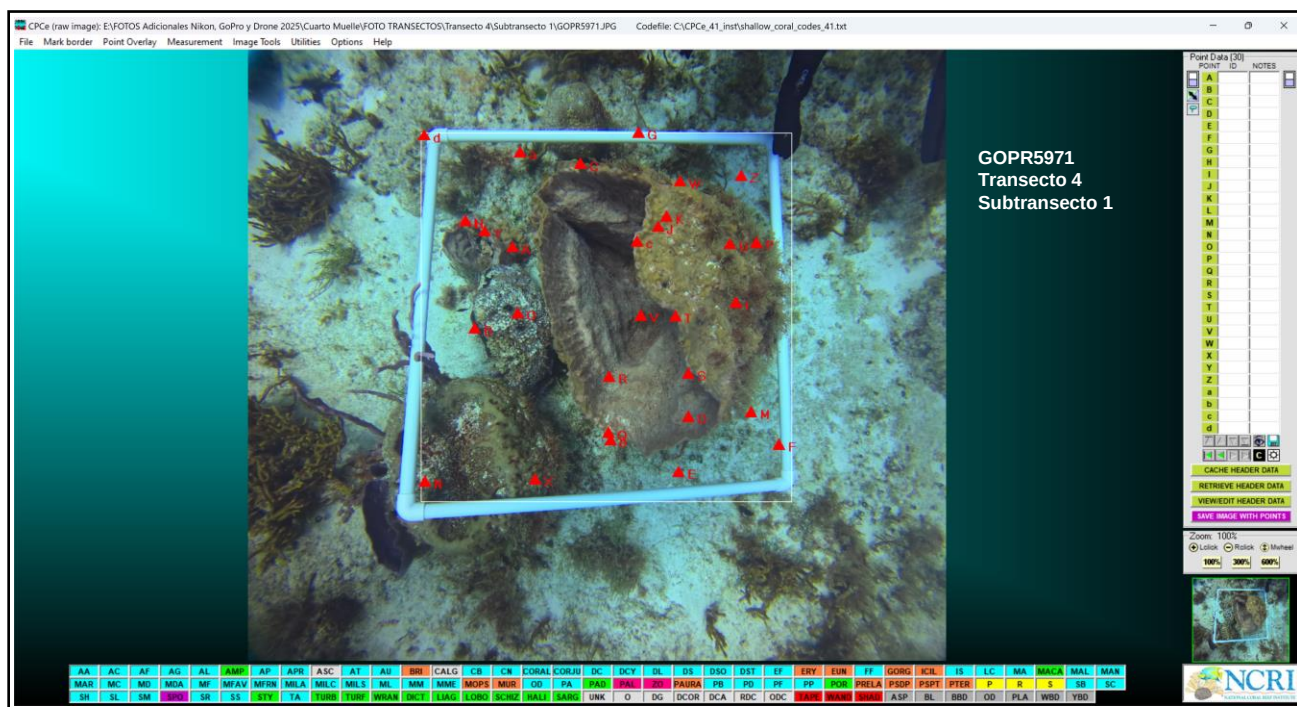


Figura 22. Fotograma analizado con Coral Point Count correspondiente al sub transecto 1 del transecto 4.

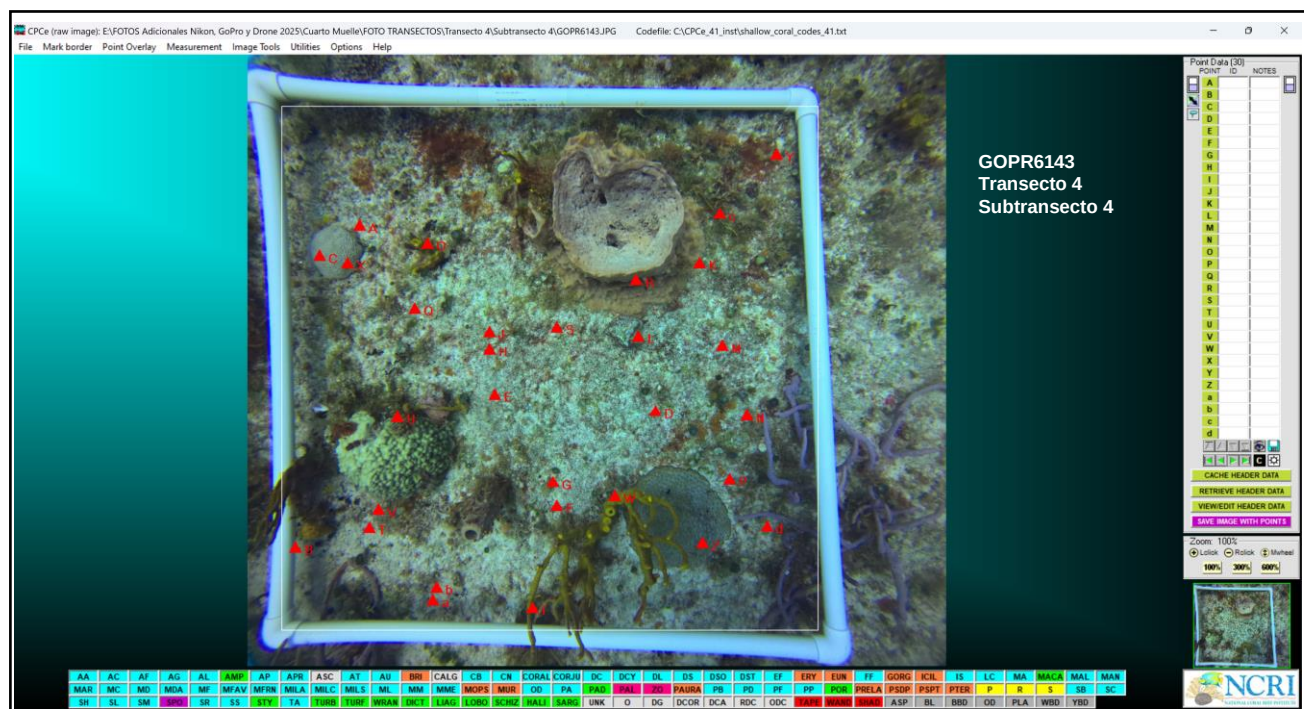


Figura 23. Fotograma analizado con Coral Point Count correspondiente al sub transecto 4 del transecto 4.

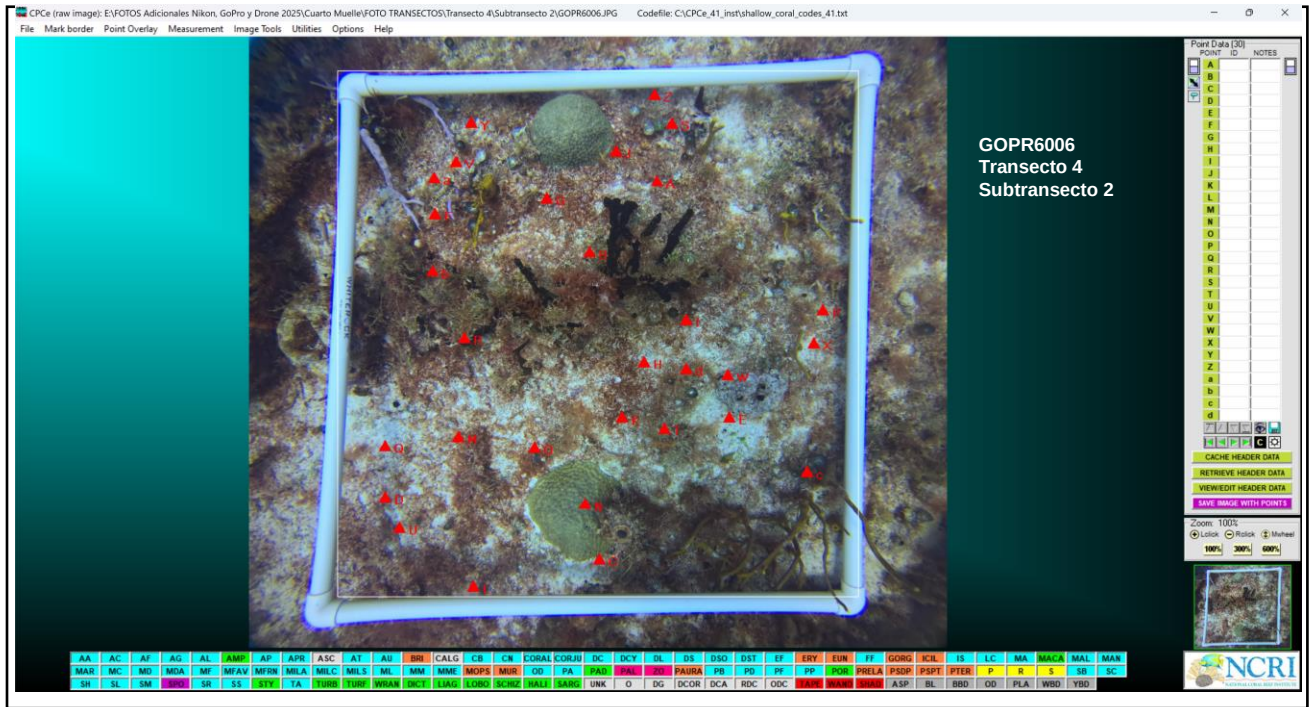


Figura 24. Fotograma analizado con Coral Point Count correspondiente al sub transecto 2 del transecto 4.

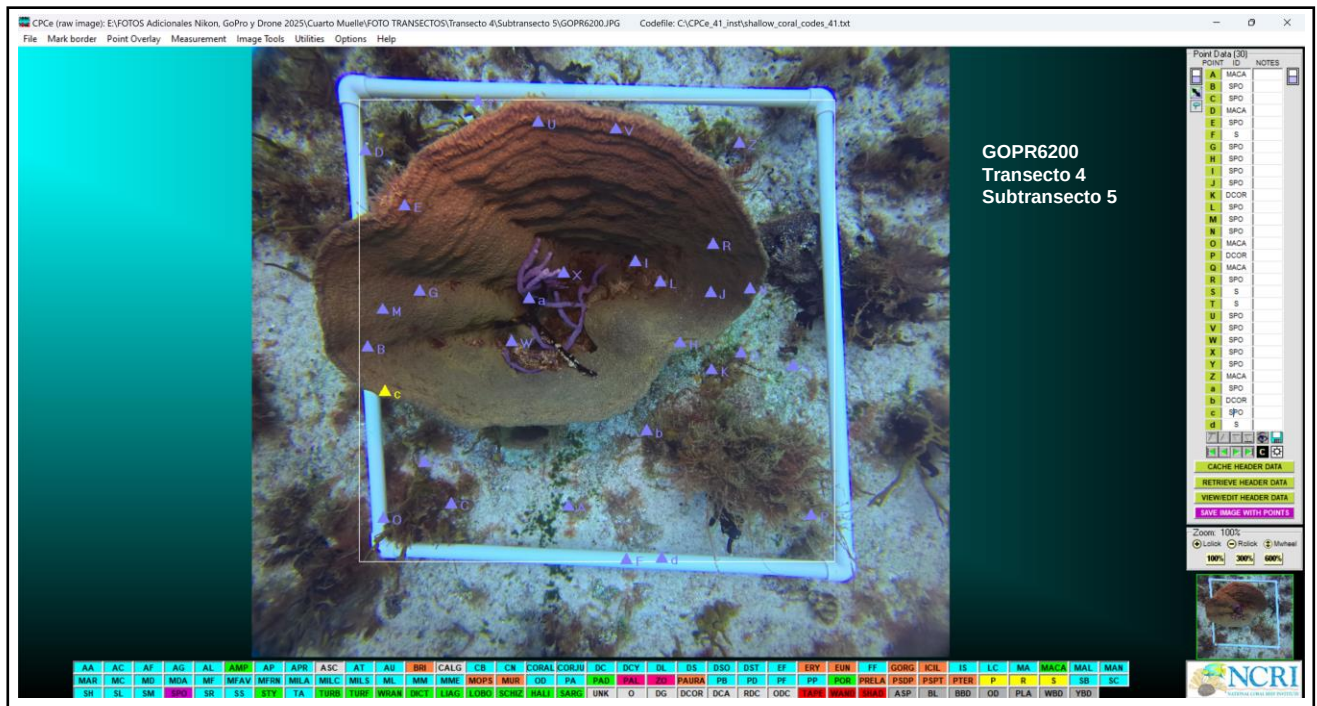


Figura 25. Fotograma analizado con Coral Point Count correspondiente al sub transecto 5 del transecto 4.



Figura 26. Detalle de una colonia en excelente estado de salud de la especie *Eusmilia fastigiata* junto con un ejemplar del octocoral *Iciligorgia schrammi* en excelente estado también (panel superior) y ejemplar grande de la especie *Montastrea cavernosa* en excelente estado de salud: Transecto 4 (panel inferior)

UA-3 (Duna submarina).

Como se mencionó anteriormente, esta es una zona de duna submarina compuesta por un fondo arenoso con aproximadamente 25 metros de longitud localizada entre la UA-2 y la UA-4. Debido a que representa una zona de permanente deposición y transporte de sedimentos, escasa biota bentónica puede proliferar en esta zona por lo que únicamente se tomaron algunos registros fotográficos de esta zona para ilustrar las características generales de la misma.

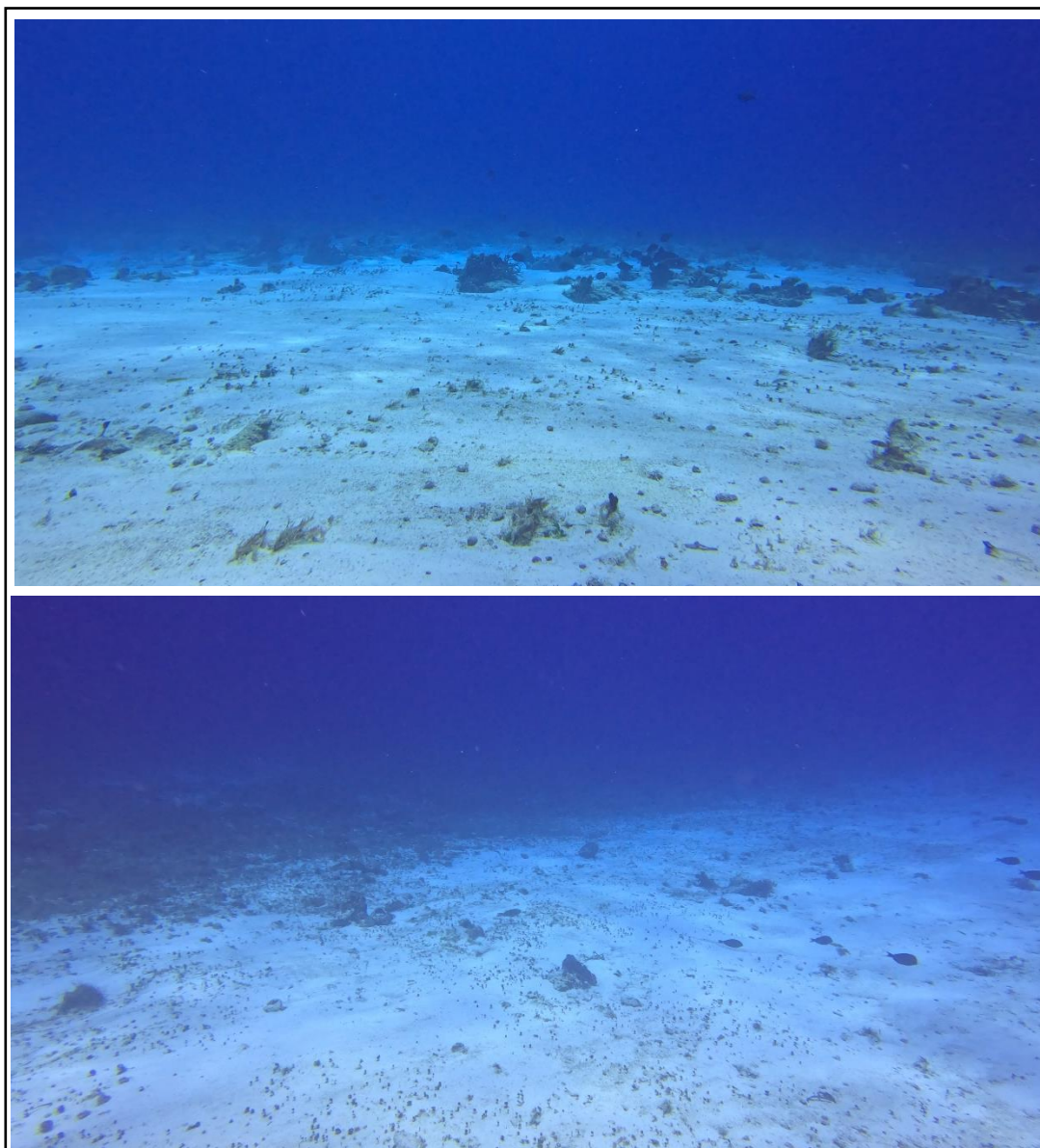


Figura 27. Panorámicas de la duna costera submarina correspondiente a la UG-3 en la cual se observa predominantemente arena con escaso pavimento calcáreo expuesto. Se nota el inicio del arrecife Villablanca al fondo (panel inferior).

4) CONCLUSIONES

El presente estudio identifico 4 Unidades Ambientales (UAs) las cuales son características de gran parte de la costa occidental de la isla de Cozumel. Esencialmente, consisten en:

- 1) La UA-1 que es la zona que abarca desde la línea de costa hasta el final del primer escalón submarino. La comunidad bentónica en esta zona está dominada preponderantemente por macroalgas, principalmente en forma de “turf” o tapete algal. Esta categoría representa el 56.04% mientras que el 30.89% este compuesto por arena, pavimento calcáreo y rocas sueltas. Las esponjas alcanzan una cobertura del 7.82% mientras que la cobertura coralina correspondiente es de 4.5% y la de los octocorales y gorgonidos es del 0.38%.
- 2) La UA-2 es la zona comprendida entre el primer escalón o final de la UA-1 hasta el inicio de la duna submarina (UA-3). En esta zona existe predominancia de macroalgas (algas pardas y verdes principalmente) y pastos marinos que juntos alcanzan el 50.4% pero sin proliferación del denominado tapete algal o “turf” identificado en la UA-1. El 40% de la superficie está compuesta por arena, pavimento calcáreo y rocas sueltas. Las esponjas alcanzan una cobertura del 6.4% (principalmente tubulares pertenecientes al género *Aplysina spp.*) mientras que la cobertura coralina es de solo 0.3% y no se registra presencia significativa de octocorales o gorgonidos. La parte mas profunda de la UA-2 (adyacente a la UA-3), está compuesta por arenas gruesas, pavimento o laja calcárea y pedacería de coral y con presencia significativa de flora marina. En esta zona se identificó una predominancia de macroalgas (algas pardas y verdes principalmente) y pastos marinos cuya combinada alcanzó el 48.2% sin proliferación del denominado tapete algal o “turf” que fue observado en el transecto 1. El 28.6% de la superficie compuesta por arena, pavimento calcáreo y rocas sueltas disminuye significativamente con respecto a lo observado en el transecto 2. Las esponjas alcanzan una cobertura del 8.2% % (principalmente tubulares pertenecientes al género *Aplysina spp.*), mientras que la cobertura coralina se mantiene en 0.3%, por debajo de la cobertura representada por algas calcáreas (0.4%) y tampoco se registra una presencia significativa de octocorales o gorgonidos. Se observó también un 14.5% de cobertura de cianobacterias (clasificado como “other” en la base de datos de Coral Point Count) las cuales probablemente pertenecen a la especie *Caldora penicillata* y en menor medida al género *Lyngbya sp.*

- 3) La UA-3 comprende una duna submarina compuesta por un fondo arenoso con aproximadamente 25 metros de longitud localizada entre la UA-2 y la UA-4. Debido a que representa una zona de permanente deposición y transporte de sedimentos, escasa biota bentónica puede proliferar en esta zona por lo que no es un ecosistema robusto en diversidad biológica.
- 4) La UA-4 comprende la cordillera del arrecife Villablanca la cual es la zona es la más profunda del eje del muelle y se ubica entre el borde del cantil (límite de la plataforma insular) y el límite oeste de la UA-3. Esta zona está compuesta por un macizo arrecifal de más de 1 kilómetro de largo con una altura variable la cual puede alcanzar más de 1 metro. La morfología del arrecife es irregular y su ancho es variable oscilando entre aproximadamente 25 y 40 metros. Aunque el arrecife Villablanca no cuenta con una estructura tridimensional compleja como algunos de los arrecifes localizados al interior del Parque Nacional Arrecifes de Cozumel -los cuales presentan estructuras calcáreas voluminosas que alcanzan varios metros de altura y que cuentan con oquedades y geometrías intrincadas- cumple con todos los requisitos para ser denominado “arrecife” ya que es una estructura submarina formada a base de material calcáreo de origen biológico que constituye una barrera física y ofrece hábitat a múltiples especies marinas. El nivel de elevación del arrecife Villablanca con respecto al fondo marino, le permite evitar una acumulación permanente de sedimentos lo que a su vez promueve la proliferación de especies marinas tanto sésiles como móviles. Lo anterior fue demostrado en este estudio ya que el transecto 4 mostró que el macro bentos está compuesto por tan solo 36.12% de arena, pavimento calcáreo y rocas sueltas seguido por las macroalgas (algas filamentosas rojas y verdes y algas calcáreas del género *Halimeda* sp) que alcanzaron el 29.15%, mientras que las esponjas alcanzan una cobertura del 27.3%. Asimismo, los corales duros y octocorales muestran valores similares de cobertura (2.04% y 2.64%, respectivamente) y por otra parte, se identifica una cobertura del 2.8% de la comunidad de hidroides que crecen sobre el macizo arrecifal o sobre esponjas. Esta es la Unidad Ambiental evaluada en este estudio que cuenta con la mayor diversidad en lo referente a categorías y con la mayor cobertura por esponjas y corales (corales duros + octocorales). Cabe destacar también la gran mayoría de las colonias de coral que fueron identificadas tanto en los levantamientos bentónicos como en los video transectos se encontraban en buen o excelente estado de salud.

5) REFERENCIAS

- Albert S., O'Neil J.M., Udy J.W., Ahern K.S., O'Sullivan C.M. and Dennison W.C. (2005). Blooms of the cyanobacterium *Lyngbya majuscula* in coastal Queensland, Australia: disparate sites, common factors. *Mar. Poll.* 51 428-437.
- Diario Oficial de la Federación: 14/11/2019 MODIFICACIÓN del Anexo Normativo III, Lista de especies en riesgo de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio- Lista de especies en riesgo, publicada el 30 de diciembre de 2010.
- Estrada-Saldívar N, Quiroga-García BA, Pérez-Cervantes E, Rivera-Garibay OO and Alvarez-Filip L. (2021) Effects of the Stony Coral Tissue Loss Disease Outbreak on Coral Communities and the Benthic Composition of Cozumel Reefs. *Front. Mar. Sci.* 8:632777.
- Humann P. and Deloach N. (2002). Reef Coral Identification: Florida, Caribbean, Bahamas: including marine plants. 2nd Edition
- Humann P. and Deloach N. (2002). Reef Creature Identification: Florida, Caribbean, Bahamas. 2nd. Edition.
- Humann P. and Deloach N. (2014). Reef Fish Identification: Florida, Caribbean, Bahamas. 4th Edition.
- Kohler K. E. and Gill Shaun M. (2006) Coral Point Count with Excel extensions (CPCe): A Visual Basic program for the determination of coral and substrate coverage using random point count methodology. *Computers & Geosciences* 32 (2006) 1259–1269.
- Laurie J. Raymundo, Courtney S. Couch and C. Drew Harvell 2008 Coral Disease Handbook. Guidelines for
- Safuan M., Boo W.H., Siang. H.Y., Chark, L.H. y Bachok Z. (2015) Optimization of Coral Video Transect Technique for Coral Reef Survey: Comparison with Intercept Transect Technique. *Open J. Mar. Sci.* 5: 379-397.
- Osborne N.J.T., Webb P.M. and Shaw G.R. The toxins of *Lyngbya majuscula* and their human and ecological health effects. *Environ. Int.* 27 (2001) 381–392
- Peters E, Pilson M (1985) A comparative study of the effects of sedimentation on symbiotic and asymbiotic colonies of the coral *Astrangia Danae* (Milne Edwards and Haime 1849). *J Exp Mar Biol Ecol* 92: 215–230.
- Riegl B (1995) Effects of sand deposition on scleractinian and alcyonacean corals. *Mar Biol* 121: 517–526.
- Weber M, Lott C, Fabricius KE (2006) Sedimentation stress in a scleractinian coral exposed to terrestrial and marine sediments with contrasting physical, organic and geochemical properties. *J Exp Mar Biol Ecol* 336: 18–32.