

UNIVERSIDAD ESTATAL A DISTANCIA
Vicerrectoría Académica
Escuela de Ciencias Exactas y Naturales
Sistema de Estudios de Posgrado
Maestría Profesional en Manejo de Recursos Naturales

Condiciones ambientales y biológicas del cultivo en suspensión del mejillón (*Mytella guyanensis*) en Puerto Palito, Isla Chira, Costa Rica

Presentado en cumplimiento del requisito para optar por el título de Magister en
Manejo de Recursos Naturales con énfasis en Gestión de la Biodiversidad

Paul Ureña Juárez

San José, Costa Rica
Abril, 2020

Dedicatoria

Para mi hijo, Paulo.

“Después de un hijo, sabes que el amor para toda la vida si existe”.

A. Ramones

Agradecimientos

Mis agradecimientos van dirigidos a las siguientes personas e instituciones, por sus distintos aportes para el presente proyecto.

- A ProRed y especialmente a Ana Ruth Chinchilla (Vicerrectoría de Investigación, UNED), por su aporte para el financiamiento de este estudio.
- Al Programa de Laboratorio de la Escuela de Ciencias Exactas y Naturales (UNED), por las facilidades para el préstamo de equipos de muestreo para la toma de datos *in situ*.
- Investigadores del Proyecto “Plan piloto del cultivo del Mejillón (*Mytella guyanensis*) en el Golfo de Nicoya”, Rodrigo Méndez, Fiorella González y Marlon Salazar; por su confianza y apertura para desarrollar este Trabajo Final de Graduación entorno a su línea investigativa.
- A mi comité de Tesis, por sus contribuciones para consolidar este trabajo. Don Christian Díaz de la Universidad Católica de la Santísima Concepción (Chile), director de mi proyecto. Don Ricardo Radulovich (Universidad de Costa Rica) y Don Juan Ulloa (Universidad Nacional de Costa Rica), en condición de lectores/asesores.
- Agradezco a la Asociación Salvemos al Golfo de Nicoya (ASOSAGONY), especialmente a Don Freddy y Duber.
- A la comunidad de Puerto Palito, Isla Chira. Por todas las facilidades brindadas, por su apertura en compartir sus experiencias sobre aspectos varios de la Isla y de su cotidianidad. Me hicieron sentir como un “Chireño” más.
- A Caro, por su apoyo, motivación y cariño para culminar con éxito esta etapa académica.
- A mi madre y a mi familia, por estar en todo momento y lo más importante por creer en mí siempre.

Acta de aprobación del tribunal examinador

Declaración jurada

Mercedes de Montes de oca, 30 de abril 2020

Yo, Paul Ureña Juárez, con cédula de identidad 6-374-917, estudiante de la Maestría Profesional en Manejo de Recursos Naturales, declaro bajo juramento que soy autor intelectual del presente trabajo final de graduación “Condiciones ambientales y biológicas del cultivo en suspensión del mejillón (*Mytella guyanensis*) en Puerto Palito, Isla Chira, Costa Rica”, y no hay copia ni duplicación de material intelectual procedente de medios impresos, digitales o audiovisuales que se presente como de mi autoría.

Toda palabra dicha o escrita por otra persona consignada en este trabajo está debidamente referenciada.

Paul Ureña Juárez

Resumen

La maricultura artesanal o de pequeña escala, surge en las últimas décadas como una actividad productiva para el desarrollo socioeconómico de las comunidades costeras del Golfo de Nicoya en Costa Rica. Determinar las condiciones ambientales y biológicas para desarrollar el cultivo de especies como la chora (*Mytella guyanensis*) representa un gran insumo para realizar el manejo y la comercialización de estos bivalvos de forma exitosa. Se evaluó el crecimiento, la mortalidad y su relación con los parámetros medio-ambientales en un medio de cultivo en suspensión de *M. guyanensis*, en Isla Chira, Costa Rica. Durante 6 meses (octubre 2018-marzo 2019), mensualmente, se registraron los principales parámetros ambientales del medio de cultivo, se realizaron biometrías a 300 individuos de la población cultivada y, además, se estimó la tasa de mortalidad mediante el procesamiento de 60 canastas de mejillón. En términos generales, a) los parámetros físico-químicos monitoreados presentaron condiciones aptas para el cultivo de estos organismos, b) se registró una tasa de mortalidad de mejillón mensual promedio de 13 % \pm 4,5; c) *M. guyanensis* alcanzó un tamaño apto para su comercialización y consumo (\geq 40 mm de longitud) a partir del cuarto mes de cultivo. La turbidez y la profundidad se identificaron como factores limitantes para el cultivo de mejillones en suspensión. El crecimiento de *M. guyanensis* mediante el sistema de producción en canastas suspendidas, tiende a suceder con mayor rapidez con respecto a su crecimiento en bancos naturales.

Se presenta una propuesta de un modelo tecnológico para el monitoreo de parámetros medio ambientales de forma autónoma y remota, mediante la instalación de una Hidro-boya. Esta iniciativa pretende convertirse en una herramienta de control de parámetros ambientales en el medio de cultivo que genere información base para la toma de decisiones y, a su vez, que repercuta en acciones que co-ayuden a la sostenibilidad de proyectos de maricultura a pequeña escala en comunidades marino-costeras del país.

Palabras Clave:

Maricultura, Bivalvo, Chora, Mitílidos, Parámetros físico-químicos.

Contenido

Dedicatoria	i
Agradecimientos	ii
Acta de aprobación del tribunal examinador	iii
Declaración jurada	iv
Resumen	v
Palabras Clave:	v
Contenido	vi
Lista de cuadros	ix
Lista de figuras	x
Abreviaturas y acrónimos	xi
Capítulo I. Introducción	1
1.1. Justificación.....	1
1.2. Delimitación de la investigación.....	4
1.3 Antecedentes	4
1.4. Planteamiento del problema	6
1.5. Objetivos	8
1.5.1 Objetivo General	8
1.5.2 Objetivos específicos.....	8
1.6. Marco contextual	9
1.6.1 Caracterización socio-política.....	9
1.6.2 Caracterización socio-productiva	10
1.6.3 Caracterización biofísica	11
Capítulo II. Marco teórico	13
2.1. Biología del mejillón (Mytilidae)	13
2.2 Parámetros medio-ambientales	14
2.3 Evaluación de la mortalidad del mejillón	16
2.4 Crecimiento del mejillón	16
Capítulo III. Marco Metodológico	18
3.1. Paradigma.....	18
3.2. Enfoque.....	18
3.3. Tipo de investigación.....	18
3.4. Participantes / población y muestra	19
3.4.1 Parámetros ambientales	19

3.4.2 Mortalidad de mejillón en canastas	19
3.4.3 Crecimiento de organismos	20
3.5. Fuentes	20
3.6. Técnicas e instrumentos para la recolección	21
3.6.1 Parámetros ambientales	21
3.6.2 Mortalidad de organismos en canastas	22
3.6.3 Crecimiento de organismos en canastas.....	22
3.7. Validación de instrumentos.....	23
3.8. Procedimiento de recolección de información.....	23
3.9. Procedimiento de análisis de la información	24
Capítulo IV. Presentación y análisis de resultados	25
4.1. Resultados	25
4.1.1 Parámetros medio-ambientales.....	25
4.1.2 Mortalidad de mejillones cultivados.....	26
4.1.3 Crecimiento de mejillones en canastas	27
4.2. Discusión.....	29
4.2.1 Parámetros medio-ambientales.....	29
4.2.2 Mortalidad de mejillones en canastas	33
4.2.3 Crecimiento de mejillones en canastas	34
Capítulo V. Conclusiones y Recomendaciones	35
5.1. Hallazgos relevantes	35
5.2. Recomendaciones.....	36
5.3. Propuesta para la solución del problema planteado	38
Capítulo VI. Propuesta o producto	39
6.1. Objetivos de la propuesta	39
6.1.1 Objetivo general.....	39
6.1.2 Objetivo específico.....	39
6.2. Enfoque epistemológico de la propuesta	39
6.3. Justificación de la propuesta	39
6.3.1 Costos del monitoreo de parámetros in situ	40
6.3.2 Monitoreo de los parámetros medioambientales	40
6.3.3 Monitoreo de la mortalidad del mejillón en canastas.....	41
6.3.4 Implementación de una hidro-boya y una estación meteorológica	41
6.4. Estructura de la propuesta.....	43
6.5. Etapas de la propuesta.....	43

6.6. Gestión de riesgos.....	44
6.7 Recursos y presupuesto.....	45
6.8 Resultados esperados de la implementación de una Hidro-boya.....	46
6.9 Recomendaciones de la implementación de una Hidro-boya	48
Referencias	49
Anexos	55
Anexo 1. Instrumento para toma de datos de parámetros físico-químicos del medio marino utilizado en Palito, Isla Chira.	55
Anexo 2. Instrumento de toma de datos mortalidad del mejillón (<i>Mytella guyanensis</i>) cultivado en canastas, Palito, Isla Chira.	56
Anexo 3. Instrumento toma de datos crecimiento y pesado del mejillón (<i>Mytella guyanensis</i>) cultivado en canastas, Palito, Isla Chira.	57
Anexo 4. Datos de precipitación de la estación Barco Quebrado, Garza. Facilitados por el Instituto Meteorológico Nacional, Costa Rica (2019).	58
Anexo 5. Carta de revisión filológica Lic. Azaria Vega Gonzalez (marzo, 2020).	59
Anexo 6. Carta de aceptación de ponencia en XL Congreso Ciencias del Mar 2020. Universidad de Magallanes, Punta Arenas, Chile.....	60

Lista de cuadros

Cuadro 1. Parámetros ambientales evaluados en el medio de cultivo del Mejillón y sus respectivas unidades de medida.....	22
Cuadro 2. Cronograma de giras de campo para recolección de datos <i>in situ</i>	24
Cuadro 3. Parámetros ambientales en el medio de cultivo del mejillón (<i>M. guyanensis</i>), Puerto Palito, Isla Chira.....	25
Cuadro 4. Factores ambientales y rangos deseados para el cultivo de bivalvos. Adaptado de Quesada, R. (2018)	26
Cuadro 5. Datos en promedio de variables ambientales consideradas en una investigación previa en la zona de estudio.....	32
Cuadro 6. Recursos a considerar para realizar labores de investigación en Isla Chira, Costa Rica.....	40
Cuadro 7. Plan de actividades a desarrollar para implementar el paquete tecnológico propuesto.....	43
Cuadro 8. Principales recursos a presupuestar para implementación del paquete tecnológico propuesto.....	45

Lista de figuras

Figura 1. Ubicación del proyecto de cultivo de mejillón en la comunidad de Palito, Isla Chira. Fuente: Méndez, R. (2018).....	9
Figura 2. Delimitación del Área Marina Responsable de Palito, Isla Chira. Fuente: Fundación MarViva. (2012).....	11
Figura 3. Individuo de <i>M. guyanensis</i> cultivado en AMPR Palito, Isla Chira, Costa Rica.....	14
Figura 4. Procedimiento de medición para determinar crecimiento del mejillón (<i>M. guyanensis</i>), en Isla Chira.....	20
Figura 5. Porcentaje de mortalidad de organismos de <i>M. guyanensis</i> en canastas suspendidas, Palito, Isla Chira.....	27
Figura 6. Longitud y peso mensual de <i>M. guyanensis</i> cultivado en canastas suspendidas, Palito, Isla Chira.....	28
Figura 7. Categorización de parámetros ambientales muestreados, según la literatura especializada.....	30
Figura 8. Hidro-Boya marca HC Tech, para medición directa de parámetros ambientales (Tomada de http://www.igs-hydro.mx/index.php/productos/sistemas/boya).....	42

Abreviaturas y acrónimos

ASOSAGONY	Asociación Salvemos al Golfo de Nicoya
AMPR	Área Marina de Pesca Responsable
DE	Desviación estándar
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
IMN	Instituto Meteorológico Nacional
INA	Instituto Nacional de Aprendizaje
INCOPESCA	Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos
OESA	Observatorio Español de Acuicultura
ONG´s	Organización no gubernamentales
pH	Potencial de hidrógeno
Ppm	Partes por millón
Ppt	Partes por trillón
ProDUS	Programa de Investigación de Desarrollo Sostenible
UCR	Universidad de Costa Rica
UNA	Universidad Nacional de Costa Rica
UNED	Universidad Estatal a Distancia
UNT	Unidades Nefelométricas de Turbiedad

Capítulo I. Introducción

1.1. Justificación

La humanidad está en proceso de atender uno de los principales retos para el desarrollo de sus pueblos: proporcionar recursos alimenticios en medio de los posibles efectos de la variabilidad climática, vastos y fuertes cambios en el uso de la tierra y la degradación ambiental en tierras y mares (FAO, 2018). En países en desarrollo y en vías de desarrollo, el consumo de distintos alimentos que aportan proteína ha venido en aumento. Esto ha llevado a que también las dietas tradicionales en ciertas latitudes se hayan diversificado, lo cual promueve el consumo de nuevos alimentos (Heather y Benkendorff, 2008).

Conservar y utilizar racionalmente los océanos, los mares y los recursos marinos, constituye uno de los principales Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), según la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas. Es por ello que, para poder proporcionar seguridad alimentaria y beneficios sociales, ambientales y económicos de una forma sostenible en el mundo, se debe de volver la mirada a las actividades pesqueras y a la acuicultura de pequeña y mediana escala. La acuicultura, en comparación con otros sectores productivos, ha tenido un repunte en su crecimiento en las últimas décadas, especialmente en países africanos y asiáticos (FAO, 2018).

A nivel mundial destacan los siguientes países como los principales productores de moluscos: China, Japón, Estados Unidos, Corea, Tailandia, Francia, España, Chile y México. En Latinoamérica, destacan Chile y México como los principales productores de la región (Cáceres y Vásquez, 2014). La producción de moluscos bivalvos va rápidamente extendiéndose a nivel del mercado acuícola internacional, y representa más del 20 % de producto año tras año. La gran mayoría de esta producción es proveniente de bancos naturales de bivalvos, en algunos casos el rendimiento de estos ya ha sido superado, por lo que se ha incursionado en la producción en criaderos o bancos artificiales en los litorales (Cáceres y Vásquez, 2014; FAO, 2006).

La acuicultura ha tomado gran relevancia en las comunidades costeras, ya que logra dotar a las personas, a través del uso de recursos naturales, de fuentes de empleo, nuevas oportunidades para comercializar sus productos, todo esto se va sumando para minimizar los índices de la pobreza mundial (FAO, 2018). En Costa Rica, la maricultura ha ido en crecimiento para mitigar en las comunidades costeras los conflictos sociales, ambientales y económicos en cuanto al uso que le dan los habitantes a los recursos marinos. Esta actividad tiene, como uno de sus

principales objetivos, dar un aporte económico y diversificar las actividades productivas de las familias de pescadores, que históricamente se han dedicado casi que exclusivamente a esta labor (Quesada, 2018).

Particularmente, en el Golfo de Nicoya y sus alrededores, gran cantidad de personas tienen como actividad principal la pesca; esta ha tenido una disminución considerable en las últimas décadas. También combinan esta actividad con labores afines a la pesca, tales como: reparación de trasmallos, reparación de embarcaciones, venta de hielo y carnada, servicios asociados al ecoturismo. Considerando el auge que está teniendo el cultivo de especies marinas como bivalvos en estas comunidades, es de gran importancia que se realicen de una forma planificada, esto no solo forjará el camino para que se lleve a cabo de forma exitosa y permanente a través del tiempo, sino también evitará posibles conflictos con otras actividades productivas ya establecidas (Quesada, 2018).

Los moluscos son, por lo general, fauna muy común en ecosistemas marino-costeros, además son apreciados comercialmente por su alto valor proteínico, su riqueza en minerales y en vitaminas los convierte de gran interés nutricional para la salud humana (Astorga et al., 2007; Fuentes et al., 2009). Los bivalvos son organismos filtradores, esto quiere decir que ingieren partículas de materia orgánica que se encuentran presentes en la columna de agua; su principal fuente de alimento es el Fitoplancton. Esta filtración la realizan por medio de una abertura que se encuentra en el manto; de igual forma, el alimento que no logran procesar es expulsado por otra apertura también está ubicada en el manto (Ross, Posada, Piedra, Díaz y Melo, 2014).

Algunos organismos, como las ostras y mejillones, son bentónicos (crecen adheridos a un sustrato). Una de las principales características anatómicas de los bivalvos es que cuentan con un órgano llamado "biso", el cual actúa como un "pie" y, es por medio del cual, logran tener una mayor fijación al sustrato. Este órgano tiene forma semejante a una lengua y se forma por medio de la secreción de un líquido viscoso el cual, al entrar en contacto con el agua marina, se va solidificando hasta formar un hilo consistente (OESA, 2017).

Los mejillones corresponden a la clase Bivalvia, su cuerpo se encuentra estructurado mediante la protección de dos valvas (Hickman, 2009). Los bivalvos son herbívoros, sus cuidados para poder ser manejados en la acuicultura, no suelen ser lo suficientemente complejos. Gracias a los avances en tecnología de alimentos, se ha logrado atender la creciente demanda, con lo cual se

espera que el cultivo de bivalvos se convierta en una actividad de interés económico, y que poco a poco más maricultores incursionen en esta actividad (FAO, 2006).

Los mejillones suelen ser abundantes en zonas intermareales y de gran adaptabilidad a diferentes hábitats, tales como mares templados y tropicales del mundo, áreas pantanosas, salinas, manglares, áreas costeras con fuerte oleaje y rocas expuestas. Son organismos coloniales, suelen vivir en agrupaciones muy numerosas; en áreas templadas, estas colonias suelen ser mucho más prolíferas que en las zonas tropicales, sin embargo, comparten la necesidad de percibir abundante agua fresca y limpia, radiación solar y buena oxigenación, esto para poder alimentarse y formar sus conchas por medio del carbonato de calcio. Logran sobrevivir fuera del agua durante periodos cortos y no tan extensos (Farías, 2007).

El análisis de parámetros ambientales que se debe de considerar dependerá de las especies de moluscos que se producirán, además de las condiciones geográficas donde se desea instalar un proyecto. Los organismos en sus distintas etapas de crecimiento, principalmente juveniles y adultos, presentan características fisiológicas que les hace ser sensibles a condiciones de salinidad, temperatura del agua y presencia de oxígeno. En las zonas tropicales, la temperatura del aire y del agua marina presenta grados más altos en comparación con otras latitudes, pero históricamente los organismos que han estado presentes en allí toleran y se han adaptado a estas condiciones (Aznar, 2000).

Las condiciones del agua una vez que confluyen con otros elementos como, por ejemplo, la tierra y el aire y, a su vez, estos interactúan con los organismos marinos, suelen desencadenar una serie de reacciones físico-químicas que determinarán la adaptabilidad o no de las especies en su medio. Es por lo anterior que determinar las condiciones ambientales del sitio donde se están cultivando o se cultivarán, en este caso, bivalvos será la base para lograr manejar bajas tasas de mortalidad y rápidas tasas de crecimiento. Esta información también es de utilidad para la escogencia de la o las especies por producir, las técnicas y/o tecnología de producción, como también los sitios más idóneos para ejecutar cada una de las etapas de preparación para su objetivo final, la venta y la distribución a clientes potenciales.

Para poder acceder a las características físico-químicas del agua en un determinado lugar, se requiere al menos una toma de datos de forma sistemática durante un año calendario. Esto por cuanto los parámetros dependen de las mareas, inmersiones de agua dulce con agua salada,

focos de contaminación, relación del ser humano con su medio y diferentes eventos en el océano, como los florecimientos algales o mareas rojas (Cáceres y Vásquez, 2014).

Particularmente, los bivalvos marinos se ven afectados en su biometría (índice de condición), producto de la inestabilidad en el ciclo del carbono en el océano, lo cual genera un aumento de la acidez en los océanos; todo esto a raíz del impacto de medianas y grandes industrias (Cáceres y Vásquez, 2014; Talmage y Gobler, 2010). Incluso esta acidificación en el agua tiende a exponer a los bivalvos a enfermedades de tipo bacteriana, lo cual podría tener repercusiones directas en la salud humana por medio de su consumo (Barton, Hales, Waldbusser, Langdon y Feely, 2012; Elston, Hasegawa, Humphrey, Polyaki y Häse, 2008).

1.2. Delimitación de la investigación

Se determinó realizar un análisis de tipo diagnóstico, debido a que se contaba con un corto plazo para cumplir con los objetivos y el enfoque del Trabajo Final de Graduación de la Maestría Profesional en Manejo de Recursos Naturales. Los parámetros ambientales (turbidez, temperatura del agua marina y del aire, pH, O₂ disuelto, salinidad, precipitación) y biológicos (mortalidad, crecimiento) del mejillón (*M. guyanensis*) que se cultiva en la comunidad de Palito, Isla de Chira fueron evaluados *in situ* durante seis meses. Para ello, se realizó una gira de campo mensual de tres días cada una, entre octubre 2018 y marzo 2019, registrándose datos sistemáticamente para su posterior análisis e interpretación. Para el traslado y el ingreso a la isla cada mes, se aprovecharon las giras de campo del Proyecto de investigación: “Plan Piloto de Cultivo de Mejillón” inscrito a la Vicerrectoría de Investigación de la UNED. El transporte marítimo a distintos sectores de la isla, fue gracias a la colaboración de la Asociación Salvemos al Golfo de Nicoya (ASOSAGONY), ente responsable del proyecto de cultivo de Mejillón en la comunidad de Palito, Isla Chira.

1.3 Antecedentes

1.3.1 Producción y consumo de Mitílidos

Destacan los países de China y Japón como los pioneros en la producción de mejillones desde la antigüedad. Posteriormente, por medio de Patricio Walton en los años 1230, específicamente en Francia, mediante la técnica de cultivo de estacas verticales sobre la zona intermareal, el cultivo del mejillón inició a tener un gran auge. Países como España y Holanda se interesaron en la producción de estos bivalvos y se empieza a extender también por países escandinavos

(Bolaños, 1988). Sin embargo, lo que se conoce como unas de las técnicas más ancestrales de producción nace en Holanda, por medio del método de cultivo de fondo, el cual se efectúa en la zona fangosa costera. Posterior a la segunda Guerra Mundial, a raíz de las técnicas que utilizaban los japoneses para la cosecha de las ostras, España adapta su método para la producción de Mitílidos por medio del cultivo en suspensión en cuerdas y esta técnica se da a conocer y recrear en otras partes del mundo (Bardach, Ryther y McLarney, 1972; FAO, 2018).

En la zona tropical este, particularmente en el océano Pacífico, se conoce la rica y diversa presencia de recursos marino-costeros del continente americano (Ross et al., 2014). Destacan países como México y Chile en la producción de moluscos, gracias a sus avances en la tecnología y a su implementación en cada una de las etapas de producción; esto ligado al aumento del consumo de estos recursos en la región, como también a la capacitación y al seguimiento por parte de autoridades de gobierno e instituciones internacionales de cooperación (Cáceres y Vásquez, 2014).

Varias especies de mejillones son cultivadas con fines de comercialización a nivel mundial (Colombo et al., 2016). Es desde el Golfo de Nicoya en Costa Rica donde se produce la mayor cantidad de recursos pesqueros que abastece a diferentes sectores del país, destacan los pescadores y los maricultores artesanales de Isla de Chira que tienen acceso a nula o poca tecnología para la producción y comercialización de estos recursos (Ross et al., 2014).

1.3.2 Estudios sobre Mitílidos

Las principales investigaciones sobre mejillones que se realizaron datan desde hace ya varias décadas, iniciándose a difundir información sobre la distribución en la región Neotropical de estos bivalvos en los años cincuenta (Bearperthuy, 1967; Keen, 1971). Análisis básicos sobre la anatomía del mejillón *M. charruana* (Narchi y Galvao, 1983). Análisis pioneros sobre la concentración de metales pesados en la carne del mejillón *M. guyanensis*, producto del interés de consumo sobre estos organismos (De Lacerda, 1983). En Costa Rica, se empiezan a identificar las principales especies de mejillones de interés comercial (Madrigal, 1979), estudios puntuales sobre técnicas de cultivo del mejillón (*M. guyanensis*) se desarrollan a finales de la década de los 80 en los bancos lodosos donde se encuentran naturalmente (Sibaja, 1985a, 1985b, 1986). Se han llevado a cabo estudios preliminares en cuanto al cultivo de mejillón en balsas, ciclos reproductivos, biometría (Arroyo y Marín, 1998; Cruz y Villalobos, 1993a, 1993b). Se destaca un estudio realizado en la comunidad de Palito sobre esta especie, donde se tenía

como objetivo dar a conocer el comportamiento de fijación y el crecimiento (biometría), considerando la relación de estos con los parámetros químicos que afectasen a esta especie en el lugar (Bolaños, 1988). Estudios de investigación científica entorno a la biología, ecología, manejo o producción de bivalvos, puntualmente sobre *M. guyanensis* presente en la Isla de Chira, son muy puntuales y de hace varias décadas.

Destacan, en esta zona, diversas iniciativas de capacitación en tópicos de producción sostenible y de emprendedurismo por parte de Universidades Estatales (UNA y UCR) desde las décadas de los ochentas, de las cuales algunas se mantienen vigentes en diferentes etapas de proyectos (Radulovich, 2008). Recientemente Quesada (2018) evaluó los sitios óptimos para el cultivo de bivalvos en el Golfo de Nicoya; y obtuvo información sobre rangos de tolerancia de las especies de bivalvos en distintas variables medioambientales y la importancia de estas variables para optimizar la producción de estos organismos. Actualmente, investigadores de la Escuela de Ciencias Exactas y Naturales de la UNED lideran un proyecto denominado “Plan piloto para el cultivo, mercadeo y comercialización del mejillón (*Mytella guyanensis*) en el Golfo de Nicoya”, al que se encuentra ligado el presente trabajo de graduación.

La finalidad de la información que se pretende aportar, por medio de esta investigación, al tratarse únicamente de un estudio diagnóstico es generar conocimientos bases para el desarrollo de la acuicultura artesanal de mejillones y otros bivalvos de interés comercial que se cultivan en Isla Chira, así también que guíe la producción en otras islas del Golfo de Nicoya.

1.4. Planteamiento del problema

El aprovechamiento, la extracción y la comercialización de recursos alimenticios del mar en las islas del Golfo de Nicoya es una práctica histórica, desde que estos sitios fueron poco a poco habitados. Las grandes cantidades de pescado extraído por parte de grandes buques pesqueros en Puntarenas y áreas aledañas al golfo han reducido considerablemente las poblaciones de peces y otra fauna asociada. Por otro parte, en las últimas décadas, producto de cambios en la legislación costarricense en cuanto a regulación y/o prohibición de las técnicas de pesca permitidas desde la zona continental e islas, aunado a los periodos de veda de 3 meses establecidos cada año, a los pescadores artesanales les es cada vez más difícil obtener recursos económicos para sus familias. El pescado y el camarón han sido los productos más apetecidos por parte de los consumidores a través de los años; sin embargo, debido a la reducción considerable de estos recursos desde las islas, como la riqueza marino-costera con la que

cuentan, han tratado de diversificar la producción y el consumo de otros productos del mar, como por ejemplo los bivalvos.

Muchos de estos productos se han extraído de bancos naturales en áreas costeras, ríos y manglares de las islas; sin embargo, desde hace unas décadas, se han impulsado varias iniciativas, principalmente de Universidades Públicas del país (UNA, UCR y recientemente la UNED), de la producción alternativa por medios artificiales (canastas en suspensión) para aumentar la cantidad y la calidad de los productos.

Actualmente, desde la Escuela de Ciencias Exactas y Naturales de la UNED, se lleva a cabo un proyecto de investigación que tiene como su objetivo principal abordar por medio de un plan piloto nuevas técnicas de producción, comercialización y consumo de bivalvos marinos en Isla de Chira, en este caso el mejillón (*M. guyanensis*), puntualmente en la comunidad de Palito. Si bien es cierto que se ha comercializado a pequeña escala a nivel local, se pretende ampliar la cartera de clientes y así poder incorporar a más familias en esta actividad económica, como también dar un seguimiento a la calidad del producto que consumirían las personas en sus hogares y restaurantes en todo el país.

Es por ello que se requiere partir con información base que guíe de forma eficiente y eficaz el cultivo y la comercialización del mejillón de una forma sostenible y que cuide todos los parámetros microbiológicos para que el consumo humano se realice bajos todos los estándares de seguridad y salubridad según el Ministerio de Salud.

Por medio del presente trabajo, se realizó un diagnóstico que respondiera al siguiente problema de investigación:

¿Cuáles son las condiciones ambientales y biológicas en las que se está realizando el cultivo del mejillón (*Mytella guyanensis*) en la comunidad de Palito, Isla Chira, Costa Rica?

1.5. Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Analizar las condiciones ambientales y biológicas del cultivo del mejillón (*Mytella guyanensis*) en la comunidad de Palito, Isla Chira, Costa Rica.

1.5.2 Objetivos específicos

1. Analizar los parámetros ambientales del medio marino para el cultivo del mejillón (*Mytella guyanensis*) en la comunidad de Palito, Isla Chira, Costa Rica.
2. Determinar el porcentaje de mortalidad del mejillón (*Mytella guyanensis*) que se cultiva por medio de canastas en suspensión en la comunidad de Palito, Isla Chira, Costa Rica.
3. Estimar el crecimiento y el peso mensual del mejillón (*Mytella guyanensis*) que se cultiva en canastas en suspensión, Palito, Isla Chira, Costa Rica.

1.6. Marco contextual

1.6.1 Caracterización socio-política

La Isla de Chira se encuentra ubicada en el Golfo de Nicoya (Figura 1), en el Pacífico costarricense ($10^{\circ} 09' 31.9''N$, $85^{\circ} 18' 93.0''W$). Es mediante el decreto 27 396 del 28 de septiembre de 1998 que Isla de Chira pasa a ser el distrito número trece del cantón central de Puntarenas. Su población cuenta, según el último censo nacional, con 1576 habitantes. Tiene 43 km² de extensión, y destaca como la segunda isla de mayor tamaño del país (INEC, 2012).

Esta isla cuenta con diferentes sectores o poblados, los cuales son: Villa de Nancite, Bocana, Lagarto, Montero, Pilas, Pochote, Puerto Coloradito, Puerto Mauricio y Puerto Palito. La gran mayoría de estos asentamientos se encuentran ubicados en la zona conocida como “pie de monte” de las áreas montañosas, la cual se encuentra en el centro de la isla. Los pobladores han construido sus casas en zonas planas donde se les ha facilitado su construcción y que además sean cercanas al mar (ProDus, 2008).

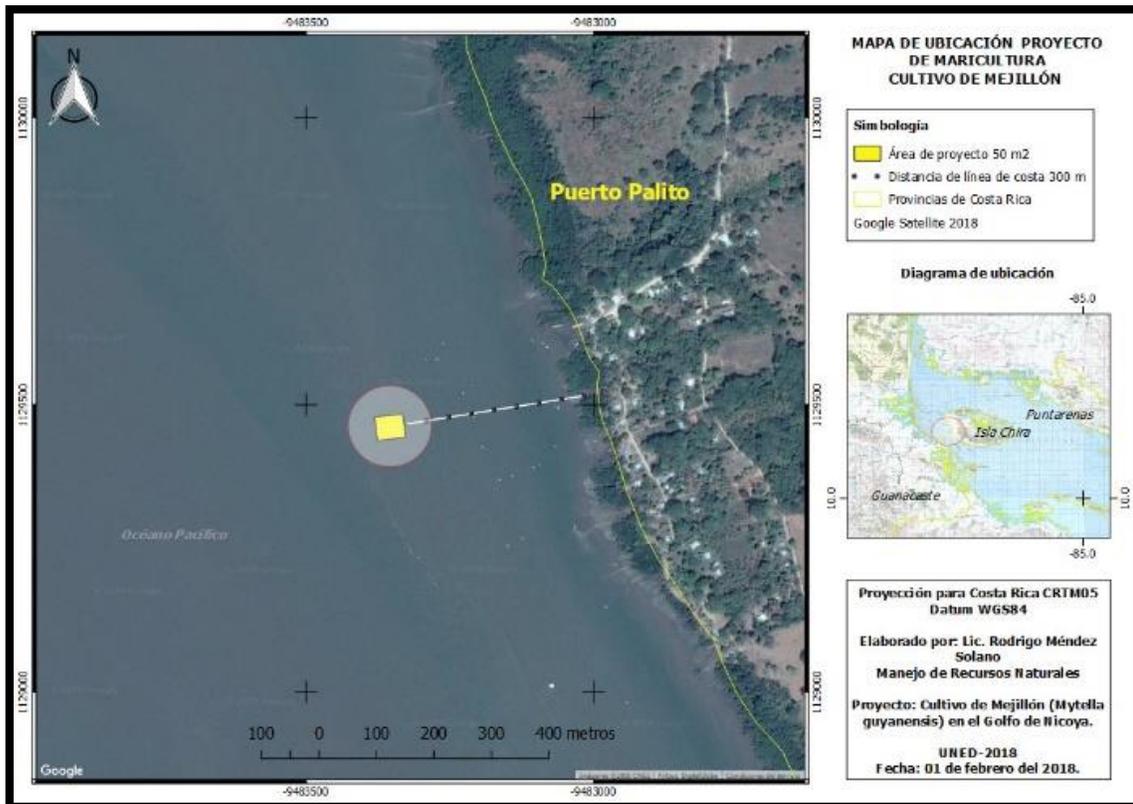


Figura 1. Ubicación del proyecto de cultivo de mejillón en la comunidad de Palito, Isla Chira.

Fuente: Méndez, R. (2018).

1.6.2 Caracterización socio-productiva

La Isla Chira cuenta, según el último censo de 2011, con 1576 habitantes, divididos en 817 hombres y 759 mujeres. Cada vivienda, en promedio, con 3,6 habitantes. Más del 90 % de las viviendas ocupadas cuentan con servicios básicos. No obstante, la isla se encuentra en unos de los cantones con mayor porcentaje de pobreza, como lo es el cantón central de Puntarenas (INEC, 2012). Las principales actividades económicas giran en torno a la pesca artesanal; a la extracción de sal; al ecoturismo; y, en menor medida, a la agricultura y la ganadería. La calidad del recurso paisajístico de Chira es apreciable, podría ser aun de mayor interés para el desarrollo económico de la isla, direccionado su potencialidad de la mano del turismo (ProDus, 2008). La maricultura en mar abierto ha tenido gran auge en la Isla en los últimos años, gracias al acompañamiento de universidades públicas. Se les ha capacitado en nuevas técnicas para la cosecha, la producción y la comercialización de productos como los bivalvos, entre ellos mejillones y ostras (Quesada, 2018).

Cabe destacar que la zona donde se encuentra actualmente el proyecto de cultivo de mejillón en la isla constituye un Área Marina de Pesca Responsable (AMPR) desde el 2009 (Figura 2). Esta se estableció por iniciativa de la Asociación de Pescadores de Cuerderos de Palito. Los objetivos que se pretenden alcanzar con esta delimitación y ordenamiento pesquero es la protección y, sobre todo, el aprovechamiento de forma sostenible de los recursos marino-costeros (MarViva, 2012).



Figura 2. Delimitación del Área Marina de Pesca Responsable de Palito, Isla Chira. Fuente: MarViva (2012).

1.6.3 Caracterización biofísica

Chira corresponde a la isla más grande del Golfo de Nicoya, presenta una topografía muy variada, sus partes montañosas asemejan, en su forma, a una herradura; su elevación máxima es de 240 msnm; mientras que, en sus partes bajas, las áreas de humedal son bastante prominentes. Cuenta con un clima seco (Holdridge, 1978), una temperatura promedio de 27,5°C, con una temperatura máxima de 33° C y una mínima de 22°C. La precipitación lluviosa ronda entre los 1600mm y 1700mm al año, basándose en las condiciones de intensidad de la lluvia de la Península de Nicoya según su relieve, se calcula para la isla una intensidad entre 115-118 mm/h (Holdridge, 1978). Presenta una época seca bien marcada que se extiende entre los meses de diciembre a abril; generalmente en mayo suelen aparecer las primeras lluvias (ProDus, 2008).

Más de 800 hectáreas en Chira están cubiertas por áreas boscosas, ubicadas principalmente en zonas de la isla con pendientes bastantes pronunciadas. En su gran mayoría, corresponden a remanentes de bosque seco tropical secundario (Holdridge, 1978; Janzen, 1991), principalmente en recuperación. Esta clasificación de zona de vida se debe a las características climáticas y altitudinales, además de que buena parte del año es bastante seco (Janzen, 1991). Únicamente el 1 % del de las tierras de la isla se utilizan para cultivos, básicamente agricultura de subsistencia, lo cual podría indicar que cada vez la actividad agrícola pierde fuerza, para dar paso a otras como la ganadería. Los humedales cuentan con aproximadamente 1090 hectáreas en la isla, estos terrenos permanecen inundados de forma permanente a lo largo del año, algunas de estas áreas fueron utilizadas para la extracción de sal, pero actualmente están abandonadas, poco a poco van recuperándose y, de nuevo, reaparecen los mangles (ProDus, 2008).

Las especies de mangle de mayor presencia en la isla son *Laguncularia racemosa*, *Aviceniagerminans*, *A. laguncularia* y *Rhizophora mangle* (Bolaños, 1988).

Capítulo II. Marco teórico

2.1. Biología del mejillón (Mytilidae)

Los mitílidos popularmente llamados “mejillones”, “choras”, “choritos” entre otros nombres representan una familia de los moluscos bivalvos que son de gran interés comercial y gastronómico, a pequeña, mediana y gran escala. Se les encuentra únicamente en el medio marino y, por lo general, en la zona intermareal y zonas sumergidas cercanas a la costa. Como se mencionó, los mejillones se ubican dentro de los bivalvos, estos cuentan con la característica morfológica de presentar dos conchas o valvas, las cuales tienen diversas funciones, entre las que destacan: funge como mecanismo de protección ante depredadores, soporte y fijación, así también para el resguardo de órganos internos (FAO, 2006).

Para *M. guyanensis*, como para las demás especies de mejillón, se puede llegar a distinguir el sexo de forma macro, por medio del color de las gónadas. Las hembras presentan una coloración amarilla en las gónadas, mientras que en los machos son de color marrón. La intensidad de estos colores suele variar según la cantidad de óvulos o espermatozoides que posean (Sastry, 1979). Las de hembras de *M. guyanensis*, requieren de un período gonadal más largo que los machos para desarrollarse, la proporción del sexo de esta especie es de 1:1 (Cruz y Villalobos, 1993b).

En la actualidad, se conocen más de 20 000 de especies de bivalvos alrededor del mundo (Gotting, 1974; Lindner, 1989). Los mytilidos, en Costa Rica, están representados por medio de cinco especies: *Modiolus americanus*, *M. capax*, *M. eiseni*, *Mytella charruana*, *M. guyanensis* y *M. speciosa*. Todas estas se distribuyen a lo largo de costa pacífica costarricense (Ross et al., 2014). Particularmente, en Isla Chira, se ha registrado la presencia únicamente de dos especies de choras: *Mytella guyanensis* (Figura 3) y *M. charruana*.



Figura 3. Individuo de *M. guyanensis* cultivado en AMPR Palito, Isla Chira, Costa Rica.

2.2 Parámetros medio-ambientales

El agua tiene una gran importancia en la constitución fisiológica del ser humano y la humanidad, juega un papel relevante en procesos bioquímicos del entorno en que vivimos. Las propiedades físico-químicas y los componentes orgánicos e inorgánicos inmersos en este líquido, suele jugar un papel de regulador en las diferentes formas de vida que conocemos. El agua se puede catalogar como un sistema, debido su capacidad de ser un gran disolvente de componentes sólidos, líquidos y gaseosos, en los cuales se puede llegar a modificar alguna de sus propiedades.

Es debido a lo anterior que realizar análisis cualitativos, cuantitativos, físico-químicos, biológicos o microbiológicos, entre otros, sobre algunas o todas sus propiedades arrojarán parámetros de la calidad y su relación directa/indirecta en cuanto al medio donde habita o se desarrolla alguna especie determinada, la cual sea de interés investigar (Díaz-Solano, Esteller y Garrido-Hoyos, 2011).

Algunos de los principales parámetros físico-químicos del agua que podrían tener incidencia en los procesos biológicos de organismos son los siguientes (Aznar, 2000):

- a. Turbidez: Se origina producto de las partículas en suspensión en la columna de agua. El tamaño de estas depende la claridad en menor o mayor medida. La medición se realiza mediante un turbidímetro y la unidad de medida es Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT).
- b. Temperatura: Es de gran importancia, ya que regula la actividad biológica del medio, un aumento en esta podría modificar algunos otros parámetros físico-químicos. Se utiliza como unidad de medida grados centígrados o Fahrenheit usualmente.
- c. pH: Se puede determinar por medio de un pHmetro, generalmente se mide "in situ". Arroja la concentración de iones hidronio presentes en una muestra. La escala de medición va desde 1-14, donde los valores menores a 7 se clasifican como ácidos y los mayores a 7 se les conoce como básicas. Un pH de 7 se entiende como un valor estándar.
- d. O₂ disuelto: Podría referirse como un indicador de la calidad del agua. Una disminución o valores bajos podría expresar contaminación, alta actividad bacteriana o cantidades considerables de materia orgánica en descomposición. Se determina mediante un sensor de electrodo de membrana, usualmente, la unidad de medida se expresa como miligramo sobre litro.
- e. Salinidad: Representa la cantidad de cloruro de sodio presente en un cuerpo de agua o tierra, en este caso, en el mar. Su unidad de medida, usualmente, es partes por millón (ppm) o Unidades Prácticas de Salinidad (PSU) en una muestra o un medio dado.
- f. Penetración de rayos de luz: Para este parámetro se utiliza un disco secchi, el cual es un instrumento de campo por el cual se logra determinar la penetración de rayos de luz en un cuerpo de agua. Se introduce al medio acuoso y se toma la medida de la profundidad del disco (en centímetros o metros) hasta que deje de ser observado por la vista humana.
- g. Precipitación (pluvial): Se utiliza para definir la caída o deposición, en este caso, en forma líquida, desde las nubes hasta la tierra, en un lugar determinado. Se mide en milímetros (mm), donde un milímetro de lluvia es equivalente a un litro de agua por metro cuadrado. Para efectos del presente estudio, se consideraron los datos generados por la estación "Barco Quebrado,

Garza" (90° 54' 57.77"N, 85° 36' 52.36"W) ubicada en Nosara de Guanacaste, del Instituto Meteorológico Nacional.

h. Profundidad: Se determina por medio de una batimetría, la cual consiste en la medición de las profundidades (en metros) del medio marino en la zona de estudio. En este caso, se realizó de forma directa por medio de una vara o instrumento de medición, sin embargo, en sitios con mayor profundidad, se realiza por medio de una ecosonda, la cual brinda mayor precisión.

2.3 Evaluación de la mortalidad del mejillón

En cultivos de mejillón en Chile y Venezuela, se han reportado tasas de mortalidad de hasta el 50 %. Diarte-Plata, Escamilla-Montes, De la Cruz-Agüero, Granados-Alcantar y Álvarez-Ruiz (2013) evaluaron la tasa de mortalidad para el mejillón barba de hacha (*Mytella strigata*) en un cultivo suspendido, cosechados en un sistema de Lagunas en Sinaloa, México, se registró una mortalidad del 3 % al iniciar el proyecto y alcanzó un 19 % al finalizar el estudio.

La mayor mortalidad se presenta en los meses con menores niveles de precipitación, debido a que suele bajar el nivel de turbidez en el agua, lo que facilita que sus depredadores los localicen (Arroyo y Marín, 1998). Según Serrano (2004), los factores que repercuten en las tasas de mortalidad de los bivalvos en cultivos suspendidos varían desde la presencia de fauna acompañante, competidora y depredadores, hasta un constante y fuerte oleaje en los sitios de cultivo. Se ha experimentado que el ámbito de tolerancia de los mejillones a temperaturas limitantes para su desarrollo ronda entre 5°C < y >40 °C; esto difiere entre las distintas especies de mitílidos. Para ciertas especies, la temperatura constituye un factor determinante para la formación de estructuras anatómicas como el biso (Mesas y Tarifeño, 2015).

2.4 Crecimiento del mejillón

Existe una tendencia a que *M. guyanensis* crezca con mayor prontitud en cultivos manejados (artificiales), con respecto a su crecimiento en bancos naturales (Carvajal, 1969). Leighton (1979) destaca que los mejillones en cultivo cuentan con un mejor acceso al recurso alimenticio en la columna de agua y por periodos más largos de tiempo. Las tasas de crecimiento de *M. guyanensis*, alrededor del mundo, tienden a ser muy variadas, debido a las condiciones ambientales particulares de cada zona. Sin embargo, los mitílidos de países tropicales suelen presentar niveles de crecimiento mayores con respecto a especies de climas más templados (Mesas y Tarifeño, 2015). Para ciertas especies de mejillones en Chile, se le atribuye más bien

el crecimiento a características biológicas propias de los organismos, y no así la influencia de variables ambientales en el sitio de cultivo (Díaz, Sobenes y Machino, 2019).

En Isla Chira, se logró determinar que el crecimiento de *M. guyanensis* en bancos naturales tiene un índice de crecimiento entre 5,08 mm y 5,27 mm por mes (Sibaja, 1985a). Bolaños (1988), observó que este mejillón logra crecer mensualmente 7,65 mm en cultivos en canastas suspendidas; mientras que Sibaja (1985), bajo este mismo método, reporta un crecimiento de 5,77 mm mensual.

Capítulo III. Marco Metodológico

3.1. Paradigma

La Maestría Profesional en Manejo de Recursos Naturales es un programa que pertenece a las Ciencias Naturales y, por tanto, se desarrolla dentro de un paradigma intelectual-social-crítico en el que se motiva a la construcción continua de conocimiento nuevo mediante la realización de una investigación científica que genere propuestas capaces de provocar una transformación social en cuanto al manejo de los recursos naturales (Ulate y Vargas, 2016).

3.2. Enfoque

La investigación se desarrolló mediante el enfoque cuantitativo, el cual se caracteriza porque tiene un planteamiento delimitado y, además, específico. Para la recolección de los datos, se considera la medición y el análisis de una serie de variables, los cuales permiten, mediante operaciones estadísticas, estandarizar los resultados y dar explicaciones al problema de investigación de forma numérica. Los datos obtenidos mediante este tipo de investigaciones suelen presentarse mediante gráficos, cuadros, figuras y tablas (Ulate y Vargas, 2016).

Destaca del enfoque cuantitativo, su proceder de forma ordenada, secuencial y mediante una serie de pasos previamente establecidos y rigurosamente estudiados. Con esto, se busca que la información que se desea presentar posea credibilidad para que sea aceptada por la comunidad científica en este caso (Ulate y Vargas, 2016).

Cada una de las etapas en la investigación de tipo cuantitativa es secuencial, enfocada en probar algo, no se puede cambiar el orden de sus fases ni evitar u obviar desarrollar alguna de estas, ya que recordemos que se busca confiabilidad y credibilidad en los datos (Hernández, Fernández y Baptista, 2010). Además, se deben seguir procedimientos bajo estándares preestablecidos, con lo cual se pretende que este tipo de estudios pueda ser replicado por otras personas, incluso en otras latitudes.

3.3. Tipo de investigación

Este estudio es experimental, de tipo exploratorio/descriptivo, ya que se analizaron las condiciones ambientales entorno a un método alternativo de cosecha del mejillón en la comunidad de Palito, en Isla Chira. Generó un primer acercamiento formal a las condiciones en estudio, los

datos diagnósticos que arrojarán los datos físico-químicos y ambientales servirán de sustento para determinar las mejores condiciones del medio, para la cosecha de este bivalvo marino. Posteriormente, al conocerse y contar con un panorama más claro del cual partir, se podrán desarrollar análisis más profundos e, incluso, a mediano y largo plazo, atender o plantear nuevos tópicos de investigación sobre la temática.

3.4. Participantes / población y muestra

3.4.1 Parámetros ambientales

La medición de los parámetros físico-químicos en estudio se realizó *in situ*, en la zona intermareal al frente de la comunidad de Puerto Palito. Puntualmente, en el área establecida para la cosecha de estos organismos mediante el método de canastas en suspensión, ubicada a 300 m al oeste en balsas mejilloneras. Los datos meteorológicos de precipitación, fueron suministrados por el Instituto Meteorológico Nacional (Anexo 4).

3.4.2 Mortalidad de mejillón en canastas

La población en estudio son los organismos de mejillones (*M. guyanensis*) que se cultivan en canastas artificiales suspendidas en la comunidad de Palito, Isla de Chira. Esta población consta de 600 canastas existentes, distribuidas en seis balsas mejilloneras (100 canastas cada balsa). En el presente estudio, al ser de tipo diagnóstico, la elección de la muestra se realizó por medio de una muestra no probabilística, es decir, se seleccionó el 10 % de las canastas que se encuentran actualmente instaladas (60 canastas en total). Cada mes, se eligió una canasta diferente de forma aleatoria en los 6 puntos de cultivo, para posteriormente ser procesadas. Para determinar la mortalidad de los organismos, se realizó una revisión de todos los mejillones contenidos en de cada canasta para, posteriormente, contabilizar los individuos muertos y vivos y, así, calcular el porcentaje de mortalidad (Gómez, 2016).

Los principales factores ambientales que inciden en la mortalidad del *M. guyanensis* son la salinidad y la temperatura (Onodera, 2012). Por lo que se aplicó un análisis de correlación de Pearson (r) para determinar una posible incidencia o no de estos factores, sobre la mortalidad del mejillón en el medio de cultivo. Estos análisis se realizaron con un grado de significancia de $\alpha=0,05$ y un 95 % de confiabilidad.

3.4.3 Crecimiento de organismos

Se seleccionaron y marcaron 5 canastas control con organismos jóvenes de mejillón de aproximadamente un mes de edad (diámetro de la concha de 10 ± 1 mm). Para determinar el crecimiento mensual de la concha, se realizaron mediciones por medio de un Vernier o pie de rey digital (Figura 4). Cada mes (seis muestreos en total), se midió el largo y el ancho de 10 individuos de cada canasta, para un total de 50 organismos mensuales (muestra total de 300 individuos).



Figura 4. Procedimiento de medición para determinar crecimiento y peso del mejillón (*M. guyanensis*), en Isla Chira.

3.5. Fuentes

Las principales fuentes de información para el presente estudio se dividieron en fuentes primarias y secundarias (Ulate y Vargas, 2016). Las cuales se detallan a continuación.

Fuentes primarias:

- Se generaron datos e información base en campo, esto por mediciones directas para parámetros físico-químicos.
- Datos de precipitación (lluvias) de la estación meteorológica “Barco Quebrado, Garza”, ubicada en Nosara de Guanacaste, fueron facilitados por el Instituto Meteorológico Nacional (2019).

- Estudios de investigación referentes a maricultura y pesca responsable, realizados por estudiantes e investigadores de Universidades Públicas del país (UNA, UCR, UNED).
- Publicaciones de libros, revistas u otros documentos entorno a la maricultura, al crecimiento y a la mortalidad de mejillones y proyectos de miticultura sostenible en otras regiones del mundo.

Fuentes secundarias:

- Asociación Salvemos al Golfo de Nicoya (ASOSAGONY), la cual está conformada por hombres y mujeres de la comunidad de Palito que se dedican principalmente a la pesca artesanal y que, en los últimos años, han incursionado en la maricultura.
- Asociación de Pesca Responsable de la comunidad de Palito, Isla de Chira.
- Asociación de Ostreras de Chira y personeros de la Universidad Nacional de Costa Rica, que acompañan este proyecto.
- Líderes comunales de la comunidad de Palito, Isla de Chira.

3.6. Técnicas e instrumentos para la recolección

3.6.1 Parámetros ambientales

Los siguientes parámetros (pH, salinidad, oxígeno disuelto, temperatura del mar y del aire, turbidez, precipitaciones, penetración de rayos de luz y profundidad) fueron registrados cada mes durante 6 meses consecutivos (Cuadro 1). En cada visita al sitio de estudio, durante dos días se realizarán 6 muestreos (tres muestreos cada día), en los siguientes horarios: 06:00h, 12:00h y 18:00h. Se utilizó para la toma de datos en campo una interfase Vernier Lab Quest 2®, mediante la conexión de sensores de cada uno de los parámetros anteriormente citados, a excepción del grado de penetración de rayos de luz, para lo cual se utilizó un Disco secchi. La información meteorológica de precipitación fue facilitada por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN), se realizó un promedio mensual de precipitación de los meses en estudio. Se consideraron los datos meteorológicos de la estación meteorológica “Barco Quebrado, Garza”, ubicada en Nosara, Guanacaste (90° 54′ 57.77″N, 85° 36′ 52.36″W).

CUADRO 1.

Parámetros ambientales evaluados en el medio de cultivo del Mejillón y sus respectivas unidades de medida.

Parámetro	Unidad de medida	Nombre de unidad
Precipitación	mm	Milímetros
Temperatura del aire	°C	Grados celcius
Temperatura del mar	°C	Grados celcius
Oxígeno disuelto	mg/L	Miligramos/ litro
pH	0-6 ácido; 7 neutro; 8-14 básico.	Potencial de Hidrógeno
Turbidez	NTU	Unidades Nefelométricas de Turbidez
Penetración de rayos de luz	m	Metro
Profundidad	m	Metro
Salinidad	ppm	Partículas por millón

3.6.2 Mortalidad de organismos en canastas

Durante seis meses, se seleccionaron y procesaron al azar diez canastas con mejillones por mes. Estas canastas fueron distintas a las utilizadas para medir el crecimiento de organismos. En cada canasta, se contabilizó la cantidad total de organismos vivos y muertos para establecer el porcentaje de mortalidad mensual. Se evaluó la mortalidad producto de las condiciones físico químicas del medio marino, ya que debido al sello de las canastas se trató de excluir a los principales depredadores de la especie.

3.6.3 Crecimiento de organismos en canastas

Se seleccionaron y marcaron cinco canastas con organismos jóvenes de mejillón de aproximadamente un mes de edad (diámetro de la concha >10 mm). Durante seis meses, mensualmente, se midieron al azar 10 individuos de cada canasta (50 por mes, total 300 individuos). A esos especímenes se les realizaron biometrías (largo y espesor) además del pesaje con concha (g). Antes de iniciar con el pesaje de los organismos, se procedió a extraerlos de la canasta, limpiarlos con abundante agua, eliminar incrustaciones en valvas y separarlos cuidadosamente (desdoble); finalmente, se colocaron en una canasta a escurrir durante 20

minutos. Se utilizó un Vernier calibrador digital con precisión de 0,01 mm para las biometrías, mientras que para el pesaje de organismos con concha una balanza digital Sartorius M-prove® (0-2000 g) con una precisión de 0,01 g.

3.7. Validación de instrumentos

Se realizó en septiembre de 2018, una visita de campo de tres días al área de estudio con el objetivo de:

1. Probar técnicas de muestreo en el medio acuático, considerando los parámetros físico-químicos que fueron seleccionados para este estudio. Se tomaron muestras de estos parámetros cada dos horas, iniciando a las 6:00h y finalizando a las 18:00h, para conocer valores mínimos y máximos durante este periodo. Se estandarizó el protocolo para la toma de datos.
2. Experimentar con dos equipos y sensores de análisis de parámetros físico-químicos y su versatilidad para muestreo en campo (Pasco y Vernier).
3. Seleccionar e identificar, en el área de estudio, las canastas en suspensión que sería sometidas a mediciones mensuales para determinar el crecimiento y peso del mejillón (*Mytella guyanensis*).
4. Conocer la población de organismos cosechados por medio del proyecto de Mejillón en la comunidad de Palito, con el objetivo de estimar la muestra que sería considerada en el presente estudio. Así también el método que se utilizaría para evaluar la mortalidad de organismos cultivados por medio de esta técnica.

3.8. Procedimiento de recolección de información

Durante seis meses consecutivos (octubre-2018/marzo-2019), se visitó la comunidad de Palito, Isla Chira, para toma de muestras *in situ*. Los datos de parámetros físico- químicos, se obtuvieron mediante mediciones directas del medio marino. La estimación de mortalidad y crecimiento se calculó mediante el procesamiento de organismos vivos que se extrajeron del medio de cultivo. Se obtuvo un esfuerzo de muestreo de 216 horas en total (Cuadro 2). Posteriormente, se incluyó la información obtenida de los parámetros físico-químicos, estimaciones de mortalidad y crecimiento de organismos en una hoja de cálculo y resguardo de datos de Excel® para sus respectivos análisis. Cabe destacar que posterior a las mediciones de longitud y peso de los organismos seleccionados, estos fueron devueltos a sus canastas correspondientes. No se contempló la reposición de individuos en las canastas para evaluar la mortalidad, solo se descartaban de las mismas.

CUADRO 2.

Cronograma de giras de campo para recolección de datos *in situ*

Gira	Mes de gira	Fechas de gira de campo	Esfuerzo de muestreo (h)
1	Setiembre, 2018	26, 27 y 28 de setiembre	36 (validación)
1	Octubre, 2018	22, 23 y 24 de octubre	36
2	Noviembre, 2018	27, 28 y 29 de noviembre	36
3	Diciembre, 2018	7, 8 y 9 de diciembre	36
4	Enero, 2019	29, 30 y 31 de enero	36
5	Febrero, 2019	13, 14 y 15 de febrero	36
6	Marzo, 2019	27, 28 y 29 de marzo	36
TOTAL			216

3.9. Procedimiento de análisis de la información

Para los valores obtenidos de parámetros físico-químicos, mortalidad y crecimiento del mejillón mensual, se estimó el promedio y su desviación estándar respectiva. Una vez que se lograron sistematizar los datos obtenidos, se procedió a la elaboración de cuadros, tablas y gráficos para mostrar los resultados alcanzados.

Capítulo IV. Presentación y análisis de resultados

4.1. Resultados

4.1.1 Parámetros medio-ambientales

Durante seis meses consecutivos (octubre2018-marzo2019) se analizaron los parámetros ambientales en el medio de cultivo del mejillón (*M. guyanensis*) ubicado al frente de la comunidad de Palito, Isla Chira. Se obtuvieron los siguientes valores en promedio mensual con sus desviaciones estándar respectivas (Cuadro 3).

CUADRO 3.

Parámetros ambientales en el medio de cultivo del mejillón (*M. guyanensis*), Puerto Palito, Isla Chira (Promedio \pm DE).

Parámetros	oct-18	nov-18	dic-18	ene-19	feb-19	mar-19
pH	6,99 \pm 0,40	7,81 \pm 0,28	7,61 \pm 0,32	7,75 \pm 0,41	7,80 \pm 0,43	7,51 \pm 0,99
Salinidad (ppm)	19,41 \pm 2,59	22,71 \pm 3,10	23,71 \pm 0,78	25,70 \pm 1,44	24,51 \pm 0,25	31,19 \pm 0,83
Oxígeno disuelto (mg/L)	3,88 \pm 0,36	4,94 \pm 0,67	4,93 \pm 0,47	5,65 \pm 0,59	4,96 \pm 0,42	3,90 \pm 0,15
Temperatura del aire (°C)	29,75 \pm 5,82	30,16 \pm 5,94	31,02 \pm 4,40	31,36 \pm 4,59	29,07 \pm 5,96	31,07 \pm 4,67
Temperatura del Mar (°C)	28,68 \pm 0,55	30,46 \pm 0,64	30,51 \pm 1,47	29,96 \pm 2,12	28,03 \pm 4,52	31,58 \pm 4,80
Turbidez (UNT)	980,94 \pm 146,52	799,52 \pm 53,78	499,84 \pm 44,88	666,52 \pm 135,99	461,45 \pm 43,62	461,29 \pm 42,14
Penetración de rayos de luz (m)	1,7 \pm 0,20	1,9 \pm 0,19	2,2 \pm 0,29	2 \pm 0,25	2,1 \pm 0,31	2,3 \pm 0,30
Profundidad (m)	4,9 \pm 0,3	5,0 \pm 0,5	4,9 \pm 0,8	4,9 \pm 0,7	4,9 \pm 0,6	4,4 \pm 0,7
Precipitación (mm)	732,30	112,60	0	0	0	0

Los criterios y rangos de cada variable en estudio para el cultivo del mejillón, se muestran en sección de discusión (Cuadro 4). Los rangos para caracterizar los valores obtenidos fueron tomados de varias fuentes bibliográficas relacionadas con cultivos de bivalvos y, en algunos casos, específicamente, para el cultivo de mejillón en diferentes regiones del mundo. Para el parámetro de turbidez no se identifica ningún criterio o rango para su respectiva comparación en este grupo de Mitílicos.

CUADRO 4.

Parámetros ambientales y rangos deseados para el cultivo de Bivalvos según la literatura especializada. Adaptado de Quesada, R. (2018). (Promedio \pm DE).

Parámetro	Datos obtenidos	Óptimo	Bueno/Aceptable	Malo/Limitante	Referencia	Grupo taxonómico	País del estudio
pH	7,57 \pm 0,31	6-7	5,1-5,9 y 8-8,8	≤ 5 y $\geq 8,9$	Nayar y Mahadevan, 1987	<i>Crassostrea sp.</i>	India
Salinidad	24,54 \pm 5,22	28-30	18-27 y 31-34	≤ 17 y ≥ 35	Nayar y Mahadevan, 1987.	<i>Crassostrea sp.</i>	India
					Shumway, 1996.	<i>Crassostrea virginica</i>	USA
O ₂ disuelto	4,71 \pm 0,69	≥ 5	3-5	$\leq 2,9$	Villaroel, Buitrago y Lodeiros, 2004.	<i>Crassostrea rhizophorae</i>	Venezuela
					Timmons et al., 2009.	<i>Bivalvia</i>	México
Temperatura del aire	30,57 \pm 0,93	28-31	23-27 y 32-34	≤ 22 y ≥ 35	Nayar y Mahadevan, 1987.	<i>Crassostrea sp.</i>	India
					Matto, Ivanina, Ullstad, Beniash y Sokolova, 2013.	<i>C. virginica</i> y <i>Mercenaria mercenaria</i>	USA
Temperatura del mar	29,87 \pm 1,30	$\leq 30^\circ$ C	30-33	$5 \leq$ y ≥ 33	Onodera, 2012.	<i>Mytella falcata</i> y <i>M. guyanensis</i>	Brasil
					Mesas y Tarifeño 2015.		
					Onodera y Henriques, 2017.		
Turbidez	594,93	n/e	n/e	n/e	n/e	n/e	n/e
Penetración de rayos de luz	2,0 \pm 0,3	6-12 m	3,1-5,9	≤ 3	Moreno, Quintero y López, 2010.	<i>Bivalvia</i>	México
					Quesada, 2018.	<i>Ostreidae</i> y <i>Mytilidae</i>	Costa Rica
Profundidad	4,7 \pm 0,60	≥ 15 m	7,9-14m	≤ 8	Quesada, 2018.	<i>Ostreidae</i> y <i>Mytilidae</i>	Costa Rica

n/e: no se especifica.

4.1.2 Mortalidad de mejillones cultivados

Se obtuvo una mortalidad para *M. guyanensis* en promedio de 13,6 % \pm 4,56. En Noviembre 2018, se registró la tasa más baja de mortalidad, con tan solo un 3,6 %; mientras que con un 22,45 % en diciembre 2018, se alcanzó la tasa de mortalidad de organismos más alta (Figura 5).

No se logró determinar que la salinidad ($r=0,35$), la temperatura ambiental ($r=0,20$) o la temperatura del agua ($r=0,09$), sean factores que incidan directamente en la mortalidad de esta especie. Este análisis se calculó con un nivel de significancia ($\alpha=0,05$) y un 95 % de confiabilidad.

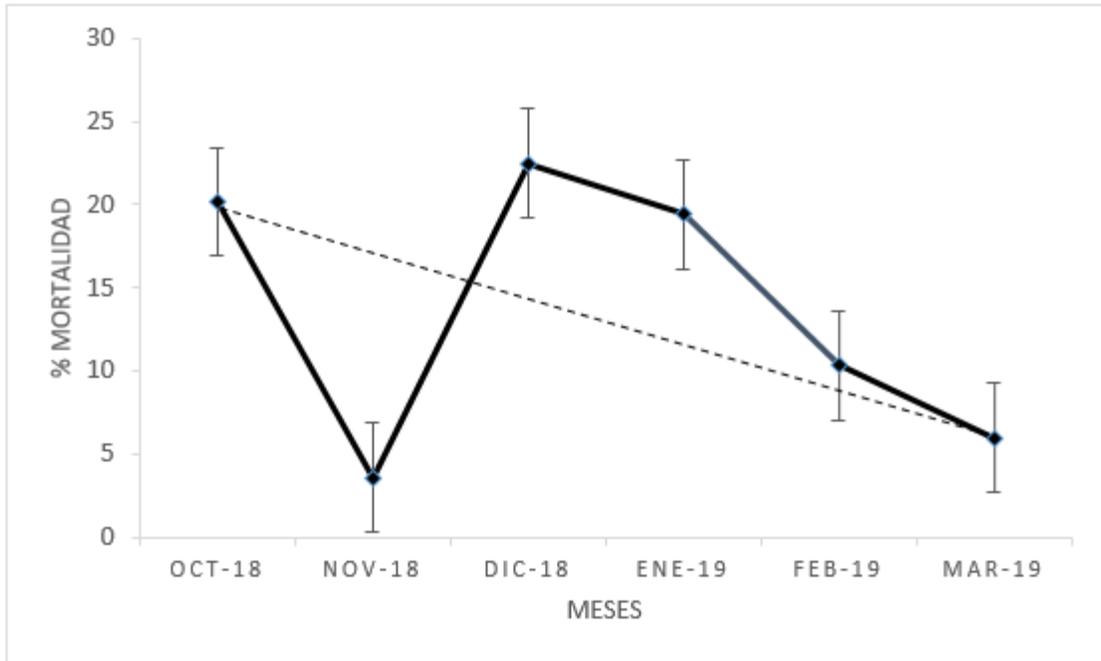


Figura 5. Porcentaje de mortalidad de organismos de mejillón (*M. guyanensis*) en canastas suspendidas, Palito, Isla Chira.

4.1.3 Crecimiento de mejillones en canastas

Se estimó el crecimiento de *M. guyanensis* mediante las medidas biométricas de longitud y peso de mejillón con concha. La tasa de crecimiento mensual promedio del largo fue de $0,69 \pm 0,13$ cm (\pm DE), mientras que el aumento mensual promedio en el peso fue de $1,14 \pm 1,52$ g (\pm DE). Se logró determinar que, a partir del cuarto mes, mediante este método de cultivo, el mejillón alcanza un tamaño apto para comercialización y consumo (≥ 40 mm de longitud) según la literatura (Pereira, Hilberath, Ansarah y Galvão, 2018) (Figura 6).

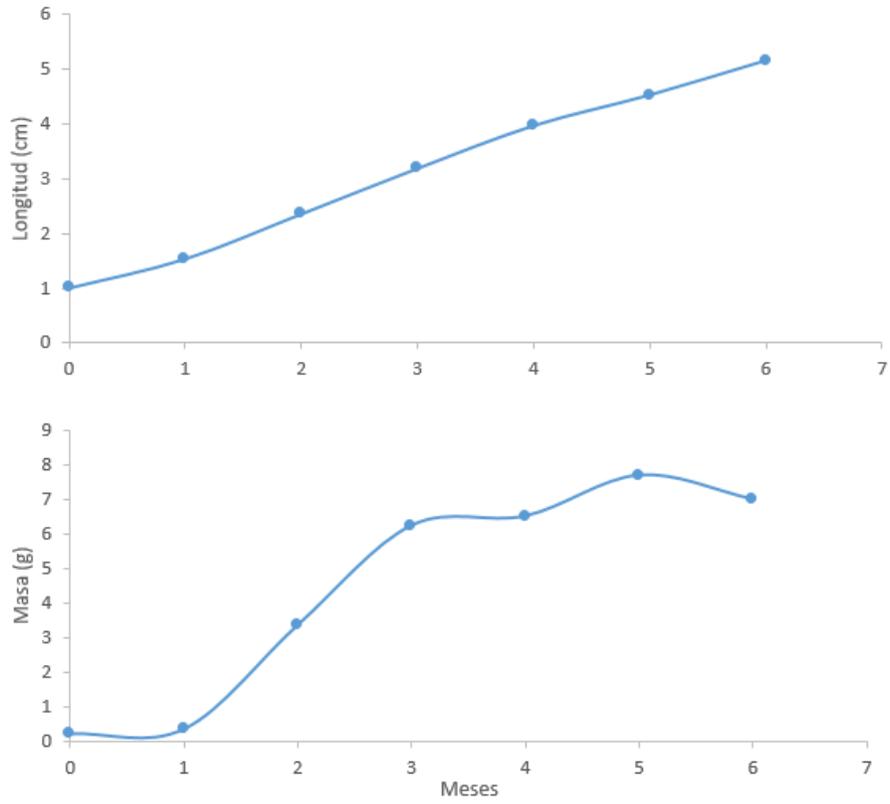


Figura 6. Longitud y peso promedio mensual de *M. guyanensis* cultivado en canastas suspendidas, Palito, Isla Chira.

4.2. Discusión

4.2.1 Parámetros medio-ambientales

Tal como se puede apreciar en el Cuadro 4, una de las limitantes para efectuar comparaciones y determinar rangos óptimos de parámetros físico-químicos para el cultivo de bivalvos en el área de estudio, es que no se cuenta actualmente con datos a nivel país o región sobre criterios que guíen la producción de estos organismos en proyectos de Maricultura. Destaca el estudio de Quesada (2018) realizado en el Golfo de Nicoya, donde uno de sus puntos de muestreo se realizó en un área cercana a Puerto Palito, Isla Chira. En este, se identificaron sitios óptimos para el cultivo de ostras, considerando algunas de las principales variables ambientales (ver Cuadro 5) incluidas en el presente trabajo.

Los parámetros analizados variaron mensualmente, se identificaron tres de ellos como óptimos según la literatura (Figura 7) para el cultivo de bivalvos: pH, temperatura del aire y la temperatura del mar. Al encontrarse las canastas al menos a dos metros de profundidad, se regula la temperatura del agua a la cual se encuentran, como también se reduce la radiación solar directa a la que podrían estar expuestos, tal como sucede con los organismos en bancos naturales. Se ha logrado determinar que *M. guyanensis* tiene un amplio margen de tolerancia a condiciones ambientales, se ha identificado a la especie como eurihalina (Solomão, Magalhães y Luneta, 1980; Leonel y Silva, 1988), osmoconformista, lo cual se realiza ajustando su volumen celular (Hossoi, Kubota, Toyohara y Hayashi, 2003).

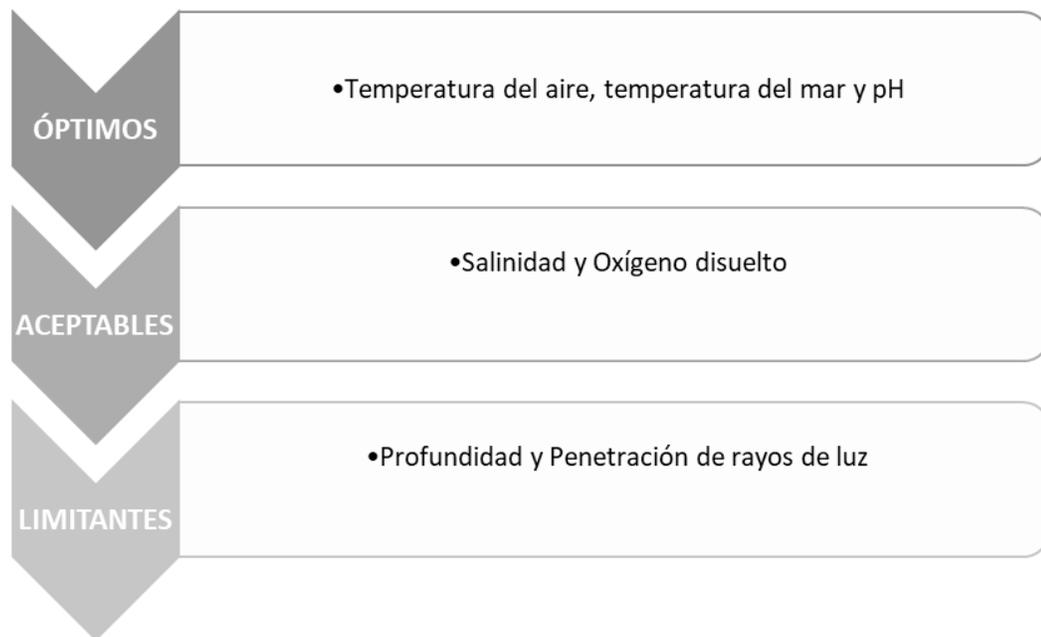


Figura 7. Categorización de parámetros ambientales muestreados, según la literatura especializada.

La Salinidad se catalogó como un parámetro aceptable. Durante los meses más lluviosos (octubre-noviembre, 2018), se registraron los valores de más baja salinidad; esto sucede por la influencia que tienen los ríos Tempisque y Bebedero principalmente, que abastecen de agua dulce el litoral costero cercano a la isla. En estos meses, los bajos niveles de salinidad en el agua reducen la concentración de carbonato de calcio en las conchas de los bivalvos, lo cual podría repercutir en que estos mejillones sean vulnerables ante depredadores (Quesada, 2018). Pereira, Hilberath, Ansarah y Galvao (2018) determinan, en un estudio sobre la productividad de dos especies de mitílidos, que los niveles de salinidad tienden a ser más bajos en época de lluvias, lo cual coincide con los registrados en el presente estudio.

Las especies marinas, en su mayoría, están adaptadas para tolerar niveles o márgenes amplios de salinidad. En este estudio, no se registraron grandes diferencias en las mediciones mensuales; no obstante, se considera que cambios significativos de este parámetro pueden incidir en elevadas tasas de mortalidad en bivalvos (Quesada, 2018).

La disponibilidad de oxígeno disuelto promedio en Isla Chira fue cercano a 5 mg/L; en estudios similares en Venezuela, se obtuvo un promedio de 3,5 mg/L con un mínimo de 2,27 mg/L, aún con estos niveles de oxígeno disuelto mostrados, no se logró determinar que fuesen un factor o condición suficiente que afecte los procesos fisiológicos de los moluscos bivalvos (Buitrago,

Buitrago, Freites y Lodeiros, 2009). García-Pulido, Gallego-Alarcón, Díaz-Delgado, Fall-Cheikh y Burrola-Aguilar (2011) indican que valores por encima de 5 mg/L de oxígeno disuelto representan las condiciones óptimas para el desarrollo biológico de los mejillones; sin embargo, valores entre 4-5 mg/L son catalogados buenos para su desarrollo.

La constante entrada y salida de agua por medio de las mareas y los vientos en el golfo de Nicoya permiten una mayor absorción y retención de oxígeno en este ecosistema. El agua dulce presenta una mayor concentración de oxígeno disuelto con respecto al agua salobre; el río Tempisque y Bebedero que desembocan en este Golfo tienen una gran influencia en este medio para proveer de abundante cantidad de oxígeno para el desarrollo y la supervivencia de estos organismos.

Únicamente, los parámetros de profundidad y del grado de penetración de rayos de luz (disco secchi), fueron considerados, según la literatura (Figura 7), como factores limitantes para el cultivo de mejillones en Palito, Isla Chira. Se ha identificado que, para el cultivo del mejillón *M. guyanensis* en Isla Chira, al menos se necesitaría una claridad en el agua de 0,4m (Bolaños, 1988), lo cual no sería un factor limitante en la actualidad, según los datos obtenidos. Moreno, Quintero y López (2010) identifican que valores por debajo de tres metros de turbidez medibles con disco secchi son considerados sitios de baja calidad para cultivos marinos. Las lluvias y condiciones del viento al final de la época lluviosa suelen arrastrar sedimentos y partículas orgánicas que permanecen en suspensión; sin embargo, las canastas de mejillón, al estar sumergidas, podrían presentar una menor afectación por esta condición.

Recientemente, mediante un estudio de dos especies de mejillón que se cultivan en Chile (una nativa y otra introducida), se determinó que la profundidad de cultivo (2 y 5 m) y otras variables ambientales consideradas no son determinantes para el crecimiento de estos organismos. Estas pequeñas diferencias, más bien, se atribuyen a características biológicas particulares de cada especie (Díaz, Sobenes y Machino, 2019).

En el cuadro 5, se muestran los datos en promedio, de seis variables ambientales que fueron consideradas en un estudio similar de maricultura realizado en Palito, Isla Chira. Destaca que tres variables o parámetros (temperatura del mar, oxígeno disuelto, pH) presentan valores con poca variación. Mientras que, tres parámetros presentaron una considerable variación en los valores obtenidos. La salinidad y la profundidad presentaron valores por debajo de lo mostrado en el estudio de Quesada (2018), mientras que la penetración de rayos de luz, obtuvo un valor más alto en el presente trabajo.

Ya es conocido que el Golfo de Nicoya es un cuerpo de agua con una alta dinamicidad, y que en él confluyen una serie de factores ambientales, no obstante, estas diferencias en los datos presentados en ambos estudios de investigación, podrían obedecer o justificarse por alguno de los siguientes otros aspectos:

- a) Sesgo del investigador al manipular los instrumentos de medición
- b) Margen de error de los instrumentos de medición utilizados
- c) Cantidad de réplicas realizadas *in situ*
- d) Metodología de toma de muestras
- e) Duración del estudio

Se debe de tomar en cuenta, que para el presente estudio únicamente se registraron datos durante 6 meses, mientras que el trabajo en cuestión se monitorearon estos parámetros ambientales durante el doble del tiempo (12 meses), pudiéndose obtener un mayor esfuerzo de muestreo.

CUADRO 5.

Datos en promedio de variables ambientales obtenidas en comparación con una investigación previa en la zona de estudio (\pm DE).

Número	Variable ambiental	Referencia de Quesada, R. (2018)	Datos obtenidos
1	Temperatura del mar (°C)	29,59	29,87 \pm 1,30
2	Salinidad (ppm)	29,96	24,54 \pm 5,22
3	Profundidad del sitio (m)	9,5	4,7 \pm 0,60
4	Oxígeno disuelto (mg/L)	4,50	4,71 \pm 0,69
5	pH	8,15	7,57 \pm 0,31
6	Penetración rayos de Luz (m)	1,43	2,0 \pm 0,3

4.2.2 Mortalidad de mejillones en canastas

La mortalidad de organismos marinos se origina por distintos factores, tales como parámetros ambientales limitantes, contaminación del medio acuático, métodos y técnicas de cultivo inadecuadas, depredación, entre otras. Por ejemplo, los cambios de temperatura y de salinidad en el medio constituyen las principales causas en las tasas de mortalidad de bivalvos (Onodera, 2012). Periodos prolongados de exposición a altas temperaturas que sufren estos organismos en su hábitat natural resulta causante de altas tasas de mortalidad (Bennett y Judd, 1992). El mejillón en estudio, al estar en canastas en suspensión, no se expone a temperaturas directas en gran cantidad del tiempo, lo cual es una ventaja sobre los mejillones que se encuentran en bancos naturales, ya que al menos quedan expuestos a la irradiación solar directa 8 horas al día, según el nivel de las mareas.

Costa y Nalesso (2012) observaron un incremento en la mortalidad de mejillones, principalmente la estación seca, además en los meses de menor nivel de precipitación y con índices de salinidad por encima de los 30 ppm. Lo anterior se determinó en áreas de cultivo en canastas en Brasil para las especies *Mytella guyanensis* y *M. falcata*.

Tal como se indicó anteriormente, los niveles de contaminación en el medio marino constituyen otro factor que incide en altas tasas de mortalidad en otras latitudes del mundo. En Hong Kong, se han registrado altas de tasas de mortalidad anual (>90 %) de mejillones verdes (*Perna viridis*) producto de los altos niveles de contaminación del medio acuático, principalmente por metales pesados (Cheung, 1993).

Durante los meses de época seca, que suele ocurrir entre diciembre a mayo, acontece que gran cantidad de cirrípedos (Crustacea: Cirripedia) aparecen y se fijan directamente en la concha de estos organismos. Mientras que en los meses de época lluviosa (junio-noviembre), las canastas se recubren de gran cantidad de algas, lo cual limita el ingreso de agua y podría estar generando una saturación de oxígeno en el medio, lo cual podría incidir directamente en altas tasas de mortalidad de forma estacional. Es por ello que los encargados de la producción de mejillones bajo este método de cultivo, deben de implementar un control más exhaustivo sobre las canastas y los organismos a través de todo el año, debido al comportamiento de estos fenómenos estacionales en la isla.

En el presente estudio, únicamente se evaluó la mortalidad de *M. guyanensis* bajo el método de cultivo en canastas, y se obtuvo una mortalidad promedio de 13,6 %. En otro estudio similar, se

evaluó la supervivencia de *M. guyanensis* mediante dos tipos de cultivo, en un sistema de recirculación del agua. Al final del tiempo de monitoreo (seis meses), el método de cultivo en cuerdas obtuvo un promedio de supervivencia del 39 % (mortalidad 61 %), mientras que, mediante el sistema de linterna o canastas, únicamente sobrevivió el 31 % de los organismos cosechados, es decir, se alcanzó una mortalidad de hasta el 69 % (Juárez, 2017).

4.2.3 Crecimiento de mejillones en canastas

La concha de los mitílidos del trópico suelen tener tasas de crecimiento mayores con respecto a mitílidos de zonas templadas (Vakily, 1989). Los índices de crecimiento de mejillón mediante canastas en suspensión en Puerto Palito suelen estar por encima del crecimiento de estos Mitílidos en bancos naturales. Así lo constató Sibaja (1985a) en Isla Chira, ya que logró estimar un crecimiento mensual del mejillón (*M. guyanensis*) de entre 5,07 mm y 5,27 mm mensual en bancos naturales. Esto podría deberse a que las canastas siempre se encuentran sumergidas en el medio acuático, estos organismos tienen a disposición constantemente alimentos y pueden llegar a filtrar grandes cantidades de agua, tanto en marea alta como baja, no así los mejillones en bancos naturales.

La tasa de crecimiento entre las especies de mejillones puede variar por diversos factores ambientales, uno de estos factores es el grado de contaminación del medio acuático. En áreas contaminadas de Hong Kong, se ha registrado una disminución de hasta un tercio del tamaño esperado para el primer año, para la especie de mejillón verde (*Perna veridis*), debido a los altos niveles de metales pesados en el medio acuático (Cheung, 1993).

La técnica o método de cultivo también es un elemento a considerar cuando se desea tener mayores rendimientos y alcanzar talla comercial de mejillones para su venta. Juárez (2017), durante seis meses, evaluó el crecimiento de *M. guyanensis* mediante dos sistemas de cultivo (*long line* y canastas). Los organismos cosechados en canastas obtuvieron un mayor crecimiento ($3,55 \pm 0,24$ cm) en comparación con los cosechados cuerdas tipo *long line* ($3,32 \pm 0,22$ cm). En Puerto Palito, debido a la poca profundidad en donde se desarrolla el cultivo, es que se practica principalmente por la producción de organismos mediante canastas o linternas, para almacenar más producto en estas y, por ende, tener más disponibilidad para su venta.

Capítulo V. Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Hallazgos relevantes

Por medio de la información obtenida en el presente estudio, se logró determinar y señalar las siguientes conclusiones:

- Únicamente dos factores (Profundidad-Penetración de luz) se identificaron como limitantes para el cultivo de mejillones en Puerto Palito. No obstante, estos parámetros, pueden ser contrarrestados con un buen manejo operativo del sistema de cultivo.
- No se logró determinar una posible correlación de los principales parámetros medio ambientales, como lo son: la salinidad ($r=0,34$) o la temperatura del agua ($r=0,09$), en las tasas de mortalidad registradas para *M. guyanensis* en Puerto Palito.
- La mortalidad para *M. guyanensis* en canastas en suspensión puede considerarse esperada en Puerto Palito, ya que se registró un promedio de $13,60 \pm 4,56$. Este método de cultivo excluye, en la tasa de mortalidad, la incidencia de factores como la depredación, contaminantes del medio y/o competencia de las especies con las que sí cuenta en su medio natural. No obstante, la densidad de organismos que se colocan en las canastas (2 kg), es un factor que podría estar incidiendo negativamente en la supervivencia de los mejillones.
- El incremento mensual promedio en el del largo de *M. guyanensis* en canastas fue de $0,69 \pm 0,13$ cm, mientras que el incremento mensual promedio en el peso fue de $1,14 \pm 1,52$ g.
- La talla comercial considerada apta para la comercialización de *M. guyanensis* es de ≥ 40 mm de largo (Pereira et al., 2018). Es a partir del cuarto mes de cultivo bajo este método utilizado en Puerto Palito, que la especie alcanzó una talla igual o mayor a la recomendada.
- El crecimiento y aumento de peso de *M. guyanensis* cultivado en canastas suspendidas tiende a ser más rápido que el crecimiento en su entorno natural, según estudios previos realizados en bancos naturales en Puerto Palito. En canastas, alcanzó un tamaño superior a 40 mm de longitud a partir del cuarto mes; mientras que, en bancos naturales, es entre el mes ocho y once que alcanza un tamaño y peso viable para su comercialización (Sibaja, 1985a, b).

- La producción y comercialización de Bivalvos en Isla Chira se desarrolla a pequeña escala o de tipo artesanal en la actualidad; sin embargo, ha logrado convertirse en una fuente alternativa/complementaria de ingresos económicos para las familias participantes en el proyecto de Mejillones.

5.2. Recomendaciones

Las recomendaciones se dividieron en: recomendaciones técnicas sobre el manejo y gestión del cultivo (dirigidas a la Asociación de Maricultura en Palito) y recomendaciones para futuras investigaciones, dirigidas a estudiantes y profesionales que deseen incursionar en iniciativas de investigación en mejillones o bivalvos en Isla Chira.

a) Recomendaciones técnicas y de gestión operacional del cultivo de mejillón en Puerto Palito

- Se debe de establecer un protocolo que guie el ordenamiento, identificación y manejo de las balsas mejilloneras y canastas instaladas, según la biometría de los organismos. Esto permitirá un mejor control y seguimiento de las existencias de mejillones para su comercialización.
- Se considera necesario la implementación de las siguientes acciones para controlar los niveles de mortalidad:
 - 1) La densidad de organismos colocados en cada canasta, no debe de superar 1 kg en cada etapa de su crecimiento.
 - 2) El raleo o desdoble de organismos deberá realizarse cada 15 días.
 - 3) Limpiar las canastas con el fin de eliminar algas u otros materiales que se adhieren a las mismas cada 15 días también.
 - 4) Se contemplará según la profundidad de cada balsa instalada, la colocación de canastas de forma horizontal como vertical, procurando mantener una separación adecuada entre las mismas.
- Las canastas se colocarán a no menos de un metro de profundidad, para contrarrestar un posible estrés metabólico debido a variaciones considerables de parámetros ambientales como por ejemplo la temperatura y salinidad.

- Desarrollar un plan integral para el manejo de subproductos generados de la producción de mejillones.
- Se recomienda que la producción de mejillones o bivalvos en Isla de Chira se realice únicamente a pequeña escala, debido a las condiciones ambientales (profundidad, corrientes marinas, velocidad del viento, entre otros). La fragilidad del ecosistema de manglar y la rica diversidad presente, como también el manejo integral de desechos deben ser considerados a la hora de establecer una actividad productiva en la isla.

b) Recomendaciones para futuras investigaciones que permitan fortalecer el desarrollo del cultivo de mitílicos en Puerto Palito

- Generar un plan de monitoreo continuo de las variables ambientales que afectan el desarrollo de proyectos de Maricultura.
- En Isla Chira, se han identificado, además de *Mytella guyanensis*, otras dos especies de mejillón: *M. charruana* y *M. speciosa*. Por lo que, para futuros trabajos en la zona de estudio, sería de gran interés realizar estudios genéticos para corroborar la existencia de un posible híbrido de estas especies.
- Valorar la eficiencia de otros métodos de cultivo con respecto a la utilizada actualmente (long line, estacas de fondo).
- Determinar la especie de mejillón presente que cuente con un mejor índice de condición y rendimiento en la carne; y determinar la demanda para este tipo de mejillón.
- Estudios biológicos más detallados (anatómicos y/o fisiológicos) sobre estas especies presentes, podrían ayudar a describir mejor las características fenotípicas de cada una de estas y así, identificarlas con mayor facilidad en el campo.
- Mediante la aplicación de un análisis microbiológico y químico (en carne) en *M. guyanensis*, se lograría identificar posibles agentes patógenos y metales pesados respectivamente, que pudiesen estar incidiendo el desarrollo y la mortalidad durante su cultivo en canastas suspendidas. Además, estos análisis son de gran importancia en el sector alimentario, para certificar la calidad y asegurar la inocuidad de este producto.

- Este estudio generó un diagnóstico de tan solo seis meses de las condiciones ambientales donde se lleva a cabo el cultivo del *M. guyanensis*. Se requiere realizar un seguimiento sistemático a largo plazo para contemplar las variaciones diarias y estacionales e interanuales en el transcurso del tiempo; esto generará información más acertada para la toma de decisiones por parte de los actores claves.

5.3. Propuesta para la solución del problema planteado

- Actualmente, se está incursionando por medio de la ASOSAGONY en la producción y comercialización del mejillón, se debería de contemplar a corto plazo lo siguiente: 1) plan de manejo de los desechos orgánicos generados producto de esta actividad; 2) impulsar un programa de repoblamiento de esta especie en Isla Chira y en otras islas del Golfo de Nicoya, donde se tiene registros históricos de presencia de este mitílido; 3) analizar la viabilidad de someter bajo este método de cultivo a otros mitílicos o bivalvos de interés comercial del Golfo de Nicoya; 4) una vez que se establezca un modelo de comercialización, se debe realizar una serie de análisis de laboratorio a la especie (microbiológico, químico de alimentos y proximal) para la verificación de la calidad e inocuidad del producto, identificación de posibles metales pesados y a futuro generar un etiquetado nutricional respectivamente. Finalmente, 5) considerar la posibilidad de replicar este tipo de proyectos en otras Islas del Golfo de Nicoya.
- Se debe de contemplar la formulación de un protocolo de muestreo de los parámetros físico-químicos de forma autónoma y remota; para ello, se propone la implementación de un equipo de monitoreo tecnológico (Hidro-boya) de las principales variables ambientales en la zona de cultivo. Esto promoverá la generación de una vasta información ambiental que puede ser consultada desde cualquier equipo con acceso a internet, por medio de la integración de esta base de datos a una plataforma tecnológica de libre acceso.

Capítulo VI. Propuesta o producto

6.1. Objetivos de la propuesta

6.1.1 Objetivo general

Desarrollar un sistema de monitoreo automatizado de las principales variables ambientales de interés para la maricultura, por medio de la adquisición de una hidro-boya en Puerto Palito, Isla Chira.

6.1.2 Objetivo específico

- a. Implementar una hidro-boya para el monitoreo autónomo y en tiempo real de parámetros medio-ambientales de importancia para proyectos de maricultura en Puerto Palito, Isla Chira.
- b. Generar datos de distintos parámetros medio ambientales entorno a la maricultura que coadyuven a la toma de decisiones en cuanto al manejo de la producción de mejillones en Puerto Palito, Isla Chira.

6.2. Enfoque epistemológico de la propuesta

La Maestría Profesional en Manejo de Recursos Naturales es un programa que pertenece a las llamadas Ciencias Naturales y, por tanto, se desarrolla dentro de un paradigma intelectual-sociocrítica en el que se motiva a la construcción continua de conocimiento nuevo mediante la realización de una investigación científica que genere propuestas capaces de provocar una transformación social en cuanto al manejo de los recursos naturales.

6.3. Justificación de la propuesta

Los avances tecnológicos fueron apareciendo en las últimas décadas de forma progresiva, pero de forma eficaz en la maricultura. Estos aportes han ido dirigidos, principalmente, al aumento de las tasas de crecimiento y supervivencia; mecanismos de protección contra depredadores y, en general, en pro de mejorar las condiciones ambientales del medio de cultivo. Un mejor conocimiento de los parámetros ambientales (físicos, químicos y biológicos) y la interacción de estos con los organismos que se desean cosechar servirán para sentar las bases de proyectos de maricultura competitiva y autosostenible en comunidades marino-costeras. La implementación de una hidro-boya en Isla Chira generará basta información de estas variables

en tiempo real, que estará a disposición de investigadores, instituciones afines y maricultores locales para guiar la toma de decisiones para la producción sostenible de mejillones en el Golfo de Nicoya.

Algunos de los principales elementos que justifican la implementación de esta propuesta se detallan a continuación:

6.3.1 Costos del monitoreo de parámetros in situ

A continuación, se detallan los costos aproximados totales en dólares americanos (\$) que conlleva la ejecución de un proyecto de monitoreo anual de parámetros medio-ambientales en Isla Chira (Cuadro 6). Generalmente, la duración completa de un proyecto de investigación para la obtención de datos de este tipo es de 2 a 3 años.

CUADRO 6.

Recursos económicos a considerar para realizar labores de investigación en Isla Chira, Costa Rica (Costo en US\$)

Actividad	Costo mensual	Costo anual
Transporte terrestre San José-Puntarenas.	100	1.200
Transporte marítimo Puntarenas-Isla Chira.	100	1.200
Viáticos para 3 investigadores durante 3 días (alimentación y hospedaje) en Isla Chira.	400	2.400
Compra de un medidor multiparámetro, marca Hanna Instruments.	-	4.000
Mantenimiento preventivo y correctivo del multiparámetro.	-	500
	Costo total anual	9.300

6.3.2 Monitoreo de los parámetros medioambientales

A lo largo del año, producto de la variabilidad en el medio marino y de las condiciones ambientales en el Golfo de Nicoya, se registran niveles mínimos y máximos de los distintos parámetros considerados en el presente estudio. Algunos factores que también inciden localmente en estas variaciones son los siguientes: tipo de marea (alta-baja), época seca o lluviosa, y otros fenómenos

ambientales a considerar (floraciones algales, corrientes marinas, desastres naturales, entre otros). Por lo que un monitoreo exhaustivo durante al menos dos años consecutivos fundamenta científicamente la toma de decisiones y el manejo de los organismos que se cultivan.

6.3.3 Monitoreo de la mortalidad del mejillón en canastas

A lo largo del año, se han registrado porcentajes de mortalidad, en algunos casos, muy significativos. Se ha observado la aparición de una abundante cantidad de algas durante la época lluviosa (junio-noviembre) en las canastas suspendidas, lo cual disminuye la entrada de agua a las canastas donde se encuentran los organismos. Esto podría estar repercutiendo en la cantidad de alimento disponible como también en bajos niveles de oxígeno disuelto en el agua. También se ha documentado en la época seca (diciembre-mayo) la aparición de cirripedios (Crustacea) adheridos a la concha del mejillón, lo cual podría estar generando cierto nivel de competencia o estrés para el mejillón; e incide, finalmente, en tasas de mortandad de estos mejillones en cultivo.

6.3.4 Implementación de una hidro-boya y una estación meteorológica

El monitoreo de parámetros fisicoquímicos y variables ambientales suele ser costoso debido a que se deben de considerar además de la compra de varios dispositivos de medición, una serie de elementos, tales como el mantenimiento de los equipos, el traslado hasta la zona de estudio, entre otros factores. Por medio de la implementación de una boya oceanográfica o multiparámetros, se pretende establecer un sistema de monitoreo remoto de una serie de variables ambientales y parámetros físico-químicos de forma continua en el tiempo, los cuales serán consultados en tiempo real vía web (GPRS). Dentro de esta boya se encontrarán una serie de sensores tales como: pH, salinidad, oxígeno disuelto, temperatura del aire y del mar, conductividad, turbidez, corriente marina, profundidad, clorofila A, entre otros. Al no estar los sensores directamente expuestos a la superficie y el agua salina, se reduce considerablemente el mantenimiento de estos; además la boya funciona de forma autónoma, ya que utiliza energía solar para su funcionamiento (Figura 8). También se instalará una estación meteorológica, para la medición de otras variables ambientales, tales como: velocidad y dirección del viento, punto de rocío, presión atmosférica, humedad relativa, altitud, altitud, radiación solar y ángulo de radiación. Toda esta información para conocer el comportamiento de estos factores a lo largo del año, detectar pequeñas variaciones y conocer futuros escenarios en el ambiente acuático.



Figura 8. Hidro-boya HC marca Tech, para medición directa de parámetros ambientales (Tomada de <http://www.igs-hydro.mx/index.php/productos/sistemas/boya>).

La importancia de esta herramienta radica en determinar geoespacialmente los lugares óptimos de cultivo, calidad del agua, productividad primaria, dirección de dispersión de semillas (Larva Trocófora), para garantizarle al maricultor la producción sistemática y controladamente a lo largo del año en las dos épocas (época seca y lluviosa). Esta tecnología reducirá costos económicos en equipamiento, ya que centraliza la medición en tiempo real para la toma de decisiones operativas y el manejo del cultivo para aumentar los rendimientos productivos.

Actualmente, existen técnicas insuficientes e imprecisas en los procesos de medición de los parámetros del agua (Cruz, Salcedo, Sánchez, Barba y Mendoza, 2018); dichas técnicas carecen de exactitud y precisión las cuales pueden ser afectadas por negligencia del personal, descontrol de la información, resultados falsos y pérdida de datos en el momento de la muestra. Por esta

razón, es importante implementar un sistema de monitoreo automático de parámetros que permita anticipar y corregir el desarrollo de las condiciones adversas con el fin de reestablecer condiciones óptimas para el sistema de cultivo (Rojas, Haws y Cabanillas, 2005).

6.4. Estructura de la propuesta

A continuación, se enmarcan las principales acciones a realizar para la ejecución y puesta en marcha de la propuesta de un modelo tecnológico para la toma de datos ambientales y físico-químicos del medio marino (Cuadro 7).

CUADRO 7.

Plan de actividades a desarrollar para implementar el paquete tecnológico propuesto

	Actividad	Responsable (s)
1	Cotización y compra de una Hidro-boya multiparamétros y una estación meteorológica.	Investigadores
2	Traslado e instalación del equipo en Isla Chira.	Proveedor Equipo/ Asociación maricultores
3	Capacitación para el manejo del equipo y su mantenimiento preventivo,	Proveedor equipo
4	Inicio de operación y seguimiento del funcionamiento de los equipos,	Asociación maricultores
5	Capacitación en cuanto al manejo, monitoreo y uso de la información generada en tiempo real por los dispositivos (GPRS).	Proveedor equipo/ Investigadores

6.5. Etapas de la propuesta

La propuesta conlleva la ejecución de dos etapas. La primera consiste en la adquisición y puesta en marcha de los instrumentos (toma de datos y almacenamiento), y una segunda etapa consiste en el procesamiento y el análisis de la información generada por los equipos de medición. La presentación y divulgación de esta información se realizará por parte de los investigadores, y estará dirigida a los distintos actores involucrados (Instituciones gubernamentales, ONG's y Asociaciones de Maricultores). La socialización de esta guiará no solo la toma de decisiones entorno a la producción y comercialización, sino también incluso las políticas públicas para promover la diversificación de productos alimenticios del mar en Costa Rica.

Etapa 1. Adquisición del equipo e inicio de monitoreo de parámetros medio-ambientales

- a. Cotización de Hidro-boya multiparámetros y estación meteorológica.
- b. Compra de Hidro-boya multiparámetros y estación meteorológica para toma de datos.
- c. Traslado e instalación de los equipos *in situ*.
- d. Capacitación para el manejo de los equipos y su mantenimiento preventivo.
- e. Pruebas varias sobre el adecuado funcionamiento de los equipos.
- f. Inicio de toma de datos en campo y verificación de la calidad de la información generada (almacenamiento).

Etapa 2. Procesamiento y análisis de la información de parámetros medio-ambientales

- a. Descargar y/o exportación de la información generada por los equipos.
- b. Procesamiento de la información de las distintas variables ambientales en estudio.
- c. Primeros análisis e interpretación de datos generados sobre parámetros ambientales.
- d. Evaluación de la implementación de una Hidro-boya como instrumento de medición de variables ambientales para la toma de decisiones en maricultura en el Golfo de Nicoya, Costa Rica.

6.6. Gestión de riesgos

La presente propuesta contempla que el financiamiento será por parte de un ente externo al proyecto de maricultura, es decir, se necesitará el apoyo de la empresa privada, ONG's, Municipalidad de Puntarenas, INCOPECA, INA, universidades estatales de educación superior, entre otros. Otra alternativa que se maneja es gestionar la propuesta como un proyecto para que algún organismo de cooperación internacional financie esta iniciativa.

No obstante, en caso de que se vea obstaculizado el proceso de poder concretar el financiamiento económico de uno o varios entes que apoyen esta propuesta, el monitoreo de los parámetros ambientales debe de realizarse mediante otra forma para asegurar un control mínimo de las variables ambientales en el medio de cultivo. Por lo que se optaría por la compra de equipo para la toma de muestras de forma manual, es decir, equipo de menor costo y herramientas tecnológicas, o incluso gestionar el préstamo de estos equipos a alguna universidad estatal interesada en apoyar el proyecto. El equipo mínimo que se debería contemplar para realizar un análisis de parámetros ambientales básicos es el siguiente:

- 1 Medidor Multiparámetros con GPS, marca Hanna Instruments, modelo HI 98290. Con soluciones de calibración. Costo total del kit es de \$4.500 (Cuatro mil quinientos dólares americanos).

6.7 Recursos y presupuesto

A continuación, se detalla los insumos necesarios para lograr los objetivos propuestos y la inversión inicial que se requiere para implementarlos. Tal como se mencionó anteriormente, estos recursos se captarían por medio de uno o varios entes e instituciones nacionales que aporten económicamente al proyecto mediante una donación o canje, o por medio un ente de cooperación internacional (Cuadro 8).

CUADRO 8.
Principales recursos económicos a presupuestar para implementación del instrumento tecnológico propuesto, en dólares americanos (US\$).

	Instrumento	Características y Funcionalidad	Costo
1	Hidro-boya para monitoreo de parámetros ambientales, marca HC Tech. Incluye instalación y capacitación en sitio.	<ul style="list-style-type: none"> -Medición de multiparámetros en toda la columna de agua. -Transmisión de datos de forma remota en tiempo real vía internet (GPRS). -Energía autónoma por medio de paneles solares. -Sistema anti-fouling minimiza niveles de corrosión de sensores, por exposición al agua salada. 	20.000
2	Estación meteorológica marca Davis Instruments, modelo Vantage pro 2 (incluye traslado e instalación <i>in situ</i> , encierro de resguardo).	<ul style="list-style-type: none"> -Medición de variables ambientales como: temperatura, velocidad y dirección del viento, punto de rocío, presión atmosférica, humedad relativa, altitud, radiación solar, ángulo de radiación solar. -Cuenta con un panel solar para la carga del equipo durante el día. Durante la noche se nutre de energía de condensador integrado, además de una batería de litio. -Transmisión inalámbrica de datos hacia un dispositivo. -Incluye dispositivo de protección solar con aspiración de aire a los sensores integrados. 	2.000
3	Computador portátil marca Dell 15", modelo G5.		2.000
		Total	24.000

6.8 Resultados esperados de la implementación de una Hidro-boya

La actividad de un cuerpo de agua, como lo es el Golfo de Nicoya, es bastante dinámico a lo largo del año, incluso puede presentar variaciones año con año por eventos naturales como el fenómeno del niño (a), afloraciones algales (Marea roja), incursión de agua dulce, vientos y corrientes marinas fuertes, entre otras. El seguimiento continuo de los distintos parámetros ambientales del medio de cultivo en tiempo real se da mediante la implementación de un instrumento autónomo, como lo es una Hidro-boya conocida también como boya oceanográfica o multiparámetros. Este instrumento de medición resulta de gran relevancia para detectar pequeñas variaciones (temporales o estacionales) en la columna de agua, estas variaciones pueden generar alertas tempranas sobre la salud del ecosistema y el rendimiento de los organismos cultivados en sus distintos estadios.

En el Pacífico costarricense, el Golfo de Nicoya destaca por su gran aporte en la producción pesquera y acuícola nacional. Controlar estrictamente los factores ambientales resulta casi imposible, por lo que la planificación en el manejo de la producción es lo que se debe abordar. Por medio de toda la información con la que se dispondrá, distintos actores inmersos en proyectos de maricultura podrán tomar decisiones en conjunto con especialistas, sobre el manejo de las especies a cultivar, el sistema de cultivos más eficiente con el que se puedan alcanzar mejores rendimientos/producción por supuesto, las menores tasas de mortalidad, entre otros.

La información que arroja el presente estudio, o mediante futuros trabajos similares no generará información definitiva. Los maricultores de Chira, mediante la implementación de una Hidro-boya tendrán acceso a información primaria de una serie de variables físico-químicas, en tiempo real y de forma remota los 365 días del año. A mediano-largo plazo, se contará con una base de datos que, con la colaboración de expertos, podrán irse analizando tendencias en las cual se pueda determinar y/o caracterizar los rangos de tolerancia a las condiciones ambientales no solo para los mejillones, sino para el resto de bivalvos que se cultivan en el Golfo de Nicoya. Determinando a través de los diferentes meses del año las condiciones ambientales, los maricultores podrán ejecutar acciones de manejo de las canastas con organismos. Es importante acotar que los rangos medio-ambientales que se conocen actualmente y que fueron utilizados para poder caracterizar los datos obtenidos, han sido tomados de estudios sobre maricultura que involucra parámetros físico-químicos, realizados en otras zonas tropicales del mundo.

Una vez que se genera información base de rangos adecuados/óptimos de los parámetros ambientales para el cultivo de mejillones, se podrán evaluar nuevas áreas cultivables en el Golfo

con los rangos o tendencias ya conocidas, para así asegurar que esta actividad se desarrolle de forma exitosa y sostenible. Lo anterior nos permite, además, considerar la viabilidad de replicar o no una estructura/paquete tecnológico para proyectos de maricultura de forma artesanal o pequeña escala en otras zonas del país.

La identificación de sitios óptimos para el cultivo de bivalvos en el golfo de Nicoya mediante la herramienta SIG, ya ha sido recientemente utilizada específicamente para la ostra japonesa *Crassostrea gigas* (Quesada, 2018). Para la identificación de estos, se consideraron distintos parámetros ambientales y su grado de importancia para el desarrollo y supervivencia de la especie.

Por último, Ross Salazar (et al. 2018) destaca los posibles efectos de la variabilidad climática sobre las condiciones oceanográficas y las posibles repercusiones que esto puede estar teniendo o tendrá en los recursos marino-costeros. A continuación, se citan algunos de interés para la maricultura que deben de ser evaluados a través del tiempo:

1. **Temperatura:** Es un factor que determina la distribución de las especies, por lo que cambios en la temperatura pueden ocasionar la intrusión de especies exóticas del sub-trópico.
2. **Salinidad:** Los cambios de temperatura y salinidad, producen cambios en la columna de agua, esto, a su vez, origina una disminución en la producción primaria y secundaria, por ende, en la disponibilidad de nutrientes para los organismos.
3. **Clorofila:** Este pigmento tiene gran relevancia en la productividad primaria marina, por ende, también de la actividad biológica, la proliferación o no también está muy ligado a la temperatura y nutrientes.
4. **Oxígeno disuelto:** El aumento en la temperatura del medio acuático genera reducción del oxígeno disponible para los organismos presente en el mar.
5. **Potencial de hidrogeno (pH):** La acidificación del mar, mediante el incremento del CO₂ ha repercutido que el pH en el mar haya disminuido en las últimas décadas.

6.9 Recomendaciones de la implementación de una Hidro-boya

A continuación, se presentan las principales recomendaciones de la instalación de una hidro-boya en Puerto Palito, Isla Chira.

- a) La tecnología aplicada para monitorear las variables ambientales oceanográficas, nos ofrece una serie de oportunidades para realizar mejoras en las prácticas actuales que se están desarrollando en el proyecto de Maricultura en Palito, Isla Chira.
- b) La implementación de una Hidro-boya, debe de ir acompañado de otras acciones operativas y de gestión en un proyecto de Maricultura, para propiciar el éxito y la permanencia en el tiempo.
- c) La información que se genere por medio de este instrumento de medición, debe ser socializada a todos los participantes de un proyecto de Maricultura. El conocimiento tradicional también debe de considerarse cuando se realicen mejoras tecnológicas en los distintos procesos.
- d) La capacitación constante en la interpretación de las variables ambientales monitoreadas por la hidro-boya y su impacto en el desarrollo de la Maricultura, es fundamental para el logro de los objetivos propuestos.
- e) El futuro de la Maricultura, dependerá en gran medida de la caracterización y seguimiento de los parámetros físico-químicos, de la caracterización de rangos óptimos para las especies cultivadas, como también, de la identificación de nuevos sitios aptos para la Maricultura.

Referencias

- Arroyo, D., & Marín, B. (1998). Crecimiento de *Mytella guyanensis* (Bivalvia: Mytilidae) en balsas flotantes. San José, Costa Rica. *Revista Biología Tropical*, 46 (1), 21–26.
- Aznar, A. (2000). Determinación de los parámetros físico-químicos de calidad de las aguas. *Revista Gestión Ambiental*, 2(23), 12–19.
- Bardach, J., Ryther, J., & McLarney, M. (1972). *Aquaculture: The Farming and husbandry of water freshwater and marine organisms*. New York: Wiley-interscience.
- Barton, A., Hales, B., Waldbusser, G., Langdon, C., & Feely, A. (2012). The pacific oyster, *Crassostrea gigas* shows negative correlation to naturally elevated carbon dioxide levels: implications for near-term ocean acidification effects. *Limnology and Oceanography*, 57(3), 698–710.
- Bearperthuy, I. (1967). Los mitílidos de Venezuela (Mollusca: Bivalvia). *Boletín Instituto Oceanográfico.*, 6(1), 7–115.
- Bennett, W. & Judd, F. (1992). Comparison of methods for determining low temperature tolerance: experiments with pinfish *Logodon rhomboids*. *Copeia*, 4 (1), 1095-1065.
- Bolaños, J. (1988). Estudio preliminar sobre el comportamiento del mejillón (*Mytella guyanensis*) en un parque fijo y una estructura flotante en Isla de Chira, Costa Rica. Universidad de Costa Rica.
- Boyd, C. E. (1981). Water quality in warmwater fish pond. (A. E. S. Auburn University, Ed.). Alabama.
- Buitrago, E., Buitrago, J. Freitas, L. & Lodeiros, C. (2009). Identificación de factores que afectan el crecimiento y la supervivencia de la ostra de mangle, *Crassostrea rhizophorae* (Guilding, 1828), bajo condiciones de cultivo suspendido en la laguna de La Restinga, Isla de Margarita, Venezuela. *Revista Zootecnia Tropical.*, 27(1): 79-90
- Cáceres, J., & Vásquez, R. (2014). Manual de buenas prácticas para el cultivo de moluscos bivalvos. (OIRSA-OSPESCA., Ed.).
- Carvajal, R. (1969). Fluctuación mensual de larvas y crecimiento del mejillón *Perna perna* y las condiciones ambientales de la Ensenada de Guatapanare, Estado de Sucre, Venezuela. *Boletín Instituto Oceanográfico*, 8(1), 13–120.
- Cheung, S. (1993). Population dynamics and energy budgets of green-lipped mussel *Perna viridis* (Linnaeus) in a polluted harbour. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 168(1), 1–24.
- Colombo, J., Varisco, M., Isola, T., Crovetto, C., Rost, E., & Risso, S. (2016). Composición química proximal y perfil de ácidos grasos del mejillón *Mytilus edulis* provenientes de cultivos y bancos

- naturales en el Golfo San Jorge, Argentina. *Revista Biología Marina y Oceanografía*, 51(2), 293–299.
- Costa, K. & Nalesso, R. (2002). Cultivo experimental de *Mytella falcata* y *M. guyanensis* (Lamarck, 1819) en el estuario de Rio Piraquê-Açu (Aracruz, ES). *Acta Limnologia. Brasileira*:14 (1):15-22.
- Cruz, A., Salcedo, M., Sánchez, A., Barba, E. & Mendoza, J. (2018). Relationship among physicochemical conditions, chlorophylla concentration, and water level in a tropical river–floodplain system. *International Journal of Environmental Science and Technology*. DOI:10.1007/s13762-018-2127-7.
- Cruz, R., & Villalobos, C. (1993a). Monthly changes in tissue weight and biochemical composition of the mussel *Mytella guyanensis* (Bivalvia: Mytilidae) in Costa Rica. *Revista Biología Tropical*, 41(1), 93–96.
- Cruz, R., & Villalobos, C. (1993b). Shell length at sexual maturity and spawning cycle of *Mytella guyanensis* (Bivalvia: Mytilidae) from Costa Rica. *Revista Biología Tropical*, 41(1), 89–92.
- De Lacerda, L. (1983). Size and metal concentration in the mangrove mussel *Mytella guyanensis* (Mollusca: Bivalvia) from Baía de Sepetiba, Brazil. *Revista Biología Tropical*, 31(2), 333–335.
- Diarte-Plata, G., Escamilla-Montes, R., De la Cruz-Agüero, G Granados-Alcantar, S., & Álvarez-Ruiz, P. (2013). Crecimiento y supervivencia del mejillón *Mytella strigata* (Bivalvia: Mytilidae) en cultivos suspendido en la Laguna Macapule, Sinaloa, México. *Revista Hidrobiológica*, 23(2), 375–384.
- Díaz-Solano, B., Esteller, M., & Garrido-Hoyos, S. (2011). Calidad físico-química y microbiológica del agua en parques acuáticos. *Revista Hidrobiológica*, 21(1), 49–62.
- Díaz, C., Sobenes, C., & Machino, S. (2019). Comparative growth of *Mytilus chilensis* (Hupé, 1854) and *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) in aquaculture longline system in Chile. *Aquaculture*, 507 (1) 21-27.
- Elston, R., Hasegawa, H., Humphrey, K., Polyaki, I., & Häse, C. (. (2008). Re-emergence of *Vibrio tubiashii* in bivalve shellfish aquaculture: severity, environmental drivers, geographic extent and management. *Diseases of Aquatic Organisms*, 82(1), 119–134.
- FAO. (2006). Manual de bivalvos en criadero: Un manual práctico. Documento Técnico de Pesca.
- FAO. (2018). El estado mundial de la pesca y la acuicultura: Cumplir con los objetivos de desarrollo sostenible.
- Farías, A. (2007). Nutrición y alimentación en moluscos bivalvos. El Estado actual del cultivo y manejo de moluscos bivalvos y su proyección futura: factores que afectan su sustentabilidad en América Latina (p. 308).

- García-Pulido, D., Gallego-Alarcón, I., Díaz-Delgado, C., Fall-Cheikh, C., & Burrola-Aguilar, C. (2011). Acuicultura en Sistemas de Recirculación. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 11(2), 2-15.
- Gómez, M. (2016). *Elementos de Estadística Descriptiva*. San José: EUNED.
- Heather, S., & Benkendorff, K. (2008). The impact of diet on the growth and proximate composition of juvenile whelks, *Dicathais orbita* (Gastropoda: Mollusca). *Aquaculture*, 276 (1), 162–170.
- Hernández, S., Fernández, C., & Baptista, P. (2010). Metodología de la investigación (Quinta edi). México: McGraw-Hill, Interamericana Editores S.A.
- Hickman, C. (2009). Principios integrales de Zoología (14^a Edició). España: McGraw-Hill, Interamericana de España.
- Holdridge, L. (1978). *Ecología basada en Zonas de Vida*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- Hosoi, M., Kubota, S., Toyohara, H. & Hayashi, I. (2003). Effect of salinity change on free amino acid content in Pacific oyster. *Fisheries Science*, 69 (1), 395-400.
- INEC. (2012). X Censo Nacional de población y VI de Vivienda 2011: Resultados Generales. Instituto Nacional de Estadística y Censos (1^a Edición). San José, Costa Rica: Instituto Nacional de Estadística y Censos.
- Janzen, D. (1991). Costa Rican Natural History (1^a Edición). San José, Costa Rica: Editorial de la Universidad de Costa Rica.
- Juarez, C. (2017). Comparacion de dos sistemas de cultivo en suspension en el crecimiento y supervivencia de *Mytella guyanensis* mediante recirculacion del agua. Tesis de Pregrado para obtener el titulo Profesional de Ingeniero Pesquero. Universidad Nacional de Tumbes. Tumbes, Perú.
- Keen, M. (1971). Sea shell of tropical West America (2^a Edición). USA: Stanford University Press.
- Leighton, L. (1979). Agrowth prolitic for the rock scallop *Hinnites multirugosuls* held at several depths off La Jolla, California. *Marine Biology*, 51(1), 229–332.
- Leonel, R. & Silva, I. (1988). Estudio de sobrevivencia y aislamiento de *Mytella guyanensis* (Mollusca:Bivalvia) en diferentes salinidades. *Revista Nordeste de Biología*, 6 (1): 35-41.
- Madrigal, A. (1979). Algunos moluscos de importancia comercial del Litoral Pacífico Costarricense. In *Serie de publicaciones Biología Marina Pesquera* (Vol. 5). Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- Matoo, O., Ivanina, A., Ullstad, C., & Beniash, E. (2013). Interactive effects of temperature and CO2 levels on metabolism and oxidative stress in two common marine bivalves (*Crassostrea virginica*

- and Mercenaria mercenaria). *Comparative Biochemistry and Physiology. Part A Molecular Integrative Physiology*, 164(4), 545–553.
- Mesas, A., & Tarifeño, E. (2015). Temperaturas letales superiores para el mejillón *Mytilus galloprovincialis*, en la costa de Chile central. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 43(3), 473–483.
- Moreno, D., Quintero, J., & López, A. (2010). Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia. *Contactos*, 78(1), 25–33.
- Narchi, W., & Galvao, B. (1983). Anatomía funcional de *Mytella charruana*. *Boletín Zoología Universidad de Sao Paulo*, 6(1), 113–145.
- Nayar, N., & Mahadevan, S. (1987). Oyster culture- status and prospects. *Central Marine Fisheries Research Institute(CMFRI)*, 38, 8 p.
- OESA. (2017). *Cultivo del mejillón (Mytilus galloprovincialis)*. Observatorio Español de Acuicultura. Madrid, España.
- Onodera, F. (2012). Mortalidad de bivalvos estuarinos, *Mytella falcata* y *M. guyanensis*, expuestos a diferentes temperaturas y salinidades. Tesis de posgrado en Acuicultura y Pesca. Dissertação (mestrado) apresentada ao Programa de Pós-graduação em Aquicultura e Pesca do Instituto de Pesca – APTA - Secretaria de Agricultura e Abastecimento. Sao Paulo, Brasil.
- Onodera, F. & Henriques, M. (2017). Mortality of *Mytella falcata* and *M. guyanensis* exposed to different temperatures. *Boletim of Instituto De Pesca, São Paulo, Brasil*. 43(1): 106 - 111.
- Pereira, O., Hilberath, R., Ansarah, P., & Galvão, M. (2018). Production estimate of *Mytella falcata* and *M. guyanensis* in natural beds of Ilha Comprida estuary (São Paulo, Brasil). *Boletim Do Instituto De Pesca*, 29 (2), 139-149.
- ProDus. (2008). Plan Regulador Costero Isla de Chira. Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible. San José, Costa Rica.
- Quesada, R. (2018). Identificación de los sitios óptimos para el cultivo de ostras en el golfo de Nicoya, Costa Rica utilizando los sistemas de información geográfica como insumo para el ordenamiento espacial marino. Universidad Nacional de Costa Rica.
- Radulovich, R. (2008). Acuicultura por la seguridad alimentaria y el desarrollo sostenible: Maricultura a mar abierto. *Revista Ambientico*, 179(1), 12-20.
- Rojas, A., Haws, M. & Cabanillas, J. (2005). Buenas prácticas de manejo para el cultivo de camarón. The David and Lucile Packard Foudation. United State Agency for International Development.

- Ross, E., Posada, J., Piedra, A., Díaz, J., & Melo, G. (2014). Guía de identificación: Invertebrados marinos de importancia comercial en la costa Pacífica de Costa Rica. Fundación MarViva. San José, Costa Rica.
- Ross Salazar, E., O. Lizano Rodríguez, D. Chacón Chaverri & Castro Campos, M. (2018). Estudio de caso: adaptación de las comunidades costeras vulnerables ante las amenazas inminentes del cambio climático en el área de Paquera, Puntarenas. Fundación MarViva. San José, Costa Rica.
- Salas, E.; E. Ross Salazar & Arias, A. (2012). Diagnóstico de áreas marinas protegidas y áreas marinas para la pesca responsable en el Pacífico costarricense. Fundación MarViva. San José, Costa Rica.
- Sastry A. N. (1976). Pelecypoda (Excluding Ostreidae), p. 113-341. In A.C. Giese & Pearse (eds.). *Reproduction of Marine Invertebrates*, vol 5, Academic, New York.
- Serrano, G. (2004). Crecimiento y supervivencia de la almeja Catarina *Argopecten ventricosus*, bajo condiciones de cultivo en suspensión y fondo en Bahía Concepción, B.C.S. México. Baja California Sur, México: Instituto Politécnico Nacional Baja California Sur.
- Shumway, S. (1996). Natural Environmental Factors. In: Kennedy, V., R. Newell & A. Eble. *The Eastern Oyster, Crassostrea virginica. Maryland Sea Grant College. USA.* Pp 467-513.
- Sibaja, W. G. (1985a). Características biométricas y desarrollo sexual del mejillón *Mytella guyanensis* (Bivalvia: Mytilidae), en el Litoral Pacífico de Costa Rica (T. de Maestría, Ed.). San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
- Sibaja, W. G. (1985b). Dimensiones de la concha del mejillón *Mytella strigata* (Bivalvia: Mollusca), de la playa de Lepanto, Puntarenas, Costa Rica. *Revista Biología Tropical*, 33(1), 59–60.
- Sibaja, W. G. (1986). Madurez sexual en el mejillón chora *Mytella guyanensis* (Bivalvia: Mytilidae) del manglar en Jicaral, Puntarenas, Costa Rica. *Revista Biología Tropical*, 34(1), 151–155.
- Solomão, L., Magalhães, A. & Lunetta, J. (1980). Influencia de la salinidad en la sobrevivencia de *Perna perna* (Mollusca:Bivalvia). *Boletín de fisiología Animal Universidad de São Paulo*, 4 (1) 143-152.
- Talmage, S., & Gobler, C. (2010). Effects of past, present, and future ocean carbon dioxide concentrations on the growth and survival of larval shellfish. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America*, 107(40), 17246–17251.
- Timmons, M., Ebeling, J. & Piedrahita, R. (2009). Acuicultura en Sistemas de Recirculación. Cayuga Aqua Ventures. *NRACE Publication No. 101-2009 Spanish.* 959 pp.
- Ulate, I., & Vargas, E. (2016). Metodología para elaborar una tesis. San José, Costa Rica: EUNED.

Vakily, J. (1989). *The Biology and Culture of Mussel of the Genus Perna* (Studies an). Manila, Philippines: International Center for Living Aquatic Resources Management.

Villaroel, E., Buitrago, E., & Lodeiros, C. (2004). identificación de factores ambientales que afectan al crecimiento y la supervivencia de *Crassostrea rhizophorae* (Mollusca: Bivalvia) bajo condiciones de cultivo en el Golfo de Cariaco, Venezuela. *Revista Científica FCV-LUZ*, 14(1), 28–35.

Anexos

Anexo 1. Instrumento para toma de datos de parámetros físico-químicos del medio marino utilizado en Palito, Isla Chira.

Hoja de datos Parámetros físico-químicos (Palito, Isla de Chira, Costa Rica)

Maestría Manejo de Recursos Naturales – UNED - Est. Paul Ureña Juárez

Fecha: _____

Parámetros	REPETICION 1	REPETICION 2	REPETICION 3	HORA	MAREA	ÉPOCA
PH						
ODI						
SAL						
CON						
TAMB						
TAGU						
TUR						

Fecha: _____

Parámetros	REPETICION 1	REPETICION 2	REPETICION 3	HORA	MAREA	ÉPOCA
PH						
ODI						
SAL						
CON						
TAMB						
TAGU						
TUR						

Fecha: _____

Parámetros	REPETICION 1	REPETICION 2	REPETICION 3	HORA	MAREA	ÉPOCA
PH						
ODI						
SAL						
CON						
TAMB						
TAGU						
TUR						

Unidades de medida de cada parámetro			
Ph	0-6 ácido; 7 neutro; 8-14 básico	Temp. H2O	grados celsius
Salinidad	ppm	Turbidez	NTU
O2 disuelto	mg/L	Conductividad	Siemens/metro
Temp. Amb.	grados celcius		

Marea: (1) alta; (2) baja; **Época:** (1) Seca; (2) Lluviosa; **PH:** Potencial de hidrógeno; **ODI:** Oxígeno Disuelto; **SAL:** Salinidad; **CON:** Conductividad; **TAMB:** Temperatura ambiental; **TAGU:** Temperatura del agua; **TUR:** Turbidez.

Anexo 2. Instrumento de toma de datos mortalidad del mejillón (*Mytella guyanensis*) cultivado en canastas, Palito, Isla Chira.

Hoja de datos mortalidad en canastas de mejillón (Palito, Isla de Chira, Costa Rica)

Maestría Manejo de Recursos Naturales – UNED Est. Paul Ureña Juárez

Día	Mes	Año

Canastas	Peso total (gramos)	Peso mortalidad (gramos)	Porcentaje mortalidad (%)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Anexo 3. Instrumento toma de datos crecimiento y pesado del mejillón (*Mytella guyanensis*)
cultivado en canastas, Palito, Isla Chira.

Hoja de datos crecimiento del mejillón en canastas suspendidas (Palito, Isla de Chira,
Costa Rica)

Maestría Manejo de Recursos Naturales – UNED Est. Paul Ureña Juárez

Día	Mes	Año

N	Largo (mm)	DE (Desv. Est.)	Peso cc (gramos)	DE (Desv. Est.)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				

Anexo 4. Datos de precipitación de la estación Barco Quebrado, Garza. Facilitados por el Instituto Meteorológico Nacional, Costa Rica (2019).



DEPARTAMENTO DE
INFORMACIÓN METEOROLÓGICA
Apartado: 5583-1000
San José, Costa Rica, Calle 17, Avenida 9
Tel: (506) 2222-5616 Fax: (506) 2223-1837
Correo electrónico: imn@imn.ac.cr
Sitio web: <http://www.imn.ac.cr>



29 de abril del 2019
IMN-DIM-CM-069-0419

Paul Ureña Juárez
Encargado de Bodega y Laboratorio Central
Universidad Estatal a Distancia

Estimado señor:

Le remito la información meteorológica solicitada por medio del oficio **ECEN-PROLAB-BLA-010-2019**. Datos solicitados en formato diario de precipitación. Datos registrados en la siguiente estación meteorológica:

ESTACION	COORDENADAS GEOGRAFICAS	LATITUD NORTE		LONGITUD OESTE	ALTITUD (mnm)	
Barco Quebrado, Garza	No. 72 167	09° 54'	57.77"	85° 36'	52.36"	24

Los datos solicitados corresponden a los días del 01 de enero del 2018 al 25 de febrero del 2019. Excepto los días del 27 de febrero al 22 de abril del 2018, los cuales no fueron registrados por problemas en la estación.

No omito indicar que la unidad de medida de la lluvia es en milímetros, donde un milímetro es igual a un litro de agua por metro cuadrado.

"Esperamos haber podido satisfacer su solicitud y a la espera de recibir la respectiva copia de su proyecto, según compromiso adquirido por Usted, esto en formato digital al Departamento de Información, se suscribe de usted".

Se adjunta el detalle de la información en formato Excel. Esperando que la información sea de gran ayuda y que los resultados a sus análisis sean satisfactorios, se suscribe de ustedes.

MARIA CRISTINA
ARAYA VILLALOBOS
(FIRMA)

Firmado digitalmente por
MARIA CRISTINA ARAYA
VILLALOBOS (FIRMA)
Fecha: 2019.04.29 09:15:15
-06'00'

María Cristina Araya Villalobos
Departamento de Información
/KPrado



San José, 3 de marzo, 2020

A quien le interese:

Yo, Azaria Karolina Vega González, cédula de identidad 1-1431-0092, licenciada en Filología Española de la Universidad de Costa Rica y perteneciente a la Asociación de Filólogos de Costa Rica, leí y corregí el artículo de investigación denominado:

Condiciones ambientales y biológicas del cultivo en suspensión del mejillón (*Mytella guyanensis*) en Puerto Palito, Isla Chira, Costa Rica

Dicho documento fue realizado por el estudiante Paul Ureña Juárez con el fin de optar por el título de Máster Profesional en Manejo de Recursos Naturales de la Universidad Estatal a Distancia. Por este motivo, se revisó y se corrigió la construcción de párrafos, los vicios del lenguaje, la ortotipografía, la sintaxis y otros aspectos relacionados con el campo filológico. Por lo tanto, considero que este proyecto está listo para ser presentado.

Se suscribe ante ustedes, cordialmente,



Azaria Karolina Vega González
Cédula de identidad: 1-1431-0092

Anexo 6. Carta de aceptación de ponencia en XL Congreso Ciencias del Mar 2020. Universidad de Magallanes, Punta Arenas, Chile.



Sociedad
Chilena de
Ciencias del Mar



Punta Arenas, 19 de febrero de 2020

Estimado/a:

Paul Ureña Juárez

En nombre del Comité Organizador del XL Congreso de Ciencias del Mar 2020, nos complace informarle que su trabajo:

CONDICIONES AMBIENTALES Y BIOLÓGICAS DEL CULTIVO EN SUSPENSIÓN DEL MEJILLÓN MYTELLA GUYANENSIS (BIVALVIA: MYTILIDAE) EN ISLA CHIRA, COSTA RICA

Ureña Juárez Paul ¹, Díaz Peralta Christian²

¹ Escuela de Ciencias Exactas y Naturales, Programa de Laboratorio,
Universidad Estatal a Distancia

² Centro de investigación en Biodiversidad y Ambientes Sustentables, CIBAS,
Universidad Católica de La Santísima Concepción.

ha sido aceptado para ser presentado en modalidad: PANEL en este evento. Le esperamos entre el 25 y 29 de mayo 2020 en la Universidad de Magallanes.

Dra Karin Gérard, PhD
Directora Comité Científico XL Congreso de Ciencias del Mar 2020
Investigadora Asociada GAIA Antártica-UMAG
Laboratorio de Ecosistema de Macroalgas Antárticas y Subantárticas (LEMAS)
Universidad de Magallanes
karin.gerard@umag.cl