

**SISTEMA ARRECIFAL VERACRUZANO:
PROGRAMA PERMANENTE DE MONITOREO
II ETAPA**

PROYECTO CONABIO DM005

Responsable:

Dr. Guillermo Horta-Puga

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO. FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA, UBIPRO.

Av. de los Barrios 1, Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, México 54090, MÉXICO

Tel: (55) 5623-1126. Fax: (55) 5623-1225.

E-mail: horta@servidor.unam.mx hortapuga@hotmail.com

Colaboradores:

Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Investigaciones Oceanológicas.

Dr. José D. Carriquiry Beltrán (jose_carriquiry@uabc.mx)

Dr. Julio Villaescusa Celaya (jvilla@uabc.mx)

El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Chetumal.

Dr. Juan Pablo Carricart Ganivet (jpcarri@ecosur.mx)

Biól. Aurora U. Beltrán Torres (abeltran@ecosur.mx)

Universidad Nacional Autónoma de México, FES Iztacala.

Biól. José Luis Tello Musi (jltm@servidor.unam.mx)

Biól. Marisol Ávila Romero (mavila@campus.iztacala.unam.mx)

Área Natural Protegida donde se desarrollará el proyecto:

Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano

Duración del Proyecto:

Etapa II: Programa Permanente de Monitoreo: 6 años+.

INTRODUCCIÓN

El Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) es el complejo arrecifal más extenso en el Golfo de México (GOM). Ecológica y genéticamente el SAV representa un punto estratégico importante en las rutas de dispersión de las especies bénticas arrecifales, entre ellos los Corales Escleractinios, lo que favorece la conectividad entre las poblaciones arrecifales en el GOM, desde el Banco de Campeche, pasando por los sistemas arrecifales Veracruzano y de Tuxpan, hasta los Flower Garden Banks en Texas. Por su localización geográfica, frente al Puerto de Veracruz, el impacto de las actividades humanas en el SAV ha sido de tal magnitud, que el grado de perturbación en el área se considera muy alto. Durante el periodo 2006-2007, y como parte de la primera etapa del Proyecto CONABIO DM005, cuyo objetivo fue determinar la condición del Sistema Arrecifal Veracruzano, se llevó a cabo su evaluación con base en la determinación de la estructura de la comunidad y la tasa de crecimiento de corales escleractinios, la composición de la comunidad algal, la densidad de erizos ramoneadores, y algunos parámetros fisicoquímicos del agua oceánica superficial, siguiendo en general los protocolos de trabajo de campo AGRRA. Se obtuvo información de 10 arrecifes, cinco del Grupo Norte: Hornos, Galleguilla, Isla de Sacrificios, Isla Verde y Pájaros; y cinco del Grupo Sur: Anegada de Afuera, Blanca, Cabezo, Chopas e Isla de Enmedio. En cada arrecife se ubicaron tres sitios de muestreo en los taludes de barlovento y sotavento, y en planicie. Se registraron un total de 26 especies de corales hermatípicos, 25 escleractinios y 1 mileporino. Las especies más abundantes fueron: *S. radians* (24.1%), *C. natans* (13.0%), *M. cavernosa* (10.5%), *S. siderea* (10.2%) y *D. strigosa* (3.1%). La cobertura general por coral vivo es de 19.1%, con una densidad de 1.0 Ind/m. Las especies con mayor cobertura fueron: *C. natans* (4.1%), *M. faveolata* (3.0%), *M. cavernosa* (2.9%), *Diploria* spp., (2.2%) y *S. siderea* (1.8%). El área no cubierta por corales vivos alcanzó el 80.9%. Las Algas Filamentosas ocuparon el 44%, Algas Calcáreas 18.3%, Macroalgas 7.1%, Arena 12.4%, diversos Invertebrados (principalmente esponjas y anémonas) 11.3%, y Roca Coralina desnuda 7.9%. El problema de Mortalidad parcial afectó al 45.7% de las colonias coralinas, las que perdieron en promedio el 22.8% de tejido, principalmente por Mortalidad Parcial Antigua (93.6%). Las enfermedades afectaron al 4.2% de los corales del SAV, y las enfermedades más frecuentes fueron Mancha Negra (41.9%), Plaga Blanca (38.1%) y Banda Negra (7.7%). La proporción de individuos afectados por Blanqueamiento llegó al 4.4%. La Talla promedio de una colonia coralina fue de 25.7 cm. Por lo que se refiere a Reclutamiento coralina, la densidad general fue de 2.6 Reclutas/m². La mayor proporción de Reclutas fue para *Siderastrea* (51.9%), le siguieron *Agaricia* (26.6%), *Porites* (7.8%), *Oculina* (4.4%) y *Madracis* (3.2%). Los valores promedio generales de los diferentes parámetros de crecimiento de *Porites astreoides* para el SAV fueron: TEL 0.38 mm/año, D 1.45 g/cm³, y TC 0.55 g/cm²/año. La densidad total de erizos herbívoros fue de 2.5 Ind/m², de los cuales 88% correspondió a *Echinometra* y 12% a *D. antillarum*. En general los valores promedio de los diversos parámetros fisicoquímicos para el SAV fueron: Visibilidad 6.2 m, Salinidad 33.9 UPS, Oxígeno Disuelto 7.2 mg/l, Sólidos Suspendidos 8.6 mg/l, Grasas y Aceites 4.1 mg/l. Con respecto a nutrientes y elementos traza los valores fueron no detectables, excepto para Fosfatos con un promedio de 0.1 mg/l. El SAV es un sistema arrecifal bien estructurado, desde el punto de vista geológico, ya que las zonas arrecifales típicas de los arrecifes de tipo costero y/o plataforma están bien desarrolladas. La esclerodiversidad es moderada, con 36 especies registradas, de las cuales sólo 26 fueron encontradas durante los muestreos, debido a que se desarrolla en el límite de

distribución occidental de la Provincia Biogeográfica del Caribe. Se considera la posibilidad de un proceso de extinción local para las especies: *Favia fragum* y *Dichocoenia stokesi*. Las especies más abundantes son eurioicas, es decir especies con la capacidad para resistir condiciones adversas en los límites de tolerancia ambientales. La cobertura general promedio (19.1%) aunque ligeramente inferior a la registrada en promedio para el ATO, se considera representa un ambiente arrecifal en un estado moderado de conservación. Al igual que en todo el ATO, la comunidad coralina ha disminuido considerablemente durante las últimas décadas, lo que se ha manifestado como una disminución en el área cubierta por coral vivo. La zona de Sotavento presenta una mayor cobertura por coral vivo, lo que indica que es la zona de crecimiento activo con las mejores condiciones para el desarrollo de la comunidad coralina. El área no cubierta por coral vivo, 80.9% del total disponible, está cubierta principalmente por algas, que se fijan directamente sobre la roca coralina, principal sustrato disponible para el asentamiento de las especies bénticas. Las Algas Filamentosas son el grupo algal con mayor cobertura, y las Macroalgas presentan una cobertura baja, lo que es indicativo de un ambiente con índices bajos de herbivoría y una biodisponibilidad baja de nutrientes. Las especies de corales con mayor cobertura son las típicas de ambientes arrecifales costeros con sedimentación terrígena. Más de la mitad de la comunidad coralina (54.3%) presenta problemas de mortalidad parcial, enfermedades o el fenómeno de blanqueamiento, lo que aunado al hecho de que el índice de reclutamiento es ~70% más bajo que en el ATO, podría comprometer la capacidad de recuperación del ecosistema ante una eventual situación de contingencia ambiental. Dado que la densidad de erizos ramoneadores es considerablemente más alta que en el ATO, es posible que la gran abundancia de algas se explique por la disminución en las poblaciones de peces herbívoros, causada por la sobrepesca y/o la destrucción de las zonas de crianza de peces juveniles, principalmente áreas de manglares. La población del erizo *Diadema antillarum*, importante especie herbívora en el ATO, se está recuperando en el SAV. Aunque la comunidad coralina del SAV se está desarrollando en condiciones ambientales subóptimas, los corales hermatípicos crecen vigorosamente al igual que en otras áreas del ATO. Las condiciones ambientales a las que están sometidas los arrecifes del Grupo Norte son más adversas para el desarrollo de la comunidad coralina, lo que se traduce en una mayor proporción de corales enfermos, con blanqueamiento y/o con mortalidad parcial.

Considerando como base los datos obtenidos en la primera fase del proyecto en la que se determinó la condición actual del SAV, y con la finalidad de contribuir a su conservación, se propone la implementación de un Programa Permanente de Monitoreo de *bajo costo*, basado en la composición y estructura de la comunidad coralina, por representar el elemento visual dominante del paisaje, además de ser los principales constructores del ecosistema arrecifal. Lo anterior permitirá hacer un seguimiento a través del tiempo, de la condición del SAV, lo que facilitará la detección temprana de situaciones de riesgo ambiental real o potencial y aportará la información necesaria para que las autoridades competentes tomen las acciones pertinentes para su protección.

OBJETIVO GENERAL:

Determinar cambios significativos en la estructura de la comunidad arrecifal (corales hermatípicos, algas y erizos) y/o en la calidad de agua del SAV a lo largo del tiempo.

OBJETIVOS PARTICULARES:

1. Determinar la composición de la comunidad de corales hermatípicos, en la zona del arrecife posterior o de sotavento, a la profundidad 9-12 m, en arrecifes seleccionados del SAV, con base en los siguientes parámetros:
 - A. Riqueza Específica.
 - B. Abundancia Relativa.
 - C. Diversidad Ecológica.
 - D. Densidad.
 - E. Cobertura.
 - F. Índice de Mortalidad Parcial.
 - G. Incidencia de Enfermedades Coralinas.
 - H. Talla.
 - I. Índice de Reclutamiento.
2. Determinar la composición de la comunidad algal béntica, en la zona del arrecife posterior o de sotavento (9-12 m), en arrecifes seleccionados del SAV, con base en la cobertura relativa de los principales grupos algales bénticos: algas carnosas, algas coralinas encostrantes y algas filamentosas.
3. Determinar la composición de la comunidad de ramoneadores bénticos (Echinodermata, Echinoidea) en la zona del arrecife posterior o de sotavento (9-12 m), en arrecifes seleccionados del SAV, con base en la densidad de erizos (*Echinometra* spp. y *Diadema antillarum*).
4. Determinar la calidad del agua marina superficial en la zona del arrecife posterior o de sotavento, en arrecifes seleccionados del SAV, con base en los siguientes parámetros físicoquímicos: visibilidad, transparencia, sólidos totales en suspensión, salinidad, temperatura, oxígeno disuelto, fosfatos, nitritos, nitratos, cobre, hierro y grasas y aceites.
5. Determinar el grado de cambio y/o perturbación ambiental a lo largo del tiempo de cada área arrecifal, comparando los datos obtenidos de cada arrecife del SAV, lo que permitirá determinar zonas de riesgo.

METAS

El Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV), es el complejo arrecifal más extenso en el sur del GOM (Ferre-D'Amare 1985, Carricart-Ganivet y Horta-Puga 1993, Tunnell *et al.* 2007). Desafortunadamente por su localización geográfica, el impacto de las actividades humanas en el SAV ha sido de tal magnitud, que el grado de perturbación en el área se considera muy alto (Tunnell 1985, 1992, Chávez 1989, Botello *et al.* 1992, Chávez y Tunnell 1983, Lang *et al.* 1998, Horta-Puga 2007). De ahí que la meta final del presente proyecto sea contribuir a la preservación y conservación del SAV, a través de la implementación de un Programa Permanente de Monitoreo, aplicando en términos generales la misma metodología de campo de la primera etapa en los mismos diez arrecifes, con una

periodicidad semestral. Lo anterior permitirá hacer un seguimiento a través del tiempo, de la condición del SAV, lo que facilitará la detección temprana de situaciones de riesgo y aportará la información necesaria para que las autoridades del PNSAV, entidad responsable del manejo y conservación de esta ANP, y otras instancias implicadas, tomen las acciones pertinentes para su protección. Para desarrollar el presente Programa de Monitoreo Permanente, se eligió continuar con los 10 arrecifes seleccionados en la primera etapa del estudio, para dar continuidad y seguimiento de la comunidad arrecifal. Los arrecifes seleccionados son:

1. Grupo Norte: Hornos, Galleguilla, Pájaros, Isla Verde e Isla de Sacrificios.
2. Grupo Sur: La Blanca, Chopas, Isla de Enmedio, Cabezo y Anegada de Afuera.

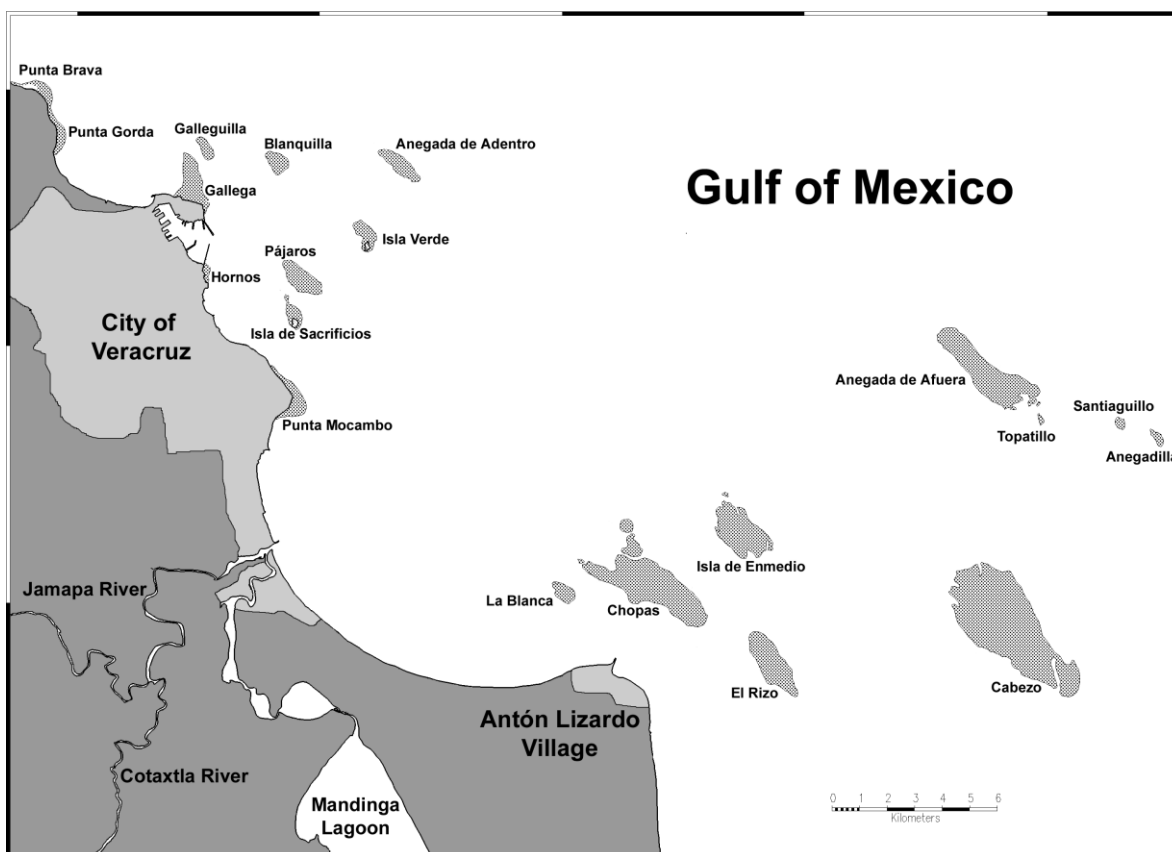


Figura 1. Mapa de localización de sitios (arrecifes) de muestreo en el SAV.

ETAPA II. PROGRAMA PERMANENTE DE MONITOREO

PROGRAMA DE MUESTREO

El objetivo fundamental de un programa de monitoreo es el proporcionar la información necesaria para detectar con oportunidad un evento de riesgo ambiental para el ecosistema arrecifal. Se considerará como un evento de riesgo ambiental un cambio significativo en las condiciones de la comunidad arrecifal, teniendo como línea base para efectos comparativos, los resultados obtenidos durante la I Etapa. Considerando que el SAV es uno de los ecosistemas arrecifales en los que se reconoce existen múltiples fuentes de estrés ambiental, es importante diseñar un programa de muestreo con la mayor frecuencia posible para, en la medida de las posibilidades, detectar en tiempo y forma, situaciones que afecten ostensiblemente a la comunidad arrecifal. Sin embargo, también deben tomarse en cuenta factores de índole económico y de infraestructura material y humana, por lo cual se propone que el programa de monitoreo, en lo que se refiere a los estudios de estructura de las comunidades arrecifales, se aplique semestralmente en dos periodos al año:

1. Marzo-Abril.
2. Septiembre-Octubre.

Es importante señalar que durante la I Etapa el programa de muestreo incluyó tres zonas o sitios de muestreo por arrecife (Barlovento, Planicie y Sotavento), dado que la meta fue determinar la condición general del SAV. Sin embargo, para la II Etapa (Programa de Monitoreo Permanente), sólo se considerará un sitio de muestreo por arrecife, la zona del arrecife posterior o sotavento. Las razones para sólo considerar un sitio de muestreo por arrecife, se presentan a continuación:

1. Se requiere un equipo de al menos 5 personas para llevar a cabo el trabajo subacuático en cada sitio de muestreo, las cuales trabajarán simultáneamente.
2. 3 personas se encargan de llevar a cabo el muestreo por transectos, una de obtener los fotocuadrantes y una más de obtener los videos de cada transecto.
3. Cada una de las personas que trabaja con transectos puede hacer en una inmersión de ~60 min, tiempo que sólo es suficiente para completar 2 transectos.
4. Durante la primera etapa se requirió un promedio de 18 transectos, por sitio de muestreo, para obtener una muestra representativa de la comunidad coralina (≥ 100 colonias coralinas), pero el número necesario de transectos puede llegar a ser tan alto como 49 transectos.
5. No se pueden realizar más de dos inmersiones diarias, por razones de seguridad.
6. Por tanto se requiere como mínimo de 20 días efectivos de trabajo de campo (5 personas x 2 inmersiones x 2 días x 1 sitio = 24 transectos), para asegurar completar los 10 sitios de muestreo, en cada campaña semestral.
7. Dado que se propone hacer un seguimiento semestral, es decir dos muestreos al año, lo que implica más de 40 días de trabajo de campo al año, por tanto no se propone incluir más sitios de muestreo (zonas) por arrecife.

Adicionalmente las razones para elegir la zona de Sotavento, como único sitio de muestreo en cada arrecife, son las siguientes:

1. Es una de las zonas arrecifales en el SAV con mayor riqueza específica de corales hermatípicos (23 spp.).
2. Es la zona arrecifal en el SAV con mayor cobertura coralina (32.7%).
3. Es la zona arrecifal en el SAV con la incidencia más alta, proporción, de corales afectados por Mortalidad Parcial (63.7%).
4. Es la zona arrecifal en el SAV con los corales de mayor talla promedio (37 cm).
5. Es la zona arrecifal en el SAV con mayor cobertura de Algas Filamentosas (60.1%).
6. Por lo anterior, se considera como la más importante para continuar el seguimiento temporal (monitoreo) de la comunidad coralina.

TRABAJO DE CAMPO: MONITOREO PERMANENTE

Los métodos a utilizar así como el análisis e interpretación de los resultados serán los mismos que usaron en la Etapa I. Para más detalle ver la sección Métodos.

Consideraciones generales

En el ecosistema arrecifal los corales escleractinios son el elemento faunístico dominante en términos de cobertura de sustrato (Yonge 1963, Sttodart 1969). Aunque se ha visto que en términos de biomasa, los corales escleractinios, son sobrepasados por otras especies (Odum y Odum 1955), el papel que desempeñan en las relaciones energéticas del arrecife es vital, de tal forma que si se les elimina selectivamente, la mayoría de las especies restantes migran o mueren, alterándose gravemente la estructura de la comunidad del arrecife (Chesher 1969, 1969a). Por lo anterior, las tolerancias ambientales de la comunidad arrecifal como un todo, no pueden exceder las de las especies de corales que lo construyen y este hecho nos provee de un criterio preliminar conveniente para establecer estándares de protección para las comunidades arrecifales, tomando como base los efectos de diferentes fuentes de perturbación sobre los corales (Johannes 1972). Tomando en cuenta lo anterior, se ha seleccionado a la comunidad de corales hermatípicos (corales que contribuyen a la formación de los arrecifes de coral) como un indicador de la condición del ecosistema arrecifal. Los parámetros de la comunidad seleccionados para la evaluación son: talla promedio, densidad, cobertura, índice de mortalidad parcial, incidencia de enfermedades e índice reclutamiento. Adicionalmente se utilizarán otros parámetros como son cobertura de grupos algales (carnosas, filamentosas y calcáreas), y la densidad de ramoneadores béticos (erizos *Echinometra* spp. y *Diadema antillarum*).

La cobertura y densidad coralina puede variar por diversos factores tanto intrínsecos como extrínsecos, que varían de un arrecife a otro, lo que implica que la mera utilización de estos dos importantes parámetros comunitarios no sea suficiente para determinar el grado de perturbación en un arrecife en particular. En cambio, sin importar la abundancia de cada especie, una proporción alta de individuos (colonias, ya que la gran mayoría de los corales hermatípicos son coloniales) que presenten parte de tejido muerto o algún tipo de enfermedad, incluido el fenómeno de blanqueamiento que es una respuesta al estrés ambiental, se consideran signos inequívocos de un ambiente perturbado o impactado.

Adicionalmente, en un ambiente perturbado, las algas tienden a desplazar a los corales en su competencia por el recurso sustrato, lo que también significa una disminución en el índice de reclutamiento (densidad de reclutas o individuos juveniles), ya que las larvas coralinas no encuentran un sustrato adecuado para fijarse y prosperar. Asimismo, densidades bajas de especies ramoneadoras (que se alimentan de macroalgas), también son indicadores de un ambiente perturbado, ya que su ausencia favorece el crecimiento algal, y por tanto la exclusión competitiva de las especies coralinas.

Así, la determinación del grado de perturbación se llevará a cabo bajo la premisa que un ambiente arrecifal poco perturbado presenta los siguientes atributos:

1. Comunidad Coralina
 - A. Talla Promedio, Densidad, Cobertura, e Índice de Reclutamiento altos.
 - B. Índice de Mortalidad y de Enfermedades bajos.
2. Comunidad Algal
 - A. Cobertura de Algas Carnosas y Filamentosas Baja.
 - B. Cobertura de Algas Calcáreas alta.
3. Comunidad de Ramoneadores Bénticos
 - A. Densidad alta.

En términos generales la metodología de evaluación y monitoreo que se aplicará en el programa de monitoreo, con algunas modificaciones, corresponde al Protocolo de Evaluación Rápida, propuesto para la consecución del Proyecto AGRRA, el cual ha sido utilizado exitosamente para determinar la condición de los arrecifes del Atlántico Tropical, y que también se utilizó para el SAV (Horta-Puga 2003), y también fue utilizado durante la I Etapa de este Proyecto.

Trabajo de Campo: Comunidad de Corales Hermatípicos

Para la evaluación de la comunidad de corales hermatípicos se considerará la obtención de los siguientes parámetros por estación de muestreo: riqueza específica, densidad, cobertura, e índices mortalidad parcial y de enfermedades. Se utilizará el método del transecto el cual ha sido de amplia utilización para la determinación de parámetros comunitarios de corales hermatípicos; y en el caso de reclutamiento se utilizará el método del cuadrante (Dodge *et al.*, 1982, Loya 1972, 1978, AGRRA). Cada transecto tendrá 10 m de longitud, y se utilizarán tantos transectos por estación como sea necesario para muestrear al menos 100 colonias coralinas, número mínimo considerado representativo para estudios de comunidades coralinas (AGRRA). Los transectos se ubicarán en posición paralela a la línea de la cresta y/o al contorno del talud arrecifal. En cada transecto se procederá a tomar los siguientes datos por cada individuo/colonia de coral hermatípico que intersecte la línea (las mediciones de longitud se harán con un cabo de nylon y/o un tubo de PVC de 1 m, marcado cada cm):

- A. Especie: se anotará el nombre siguiendo una notación preestablecida.
- B. Longitud de intercepción: distancia, en cm, bajo la línea del transecto.
- C. Talla: en cada colonia se determinará, en cm, el diámetro máximo en vista superior, el diámetro perpendicular (con respecto al diámetro máximo), y la altura.
- D. Mortalidad parcial: determinar por una estimación visual el porcentaje de tejido muerto del área total de la colonia, asimismo determinar si la mortalidad es reciente

(identificable porque en la porción afectada se aprecia el esqueleto) o es añeja (reconocible porque la porción afectada está cubierta por algas y/o otros organismos sésiles).

- E. Enfermedades. Si el individuo se encuentra enfermo, determinar la enfermedad que lo afecta, y el porcentaje de afectación por estimación visual.

Por reclutamiento se entiende el número de individuos que se agregan a una población dada. En el caso de los corales hermatípicos por su biología reproductiva, se considera un recluta como un individuo juvenil que se ha fijado en el sustrato y ha logrado desarrollar su esqueleto. Los reclutas son reconocibles por ser individuos de pequeño tamaño <2 cm (AGRRA). Se considerará como índice de reclutamiento, el número de reclutas por unidad de área, es decir su densidad. Para la estimación del índice de reclutamiento se utilizará un cuadrante construido con tubo de PVC de 25x25cm. El cuadrante se colocará en el fondo sobre un sustrato rocoso en áreas carentes de invertebrados sésiles grandes (>25cm). De cada cuadrante se tomará una fotografía digital de alta resolución (≥ 5 megapíxeles) que se denominará fotocadrante, la que posteriormente se analizará visualmente en una pantalla de computadora con software de procesamiento de imágenes, y se contabilizarán el número de reclutas y la especie (o al menos el género) a la que pertenece. En cada estación de muestreo se cuantificarán ≥ 80 cuadrantes, lo que corresponde a un área total de 5 m² por estación (AGRAA).

Trabajo de Campo: Comunidad Algal

Las algas son los principales competidores de los corales hermatípicos por el recurso espacio. En ambientes perturbados es frecuente que lleguen a desplazar totalmente a los corales en el fondo arrecifal (Smith *et al.* 1981). Así una estimación de la condición actual del ecosistema arrecifal, requiere de un conocimiento de la cobertura algal como un estimador de su abundancia. Los grupos algales a considerar son: algas coralinas encostrantes, algas filamentosas (césped algal) y algas carnosas o macroalgas. El muestreo consistirá en determinar la cobertura de cada grupo algal mediante el uso de la técnica de cuadrantes. En este caso se utilizará el mismo muestreo realizado para la evaluación de reclutamiento coralino, así en cada fotocadrante además de contar el número de reclutas se evaluará mediante una estimación visual la cobertura en unidades porcentuales de cada grupo algal, invertebrados sésiles y área desnuda (AGRRA).

Trabajo de Campo: Comunidad de Ramoneadores Bénticos

En un ambiente perturbado las especies ramoneadoras tienden a disminuir en abundancia, lo que permite la proliferación de las algas bénticas. En los arrecifes del Atlántico Tropical los erizos (*Diadema antillarum* y *Echinometra* spp.) juegan un papel importante como especies ramoneadoras (Lessios *et al.* 1981). Se estimará la densidad de erizos, utilizando los transectos para la evaluación de la comunidad coralina. Se usará una barra de 1 m de longitud marcada por la mitad, y se seguirá a lo largo del transecto contando todos los erizos que se ubiquen a una distancia de 50 cm o menos de la línea del transecto, lo que implica un cuadrante en cinta de 10 m² por cada transecto (AGRRA).

Trabajo de Campo: Video y Fotografía del Muestreo

Durante el trabajo de campo se obtendrán fotografías y videos de los transectos y cuadrantes en cada estación de muestreo, los que constituirán la memoria fotográfica del

proyecto. Estos se utilizarán en caso de conflictos en los resultados, para corroborar la información obtenida durante los muestreos, y así hacer más confiables las bases de datos. Todo el material de video y fotografías se procesarán y editarán para formar una videoteca. Se entregará copia de estos materiales a CONABIO y al PNSAV. Se editarán uno o varios CD's que contendrán los archivos digitales de todas y cada una de las estaciones y sitios de muestreo. Para cada estación de muestreo se entregará un video digital de cada transecto, así como fotografías digitales de cada cuadrante.

Trabajo de Campo: Calidad del Agua

Para determinar la calidad del agua (ver Tabla 3), en cada uno de los arrecifes seleccionados se tomarán directamente en el sitio de muestreo, utilizando un analizador multiparamétrico HI 9828 (Hanna Instruments®) y un oxímetro (YSI 55®) los siguientes parámetros: Temperatura (°C), Oxígeno Disuelto (mg/l), Salinidad (UPS). Se determinará visibilidad (m) mediante la técnica del Disco de Secchi, e irradiancia ($\mu\text{Mol/s/m}^2$) usando un irradiómetro LI-193SA (Li-Cor®), y a partir de estos datos se calculará el coeficiente de extinción (*kd*). *In situ* se tomará una muestra de agua en una botella de HDPE de 1 L (previamente lavada con solución ácida y enjuagada con agua deionizada), de la cual se tomarán una serie de alícuotas para determinar, mediante kits de uso comercial, los siguientes parámetros químicos (nutrientes y metales pesados): Nitritos (NO_2 : mg/l), Nitratos (NO_3 : mg/l), Fosfatos (PO_4 : mg/l), Amonio Libre (NH_4L : mg/l), Amonio Total (NH_4T : mg/l), Cobre (Cu: mg/l), e Hierro (Fe: mg/l). Aunque los kits de uso comercial sólo nos dan un valor aproximado a las concentraciones reales, permiten detectar casi inmediatamente situaciones de riesgo ambiental cuando los niveles se muestran excesivamente altos, comparándolos con las concentraciones típicas para aguas oceánicas, por lo cual se considera continuar utilizándolos, independientemente de que se hará una cuantificación instrumental de nutrientes más precisa (ver al final de este apartado)

Adicionalmente se recolectarán 2 muestras de agua superficial en botellas de HDPE de 1 L (previamente lavadas con solución ácida y enjuagadas con agua deionizada), las que se fijarán añadiendo solución ácida (HCl), hasta obtener un $\text{pH} \approx 2$. Una de las muestras se utilizará para medir el contenido total de sólidos en suspensión (mg/l), y la otra para medir el contenido total de grasas y aceites (mg/l), ambas en laboratorio (FES Iztacala, UNAM).

Por último se recolectará una muestra de agua en una botella de HDPE de 100 ml (previamente lavada con solución ácida y enjuagada con agua deionizada), la que se fijará con solución de mercurio (HgCl_2) para evitar crecimiento de microorganismos. La muestra se utilizará para medir con un alto grado de precisión y confiabilidad el contenido de Nitritos (NO_2 : mg/l), Nitratos (NO_3 : mg/l), Fosfatos (PO_4 : mg/l), Amonio Total (NH_4T : mg/l) y Silicatos (SO_4 : mg/l), mediante el uso de un analizador de flujo continuo San Plus (Skalar®) en el Instituto de Investigaciones Oceanológicas de la UABC.

Análisis de Resultados Ecológicos

A partir de los datos de campo, se determinarán los siguientes parámetros de la comunidad (promedios), para cada una de las estaciones de muestreo, por arrecife y para el SAV en su conjunto (Tablas 1-3).

Tabla 1
Comunidad Coralina

Parámetro	Definición
Riqueza específica	No. de especies
Densidad total	No. de individuos por unidad de longitud
Abundancia Relativa	Proporción de la población para cada especie
Diversidad Ecológica	Índice de Diversidad de Shannon-Wiener
Cobertura total	Por ciento de la longitud total de los transectos interceptada por corales
Cobertura por especie	Por ciento de la longitud total de los transectos interceptada por cada especie
Mortalidad parcial total	Porcentaje de individuos de la comunidad que presentan una porción de tejido muerta
Enfermedad total	Porcentaje de individuos de la comunidad que presentan alguna enfermedad
Reclutamiento total	No. de reclutas por unidad de área

Tabla 2
Comunidades Algal y Ramoneadores Bénticos

Parámetro	Definición
Cobertura total	Porcentaje del área cubierta por algas
Cobertura por grupo algal	Porcentaje del área cubierta por cada grupo algal
Área desnuda	Porcentaje del área desnuda
Densidad de Ramoneadores	No. de individuos por unidad de área

Tabla 3
Calidad del Agua

Parámetro	Método
Turbidez ⁽¹⁾	Disco de Secchi
Sólidos en suspensión ⁽²⁾	Cuantificación del peso del material retenido por un filtro, a partir de un volumen conocido de agua
Grasas y aceites ⁽²⁾	Método gravimétrico de extracción con tricloro-trifluoroetano.
Cu y Fe ⁽¹⁾	Salifert Prof. Test Kit Aquaspex [®] . Método colorimétrico
Nitratos y Nitritos ⁽¹⁾	Red Sea Marine Lab Master Test Kit Aquaspex [®] . Método colorimétrico
Fosfatos ⁽¹⁾	Salifert Prof. Test Kit Aquaspex [®] . Método colorimétrico
Amonio Libre y Amonio total ⁽¹⁾	Salifert Prof. Test Kit Aquaspex [®] . Método colorimétrico
Temperatura ⁽¹⁾	Instrumental: Multiparámetro HI 9828
Salinidad ⁽¹⁾	Instrumental: Multiparámetro HI 9828
Oxígeno disuelto ⁽¹⁾	Instrumental: Oxímetro YSI 55

El análisis de resultados incluirá:

1. Diagnóstico de la condición y cambio de cada uno de los sitios de muestreo, los Grupos Arrecifales y del SAV en general.
2. Análisis de Regresión y Correlación para determinar la posible interdependencia entre las variables ambientales (parámetros fisicoquímicos) y las variables ecológicas que describen la comunidad arrecifal.
3. Análisis de agrupamiento de los resultados (cluster analysis), para determinar los patrones de distribución y variabilidad espacial de los sitios de muestreo.
- 4.

PRODUCTOS DEL PROYECTO

Como se mencionó anteriormente, se contempla implementar el Programa de Monitoreo de manera permanente, aunque para efectos del presente proyecto, sólo se incluyen 6 años en su aplicación (2009-2015). Por lo anterior, para cada año de duración del proyecto se presenta el calendario de actividades anualizado en la siguiente tabla, e incluye la entrega de un reporte semestral de resultados del cual se detalla los productos que se entregarán en su oportunidad.

Tabla 4
Calendario Anual de Actividades

Año	Fecha	Actividad
1	Marzo-Abril	Trabajo de Campo: I Campaña Semestral
1	Mayo-Agosto	Procesamiento de Resultados
1	30/Septiembre	Entrega de Reporte de Resultados I Campaña Semestral
1	Septiembre-Octubre	Trabajo de Campo: II Campaña Semestral
1-2 ^a	Noviembre-Febrero	Procesamiento de Resultados
2 ^a	30/Marzo	Entrega de Reporte de Resultados II Campaña Semestral

^a = Año calendario posterior al año 1

El Reporte de Resultados por Campaña Semestral incluirá:

1. Un CD con la Base de datos ecológicos y de parámetros fisicoquímicos en hojas de cálculo (Excel[®]). Se entregará una base de datos por cada arrecife (sitio de muestreo), 10 en total.
2. Uno (o más si es necesario) DVDs que incluyen las fotografías digitales, en formato TIFF de alta resolución, de cada uno de los fotocuadrantes del muestreo para reclutamiento y determinación de cobertura algal. Se entregarán al menos 80 fotocuadrantes por sitio de muestreo, un total de ≥ 800 fotocuadrantes.
3. 10 DVDs (o más si es necesario), uno por sitio de muestreo, que contendrá los videos editados de todos y cada uno de los transectos del muestreo, 10-15 transectos/sitio equivalentes a un total de 100-150 videtransectos.
4. 1 DVD (o más si es necesario) con fotografías digitales de alta resolución y videos editados de tomas panorámicas y eventos interesantes de cada sitio de muestreo.
5. 1 CD y reporte por escrito de los resultados, su discusión, análisis y conclusiones de la campaña de muestreo correspondiente.

PROPUESTA DE MANEJO Y CONSERVACIÓN

Es importante señalar que a partir de los resultados obtenidos durante la I Etapa, y con los datos que se obtengan después del primer año de aplicado el Programa Permanente de Monitoreo, se elaborará una propuesta de Manejo del PNSAV. Este documento se hará con la participación del personal del PNSAV, por lo que se espera entregar esta propuesta durante el primer semestre del 2010.

CUANTIFICADORES DE ÉXITO

Por Campaña de Muestreo se deben cumplir las siguientes actividades:

1. No. de arrecifes muestreados: 10.
2. No. de transectos y videotransectos por arrecife: ≥ 10 .
3. No. total de transectos y videotransectos: ≥ 100 .
4. No. de fotocuadrantes por arrecife: ≥ 80 .
5. No. total de fotocuadrantes: ≥ 800 .
6. Hoja Excel[®] con base de datos ecológicos y de calidad del agua por arrecife: 10.
7. CD y DVDs que contienen la memoria fotográfica, las bases de datos y el reporte de resultados (ver sección anterior).

CONTINUIDAD DEL PROYECTO DE MONITOREO

Para cumplir con la convocatoria de CONABIO para elaborar e implementar planes de monitoreo a largo plazo en los sistemas arrecifales localizados en áreas protegidas del Golfo y Caribe Mexicanos, la presente propuesta de Programa Permanente de Monitoreo, contempla su aplicación por un periodo de 6 años, a partir del presente año. La estrategia a seguir para conseguir financiamiento externo para continuar con el Programa de Monitoreo, después del tiempo señalado, incluye lo siguiente:

- A. Elaborar, a partir de los videos obtenidos durante el trabajo de campo, de un videoclip dónde se presente de manera clara y entendible, la problemática ambiental del SAV y la necesidad de implementar un programa de seguimiento de la comunidad arrecifal. Este video se distribuirá entre las autoridades civiles y navales, así como a las ONGs y la sociedad civil en general de la Ciudad de Veracruz, para concientizar sobre la necesidad de esta actividad.
- B. Elaborar un reporte breve y conciso, sobre la condición actual del SAV, para su distribución a todas las partes interesadas y público en general.
- C. Presentar a las organizaciones que disponen de fondos para el apoyo de este tipo de actividades, el Programa de Monitoreo, solicitando fondos para su desarrollo. Entre las organizaciones contempladas se encuentran: Acuario de Veracruz, Cámara de Turismo de Veracruz, Gobierno Estatal de Veracruz, Gobiernos Municipales de Veracruz, Boca del Río y Alvarado, Administración Portuaria Integral de Veracruz (API-Ver), etc.

**PRESUPUESTO GENERAL DE LA ETAPA II
 PROYECTO CONABIO DM005
 SISTEMA ARRECIFAL VERACRUZANO:
 PROGRAMA PERMANENTE DE MONITOREO**

Monto Total Solicitado: \$551,000.00 (Quinientos cincuenta y un mil pesos 0/100 M.N.).

Monto Global:

Rubro	Monto
Equipo	\$91,500.00
Materiales y Consumibles	\$37,500.00
Gastos de Campo	\$342,000.00
Honorarios	\$78,000.00
Servicios Diversos	\$20,000.00
Total	\$569,000.00

Presupuesto desglosado:

Equipo

Monto total del rubro: \$91,500.00

Irradiómetro LS-193SA Li-Cor.

Justificación: Equipo necesario para determinar la intensidad y calidad espectral luminosa submarina, para la caracterización de la transparencia del agua. Un solo proveedor cotizó el equipo, por un total de \$2,581.00 USD + IVA. Considerando una cotización del dólar a \$14.50 M.N. Monto total aproximado: \$43,000.00

Disco duro externo

Justificación: El procesamiento de videos requiere sistemas de almacenamiento de datos de alta capacidad (>1 TB), para almacenar los videos de los transectos generados durante las inmersiones. Por lo anterior es necesario comprar al menos 2 discos. Monto aproximado total: \$6,500.00

Computadora portátil (Laptop)

Justificación: Equipo necesario para el procesamiento y almacenamiento de datos, imágenes, archivos en campo relacionados con el proyecto.

Computadora MacBook con procesador Core 2 Duo de Intel a 2,0 GHz, 2GB 667MHz DDR2 SDRAM - 2x1GB, 120GB Serial ATA Drive @ 5400 rpm, SuperDrive 8x (DVD±R

DL/DVD±RW/CD-RW), Teclado (Español) y carcasa de policarbonato. Monto aproximado total: \$16,000.00

Computadora de escritorio (Desktop)

Justificación: Equipo necesario para el procesamiento de imágenes y video relacionados con el proyecto. Se requiere un equipo con monitor de alta resolución, memoria ram y tarjeta de video con gran capacidad.

Computadora IMac con monitor de 24 pulgadas, procesador Intel Core 2 Duo de 2.66 GHz, 4 GB de memoria RAM, disco duro de 640 GB, superdrive de doble capa a 8x, tarjeta NVIDIA GeForce GT 9400M. Monto aproximado total: \$26,000.00

Materiales y Consumibles

Monto total del rubro: \$37,500.00

Materiales y Consumibles

Justificación: En este rubro se incluyen los materiales y consumibles necesarios para el trabajo de campo, laboratorio y oficina:

Materiales de consumo oficina. Costo total: \$7,000.00

1. Papelería (diversos): lápices, gomas, plumas, papel bond, ligas, papel impermeable, etiquetas de goma, etc. Monto aproximado total: \$2,500.00
2. CDs para computadora: Discos para almacenamiento de datos (CD 80 min, 700 Mb, 52x) . Caja con 50 piezas (\$250.00 c/u), se requieren 2 cajas. Monto aproximado total: \$500.00
3. DVDs para computadora: Discos para almacenamiento de video (120 min 4.7 Gb, 16X). Caja con 50 DVD (\$300.00 c/u) se requieren 200 DVDs. Monto aproximado total: \$1,000.00
4. MiniDV para videocámara: Discos para toma de video submarino. Costo minidv \$50.00 c/u. Se requieren al menos 60 discos para las salidas de campo. Monto aproximado total: \$3,000.00.

Materiales para el trabajo de campo, costo total: \$5,500.00.

1. Diversos: cintas métricas, cabo nylon, plomadas, tubo pvc, material ferretería, bolsas plástico. Monto aproximado total: \$3,000.00
2. Botellas HDPE de 125, 500 y 1000 mL. Monto aproximado total: \$2,500.00

Materiales de laboratorio, costo total: \$25,000.00.

1. Reactivos: HCl, HNO₃, Triclorofluoroetano, Na₂SO₄, Hexano, etc. \$10,000.00.
2. Kits de análisis químicos para Fe, Cu, Nitritos, Nitratos, Amonio y Fosfatos. Se requiere un kit para cada salida de cada una de las variables químicas, cuyo costo unitario máximo es \$800.00. Monto aproximado total: \$5,000.00.
3. Cristalería y materiales de laboratorio: Embudos, embudos de separación, matraces, vasos precipitados, papel whatman, filtros Gellman, guantes desechables, con costos unitarios que no rebasan el tope de \$1,500.00. Monto aproximado total: \$10,000.00.

Servicios Diversos

Monto total del rubro: \$20,000.00

1. Pago de análisis de nutrientes en muestras de agua. En total 35 muestras por campaña de muestreo, 70 muestras en total. Costo unitario \$200.00. Monto aproximado total: \$14,000.00.
2. Pago de envío de muestras de agua a Ensenada, B.C., para análisis de nutrientes por servicio de mensajería. Costo por envío aproximado de \$3,000.00. Monto aproximado total: \$6,000.00.

Viajes y Viáticos (gastos de campo)

Monto total del rubro: \$342,000.00

Combustible para Embarcación:

Justificación: Para la consecución del proyecto de la Etapa II se llevarán a cabo 2 salidas de campo con duración de 20 días efectivos de trabajo cada una, en las cuales se requerirá una lancha para transportarse y trabajar en cada uno de los sitios de muestreo. La embarcación será proporcionada por el PNSAV, sin embargo ellos solicitan que por parte del proyecto se cubra el consumo de combustible, con un costo aproximado de \$600.00 diarios (gasolina y aceite). Esa cantidad se multiplica por el número de días por salida y el número de salidas (20x2) lo que implica 40 días de pago de consumo de combustible. Monto aproximado total: \$24,000.00

Alquiler equipo de buceo:

Justificación: El trabajo de campo requiere del buceo (SCUBA). En cada salida además de los integrantes del proyecto, participará el personal del PNSAV y 1-2 estudiantes invitados, por lo que en un día de trabajo de campo estarán trabajando 5 personas simultáneamente, las cuales en promedio bucearán dos veces al día. En total se requiere el alquiler de 10 tanques/día. El costo aproximado del alquiler del tanque con carga es de \$50.00 por día. Esa cantidad se multiplica por el número de tanques necesarios por día, por el número de días por salida y el número de salidas (10x20x2) lo que implica 400 tanques. Monto aproximado total: \$20,000.00.

Gasolina y Peajes

Justificación: Parte del personal que trabajará en el proyecto, el personal de la UNAM, se trasladará por carretera, en vehículos propiedad de la UNAM, desde la Ciudad de México a Veracruz, en cada una de las salidas al campo. Asimismo este vehículo se utilizará en la Ciudad de Veracruz, como un vehículo de apoyo para transporte del personal y materiales durante cada salida de campo. En total serán 2 viajes México-Veracruz-México. Para tal efecto se requiere el pago de gasolina con un costo aproximado de \$4,000.00 por salida (1200 km total de recorrido por salida), y el pago de casetas de autopista con un costo aproximado de \$2000.00. Monto aproximado total: \$12,000.00.

Transportación

Justificación del rubro: Para la consecución del proyecto de la Etapa 1 se llevarán a cabo 2 salidas de campo para las que se requiere el pago de transportación aérea viaje redondo de

cuatro de los participantes. José Carriquiry y Julio Villaescusa viajarán Tijuana-Veracruz-Tijuana, costo unitario aproximado \$7,500.00; y Juan Pablo Carricart y Aurora Beltrán viajarán Chetumal-Veracruz-Chetumal costo unitario aproximado \$7,500.00. Se considera que los costos de los pasajes aéreos fluctúan según la temporada. \$30,000.00

Viáticos

Justificación: Se llevarán a cabo 2 salidas de campo con duración efectiva de trabajo de 20 días cada una. En total se requieren 20 días de viáticos (hospedaje y alimentación) por persona, para los 8 participantes del proyecto, por salida. El costo promedio por día de estancia por persona es de \$800.00. Así, 8 personas x 20 días x 2 salidas = 320 días de viáticos. Monto aproximado total: \$256,000.00

Honorarios por Servicios Profesionales

Monto total del rubro: \$78,000.00

Contratación de personal de apoyo.

Justificación: El programa de trabajo requiere una persona dedica exclusivamente al procesamiento de imágenes para la determinación de índices de reclutamiento y cobertura de grupos algales a partir de los fotocuadrantes. También participará en la preparación de materiales, organización de trabajo de campo y durante los muestreos principalmente para la toma de fotografía submarina. Para tal efecto se contratará a una ayudante de general investigación (Biol. Griselda Adriana Gutiérrez Carrillo), quien ha colaborado anteriormente con este proyecto y está ampliamente familiarizada con este tipo de trabajo. Su labor se considera indispensable, ya que el análisis de imágenes es una actividad que lleva meses de trabajo frente a la computadora. Se le asignará un salario mensual correspondiente a un ayudante general (tiempo completo) por un monto mensual de \$6,500.00, durante un periodo anual, prorrogable según desempeño. Monto aproximado total: \$78,000.00