



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE GEOGRAFÍA

**DESARROLLO DE VISUALIZADOR WEB PARA CONSULTA  
GEORREFERENCIACIÓN Y ANÁLISIS DE POBLACIONES DE  
CABALLITO DE MAR (*Hippocampus erectus*) EN EL ESTADO DE  
YUCATÁN.**

TRABAJO TERMINAL DE GRADO DE:

**ESPECIALISTA EN CARTOGRAFÍA AUTOMATIZADA, TELEDETECCIÓN  
Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.**

22° PROMOCIÓN.

PRESENTA:

**BIÓL. IRIS SARAI VILCHIS GARCIA.**

ASESOR:

**M. EN C. A. LEONARDO ALFONSO RAMOS CORONA.**

ASESOR EXTERNO:

**M. EN C. GEMMA LETICIA MARTÍNEZ MORENO.**



TOLUCA, MÉXICO JULIO DE 2018.

## ÍNDICE.

⌘	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>7</b>
⌘	<b>ANTECEDENTES .....</b>	<b>10</b>
⌘	<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>14</b>
⌘	<b>JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>16</b>
⌘	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>18</b>
⌘	<b>FUNDAMENTOS TEÓRICO-CONCEPTUALES .....</b>	<b>19</b>
	❖ <b>Aplicación HTML, CSS, Javascript .....</b>	<b>28</b>
	❖ <b>HTML .....</b>	<b>28</b>
	❖ <b>Javascript.....</b>	<b>29</b>
	❖ <b>Navegador web .....</b>	<b>29</b>
	❖ <b>Servidor web Apache Tomcat .....</b>	<b>30</b>
	❖ <b>Servidor de mapas Geoserver .....</b>	<b>30</b>
	❖ <b>Servidor de bases de datos PostgreSQL y extensión espacial PostGIS .....</b>	<b>31</b>
	❖ <b>Servidor de mapas base .....</b>	<b>32</b>
	❖ <b>API de desarrollo: OpenLayers .....</b>	<b>32</b>
	❖ <b>Microsoft Visual Studio .....</b>	<b>34</b>
	❖ <b>Diagrama de la arquitectura geotecnológica .....</b>	<b>34</b>
	❖ <b>Área de estudio .....</b>	<b>35</b>
⌘	<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>39</b>
	❖ <b>Trabajo en campo .....</b>	<b>39</b>
	❖ <b>Visualizador web .....</b>	<b>40</b>
⌘	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>43</b>
	❖ <b>Trabajo en campo .....</b>	<b>43</b>
	❖ <b>Visualizador web .....</b>	<b>49</b>
⌘	<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>68</b>
⌘	<b>CONCLUSIÓN .....</b>	<b>69</b>
⌘	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>70</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS.

☞ <b>Figura 1. Esquema de una aplicación web .....</b>	<b>20</b>
☞ <b>Figura 2. Finalidad de la geovisualización de datos de carácter geográfico tomada de Arias 2017 .....</b>	<b>23</b>
☞ <b>Figura 3. beneficios de la interoperabilidad. Fuente Olaya 2011 .....</b>	<b>24</b>
☞ <b>Figura 4. Pros de un Visualizador Web, tomado de Arias 2017.....</b>	<b>26</b>
☞ <b>Figura 5. Imagen ilustrativa del Estado de Yucatán .....</b>	<b>36</b>
☞ <b>Figura 6. Tipos de sustratos conformados por macroalgas y pastos marinos dentro de la laguna de Chelem, Yucatán, México .....</b>	<b>44</b>
☞ <b>Figura 7 Vista del embarcadero de la Laguna costera de Chelem. enero 2018 ...</b>	<b>43</b>
☞ <b>Figura 8. Puntos de muestreo dentro de la laguna de Chelem, enero 2018 .....</b>	<b>45</b>
☞ <b>Figura 9. Arquitectura de un servidor de mapas en web, tomada de Ramos 2017 .....</b>	<b>40</b>
☞ <b>Figura 10. Diagrama de implementación de servidor web .....</b>	<b>42</b>
☞ <b>Figura 11. Fotografías de ejemplares colectados en campo, sin embargo, no hubo presencia en los arrastres de la especie objeto de estudio <i>Hippocampus erectus</i>, la cual también se ilustra de los individuos presentes dentro del laboratorio de ecología y conservación de la unidad académica Yucatán, UNAM .....</b>	<b>46</b>
☞ <b>Figura 12. Especies de peces colectados en el trabajo de campo, enero 2018 .....</b>	<b>47</b>
☞ <b>Figura 12. Especies de peces colectados en el trabajo de campo, enero 2018 .....</b>	<b>48</b>
☞ <b>Figura 14. Imagen de satélite OLI referente a una parte del estado de Yucatán donde es observable el municipio de Progreso .....</b>	<b>48</b>

## **Introducción.**

Los caballitos de mar o hipocampos son peces teleósteos pertenecientes a la familia *Syngnathidae*. Se pescan incidentalmente por barcos de arrastre camaroneros (Baum et al. 2003) y son afectados por la degradación de los ambientes costeros (Walker et al. 1989; Dulvy et al. 2003). Los caballitos de mar constituyen uno de los 55 géneros de la familia *Syngnathidae* (Kuitert 2000). Son peces teleósteos que habitan aguas marinas poco profundas (< 30 m, Foster y Vincent 2004) en regiones tropicales y templadas (hasta los 50° de latitud N y S; Lourie et al. 2004). Algunas especies como *H. capensis*, *H. abdominalis*, *H. kuda* habitan zonas estuarinas (Bell et al. 2003; Lourie et al. 2004; Martin-Smith y Vincent 2005), tolerando fluctuaciones de salinidad relativamente amplias (10- 20 unidades prácticas de salinidad (ups)).

Los caballitos de zonas templadas ocupan hábitats de sustrato suave con pastos marinos y macroalgas (Curtis y Vincent 2006; Martin-Smith y Vincent 2005), mientras que algunos de zonas tropicales viven asociados a arrecifes con corales esponjas y algas (Perante et al. 1998). Al igual que muchas otras especies estuarinas (Guevara et al. 2007), la distribución y abundancia de caballitos está fuertemente asociada a la presencia de estructuras de vegetación sumergida ya que el desplazamiento de los caballitos es limitado y requieren sujetarse a estructuras sumergidas (Foster y Vincent 2004).

La importancia que se les ha dado a estos ejemplares, desde el punto de vista conservacionista y comercial hace necesarias crear investigaciones sobre su comportamiento, reproducción, preferencia de hábitats y la diversidad presente en los patrones de su historia de vida.

Los procesos ambientales estacionales pueden a su vez inferir en cambios o afectaciones en su distribución y abundancia de las poblaciones, aun cuando son individuos de muy poca movilidad debido a su morfología y el alto grado de fidelidad que tienen al entorno donde se desarrollan.

Por lo tanto, *Hippocampus erectus* se encuentra actualmente catalogada como una especie la cual, debido a su vulnerabilidad, fragilidad y belleza, sus poblaciones están siendo mermadas sufriendo reducciones importantes en sus poblaciones. Esta especie está clasificada como “**VULNERABLE**” en la lista de especies amenazadas del IUCN y el género *Hippocampus* por su parte se encuentra incluido en el “**APÉNDICE II**” de la Convención Internacional de Comercio de Especies Amenazadas (CITES) desde noviembre de 2002. En México dicha especie está “**SUJETA A PROTECCIÓN ESPECIAL**” por la Norma NOM-059-SEMARNAT-2010.

Los “**SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**” (SIG) constituyen una importante herramienta de trabajo para la investigación, planificación, análisis y toma de decisiones de la representación espacial de información ya que permiten la manipulación y almacenamiento de datos en grandes cantidades de diversas fuentes, (bien sea de carácter público, privado, científico o militar). No obstante, la calidad y exactitud de los SIG dependen de la organización, equipamiento y personal responsable para su manejo y mantenimiento (Gómez, 2006).

En la actualidad, el desarrollo en la tecnología de los SIG ha permitido la creación y uso de las “aplicaciones geotecnológicas” o “geotecnologías” las cuales han aumentado el acercamiento al uso de estas técnicas para la representación de la información espacial mediante aplicaciones web lo cual ha facilitado que dicha información esté al alcance de un mayor número de usuarios.

Y que ésta pueda ser consultada, editada y actualizada desde cualquier ordenador generando a su vez soluciones a problemáticas en un tiempo menor implementando herramientas que permitan la automatización de los datos dentro de procesos dinámicos que puedan interactuar y cuenten con compatibilidad interoperable con diversas plataformas creando bases de datos espaciales (BDE) con información detallada y lógica.

Derivado de lo anterior, resulta la inquietud de crear un visualizador web que permita la actualización permanente de la información, la integración, la automatización, la representación, la captura y la visualización de la información espacial referente a la distribución de caballito de mar en el estado de Yucatán de una manera eficiente y que a su vez dicha interfaz sea sencilla de manipular por el usuario final para contribuir a la creación de la base de datos; mediante el llenado de una ficha técnica.

## **Antecedentes.**

Para el análisis y visualización de datos geográficos, las bases de datos son importantes para el sistema y consisten en dos elementos: una base de datos espaciales que describen la geografía (forma y posición) de las características de la superficie terrestre y una base de atributos, que describe las cualidades de estas características (Eastman, 2012).

La mayoría de los SIG utilizan dos tipos de representación espacial: vectorial y ráster. La representación vectorial, puede ser de tres tipos: puntos, líneas y polígonos. Los puntos son pares de coordenadas X, Y. Las líneas, se definen por la unión de puntos o serie de puntos y los polígonos tienen la característica de que cierran con el inicio y el final de la serie.

A partir de la década de 1960, donde se incrementó las tecnologías de la información y donde muchos de los conceptos geográficos que se han desarrollado por espacio de un siglo han experimentado un importante proceso de transformación para ser incorporados al espacio digital (Buzai, 2001). Con la gran cantidad de avances en tema de sistemas de información geográfica (SIG) y la evolución tecnológica, los procesos y métodos relacionados con la geografía se han ido adaptando al medio computacional.

Una de las tecnologías que ha ido avanzando más en estos años, es el Internet que se ha convertido un canal de comunicación importante, y ofrece mayores posibilidades para transmitir y recibir todo tipo de información, y complementando con las geotecnologías ha sido un medio de comunicación atractivo a través de la red (Benavidez, 2008). Y con el uso del Internet para que personas, empresas, accedan a información geográfica como, por ejemplo: mapas, imágenes, análisis y reportes, desde cualquier parte del mundo siempre.

Con lo anterior y con la evolución de la tecnología cartográfica, surge una herramienta geotecnológica que es la Visualización Geográfica o Geovisualización. La Visualización Geográfica es un elemento asociado a los SIG, a la informática y al conocimiento geográfico, y se define como el proceso de representación de información clara, rápida y resumida, con el propósito de reconocer, comunicar e interpretar patrones y estructuras espaciales. Su dominio de estudio abarca los aspectos informáticos, cognoscitivos y mecánicos de generar, organizar, manipular y comprender a través de la representación visual (Buttenfield and Mackaness, 1991). La finalidad de la Visualización Geográfica es ampliar y desarrollar al máximo las posibilidades de la representación de los fenómenos espaciales a través del uso de herramientas informáticas (Bosques y Zamora, 2002).

En este caso las tecnologías de la información geográfica se han convertido en herramientas básicas para todos los profesionales del medio ambiente, la ingeniería, la arquitectura o el territorio. Por ejemplo, programas como ARCGIS, QGIS y aparatos como el GPS o los satélites han revolucionado el mundo de la información geográfica.

Continuando con el término la geovisualización se puede definir como uno de los vínculos que el desarrollo tecnológico ha generado entre la exploración y procesamiento de datos espaciales, a través de los SIG, y la cartografía. Se han convertido en un área de investigación, y en un grupo de herramientas que permite cambiar y ampliar las posibilidades de investigar, conceptualizar y explorar información georreferenciada, a fin de ayudar a la toma de decisiones y a la comprensión del mundo, y que proporcionarían la facilidad a la explicación, análisis, síntesis y representación de la información geoespacial (MacEachren, 1998, MacEachren, 1998b).

El desarrollo de estos proyectos ha ido paralelo al de internet, podemos dividir los visores cartográficos en dos tipos: los más genéricos y los temáticos. Los primeros, agrupan la información cartográfica de todo un ámbito territorial, por ejemplo, de un Estado, comunidad autónoma o municipio concreto, en un único visor.

Contienen información geográfica de todo tipo como, por ejemplo, imágenes satélites, mapas topográficos o de usos del suelo. Por otro lado, tenemos los visores temáticos que contienen cartografía relacionada con temas concretos como la protección del patrimonio natural, del mar, del agua, la biodiversidad, el desarrollo rural, los recursos agrícolas la información urbanística, entre otros.

Los hábitats de lagunas costeras en la península de Yucatán se ven afectados por presiones antrópicas y ambientales principalmente, este es el caso de la Laguna de Chelem ya que este tipo de humedales se caracteriza por ser una depresión somera (<10m), el cual cuenta con un eje principal que es paralelo a la costa además de que esta se conecta al mar temporal o permanentemente por uno o más canales aun cuando exista separación del océano por la presencia de una barrera física.

En estas depresiones costeras se considera que existe una interacción entre los ecosistemas esto a través de la dinámica ligada a diferentes procesos biogeoquímicos y biológicos, los cuales están regulados por los procesos hidrológicos que actúan a diferentes escalas espaciales y temporales.

Esta conectividad eco hidrológica se puede discernir mediante la relación establecida con el concepto de controles tierra-mar/mar-tierra, en el que los flujos tierra-mar (aportes de cuencas hidrológicas) y los de mar-tierra (mareas, corrientes, huracanes), ejercen papeles clave en regular el funcionamiento ecológico de cada ecosistema y por ende influir en la historia de vida de las especies que lo cohabitan.

Como el caso en particular de *Hippocampus erectus* el cual presenta una distribución y abundancia fuertemente asociada a estructuras de vegetación que le sirven de anclaje, como la laguna costera de Chelem hábitat de esta especie.

Estudios previos muestran que los caballitos presentan una distribución en parches, con densidades promedio bajas (0.007 a 0.51 organismos /m<sup>2</sup>; Foster y Vincent 2004), pero poblaciones de algunas especies pueden llegar a encontrarse en agregaciones de hasta 1.5 organismos/m<sup>2</sup> (Curtis y Vincent 2006; Martin-Smith y Vincent 2005). Esta variabilidad en los reportes puede deberse en parte a los distintos métodos usados para determinar la densidad (e.g. los estudios con base en cuadrículas focales generan resultados de densidades mayores que los de transectos), pero también ha sido asociada a la presencia, densidad y tipo de vegetación sumergida (Bell et al. 2003; Curtis y Vincent 2006).

En la escala temporal, además de los fenómenos ambientales; las actividades humanas que impactan el uso de suelo convirtiéndolo en factores que generan cambios del paisaje. Algunos de ellos son provocados por prácticas específicas de manejo y otros por las fuerzas sociales, políticas y económicas que controlan los usos de suelo (Medley et al. 1995; Pan *et al.* 1999), por ende, se convierte en la principal causa de pérdida de diversidad biológica.

## **Planteamiento del problema.**

En la actualidad existen plataformas para la visualización de registros o avistamientos históricos de información biológica de diversos taxones, muchos son solo una actualización en la web de colecciones científicas que incorporan la georreferenciación (coordenadas) a sus bases de datos con lo cual se hace imperante la adecuación de dicho proceso dentro de las plataformas de consulta para visualización de información biológica.

Sin embargo, dichas plataformas carecen de procesos y herramientas eficientes que se apoyen en los sistemas de procesamiento transaccional; es decir que permitan reflejar de manera inmediata los cambios en la base de datos espaciales (apoyándose del lenguaje SQL), de manera inmediata a la toma de datos en campo. con lo cual se hace imperante la adecuación de dicho proceso dentro de las plataformas de consulta para visualización de información biológica.

En México, las presiones antrópicas que inciden en estos ecosistemas costeros suelen tener efectos negativos de alto o mediano impacto ya que se encuentran expuestos a efectos de la sobreexplotación, el vertimiento de compuestos orgánicos e inorgánicos y al constante riesgo de modificación del hábitat por el crecimiento de la mancha urbana; cambiando los parámetros fisicoquímicos de estos cuerpos de agua los cuales en “n” tiempo moldean de manera irreparable la dinámica natural de los humedales poniendo en riesgo la diversidad biológica.

A sí mismo, los cambios temporales en el paisaje inducidos por el hombre afectan tanto los procesos bióticos como los abióticos (Forman, 1995; Farina, 1998). Al influir el ser humano en el ambiente para producir bienes y servicios a partir del uso del terreno o uso del suelo como se le conoce en México; se convierte en la principal causa de pérdida de diversidad biológica y funciones ecológicas, por ende, dichas presiones modifican o alteran el hábitat natural de desarrollo de diversas especies.

*Hippocampus erectus* también conocido como caballito de mar; al igual que muchas otras especies estuarinas la distribución y abundancia de caballitos está fuertemente asociada a la presencia de estructuras de vegetación siendo el caso de la laguna de Chelem la cual es un ecosistema de zonas templadas con sustrato suave consistente en pastos marinos y macroalgas.

Sitio ideal para ser el hábitat de selección de esta especie ya que son de ámbitos hogareños relativamente pequeños (1-14m<sup>2</sup>) proveyendo los requerimientos necesarios o idóneos para desarrollarse, maximizando la densidad de presas, minimizando el riesgo de depredación ya que además son individuos con locomoción limitada y requieren del anclaje a estructuras sumergidas.

Esta especie en particular a nivel internacional se encuentra clasificada como especie vulnerable en la lista de especies amenazadas del IUCN, por su parte el género *Hippocampus* se encuentra incluido en el Apéndice II de la Convención Internacional de Comercio de Especies Amenazadas (CITES) en México está Sujeta a Protección Especial por la Norma NOM-059-SEMARNAT-2010.

## **Justificación.**

El presente trabajo parte de la premisa que el conocimiento de la diversidad, abundancia y distribución de las especies es la base para la conservación y aprovechamiento de los recursos naturales, así como, un manejo sustentable de las especies que se encuentren bajo alguna categoría de riesgo; todo esto con miras a preservar su importancia ecológica, económica y cultural.

Como ya se conceptualizó la geovisualización, es la combinación de la evolución de los SIG y el Internet, la cual facilita la representación, manipulación y exploración de información espacial, esta puede estar sustentada por procesos y técnicas geográficas, como el tratamiento digital de imágenes, el análisis estadístico espacial con objeto de evaluación científica que permita resumir posibles soluciones a problemas para la toma de decisiones por las personas adecuadas.

Los visualizadores cartográficos cuentan con una aplicabilidad de estas geotecnologías las cuales se han convertido en una potente herramienta que posibilita almacenar una ingente cantidad de información geográfica disponible hoy en día. Al ser visores web, no se depende de la instalación de un pesado software como los SIG de escritorio. Simplemente con una conexión a Internet ya puedes acceder a un sinfín de mapas de todo tipo: ambientales, biológicos, topográficos, fluviales, catastrales, etcétera.

La creación de dicha plataforma permitirá crear una base de datos de carácter espacial, la cual además contenga información referente a la especie y el sitio de colecta la cual será alimentada por el sencillo llenado de una ficha técnica; esta información derivada y visualizada en tiempo real gracias a los procesos transaccionales interoperables con otros softwares.

Esta información obtenida puede ser de gran utilidad a fin de generar información que contribuya a desarrollar programas exitosos de protección y manejo adecuados en cada localidad (Holt *et al.* 2003) de las poblaciones de caballito.

Dichos programas ayudarán a contrarrestar los efectos de la presión de extracción de las poblaciones naturales, una amenaza creciente en la medida que se diversifica el mercado de peces marinos ornamentales en México y en el mundo (Baum y Vincent 2005; Simoes 2009; Olivotto *et al.* 2011).

Dado que la Geografía es una ciencia holística y se apoya de ramas como la biogeografía ecológica, la panbiogeografía, etc., y de otras ciencias afines como la geología, paleontología, evolución, sistemática, ecología, fisiología, climatología, oceanografía, entre otras para enriquecer y complementar los trabajos de investigación desde diferentes enfoques, esta BDE contribuirá a plantear hipótesis para la determinación biogeográfica de los patrones de distribución potencial de las poblaciones de hipocampos y como el analizar estos en términos de interacciones entre los organismos y sus ambientes físicos y bióticos, tanto actuales como en el pasado reciente (Estrada y Saenz, 1997), puntualizará objetivos a través del tiempo que permitan comprender el cómo y el porqué de los patrones y procesos de distribución de los organismos, y la relación estrecha que guardan con su ambiente ecológico.

La finalidad de realizar este proyecto se basa en acercar a los usuarios a usar las nuevas geotecnologías que permiten tener un mejor orden en la administración de los datos espaciales mediante la instalación de servicios web, así como la edición y captura de información, por ende, es necesario desarrollar una aplicación que brinde ayuda y soporte a cada nivel de usuario, mediante la cual se pueda obtener información territorial de la distribución y condición de las poblaciones.

## **Objetivo general.**

Desarrollar un visualizador web para consulta y georreferenciación de poblaciones de *Hippocampus erectus*, creando fichas dentro de la interfaz las cuales permitan la captura de información espacial y técnica que genere y alimente una base de datos geoespaciales y que permita visualizar dicha información de manera puntual, lineal o areal en diferentes servidores de mapas y que a su vez pueda ser exportada a formatos compatibles con otros softwares, para generar insumos cartográficos.

## **Objetivos específicos.**

- Implementar una interfaz que permita la publicación en Internet de mapas digitales para georreferenciar y visualizar poblaciones de caballito de mar.
- Descargar e instalar el servidor web, el servidor de mapas y el servidor de bases de datos con la extensión espacial (Paquetería de Java, Apache Tomcat, Geoserver y PostgreSQL-PostGIS).
- Importar la BDE a PostGIS.
- Publicar las capas en el servidor de mapas.
- Crear estilos en software libre para las capas en formato \*.sld.
- Agregar el archivo \*.sld en Geoserver.
- Realizar el diseño de la interfaz mediante lenguaje de programación.
- Diseño y creación de la ficha técnica que alimentara la BDE mediante lenguaje de programación con apoyo de Visual Studio.

## **Fundamentos teórico-conceptuales.**

Con base en lo expuesto anteriormente se formula la siguiente pregunta que servirá de guía para el desarrollo de esta investigación. ¿Cómo contribuye el desarrollo de un visualizador Geográfico al fortalecimiento de los planes de trabajo, seguimiento, control, gestión, planeación y evaluación de las poblaciones de *Hippocampus erectus* en el Estado de Yucatán, así como su operatividad y consulta en Internet, mediante el uso de sistemas transaccionales?

Los fundamentos que residen detrás de la consulta de una simple página web son esencialmente los mismos para el caso de las tecnologías SIG en la red; cuando se consulta una página web existen tres elementos fundamentales que entran en juego:

- La propia red que hace de nexo entre sus elementos,
- El ordenador que es el que realiza la petición de consulta,
- Y el sistema donde se encuentra almacenada esa página que queremos consultar.

El servidor y el cliente son necesarios para este proceso, el primero es el elemento encargado de servir algún contenido, por lo que interpreta la petición y la procesa; el segundo es responsable de pedir ese dato al servidor, tomarlo y trabajar con él (figura 1).

El proceso mediante el que podemos ver esa página en un navegador web comprende los cuatro pasos siguientes:

1. El servidor realiza la petición.
2. La petición se conduce a través de la red hasta el servidor
3. El servidor busca la página y la devuelve a través de la red en caso de encontrarla, o devuelve una página de error en caso de no tenerla.
4. El servidor recibe la página y la representa.

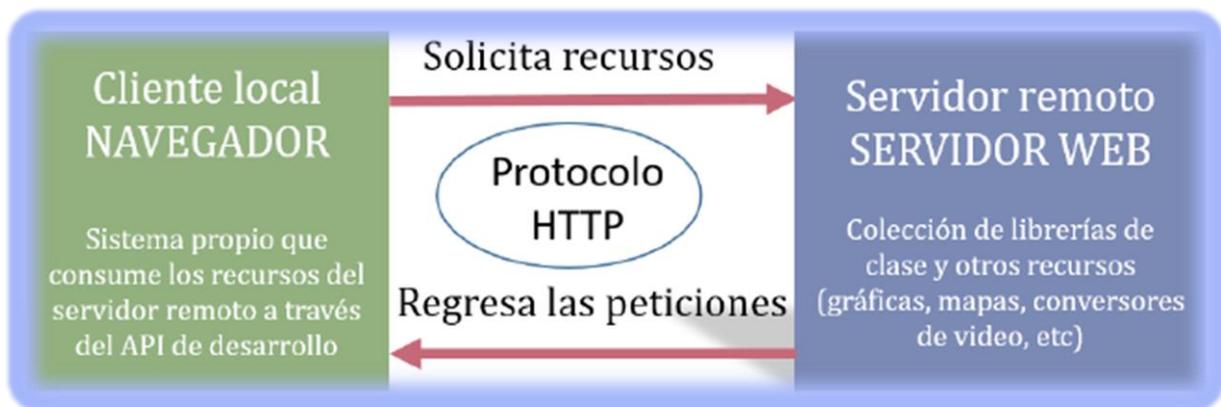


Figura 1. Esquema de una aplicación web.

El cliente web, es un programa que interactúa con el usuario para poder pedir información a un servidor web a través de protocolos de comunicación. Este programa también suele llamarse navegador (del inglés *Web Browser*) el cual, permite visualizar el contenido de una página web quienes suelen estar creadas por un código *HTML (Hypertext Markup Language)*, lenguaje de marcado que se utiliza para describir un documento; por código ejecutable (*Script, Java Script o VBScript*), pequeños programas y plugin que permiten visualizar contenido multimedia (Luján, 2002).

Para Loza (2015) una aplicación web es “*un programa informático en el que el usuario final accede a través de un navegador web por medio de internet o una red; éstas se encuentran albergadas en un servidor web*”. Debido a que es un sistema web se implementara a través de la plataforma cliente- servidor, en el cual el cliente es el programa que interactúa con el usuario es nuestro cliente web. A través de él, el usuario pide información a un servidor web, y lo hace a través de protocolos de comunicación implementados por un servidor el cual es un equipo informático que forma parte de una red y provee servicios a otros equipos cliente.

La aparición del *Web Mapping*, como elemento que permite la representación de cartografía como un contenido más de una página Web, hoy en día se puede dotar a un sencillo navegador Web de capacidades de visualización o edición de información geográfica. El avance de las redes locales y de Internet ha permitido que se acceda a la información geográfica contenida en un SIG utilizando el paradigma cliente-servidor. Para ello es necesario contar con componentes en el lado servidor que distribuyan la información y componentes en el lado del cliente para acceder a esta.

Como se ha explicado la tendencia principal de la evolución de los SIG es que desde sus orígenes ha incorporado elementos propios de otras herramientas jugando un papel central y articulador, por lo que en nuestros días han pasado de elementos restringidos para uso profesional a ser elementos de consumo masiva, ejemplo de ello es la aparición de servicios como *Google Maps* o *Google Earth*; además la popularización de los navegadores *GPS* y una multitud de aplicaciones con interfaces web.

Lo anterior forman parte de la gama de aplicaciones que tiene el SIG, pero se pueden identificar tres tipos principales de aplicaciones: herramientas de escritorio, repositorios de datos y clientes y servidores que permiten en conjunto el trabajo remoto con todo tipo de datos SIG.

En el caso de las aplicaciones web, estas se adaptan para crear accesos particulares a unos datos concretos, de forma que pueden emplearse para dar acceso a la información geográfica a través de Internet, de la misma manera que se ofrecen otro tipo de datos como imágenes o texto en una página web.

Para el autor Romero (2014), la geovisualización proporciona un medio mucho más rico y más flexible para representar los atributos de distribución (figura 2), por las razones de:

- En primer lugar, a través de las técnicas de consulta espacial, que permite a los usuarios: explorar, sintetizar, presentar y analizar el significado de una representación.
- En segundo lugar, facilita la transformación de las representaciones utilizando técnicas como cartogramas y cartodiagramas.
- En tercer lugar, permite al usuario interactuar con el mundo real e incluso con mundos artificiales.

Exploración	¿Hasta qué punto el mensaje general de un conjunto de datos es sensible a la inclusión o exclusión de los elementos de datos espaciales?
Síntesis	Al presentar la complejidad y el detalle de uno o más conjuntos de datos, las formas en que sean asimilados por los usuarios deben ser fácilmente.
Presentación	Consta en comunicar el mensaje general de una representación en una forma fácilmente comprensible
Análisis	Proporciona un medio para soportar una gama de métodos y técnicas de análisis espacial

Figura 2. Finalidad de la geovisualización de datos de carácter geográfico tomada de Arias 2017.

## Estándares OGC

Son documentos técnicos que establecen cómo los servicios y datos geoespaciales específicos tienen que ser interconectados o codificados para ser interoperables. Estos documentos estándar del *Open Geospatial Consortium* (en adelante OGC) se utilizan para implementar estas interfaces y codificaciones para crear productos y servicios que funcionarán desde diferentes ubicaciones y plataformas sin necesidad de procesamiento o trabajo posterior. Las especificaciones de todas las normas OGC están disponibles gratuitamente para el público, por lo que la documentación se puede encontrar en la página web de la OGC, en el apartado “Standards”.

En el pasado, para trabajar con datos espaciales, se requeriría que los datos se almacenaran localmente en su computadora y utilizar los datos de un equipo diferente en una ubicación diferente requeriría que los datos se transfirieran de una máquina a otra manualmente.

Ahora en términos de tiempo, costo y espacio de almacenamiento necesarios para hacer esto significaba que esto era problemático e ineficiente. Aquí es donde los estándares de OGC hacen posible el uso de datos espaciales al poner a disposición un lenguaje común, a través de los estándares, permitiendo que diferentes sistemas hablen entre sí, por ejemplo, la interoperación entre múltiples plataformas: Mac, Windows, Android e IOS (figura 3).

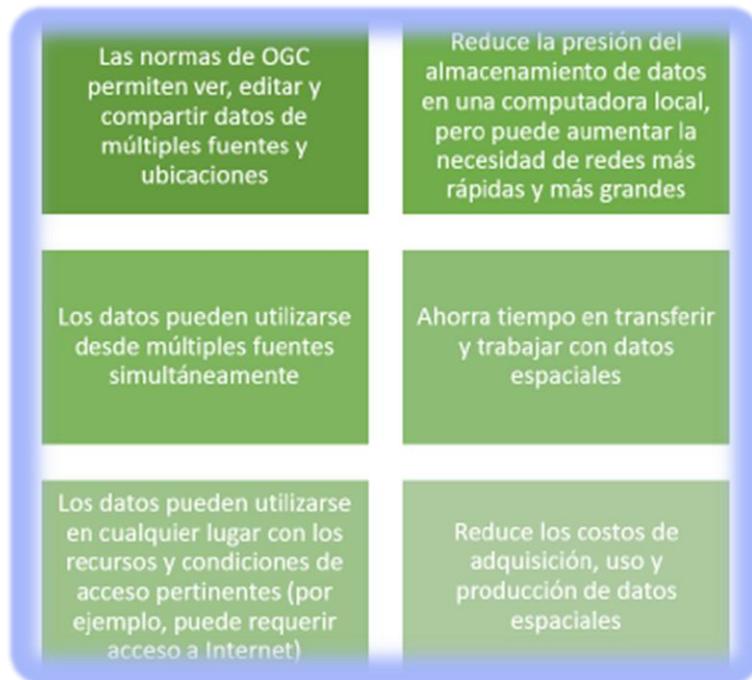


Figura 3. beneficios de la interoperabilidad. Fuente Olaya 2011.

Es importante entender que los servicios cartográficos Web, como lo explica Zizumbo (2016b) son protocolos para compartir información geográfica a través de internet, definidos por la OGC, la cual les define estándares abiertos con la capacidad de funcionar en cualquier sistema operativo (*Windows, GNU/Linux y OSX*) con el objetivo de facilitar el intercambio de información y promover la interoperabilidad de los datos.

Es importante resaltar que estos servicios de mapa base se encuentran alojados desde un servidor remoto, pero consume recursos desde la máquina del cliente; además puedo generar mis recursos y cargar la información para darle sentido en el servidor de mapas a través de formatos como el *WMS* y *WFS*.

- Para intercambiar archivos a través de internet existen estándares para los formatos: *XML = GML, Geo Json (JSON)*.
- El *WMS* es la respuesta a una solicitud *WMS* es siempre un archivo de computadora que se transfiere a través de Internet desde el servidor al cliente. El archivo puede contener texto, o puede representar una imagen de mapa (.png, .gif, jpeg).
- El *WFS* Hace posible la descarga de capas de información geográfica vectorial, tanto la geometría como la tabla de atributos. Una limitación para tener en cuenta en este servicio es el volumen de la transacción que se genera entre servidor y cliente, debido al uso de lenguaje *XML*.
- El *WCS* permite la visualización y el suministro de datos geoespaciales (coberturas) desde un servidor web. Los datos pueden ser definidos por características espaciales y temporales.

Dentro de las ventajas que tiene la utilización de herramientas web no sólo se encuentra la interoperabilidad atribuida los anteriores estándares, además Reza (2014) menciona otras ventajas (Figura 4).

**Ventajas**

- **Ahorra tiempo:** Se pueden realizar tareas sencillas sin necesidad de descargar ni instalar ningún programa
- **No hay problemas de compatibilidad:** Basta tener un navegador actualizado para poder utilizarlas
- **No ocupan espacio en el disco duro**
- **Actualizaciones inmediatas:** Como el software lo gestiona el propio desarrollador, cuando un cliente se conecta automáticamente se sitúa en la última versión
- **El consumo de recursos es bajo ya que toda (o gran parte) de la aplicación no se encuentra en el ordenador, muchas de las tareas que realiza el software no consume recursos propios porque se realizan desde otro ordenador o servidor**
- **Multiplataforma:** Se pueden usar desde cualquier sistema operativo porque sólo es necesario tener un navegador
- **Portables:** Es independiente del ordenador donde se utilice (un PC de o Lap Top) porque se accede a través de una página web (sólo es necesario disponer de acceso a internet). La reciente tendencia al acceso a las aplicaciones web a través de teléfonos móviles requiere sin embargo un diseño específico de los ficheros CSS para no dificultar el acceso de estos usuarios.
- **La disponibilidad suele ser alta porque el servicio se ofrece desde múltiples localizaciones para asegurar la continuidad del mismo.**
- **Los virus no dañan los datos porque éstos están guardados en el servidor de la aplicación.**

Figura 4. Pros de un Visualizador Web, tomado de Arias 2017.

En el caso de los sistemas de consulta Falgueras (2002) citado en Rodríguez (2012) dice que: *“Provee los datos que el usuario requiere, para ello utiliza un motor de búsqueda en web... aunque estos sistemas deben estar diseñados bajo una interfaz adecuada que establezca la correcta comunicación entre el usuario y el sistema para que dicho usuario obtenga los resultados esperados”*.

Para Rodríguez (2012) los sistemas de consulta de información geográfica se clasifican según su capacidad de las operaciones que llevan a cabo, por las estructuras que soportan para la visualización y consulta de información, por la dependencia de otras interfaces o sistemas o por el tipo de distribución:

- Por la capacidad de las operaciones que lleva a cabo:
  - Sistemas de consulta de información geográfica, con opciones de visualización y recuperación de información.
  - Sistemas de consulta de información geográfica con opciones para el análisis espacial.
- Por las estructuras que soportan para la visualización y consulta de información:
  - Sistemas de consulta de información vectorial.
  - Sistemas de consulta de información ráster.
  - Sistemas mixtos de consulta de información geográfica.
- Por la dependencia de otras interfaces o sistemas:
  - Sistemas autónomos de consulta de información geográfica.
  - Sistemas de consulta de información geográfica montados en otras interfaces.
- Por el tipo de distribución:
  - Sistemas de consulta de información geográfica de plataforma local.
  - Sistemas de consulta de información geográfica de plataforma web.

Derivado de lo anterior se describen a continuación, los recursos implementados para la creación del visualizador:

### **Aplicación HTML, CSS, Javascript.**

Gracias a las nuevas implementaciones en *Javascript*, *HTML* y *CSS* se convirtieron pronto en la más perfecta combinación para la necesaria evolución de la web. *HTML5* es, de hecho, una mejora de esta combinación, el pegamento que une todo. *HTML5* propone estándares para cada aspecto de la web y también un propósito claro para cada una de las tecnologías involucradas, es decir *HTML* provee los elementos estructurales, *CSS* se encuentra concentrado en cómo volver esa estructura utilizable y atractiva a la vista, y *Javascript* tiene todo el poder necesario para proveer dinamismo y construir aplicaciones web completamente funcionales. *HTML5* puede ser imaginado como un edificio soportado por tres grandes columnas: *HTML*, *CSS* y *Javascript* (Gauchat, 2012).

### **HTML.**

El “lenguaje de marcado de hipertexto” o “*HTML*” es el lenguaje detrás de la apariencia del documento en Web. En realidad, es un conjunto de convenciones que marcan las partes de un documento, que le informa a un navegador que formato distintivo debe aparecer en cada una de las páginas (Reza, 2014). El *CSS* (Cascading Style Sheets), es un lenguaje que trabaja junto con *HTML* para proveer estilos visuales a los elementos del documento, como tamaño, color, fondo, bordes, etc. (Gauchat, 2012). Para Luján (2005) es una “Tecnología empleada en la creación de páginas web, que permite un mayor control sobre el lenguaje *HTML*. Permite crear hojas de estilo que definen como cada elemento, como por ejemplo los encabezados o los enlaces, se tiene que mostrar. El término “en cascada” indica que diferentes hojas de estilo se pueden aplicar sobre la misma página”.

## **JavaScript.**

*JavaScript* es un lenguaje interpretado usado para múltiples propósitos, considerado como un complemento una de las innovaciones fue el desarrollo de nuevos motores de interpretación, creados para acelerar el procesamiento de código. La clave de los motores más exitosos fue transformar el código *JavaScript* en código máquina para lograr velocidades de ejecución similares a aquellas encontradas en aplicaciones de escritorio, esta mejorada capacidad permitió superar viejas limitaciones de rendimiento y confirmar el lenguaje *JavaScript* como la mejor opción para la web (Gauchat, 2012). El mismo autor menciona que: “para aprovechar esta prometedora plataforma de trabajo ofrecida por los nuevos navegadores, *JavaScript* fue expandido en relación con portabilidad e integración. A la vez, interfaces de programación de aplicaciones (*API*) fueron incorporadas por defecto en cada navegador para asistir al lenguaje en funciones elementales. *API* como *Web Storage*, *Canvas* y otras son interfaces para librerías incluidas en navegadores donde la idea es hacer disponible poderosas funciones a través de técnicas de programación sencillas y estándares, expandiendo el alcance del lenguaje y facilitando la creación de programas útiles para la web”.

## **Navegador web.**

Un navegador es un software que permite ver páginas web y copiarlas, guardarlas e imprimirlas, también permite navegar en un sitio web siguiendo los vínculos, yendo hacia atrás y hacia adelante y cambiando rápidamente las páginas web favoritas que han marcado. Ejemplos de éstos son *Netscape Communicator*, *Microsoft Internet Explorer* y *Mozilla Firefox* entre otros (Fielding & Taylor, 2002 citado en Reza, 2014).

### **Servidor web Apache Tomcat.**

Es un gestor de aplicaciones, es decir un contenedor web con soporte de *servlets* y *JSPs*. Tomcat incluye el compilador Jasper, que compila *JSP* y *JSF* convirtiéndolas en *servlets*. El motor de *servlets* de Tomcat a menudo se presenta en combinación con el servidor web *Apache*. *Tomcat* puede funcionar como servidor web por sí mismo. En sus inicios existió la percepción de que el uso de *Tomcat* de forma autónoma era sólo recomendable para entornos de desarrollo y entornos con requisitos mínimos de velocidad y gestión de transacciones. Hoy en día ya no existe esa percepción y *Tomcat* es usado como servidor web autónomo en entornos con alto nivel de tráfico y alta disponibilidad. Dado que *Tomcat* fue escrito en *Java*, funciona en cualquier sistema operativo que disponga de la máquina virtual *Java*, su arquitectura jerárquica y modular; en el caso del protocolo *HTTP* (*Hyper Text Transfer Protocol*) es el puente de comunicación entre la aplicación y el servidor web, por lo que este protocolo es un acuerdo para que se puedan entender el cliente y el servidor.

### **Servidor de mapas Geoserver.**

Para comprender qué es *Geosever*, Zizumbo (2016a) explica que: un servidor web escrito en *Java* que permite compartir datos geoespaciales en forma de un mapa elaborado o un formato personalizado desde el mismo servidor web a páginas web o de sí mismo a otras aplicaciones web, como algunos *GIS* desktop como *QGIS*. Los datos se publican a través de interfaces basadas en estándares, como *Web Map Service (WMS)*, *Web Feature Service (WFS)*, *Web Coverage Service (WCS)*, *Web Processing Service (WPS)*.

*GeoServer* viene con una interfaz de administración basada en navegador y se conecta a múltiples fuentes de datos. Una gran ventaja es que admite gran cantidad de formatos ya sea vectoriales o ráster y puede re-proyectar los datos desde su mismo portal seleccionando la proyección de la base de datos *EPSG*.

Adicionalmente se pueden agregar complementos para incrementar la capacidad de soporte de formatos en *Geoserver*” ya que este es un servidor de datos espaciales, una aplicación web de código abierto, escrito en Java, que permite a los usuarios compartir y editar datos espaciales, está diseñado para la interoperabilidad y para publicar datos espaciales de cualquier fuente, utilizando estándares abiertos que establece el OGC.

### ***Servidor de bases de datos PostgreSQL y extensión espacial PostGIS .***

*PostgreSQL* es un gestor de bases de datos orientadas a objetos, muy conocido y usado en entornos de software libre porque cumple los estándares *SQL92* y *SQL99*, y también por el conjunto de funcionalidades avanzadas que soporta, lo que lo sitúa al mismo o a un mejor nivel que muchos *SGBD* comerciales. *PostgreSQL* fue desarrollado en la Universidad de Berkeley a partir de 1994, ya entonces, contaba con prestaciones que lo hacían único en el mercado y que otros gestores de bases de datos comerciales han ido añadiendo durante este tiempo (Camps *et. al.*, 2005)

En los *SGBD* la base de datos geográfica se integra a través de extensiones espaciales que soportan el almacenamiento de geometrías, para ello existen dos tipos de datos que son estándar en el almacenamiento de datos espaciales: *geometry* y *geography*.

El tipo *geometry* maneja un sistema de coordenadas planas mientras que el tipo *geography* maneja un sistema geodésico, ambos tipos de datos son utilizados para almacenar información espacial. En el caso del software *PostgreSQL* se integran ambos tipos de datos a través de su extensión espacial *PostGIS*, donde se incluye la tabla “*spatial\_ref\_sys*” que contiene información descriptiva sobre los sistemas de referencia espacial, o también llamados Sistemas de Referencia de Coordenadas soportados por *PostGIS*, esta tabla tiene más de 3900 *SRID* diferentes y los detalles necesarios para transformar o re-proyectarse entre ellos.

En casi todos ellos se ha utilizado el estándar *EPSG*. El sistema gestor para realizar el proyecto es *PostgreSQL* (versión 9.4) con su extensión espacial *PostGIS* (versión 22).

### **Servidor de mapas base**

Un *WMS* (*Web Map Service* que se traduce como Servicio de Mapas Web) es un estándar para publicar cartografía en Internet cuyas especificaciones se basan en el OGC, este servicio permite generar mapas de forma dinámica a partir de coordenadas geográficas en un formato de imagen como PNG, GIF o JPEG, facilitando con ello la construcción de mapas personalizados a partir de datos tomados de distintas fuentes, esto es posible gracias al CGI.

Un servicio *WMS* se utiliza para consultar información cartográfica vía internet, su consulta puede realizarse a través de Sistemas de Información Geográfica en equipos de escritorio o para la construcción de aplicaciones híbridas en web (*Mashups*).

### **API de desarrollo: OpenLayers.**

*Application Program Interface* o *API* es un conjunto de servicios, recursos y librerías de clase alojadas en un servidor remoto o local que se pueden consumir desde una máquina cliente. Estos recursos proveen funcionalidad agregada a los sistemas que se desarrollan localmente, los cuales se pueden consumir a través de librerías de clase, mapas, gráficas, etc. (Ramos, 2017).

Luján y Aragonés (2005) expresan que es una “interfaz de programación de aplicaciones. Conjunto de constantes funciones y protocolos que permiten programar aplicaciones.

Una buena *API* facilita la tarea de desarrollar aplicaciones, ya que facilita todas las piezas y el programador sólo tiene que unirlos para lograr el fin que desea”. *OpenLayers* es principalmente una *API*, es decir una biblioteca de funciones para manejar la navegación de mapas en la web que proporciona unos cuantos objetos muy útiles para la interacción del usuario con el mapa, por lo tanto “es un cliente Web ligero sin dependencia de servidores de mapas concretos. Ofrece un interfaz de usuario simplificado que ataca a servicios *WMS* y *WFS* de forma transparente para el usuario y desarrollador.

Las características por las que ha destacado *OpenLayers* en su difusión en la comunidad es la simplicidad de uso, el soporte de tiles y cache y el acceso a mapas de Google o Bing” (Morales, 2017b).

Aunque *OpenLayers* es una librería muy completa se puede extender su operatividad, mediante el uso de plugin o complementos, éstos ofrecen funcionalidad adicional, como una extensión o integrándose a la *API*. La versión de *OpenLayers* empleada en este proyecto fue la v4.1.1.

En informática, un complemento y plugin se diferencian en que los plugin son desarrollados por empresas reconocidas y tienen certificado de seguridad y los complementos son realizados por uno o varios desarrolladores. En este proyecto un plugin se relaciona con *OpenLayers* para agregarle una función nueva y generalmente muy específica. Esta aplicación adicional es ejecutada por la aplicación principal e interactúan por medio de la interfaz de programación de aplicaciones.

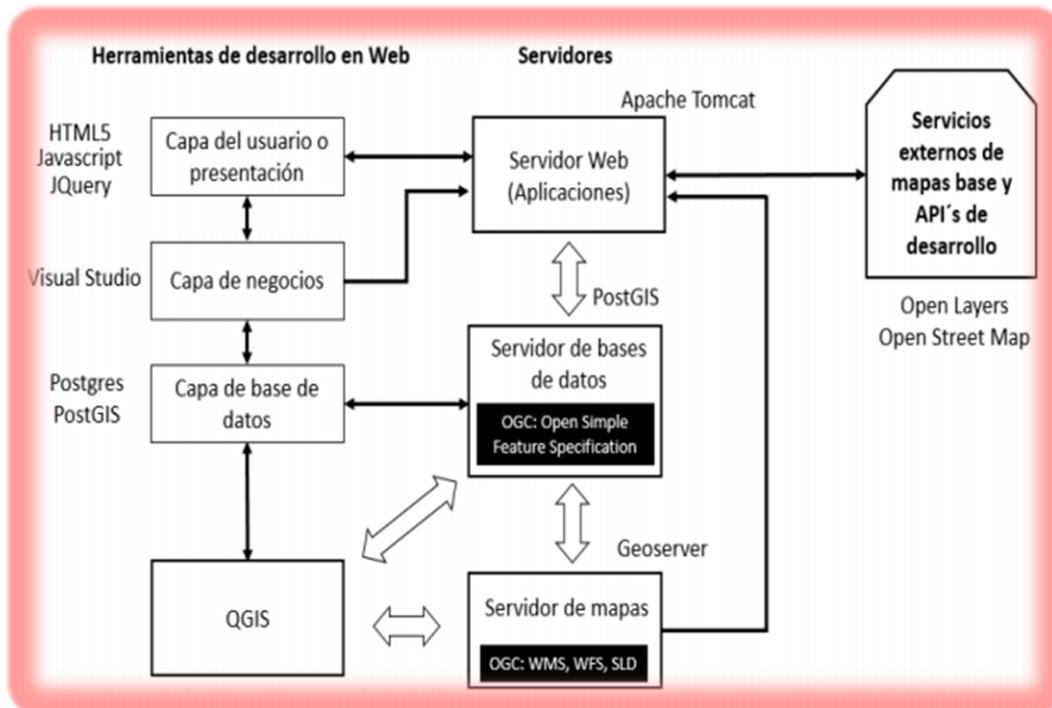
## Ficha técnica.

### Microsoft Visual Studio.

Visual Studio es un conjunto completo de herramientas de desarrollo para la generación de aplicaciones web ASP.NET, Servicios Web XML, aplicaciones de escritorio y aplicaciones móviles. *Visual Basic*, *Visual C#* y *Visual C++* utilizan todos, el mismo entorno de desarrollo integrado (IDE), permite a los desarrolladores crear sitios y aplicaciones web, así como servicios web en cualquier entorno que soporte la plataforma .NET, las cuales ofrecen acceso a tecnologías clave para simplificar el desarrollo de aplicaciones web ASP y Servicios Web XML. Para el proyecto se utilizó la versión 2012 con licencia de la UAEM

En el entorno de Visual Studio se desarrolló la parte más dinámica del proyecto. Se creó una ficha para que el usuario pueda registrar las visitas e información que realiza en cada jornal en una base de datos modificable con conexión a PostgreSQL.

### Diagrama metodológico de la arquitectura geotecnológica figura



## **Área de estudio.**

El estado de Yucatán se ubica al sureste de la República Mexicana, en la Península del mismo nombre. Geográficamente se encuentra entre las coordenadas extremas 21°36' y 19°32' de latitud norte y los meridianos 87°32' y 90°25' de longitud oeste. Está conformado por 106 municipios que se distribuyen en una superficie territorial de 39,524 Km<sup>2</sup> que representa el 2% de la superficie total del país ubicándolo en el lugar número 21 de los estados de México. La entidad colinda al Norte con el Golfo de México; al Este con Quintana Roo; al Sur con Quintana Roo y Campeche; y al Oeste con Campeche y el Golfo de México. De acuerdo con la Comisión Nacional del Agua.

El estado de Yucatán se encuentra en la Región Hidrológica No 32 y administrativamente se localiza en la Región XII de Península de Yucatán que abarca a todo el Estado. Existen dos regiones hidrológicas denominadas Región Yucatán Norte y Región Yucatán Este. La Región Hidrológica Yucatán Norte, es la principal en el Estado y ocupa el 97.04% de la superficie de la entidad (figura 5).

Dentro de esta Región, la Cuenca Yucatán es la que domina, con 95.82% de la superficie del Estado, mientras que la Cuenca Quintana Roo, sólo ocupa algunas porciones al este de la entidad con 1.22%. La Región Hidrológica Yucatán Este, sólo ocupa 2.96% de la superficie estatal y se localiza al sur e incluye solamente la Cuenca Cerradas (INEGI 2011).

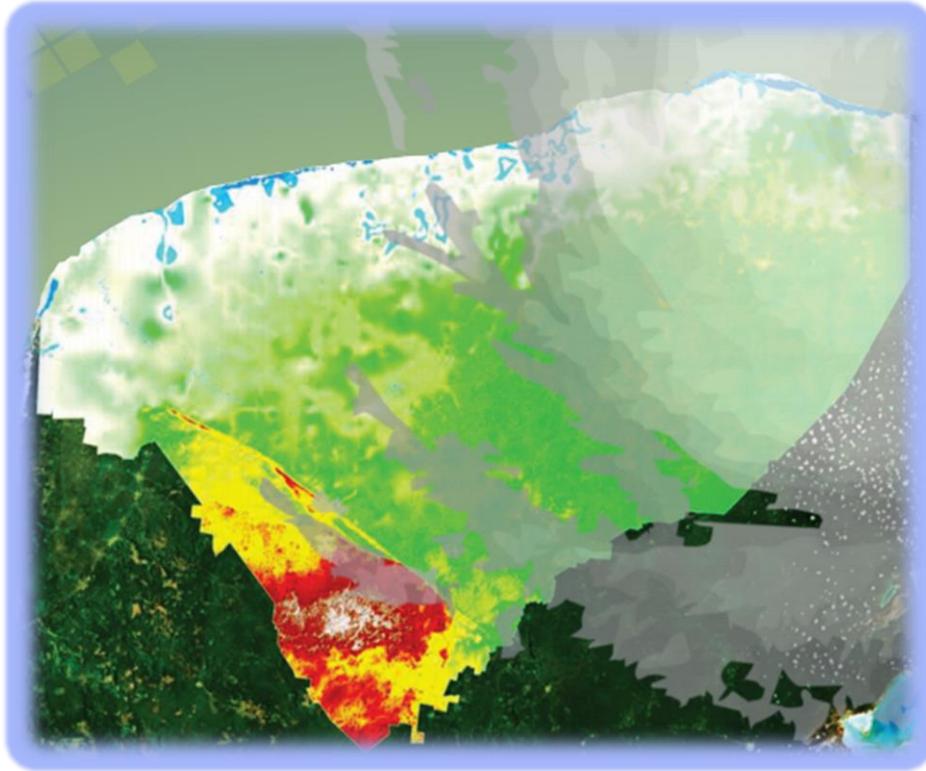


Figura 5. Imagen ilustrativa del Estado de Yucatán.

En términos generales, la vegetación tropical de la Península de Yucatán se ha adaptado a la escasez de lluvia y a las altas temperaturas, en un clima seco del tipo BS0 y BS1 que no rebasan los 700 mm en promedio y con temperatura media de 30 °C hasta 48°C (Flores G. y Kantún B., 2009 en Durán R. y M. Méndez. 2010). Estas comunidades se manifiestan a través de distintos tipos de vegetación y asociaciones terrestres.

La laguna de Chelem (21°15'47" N y 89°43'40" O) es un ecosistema acuático permanente que tiene una extensión de 13 km de largo y entre 0.7 y 1.8 km de ancho, con un área aproximada de ~21 km<sup>2</sup> (Jerónimo 2010). En la región el clima es cálido seco y semi-seco; la temperatura anual promedio es de 26.5°C; la precipitación es del orden de 700 a 800 mm.

Durante el año se definen tres épocas climáticas: 1) sequías (de marzo a mayo) con precipitaciones mínimas de 0-30 mm y 36° a 38°C de temperatura; 2) lluvias (junio a octubre) siendo septiembre el mes con mayor precipitación (125 mm); en septiembre y octubre es común el arribo de huracanes (precipitaciones de 350 mm al mes, vientos hasta 250 km/h); 3) nortes (noviembre a febrero) se caracteriza por la influencia de vientos polares, temperatura promedio de 23°C y precipitación de 40 mm (Echeverría y Piña 2003). Debido a la naturaleza cárstica de la península de Yucatán, los aportes de agua dulce a la laguna son por medio de descargas subterráneas (Herrera-Silveira *et al.* 2004).

La laguna de Chelem tiene baja profundidad (0.25 y 1.5 m) y un único canal de comunicación con el mar ubicado cerca del puerto de Yucalpetén de gran importancia pesquera para la región (Marino-Tapia y Enríquez 2010).

Esta laguna tiene un sustrato principalmente arenoso y relativamente rico en materia orgánica, además de ser hiperhalina, con variaciones de salinidad en ocasiones despreciables, o bien, drásticas debido a la fuerte evaporación o al paso de huracanes. (Figura 5)

La salinidad para la zona central de la laguna Chelem tiene rangos promedios entre 36 y 39 unidades prácticas de salinidad (ups) (Marino-Tapia y Enríquez 2010) y en ocasiones extraordinarias se tienen registros desde 10 ups (Huracán Gilberto en 1988), a 65 ups en épocas donde la precipitación es nula (Aguilar y Gómez 1982; Valdez *et al.* 1994). La temperatura en la zona central tiene promedios entre 22° y 30°C (Marino-Tapia y Enriquez 2010).

En la laguna de Chelem abundan las Rhodofitas (*Gracilaria spp*; *Acanthophora spp.*, *Euchema spp.*; *Laurencia spp.*), las Chlorofitas (*Penicillus spp.*, *Dasycladus spp.*) y los pastos marinos (monocotiledoneas: *Halodule* y *Syringodium spp*) (Jesus y Eúan-Avila 2007). (Figura 6) Las macroalgas son comunes para la región tropical y presentan mayor porcentaje de cobertura y biomasa en temperaturas de 34 a 37 °C y buena disponibilidad de luz, por lo que están bien adaptadas a zonas poco profundas (Walaku 2006).

En ocasiones la turbidez del agua puede variar marcadamente y la visibilidad disminuir notoriamente como resultado de la influencia de los manglares que rodean el borde la de laguna, especialmente durante la marea vaciante durante la época de lluvias y nortes.



Figura 5. Imágenes ilustrativas de la Laguna de Chelem, Estado de Yucatán.

## **Metodología.**

### Trabajo en campo.

Se salió de Puerto de Chelem el día 26 de enero de 2018 a las 08:30 horas a bordo de una lancha con motor, partiendo de la coordenada 21°15'48.88"N; 89°44'29.14"O (Figura 7) con la finalidad de recorrer la Laguna de Chelem y ubicar los probables sitios de presencia en la distribución de caballito de mar (*Hippocampus erectus*) (figura 11 y 13). Generar una base de datos geospaciales mediante la georreferenciación apoyada del uso de un GPS marca Garmin modelo etrex-Vista, datum WGS84 Zona 16N, con una exactitud de  $\pm 2$ mts y tomada la altitud a m.s.n.m.

En la figura 8, se muestran las ubicaciones puntuales correspondientes a las coordenadas geográficas obtenidas en los sitios de muestreo; en cada sitio se realizó un arrastre tratando de abarcar un área referente a un transecto el cual mantuviera un ancho estándar de 25 metros. y un largo de 30 metros, la red fue arrastrada cubriendo un área aproximada de  $\sim 750$  m<sup>2</sup>.

Con la finalidad de homologar el esfuerzo de captura registrado por ProjectSeahorse se empleó una red tipo chinchorro con copo anidado la red con una longitud de 50 metros por 80 centímetros de ancho y una luz de malla de 1.5 cm.

El trabajo en campo tuvo un jornal activo de 5 horas, tomando fotografías in situ del tipo de sustrato que se encontró en los puntos de muestreo. Durante esta salida de muestreo se recolectó información en 12 puntos diferentes.

### Visualizador web

Los componentes necesarios para el intercambio de información geográfica a nivel web son un Servidor Web, un Servidor de Mapas y un Servidor de Bases de datos, en el mercado existen servidores de licencia, sin embargo, en este proyecto se manejó la información a través de servidores gratuitos compatibles con los estándares de la OGC.

Es importante resaltar que estos servidores ayudan a la visualización de la información más no al análisis geográfico.

Asimismo, para este proyecto se requirió el uso de los siguientes componentes: una página web, una aplicación desarrollada en HTML, CSS y Javascript, una API de desarrollo y varios servidores de mapas base ver figura 9.

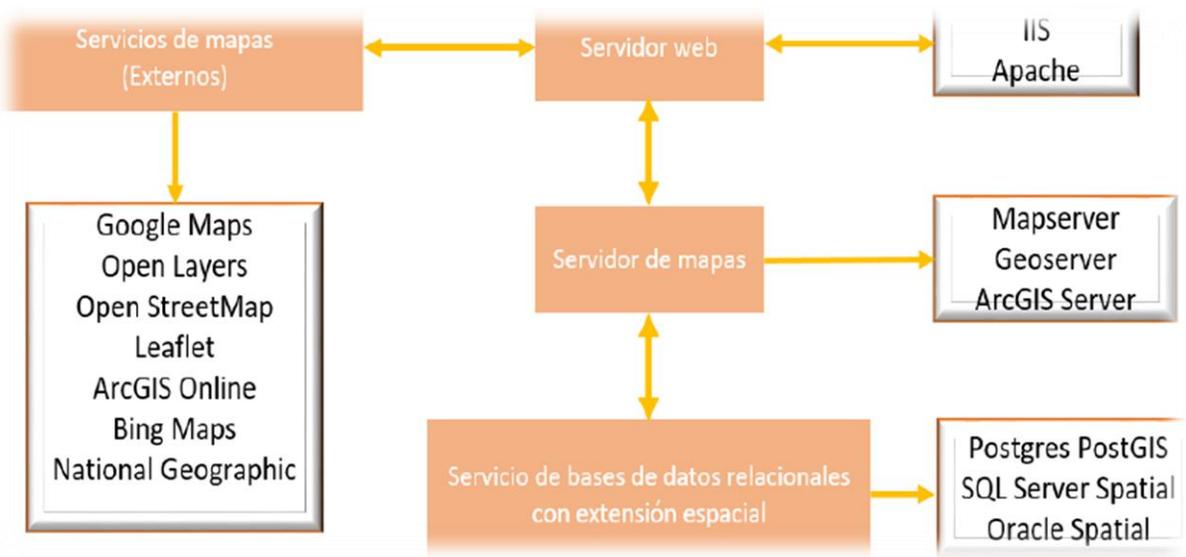


Figura 9. Arquitectura de un servidor de mapas en web, tomada de Ramos 2017.

Una vez realizada la base de datos geográfica, se implementó el visor web, por lo que después de crear la base de datos geográfica, el primer paso para realizar el visor web fue instalar la paquetería de *Java*, luego *Apache Tomcat* y finalmente se instaló el servidor de mapas *Geoserver* que en cuanto al despliegue de la información tiene una interfaz amigable, además es gratuito y cuenta con gran amplitud de formatos y servicios soportados, desde aquí se publicaron las capas de información.

La siguiente acción fue agregar la página web y la aplicación que contendría al *OpenLayers* esto se realizó con lenguajes *HTML5*, *CSS*, *Javascript* y *Jquery*. El diseño de la página web se realizó en un modelo website, por lo que se modificó el lenguaje *HTML* en el software *NotePad++* y para el diseño de la pantalla sobre la que se publicaría el *API OpenLayers*.

Para que la cartografía sea dinámica en el sistema web se necesita que las capas de información estén en el *SGBD*, las cuales se pueden publicar con el complemento espacial *PostGIS*, por lo tanto, en el tercer paso se importaron las capas a *PostgreSQL*, es decir, se realizó una conexión de los shapefile al sistema gestor de base de datos, mediante la extensión espacial *PostGIS* que ayuda a ejecutar funciones espaciales.

Se agregaron las capas de la base de datos al servidor de mapas *Geoserver*. El siguiente paso fue crear los estilos en formato *\*.sld* con el software *QGIS* y *Atlas Styler*, para posteriormente integrar los formatos en los datos que tenemos en *GeoServer*. A continuación, es importante corroborar que el estilo sea correcto para que sea visible la capa en *Geoserver* como en *OpenLayers*, cada una de las etapas se muestra en la figura 10 del diagrama de la arquitectura geotecnológica por implementación de servidor web.

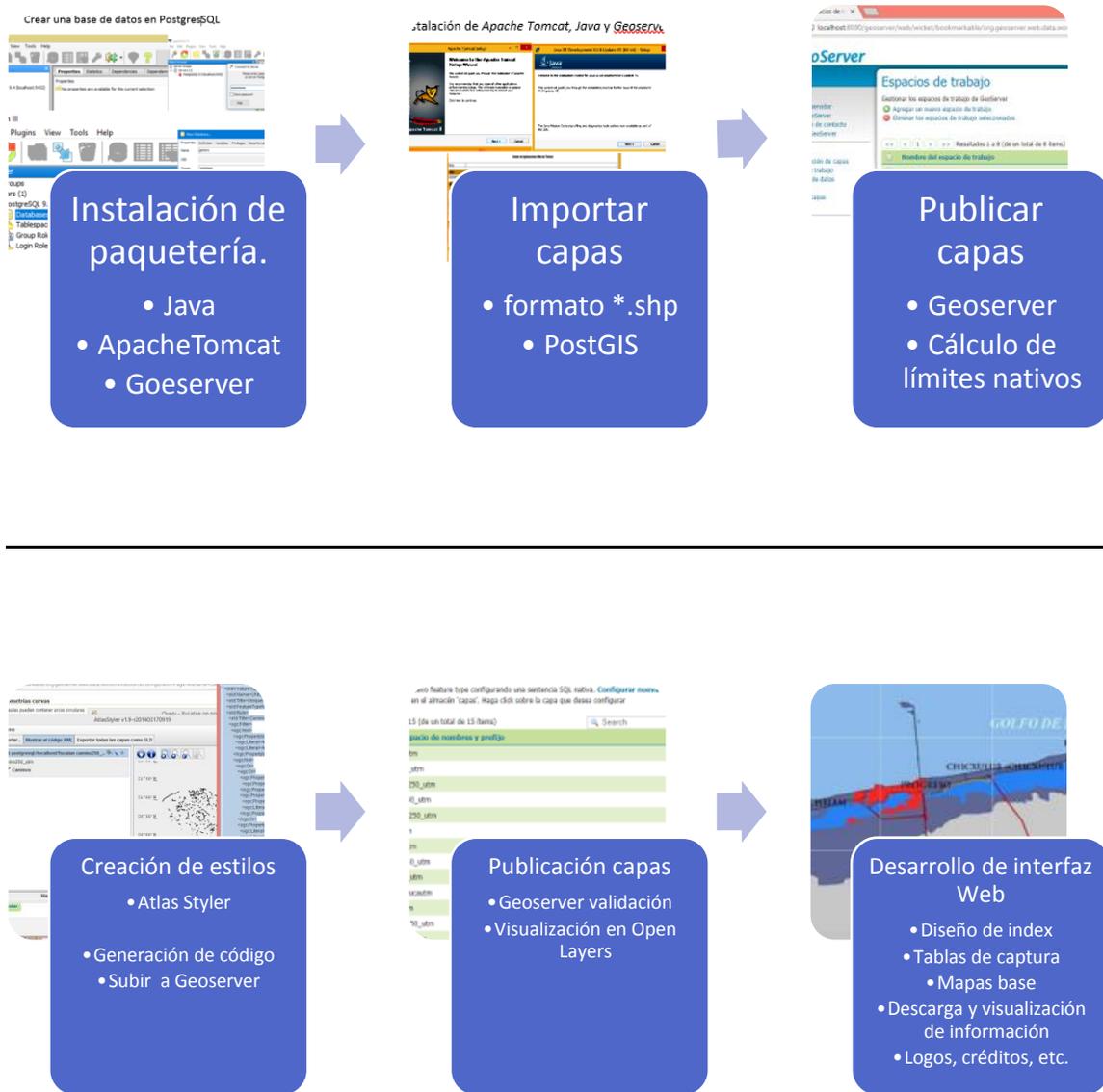


Figura 10. Diagrama de implementación de servidor web.

## Resultados

### Trabajo en campo



Figura 7 Vista del embarcadero de la Laguna costera de Chelem. enero 2018.



Figura 6. Tipos de sustratos conformados por macroalgas y pastos marinos dentro de la laguna de Chelem, Yucatán, México.



Figura 8. Puntos de muestreo dentro de la laguna de Chelem, enero 2018



Figura 11. Fotografías de ejemplares colectados en campo, sin embargo, no hubo presencia en los arrastres de la especie objeto de estudio *Hippocampus erectus*, la cual también se ilustra de los individuos presentes dentro del laboratorio de ecología y conservación de la unidad académica Yucatán, UNAM.

Dentro del trabajo realizado en campo no se pudo encontrar ningún individuo presente dentro de la zona muestreada correspondiente a la especie *Hippocampus erectus*; sin embargo, si se encontró con presencia de peces pipa (*Syngnathus louisianae*) los cuales pertenecen a la familia *Syngnathidae* misma a la cual pertenecen los caballitos de mar; también se observó presencia de otras especies de peces como lo son, *Synodus foetens* (pez apestoso o iguana), *Chilomycterus schoepfii* (pez erizo o itchpuf conocido localmente), *Sphoeroides testudineus* (pez globo común); *Acanthostracion quadricornis* (pez torito azul); *Stephanolepis bispidus* (pez lija) (ver figura 11 y 12), así como la pesca incidente de otras especies de invertebrados.

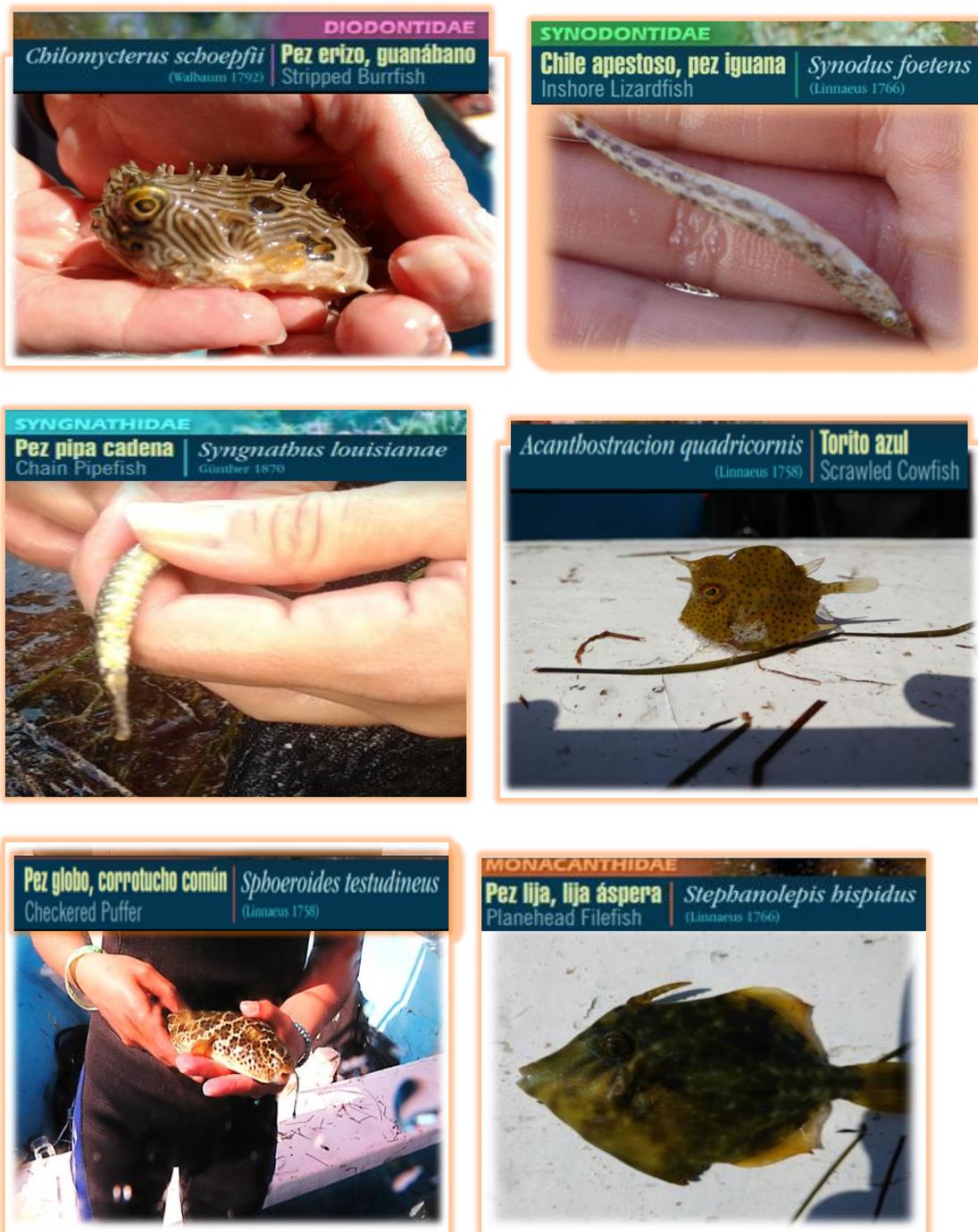


Figura 12. Especies de peces colectados en el trabajo de campo, enero 2018.



Figura 13. Fotografía de reproductores de *Hippocampus erectus*.

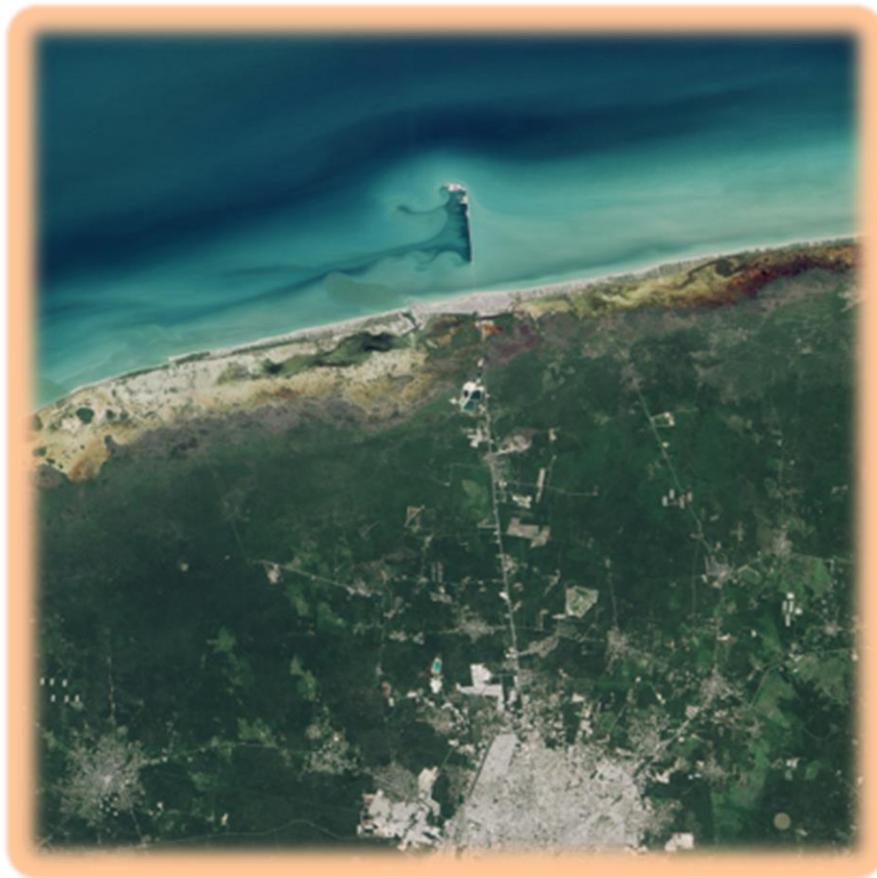
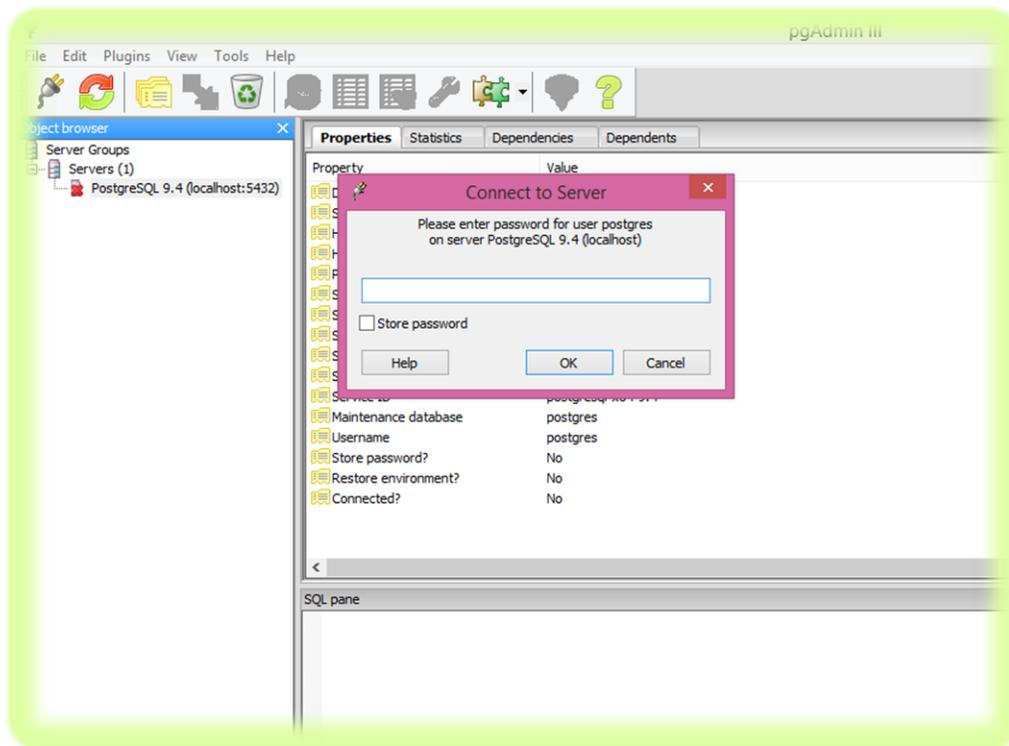


Figura 14. Imagen de satélite OLI referente a una parte del estado de Yucatán donde es observable el municipio de Progreso.

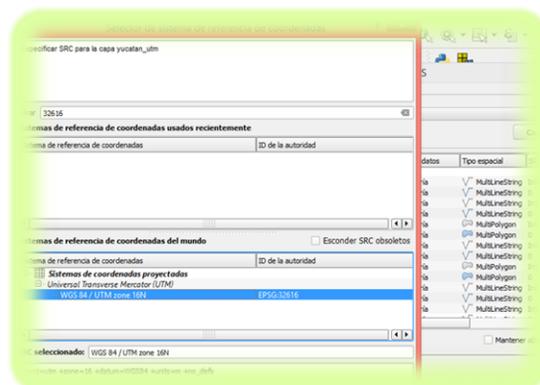
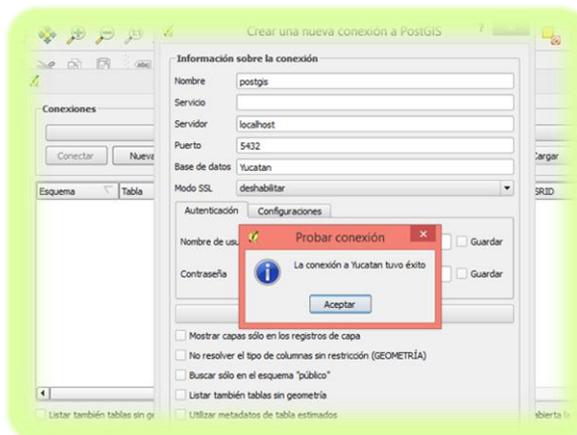
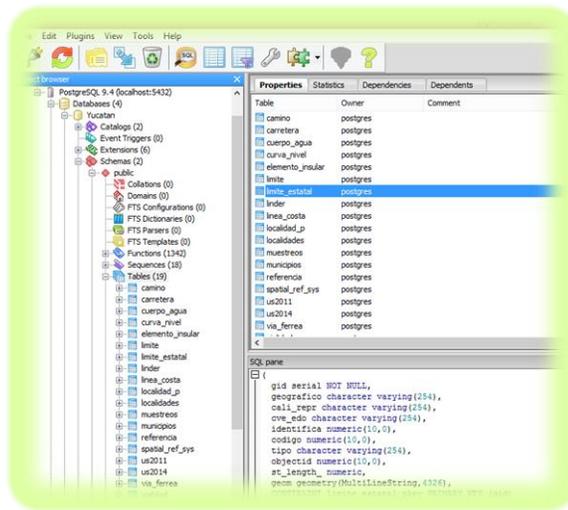
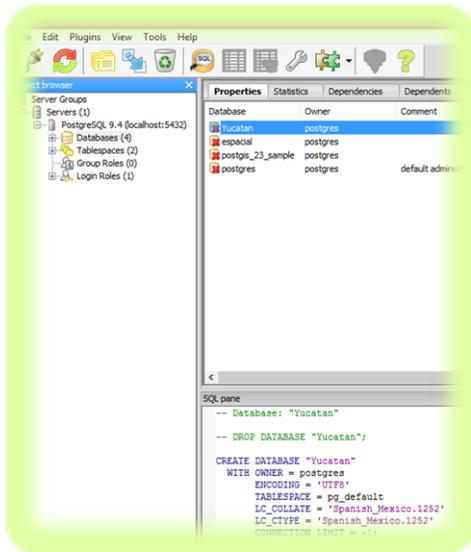
## Visualizador web

El desarrollo del visualizador para consulta, georreferenciación y análisis de poblaciones de caballito de mar (*Hippocampus erectus*) en el estado de Yucatán, se realizó partiendo del modelo conceptual, así como los procedimientos estructurados del apartado de la metodología y aplicando las herramientas pertinentes, con el fin de llevar un orden en el procedimiento. Para poder llevar a cabo el desarrollo del visualizador se realizó utilizando *HTML*, *GeoServer* y *QGIS* debido a que estas herramientas son de libre acceso.

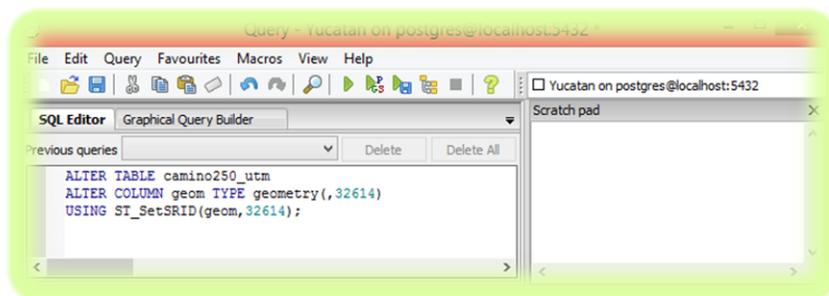
### Conectar PostgreSQL.



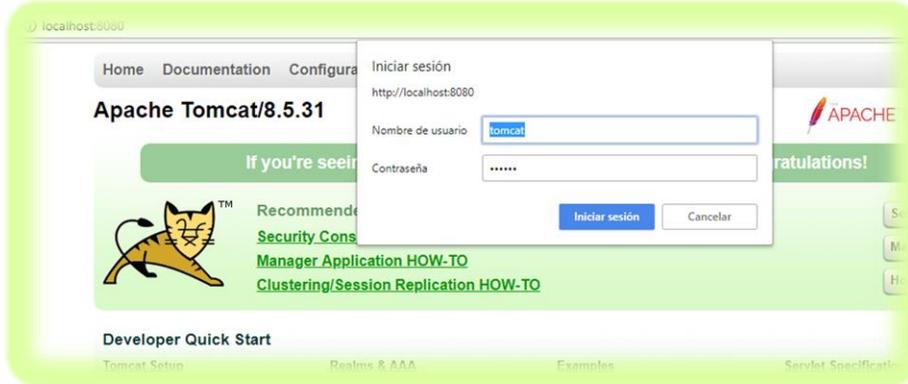
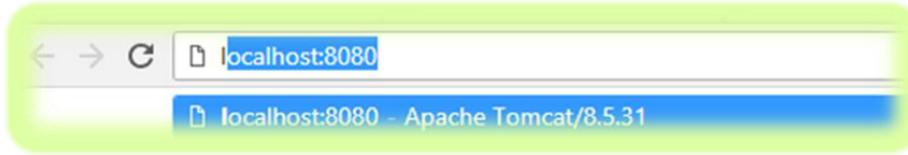
## Creación, conexión y sistema de referencia de la BDE vectorial en PostGIS.



### Definición de geometría.



## Conexión de Apache Tomcat.



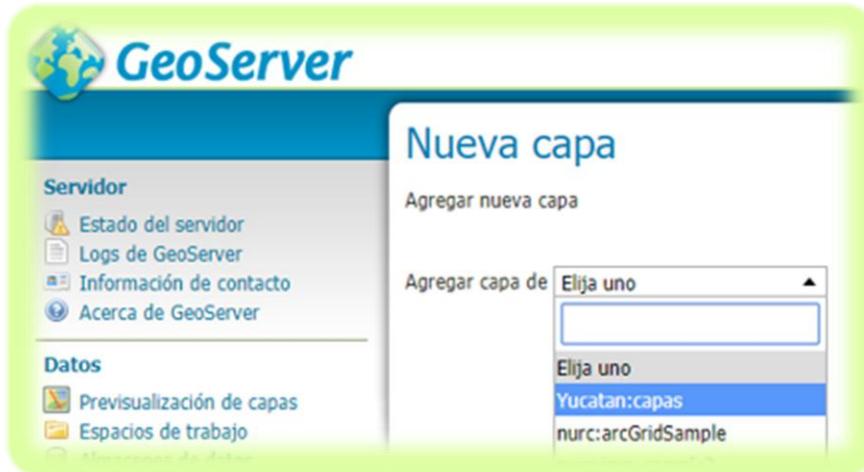
## Entrada de conexión a Geoserver.



### Creación de espacio de trabajo.



### Creación de almacenes de datos.



## Capas.

**Nueva capa**

Agregar nueva capa

Agregar capa de

Puede crear un nuevo feature type configurando manualmente los nombres y tipos de atributos. [Crear nuevo feature type...](#)  
 En bases de datos también puede crear un nuevo feature type configurando una sentencia SQL nativa. [Configurar nueva vista SQL...](#)  
 Esta es una lista de los recursos contenidos en el almacén 'capas'. Haga click sobre la capa que desea configurar

<< < 1 > >> Resultados 0 a 0 (de un total de 0 ítems)

Publicada	Capa con espacio de nombres y prefijo	Acción
	camino250_utm	Publicación
	carretera250_utm	Publicación
	cuerpo_agua250_utm	Publicación
	curva_nivel250_utm	Publicación
	elemento_ins250_utm	Publicación
	limite250_utm	Publicación
	lindero250_utm	Publicación
	linea_costa250_utm	Publicación
	localidad250_utm	Publicación
	localidades_yucautm	Publicación
	muni_yucautm	Publicación
	referencia_g250_utm	Publicación
	via_ferrea250_utm	Publicación

## Edición de estilos de capas Atlas Styler y QGIS.

AtlasStyler v1.9-r201403170919

Archivo

Importar... Mostrar el código XML Exportar todas las capas como SLD

No

**Steps**

1. Seleccione la fuente
2. Seleccionar la base de datos
3. Seleccionar tabla

**Seleccione la fuente**

Seleccione una fuente de importación:

Importar archivo

Importar Shapefiles ESRI (.shp or .zip) o capas ráster de una sola banda (GeoTiff o ArcASCII) a AtlasStyler. Esta es la manera más estable para usar AtlasStyler.

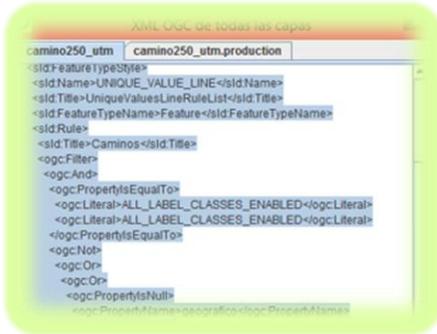
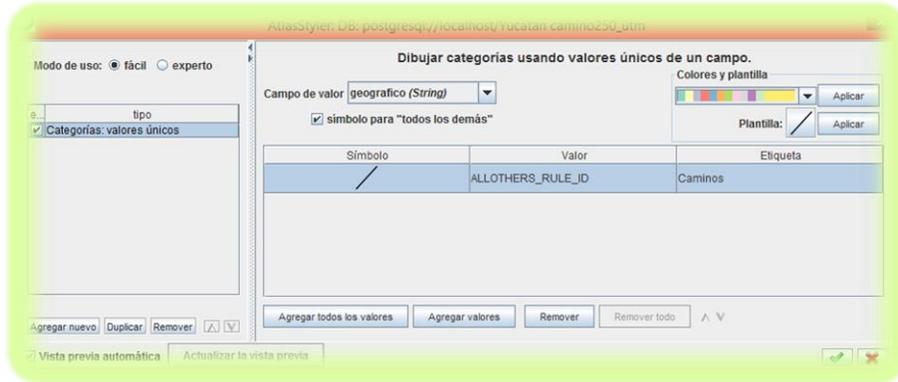
Conectar capa WFS

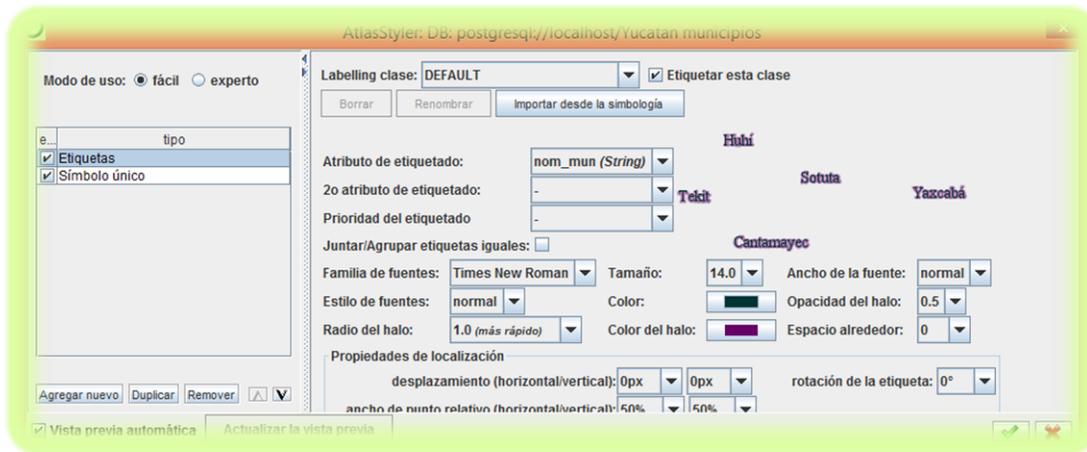
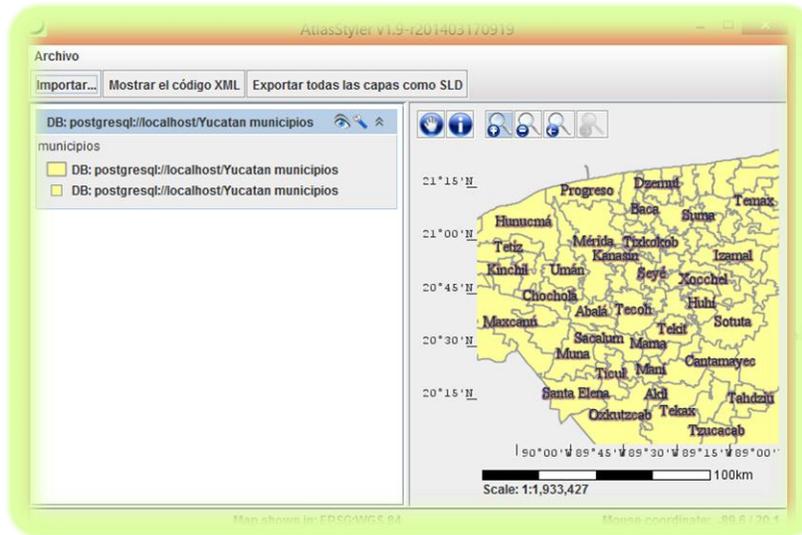
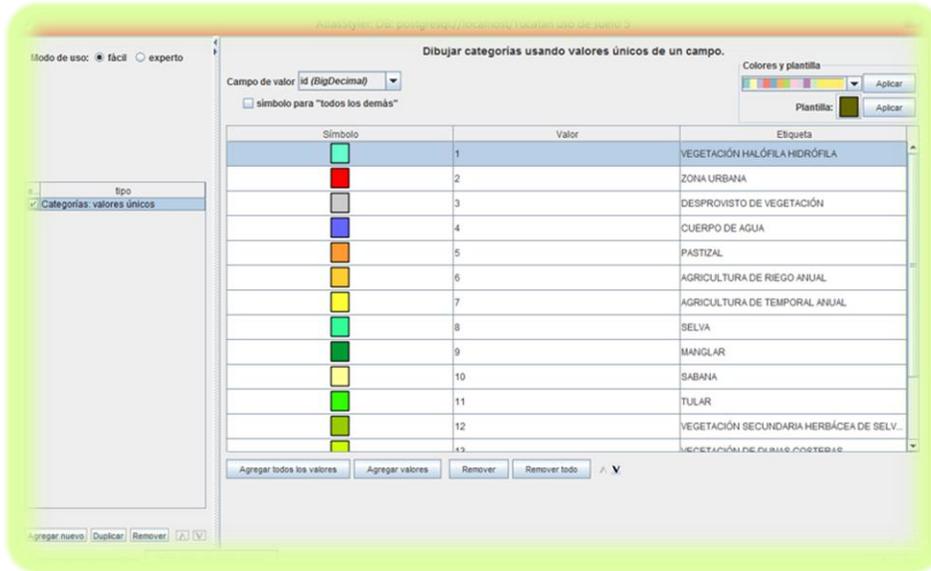
Conectar AtlasStyler a una capa vectorial WFS. Esto se ha probado principalmente en Geoserver, pero debería funcionar con cualquier OGC WFS 1.0.0 o 1.1.0

Agregar capa desde un servidor PostGIS

Conectar AtlasStyler a una tabla espacial en una base de datos PostgreSQL con la extensión PostGIS.

< Prev **Next >** Finish Cancel







## Diseño de la interfaz, lenguaje de programación.

```

<!DOCTYPE html>
<html>
  <meta charset="utf-8" />
  <meta name="viewport" content="initial-scale=1.0, user-scalable=no, width=device-width">
  <title>Hippocampus erectus</title>
  <link rel="icon" type="image/png" href="img/logo_world.png" />
  <!-- Styles for OpenLayers: General and Layer Panel Selection (layerSwitcher) -->
  <link type="text/css" rel="stylesheet" href="css/ol_custom.css" />
  <link type="text/css" rel="stylesheet" href="css/ol3-layerwitcher.css" />
  <!-- Styles for OpenLayers: Geocoder and Popup -->
  <link rel="stylesheet" href="css/ol3-popup.css">
  <link rel="stylesheet" href="css/ol3-geocoder.css">
  <!-- Javascript libraries for OpenLayers and JQuery -->
  <script src="https://openlayers.org/en/v3.12.2/build/ol.js"></script>
  <script type="text/javascript" src="js/ol.js" type="text/javascript"></script>
  <script src="js/jquery-2.1.1.js" defer="defer" type="text/javascript"></script>
  <!-- Necessary for Bootstrap -->
  <script src="https://ajax.googleapis.com/ajax/libs/jquery/1.12.2/jquery.min.js"></script>-->
  <script src="js/jquery.min.js"></script>
  <script src="bootstrap-3.3.7-dist/js/bootstrap.min.js" type="text/javascript"></script>
  <link rel="stylesheet" href="bootstrap-3.3.7-dist/css/bootstrap.min.css" />
  <link rel="stylesheet" href="bootstrap-3.3.7-dist/css/bootstrap-theme.min.css" />
  <link rel="stylesheet" href="font-awesome-4.7.0/css/font-awesome.min.css">
</head>
  
```

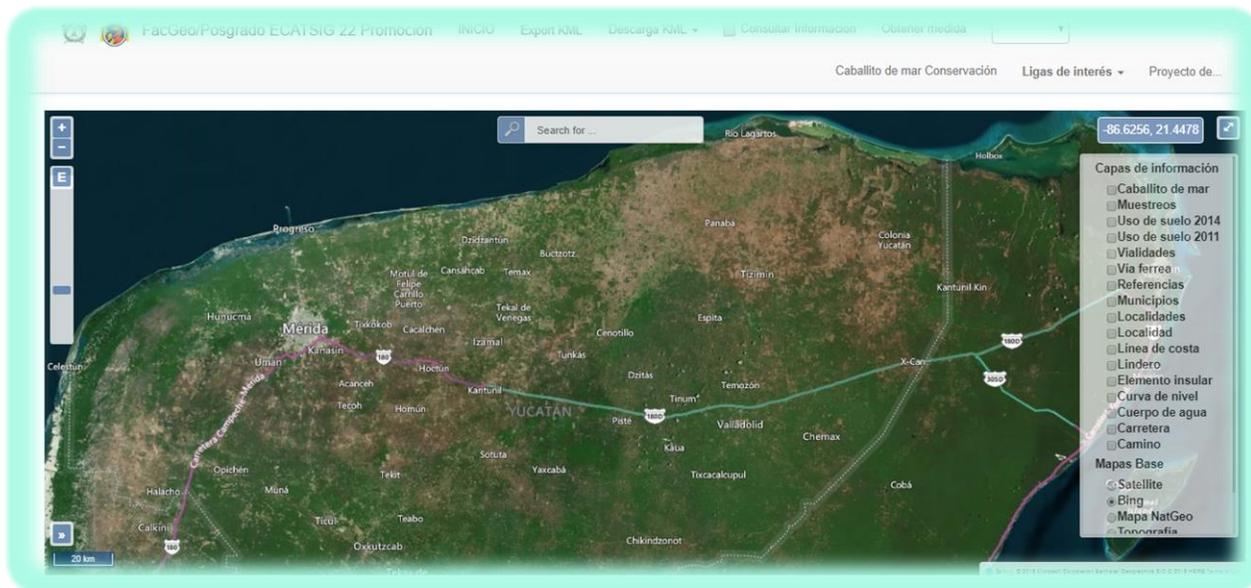
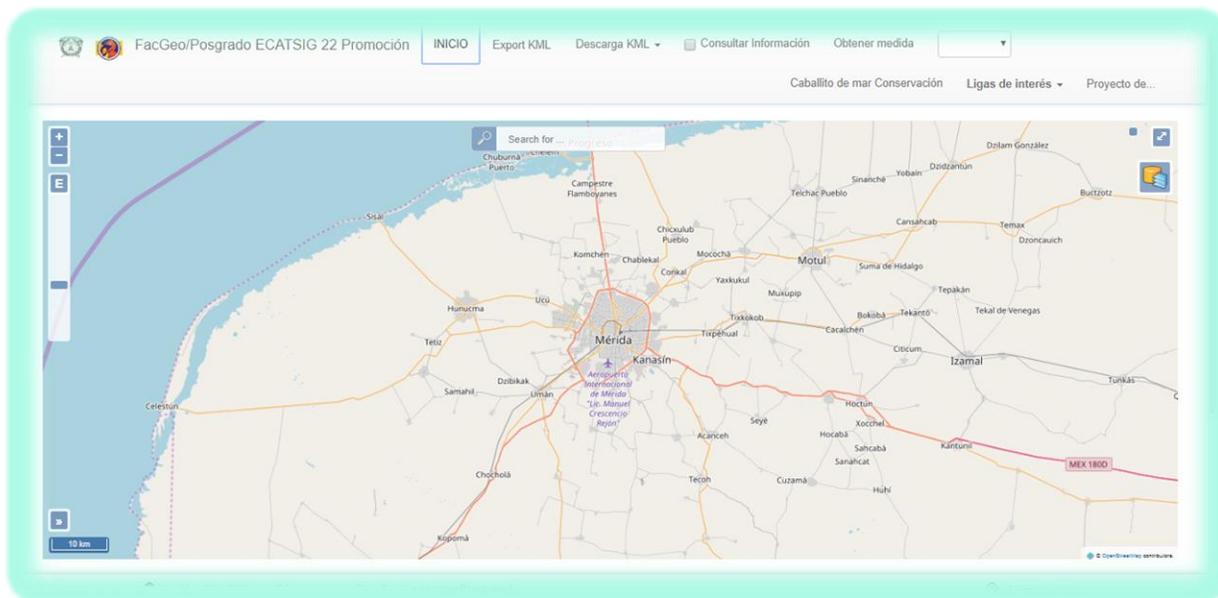
```

    url: 'http://localhost:8080/geoserver/Yucatan/ows',
    params: {'LAYERS': 'Yucatan:linea_owas', 'TILED': true},
    transparent: true,
    serverType: 'geoserver'
  }
  }
  new ol.layer.Tile({
    title: 'Localidad',
    visible: false,
    source: new ol.source.TileWMS({
      url: 'http://localhost:8080/geoserver/Yucatan/ows',
      params: {'LAYERS': 'Yucatan:localidad_p', 'TILED': true},
      transparent: true,
      serverType: 'geoserver'
    })
  }
  new ol.layer.Tile({
    title: 'Localidades',
    visible: false,
    source: new ol.source.TileWMS({
      url: 'http://localhost:8080/geoserver/Yucatan/ows',
      params: {'LAYERS': 'Yucatan:localidades', 'TILED': true},
      transparent: true,
      serverType: 'geoserver'
    })
  }
  new ol.layer.Tile({
    title: 'Municipios',
    visible: false,
    source: new ol.source.TileWMS({
      url: 'http://localhost:8080/geoserver/Yucatan/ows',
  
```

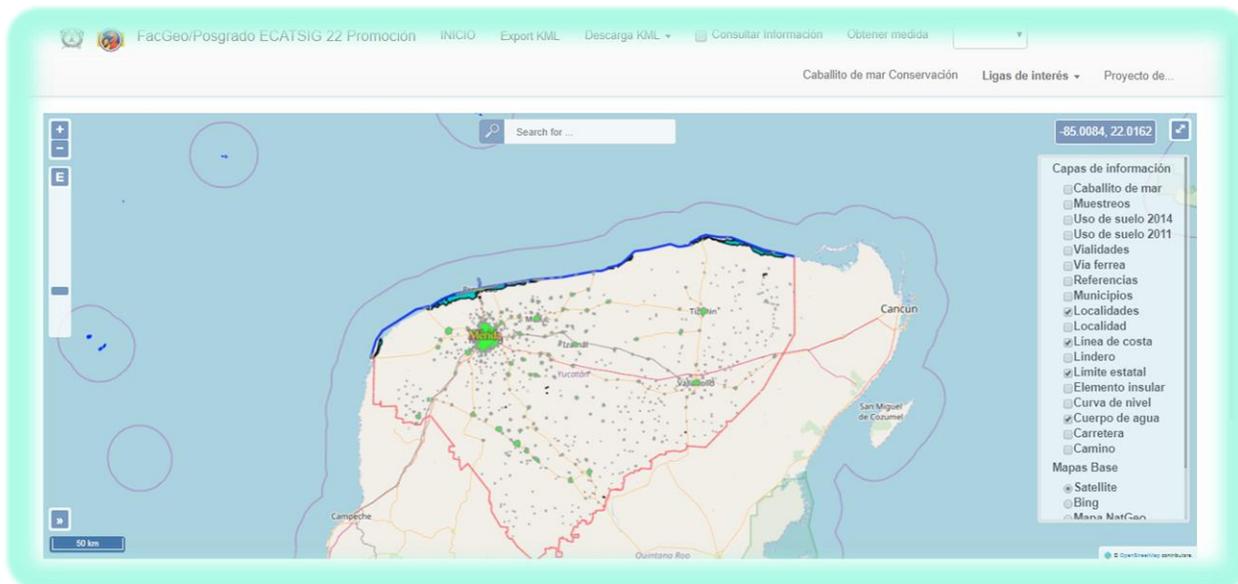
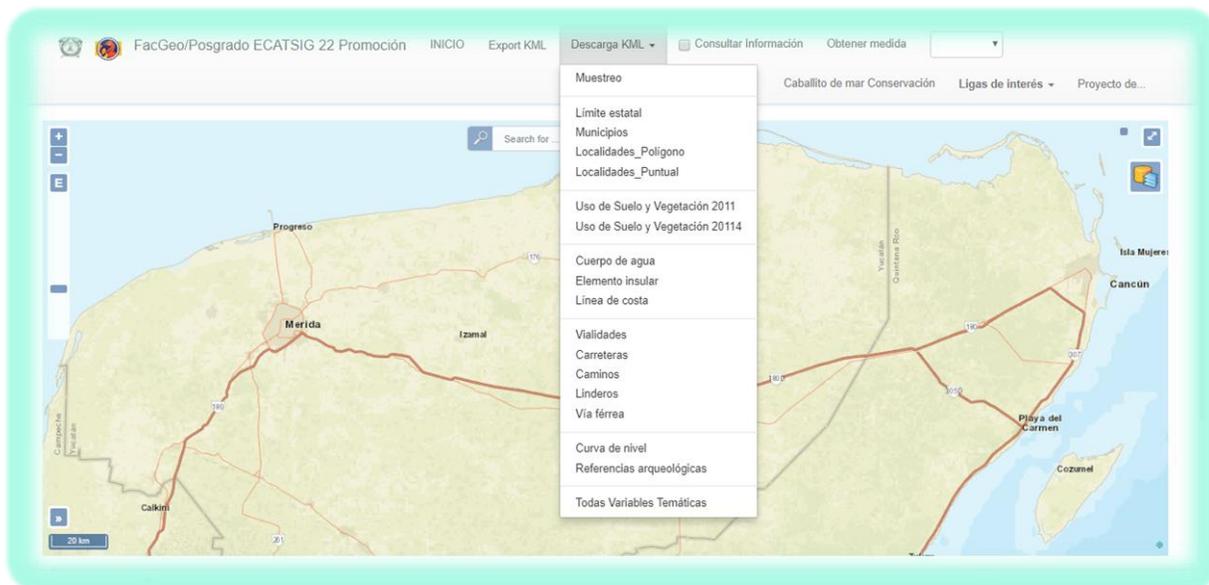
```

<div class="nav navbar-nav navbar-right" <!-- Login -->
<li > <span class="glyphicon glyphicon-log-in" style="font-size: 1.2em; vertical-align: middle; margin-right: 5px;">
    <li <a href="http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/obli2006258774v1e.html" target="blank">
      
    </li>
    <li <a href="https://sines.conam.gob.mx/pdf_especies/3.pdf" target="blank">
      
    </li>
    <li <a href="https://sites.org/sites/default/files/ann/ann2017/3-Asamblea2017-10-04.pdf" target="blank">
      
    </li>
    <li <a href="http://siicoma.sisal.unam.mx/" target="blank">
      
    </li>
    <li <a href="http://www.lunaresdelosocceos.com/occeos/occeos.html" target="blank">
      
    </li>
    <li <a href="http://www.proyectosahorras.org/action/ahorras/" target="blank">
      
    </li>
  </ul>
  <div class="input-group"
    <span class="input-group-addon"><i class="fa fa-envelope-o fa-fw"></i></span>
    <input class="form-control" type="text" placeholder="Correo electrónico">
  </div>
  <div class="input-group"
    <span class="input-group-addon"><i class="fa fa-key fa-fw"></i></span>
    <input class="form-control" type="password" placeholder="Contraseña">
  </div>
  <div style="text-align:center">
    <a class="btn btn-primary" style="width:120px;float:right"><i class="fa fa-user fa-fw"></i> Acceder</a><br>
    <a href="#"><i class="fa fa-pencil fa-fw"></i> Editar</a>
  </div>
  
```

### Presentación final del visualizador web.



## Presentación final del visualizador web.



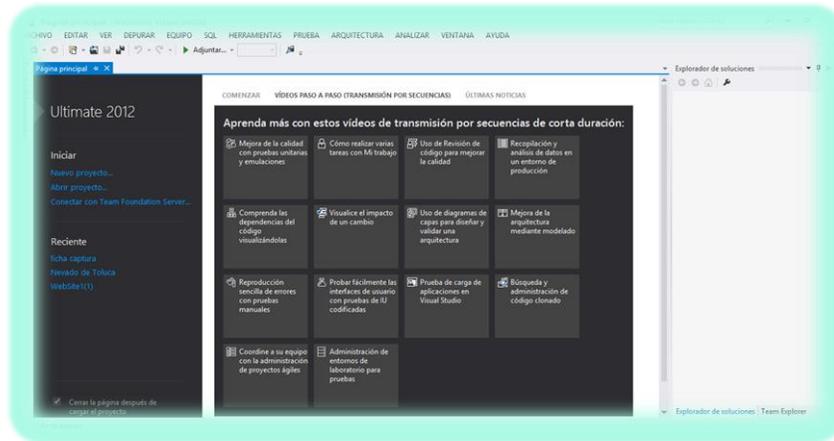
## Creación de la Ficha técnica.

Para la generación de la ficha técnica se utilizó el software Visual Studio, como primer paso se diseñó y se estructuró el formulario el cual dará forma a la ficha colocando por medio de lenguaje de programación los llamados `</div>` o módulos de trabajo.

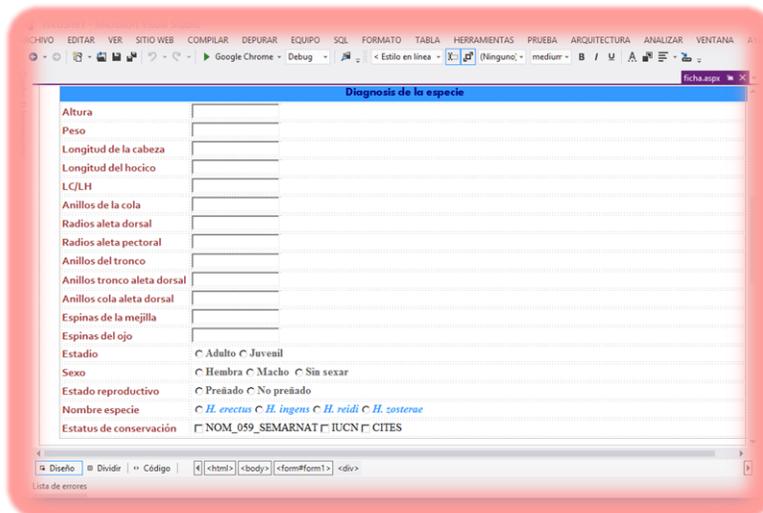
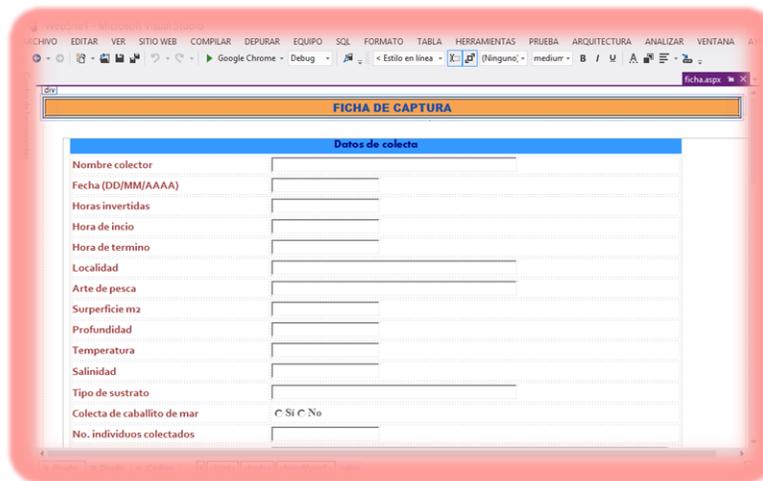
Los cuales nos servirán como base y guía para acomodar la información que contendrá nuestra ficha, dentro de estos se colocaron filas y columnas implementando dentro de estos espacios de trabajo las filas y columnas correspondientes con nuestro diseño y cantidad de información generando una tabla de contenido; en cada fila se representaron las características o variables de influencia con las cuales se conformó nuestra base de datos espaciales, para poder escribir dentro de ellas fue preciso la inclusión de espacios de texto llamados **Label**, en la columna correspondiente a los valores que serán aportados por el usuario se implementó un cuadro que permitirá escribir la información estos son los denominados **TextBox** estos dependiendo la variable si es de tipo numérica o carácter conllevan en su código de programación las características así como el largo específico de dicha información.

A su vez se crearon **botones** para actualizar y guardar la información en la correspondiente base de datos. Para finalizar esta información se verá reflejada tanto en la descripción de la base de datos, como en el visualizador de manera puntual.

## Plataforma inicial de trabajo de Visual Studio.



## El diseño ya creado a partir de los espacios de trabajo.



Código que se implementó para la creación de la ficha (definición de las variables por tipo).

```

protected void Button1_Click1(object sender, EventArgs e)
{
    string comando;
    string nombrecol = Convert.ToString(TextBox1.Text.Trim());
    string fecha = Convert.ToString(TextBox2.Text.Trim());
    double horasinv = Convert.ToDouble(TextBox3.Text.Trim());
    string horaini = Convert.ToString(TextBox4.Text.Trim());
    string horafin = Convert.ToString(TextBox17.Text.Trim());
    string localidad = Convert.ToString(TextBox5.Text.Trim());
    string artesca = Convert.ToString(TextBox7.Text.Trim());
    double supm2 = Convert.ToDouble(TextBox8.Text.Trim());
    double profundidad = Convert.ToDouble(TextBox9.Text.Trim());
    double temperatura = Convert.ToDouble(TextBox18.Text.Trim());
    double salinidad = Convert.ToDouble(TextBox11.Text.Trim());
    string tipostrato = Convert.ToString(TextBox12.Text.Trim());
    int colecta;
    int totalindv = Convert.ToInt32(TextBox15.Text.Trim());
    string otrasespecies = Convert.ToString(TextBox16.Text.Trim());
    double altura = Convert.ToDouble(TextBox18.Text.Trim());
    double peso = Convert.ToDouble(TextBox19.Text.Trim());
    double longcabz = Convert.ToDouble(TextBox20.Text.Trim());
    double longhoc = Convert.ToDouble(TextBox21.Text.Trim());
    double lch = Convert.ToDouble(TextBox22.Text.Trim());
    int anillocola = Convert.ToInt32(TextBox23.Text.Trim());
    int radaletdorsal = Convert.ToInt32(TextBox24.Text.Trim());
    int radaletpectoral = Convert.ToInt32(TextBox25.Text.Trim());
    int anillotronco = Convert.ToInt32(TextBox26.Text.Trim());
    int anillotroncodorsal = Convert.ToInt32(TextBox27.Text.Trim());
    int anillocoladorsal = Convert.ToInt32(TextBox28.Text.Trim());
    int espinamejilla = Convert.ToInt32(TextBox29.Text.Trim());
    int espinajo = Convert.ToInt32(TextBox30.Text.Trim());
}
    
```

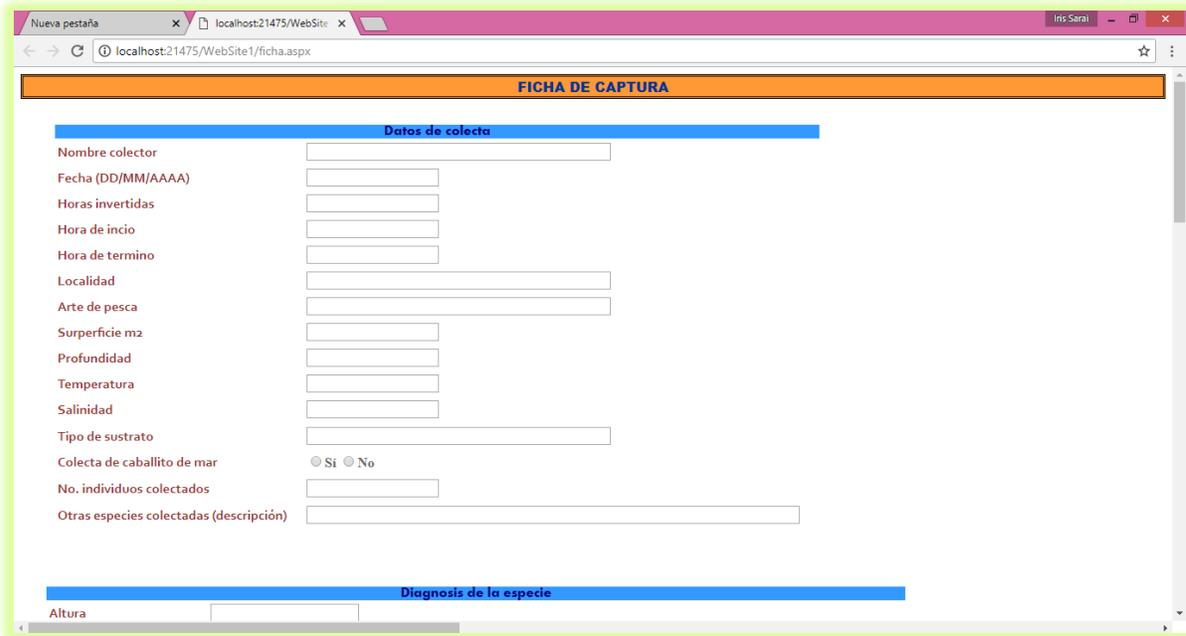
Código que se implementó para la creación de la ficha (definición de los espacios de trabajo).

```

<td>
    <asp:TextBox ID="TextBox3" runat="server" Width="150px"></asp:TextBox>
</td>
</tr>
<tr>
    <td class="auto-style2" style="font-family: corbel; font-size: inherit; font-weight: bold; color: #993333">Hora de inicio</td>
    <td>
        <asp:TextBox ID="TextBox4" runat="server" Width="150px"></asp:TextBox>
    </td>
</tr>
<tr>
    <td class="auto-style2" style="font-family: corbel; font-size: inherit; font-weight: bold; color: #993333">Hora de termino </td>
    <td>
        <asp:TextBox ID="TextBox17" runat="server" Width="150px"></asp:TextBox>
    </td>
</tr>
<tr>
    <td class="auto-style2" style="font-family: corbel; font-size: inherit; font-weight: bold; color: #993333">Localidad </td>
    <td>
        <asp:TextBox ID="TextBox5" runat="server" Width="350px"></asp:TextBox>
    </td>
</tr>
<tr>
    <td class="auto-style2" style="font-family: corbel; font-size: inherit; font-weight: bold; color: #993333">Arte de pesca</td>
    <td>
        <asp:TextBox ID="TextBox7" runat="server" Width="350px"></asp:TextBox>
    </td>
</tr>
<tr>
    <td class="auto-style2" style="font-family: corbel; font-size: inherit; font-weight: bold; color: #993333">Superficie m2</td>
    <td>
        <asp:TextBox ID="TextBox8" runat="server" Width="150px"></asp:TextBox>
    </td>
</tr>
</tr>
    
```



Visualización en línea de las fichas, su localización puntual y la anidación de nuevos elementos a la base de datos.



**FICHA DE CAPTURA**

**Datos de colecta**

Nombre colector

Fecha (DD/MM/AAAA)

Horas invertidas

Hora de inicio

Hora de termino

Localidad

Arte de pesca

Superficie m2

Profundidad

Temperatura

Salinidad

Tipo de sustrato

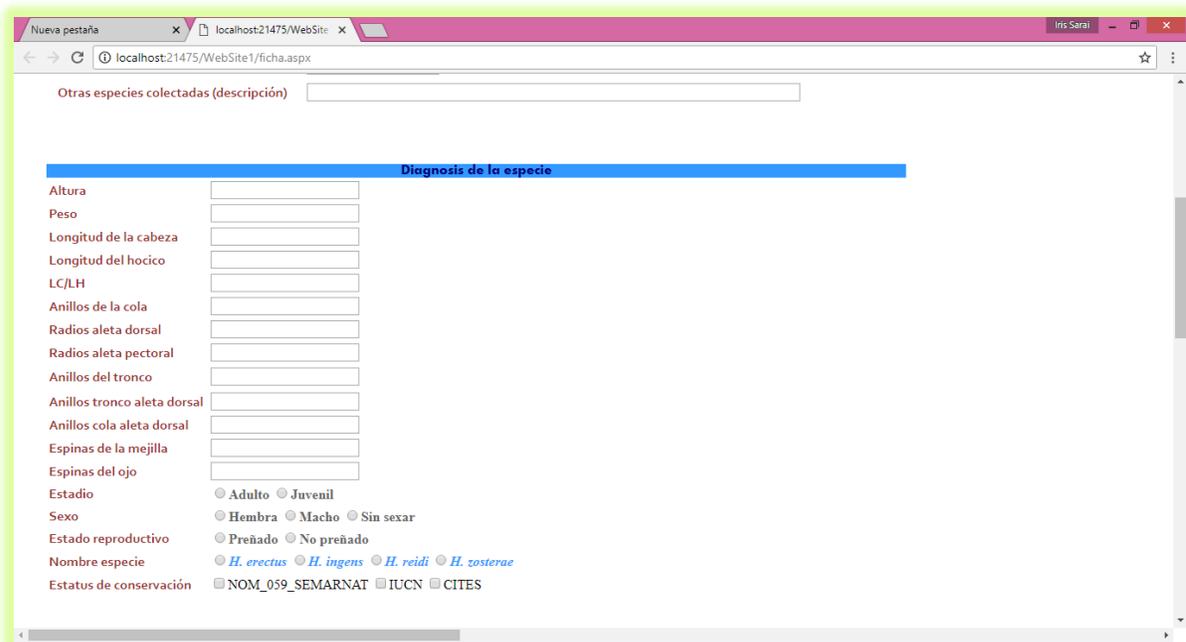
Colecta de caballito de mar  Si  No

No. individuos colectados

Otras especies colectadas (descripción)

**Diagnos de la especie**

Altura



Otras especies colectadas (descripción)

**Diagnos de la especie**

Altura

Peso

Longitud de la cabeza

Longitud del hocico

LC/LH

Anillos de la cola

Radios aleta dorsal

Radios aleta pectoral

Anillos del tronco

Anillos tronco aleta dorsal

Anillos cola aleta dorsal

Espinas de la mejilla

Espinas del ojo

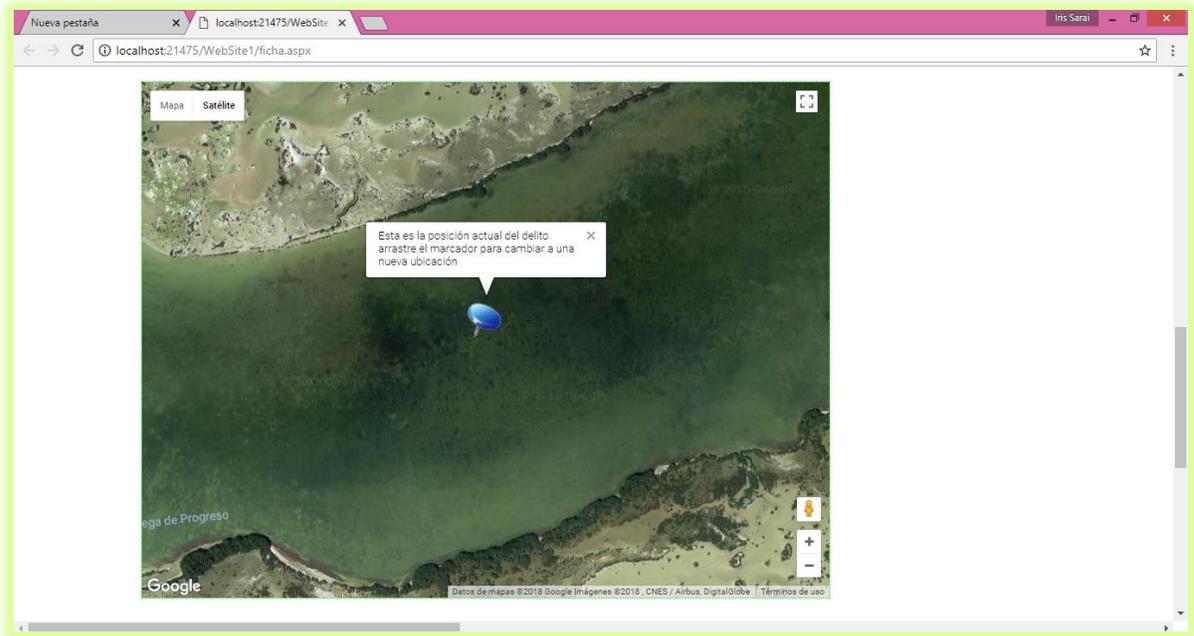
Estadio  Adulto  Juvenil

Sexo  Hembra  Macho  Sin sexar

Estado reproductivo  Preñado  No preñado

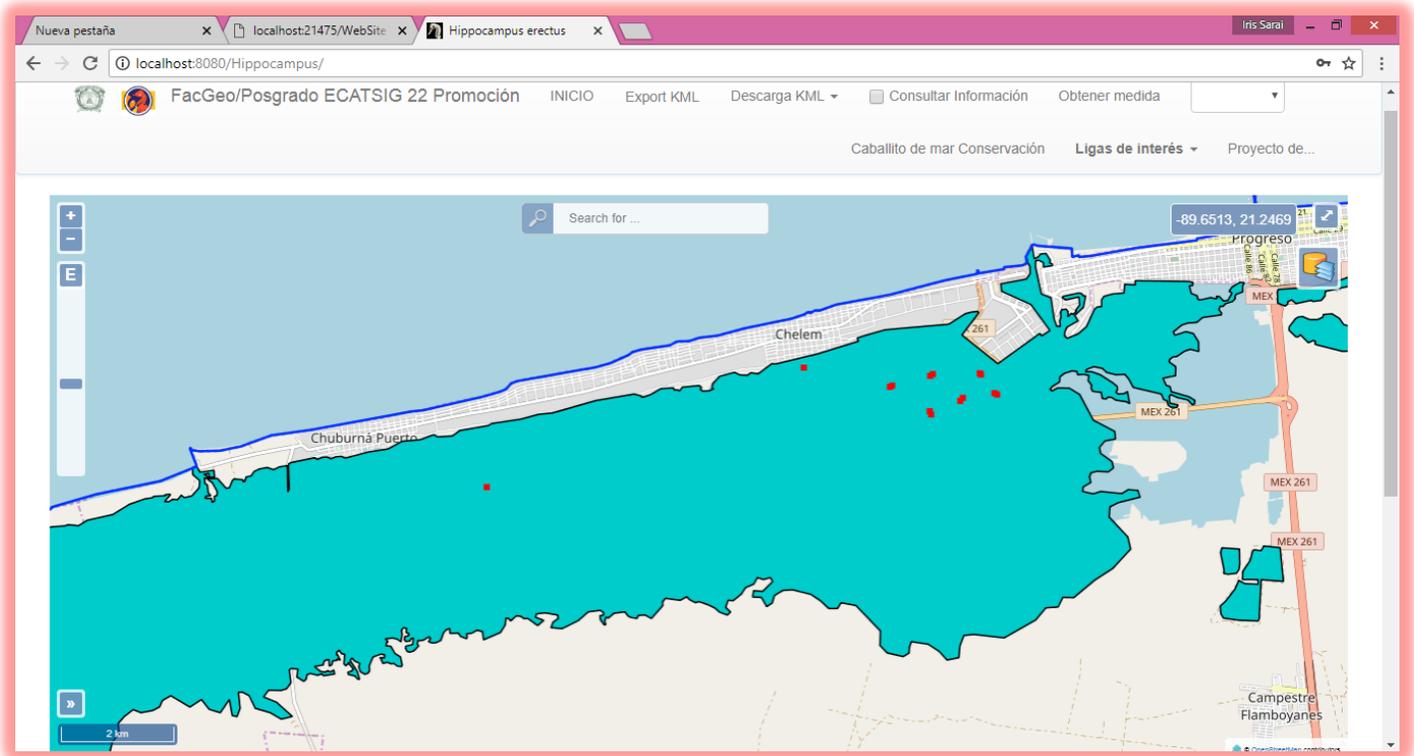
Nombre especie  *H. erectus*  *H. ingens*  *H. reidi*  *H. zosterae*

Estatus de conservación  NOM\_059\_SEMARNAT  IUCN  CITES



Nuevo Guardar

gid	nombrecol	horasinv	horaini	horafin	localidad	artepesca	supm2	profundidad	temperatura	salinidad	tiposustrato	totalindv	otraspecies	altura	peso	longca
1													<i>Synodus foetens</i>			
2													<i>Stephanolepis hispidus</i>			
3													sin presencia			
4													<i>Syngnathus louisianae</i>			
5													sin presencia			
6													<i>Sphoeroides testudineus</i>			
7													sin presencia			
8													<i>Chilomycterus schoepfii</i>			
9													sin presencia			
10													<i>Syngnathus louisianae</i>			
11													sin presencia			
12													<i>Acanthostracion quadricornis</i>			
13																
19	Iris Vilchis	7	07:00	14:00	Chelem	Chinchorro	150	1	25	350	Pastos marinos	13	<i>Syngnathus louisianae</i>	0	0	0



### Interoperabilidad con otros softwares como PstgreSQL.

Edit Data - PostgreSQL 9.4 (localhost:5432) - Yucatan - muestreos

gid	nombrecol	horasin	horaini	horafin	localidad	artepesca	supm2	profundidad	temperatura	salinidad	tiposustrato	tc	
[PK] serial	character varying(60)	integer	character varying(5)	character varying(5)	character varying(60)	character(40)	integer	integer	integer	integer	character varying(30)	integer	
1													
2													
3													
4													
5													
6													
7													
8													
9													
10													
11													
12													
13													
14	19	Iris Vilchis	7	07:00	14:00	Chelem	Chinchorro	150	1	25	350	Pastos marinos	13
*													

## Interoperabilidad con otros softwares como QGIS.

The screenshot displays the QGIS 2.18.12 interface. A data table window titled 'muestreros :: Objetos totales: 14, filtr...' is open, showing the following data for a selected feature:

gid	19
nombrecol	Iris Vilchis
horasinv	7
horaini	07:00
horafin	14:00
localidad	Chelem
artepesca	Chinchorro
supm2	150
profundidad	1
temperatura	25
salinidad	350
tiposustrato	Pastos marinos
totalindv	13
otrasespecies	Syngnathus louisianae
altura	0
peso	0
longcabz	0

The map view shows a coastal area with a green landmass and a blue sea. Several red dots are scattered along the coast, representing the sampling points. The layer 'muestreros' is selected in the legend.

## **Discusión.**

El presente trabajo parte de la premisa que el conocimiento de la diversidad, abundancia y distribución de las especies es la base para la conservación y aprovechamiento de los recursos naturales, así como, un manejo sustentable de las especies que se encuentren bajo alguna categoría de riesgo; la geovisualización, es la combinación de la evolución de los SIG y el Internet, la cual facilita la representación, manipulación y exploración de información espacial.

Los visualizadores cartográficos se han convertido en una potente herramienta que posibilita almacenar una ingente cantidad de información geográfica, la creación de dicha plataforma permitirá crear una base de datos de carácter espacial, mediante un sistema transaccional que permita reflejar la información contenida dentro de la base de datos espaciales y su visualización instantáneamente tal como funcionan hoy en día los pagos realizados vía electrónica, sin embargo esta adaptabilidad nos permite potenciar esta base de datos ya que esta puede ser interoperable con otras plataformas lo cual nos permitirá crear insumos cartográficos para una amplia gama de estudios ecológicos, biológicos, de conservación etcétera.

Lo cual actualmente es imperante en la conservación de especies como el caballito de mar ya que sus poblaciones están sufriendo una reducción debido a la falta de manejo adecuado de su hábitat, su comercialización y la resiliencia que presenta su ecosistema para subsanar las presiones tanto antrópicas como naturales, poniendo a dicha especie a nivel internacional dentro de normas y convenios donde su estatus de conservación esta regulado.

## **Conclusión**

- Este visualizador desarrollado a partir de una metodología transaccional nos permite la creación de BD interoperables entre plataformas, con la finalidad de que dicha base será objeto para diversos estudios ecológicos y biológicos, referentes a la especie en cuestión.
- Se generó un visualizador dinámico en ambiente Web para el registro de avistamientos de individuos a partir de una ficha de captura detallada y posicionamiento de las coordenadas en el mapa.

## Bibliografía

- ⌘ Alo, C.A. y Pontius Jr. R. G. (2008). "Identifying systematic land-cover transitions using remote sensing and GIS: the fate of forests inside and outside protected areas of Southwestern Ghana" *Environment and Planning B: Planning and Design* 35(2) 280–295.
- ⌘ Amaral, M. (2013). Tolerancia térmica en los caballitos juveniles de *Hippocampus erectus* y su efecto sobre el crecimiento. Febrero 2013. Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias.
- ⌘ Baine, M. S. P., Barrows, A. P. W., Ganiga, G., & Martin-Smith, K. M. (2008). Residence and movement of pygmy seahorses, *Hippocampus bargibanti*, on sea fans (*Muricella* spp.). *Coral Reefs*, 27(2), 421. <http://doi.org/10.1007/s00338-007-0352-5>
- ⌘ Ballari, D. (2006). WMS - Servidores de Mapas en Red. España: Universidad Politécnica de Madrid.
- ⌘ Baum, J. K., & Vincent, A. C. J. (2005). Magnitude and inferred impacts of the seahorse trade in Latin America. *Environmental Conservation*, 32(4), 305. <http://doi.org/10.1017/S0376892905002481>
- ⌘ Bell, E., Lockyear, J., Mcherson, J. 2003. First field studies of an Endangered South African seahorse *Hippocampus capensis*. *Environmental Biology of Fishes* 67: 35-46.
- ⌘ Bocco, G., M. Mendoza y O. Maser. 2001. La dinámica del cambio de uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. *Investigaciones Geográficas* 44: 18-38.
- ⌘ Bosque, S. J. (1997). *Sistemas de Información Geográfica*. Madrid: Ediciones Rialp.
- ⌘ Braimoh, A.K., (2006). "Random and systematic land-cover transitions in northern Ghana". *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 113, pp. 254–263.
- ⌘ Braum, J. K., Meeuwig, J. J., Vincent, A. C. J. (2003). Bycatch of lined seahorses (*Hippocampus erectus*) in a Gulf of Mexico shrimp trawl fishery. *Fishery Bulletin*, 101, 721–731.
- ⌘ Caldwell, I. R., y Vincent, A. C. J. (2013). A sedentary fish on the move: effects of displacement on long-snouted seahorse (*Hippocampus guttulatus* Cuvier) movement and habitat use. *Environmental Biology of Fishes*, 96, 67–75.
- ⌘ Camps, R. et. al. (2005). *Bases de datos*. España: Universitat Oberta de Catalunya.
- ⌘ Carcupino, M., Baldacci, A., Mazzini, M., Franzoi, P. 2002. Functional significance of the male brood pouch in the reproductive strategies of pipefishes and seahorse: a morphological and ultrastructural comparative study on three anatomically different pouches. *Jour Fish Biol* 61: 1465 – 1480.
- ⌘ CITES. (2004). *Seahorses and Other Members of the Family Syngathidae (Decision 12.54) - Report of the Working Group*. Convention on International In Endangered Species of Wild Fauna and Flora, 20–23.
- ⌘ CITES. 2002. *Convention on international trade in endangered species of wild fauna and flora. Twelfth Meeting of the Conference of the Parties, Santiago de Chile (Chile). 3-15 November 2002*.
- ⌘ Cruz, D. (2015). *Desarrollo e implementación de un Web Mapping de espacios académicos y universitarios de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMéx)*. Tesis de licenciatura. México, Universidad Autónoma del Estado de México.
- ⌘ Curtis, J. M. R., y Vincent, A. C. J. (2006). Life history of an unusual marine fish : survival, growth and movement patterns of *Hippocampus guttulatus* Cuvier 1829. *Journal of Fish Biology*, 68, 707–733.
- ⌘ Dupuy, R.J.; González, I.J.; Iriarte, V.S.; Calvo, I.L.; Espadas, M.C.; Tun, D.F. y Dorantes, E.A. (2007). "Cambio de cobertura y uso del suelo (1979-2000) en dos comunidades rurales en el noroeste de Quintana Roo". *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*. Num. 62, pp.104-124.
- ⌘ Echeverría, G. A. W., y Piña, H. G. A. (2003). *Ficha informativa de los Humedales de Ramsar*. Departamento de Áreas Naturales Protegidas de la Secretaría de Ecología del Estado de Yucatán, México.
- ⌘ *Enciclopedia Yucatanense*. Segunda edición. Edición oficial del Gobierno de Yucatán Ciudad de México, D.F., 1977

- ⌘ Estrada, E. (2016). Apuntes del módulo Base de datos. Toluca: Universidad Autónoma del Estado de México. Disponible en:
- ⌘ Farina, A. 1998. Principles and Methods in Landscape Ecology. Chapman & Hall, Londres.
- ⌘ Forman, R.T.T. 1995. Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions. Cambridge University Press, Londres.
- ⌘ Foster, S., Vincent, C., 2004. Life history and ecology of seahorses: implications for conservation and management. J. Fish Biol. 65, 1–61.
- ⌘ Gauchat, D. (2012). El gran libro de HTML5, CSS3 y Javascript. Marcombo. Ediciones técnicas. España.
- ⌘ Gutiérrez, J. y M. Gould. 2000. SIG: Sistemas de información geográfica. Editorial Síntesis. Madrid, España.
- ⌘ Horta, J. L. (2016). Preferencia térmica, balance energético y crecimiento de *Hippocampus erectus*, el efecto de una temperatura de aclimatación variable. Enero 2016. Universidad Nacional Autónoma de México. Posgrado de Ciencias del Mar y Limnología. Unidad Académica Sisal.
- ⌘ <http://blogs.salleurl.edu/project-management/%C2%BFque-es-el-pmi-project-management-institute/>
- ⌘ IUCN, 2006. 2006 IUCN Red list of Threatened Species. Available at [www.redlist.org](http://www.redlist.org)
- ⌘ Jiménez, G. L. (2012). Aspectos de la biología reproductiva y conducta del caballito de mar *Hippocampus erectus*. Universidad Nacional Autónoma de México. Posgrado de Ciencias del Mar y Limnología. Unidad Académica Sisal. Tesis de maestría, 103 pp.
- ⌘ Koldewey, H.; Martin-Smith, K. 2010. A global review of seahorse aquaculture. Aquaculture 302: 131-152.
- ⌘ Leija, P. (2010). Sistema de Información Geográfica para la ayuda de toma de decisiones en políticas sociales. Tesis de Maestría. México, D.F, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. [En línea]. Disponible en: <https://www.cs.cinvestav.mx/TesisGraduados/2010/tesisPaulinaLeija.pdf>
- ⌘ Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, TEXTO VIGENTE Última reforma publicada DOF 23-04-2018. Disponible en: [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/148\\_230418.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/148_230418.pdf)
- ⌘ López-Hidalgo, A. M. (2014). Estudio del comportamiento de fijación en cautividad de juveniles de *Hippocampus erectus* (Perry 1980) durante las fases tempranas de desarrollo. Tesina de Maestría. Universidad Las Palmas de Gran Canaria.
- ⌘ Lourie, S. 2003. Measuring seahorse. Project seahorse, Technical Report Serie No. 4. Version 1. Project Seahorse, Fisheries Center, University of British Columbia 15 pp.
- ⌘ Loza, J. (2015). Visualizador Web del Índice de Vulnerabilidad prevalente en asentamientos humanos ante el riesgo de inundación en el municipio de San Mateo Atenco, Estado de México. Tesis de licenciatura. Toluca, Universidad Autónoma del Estado de México. [En línea]. Disponible en: <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/31035/LOZA-BELTRAN-JHONATAN-LGI-2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- ⌘ Loza, R. (2011). Diseño y Programación de un sistema digital de visualización y consulta en Google Maps acerca de servicios de agencias automotrices ubicadas en la zona metropolitana de la ciudad de Toluca. Período 2010-2011. Tesis de Licenciatura. Toluca, Universidad Autónoma del Estado de México.
- ⌘ Luján, S. (2002) Programación de aplicaciones Web: Historia principios básicos y cliente web, Ed. Club Universitario, San Vicente.
- ⌘ Luján, S. y Aragonés J. (2005). Cuestionario básico sobre programación en internet. ECU: España.
- ⌘ Manson, S. 2006. Land use in the southern Yucatán peninsular region of Mexico: Scenarios of population and institutional change. Computers, Environment and Urban Systems 30: 230-253.
- ⌘ Mariño-Tapia, I., y Enriquez, C. (2010). Estudios batimétricos y de la calidad del agua de las lagunas costeras de Yucatán. Proyecto FOMIX-CONACYT. Reporte Técnico. Laboratorio de procesos costeros y oceanografía física. CINVESTAV-IPN, Mérida Yucatán. México.
- ⌘ Martínez, A., Gardner, T., Littlehale, D. 2005. Lined Horse, *Hippocampus erectus*. In Syngnathid Husbandry in Public Aquariums. Ed. Koldewey H. Zoological Society of London. Project Seahorse 54-61 pp.

- ⌘ Martin-Smith, K., Vincent, A. 2005. Seahorse declines in the Derwent estuary, Tasmania in the absence of the fishing pressure. *Biol Conserv* 123: 533 – 545.
- ⌘ Medley, K., B. Okey, G. Barrett, M. Lucas y W. Renwick. 1995. Landscape change with agricultural intensification in a rural watershed, southwestern Ohio, USA. *Landscape Ecology* 10(3):161-176.
- ⌘ Morales, A. (2017a). GeoServer para novatos: Crear un WMS (o WFS) a partir de un shapefile. [En línea]. Disponible en: <https://mappinggis.com/2015/09/geoserver-para-novatos-crear-un-wms-a-partir-de-un-shapefile/>
- ⌘ Morales, A. (2017b). Las mejores aplicaciones GIS open source en Mappinggis. [En línea]. Disponible en: <http://mappinggis.com/2012/09/aplicaciones-gis-open-source/#18OpenLayers>
- ⌘ Morales, A. (2017c). Los mejores plugins para OpenLayers. [En línea]. Disponible en: <https://mappinggis.com/2017/01/plugins-para-openlayers-3/>
- ⌘ Muñoz, S. 2012. Efecto de la proporción sexual en las conductas de competencia Intra-sexual y de cortejo en *Hippocampus erectus* y su relación con los niveles de andrógenos circulantes. Tesis de maestría. Posgrado en ciencias del mar y Limnología, UNAM. 60 pp.
- ⌘ Olaya, V. (2011). “Sistemas de Información Geográfica”. [En línea]. Disponible en: [ftp://ftp.ehu.es/cidira/profs/iipbaiza/Libro\\_SIG.pdf](ftp://ftp.ehu.es/cidira/profs/iipbaiza/Libro_SIG.pdf)
- ⌘ Olivotto, I., Planas, M., Simões, N., Holt, G. J., Avella, M. A., & Calado, R. (2011). Advances in Breeding and Rearing Marine Ornamentals. *Journal of the World Aquaculture Society*, 42(2), 135–166. <http://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2011.00453.x>
- ⌘ Pan, D., G. Domon, S. De Bois y A. Bouchard. 1999. Temporal (1958-1993) and spatial patterns of land use changes in Haut-Saint-Laurent (Quebec, Canada) and their relation to landscape physical attributes. *Landscape Ecology* 14: 35-52.
- ⌘ Pavón, J. (2012). Java EE - Apache Tomcat. Aplicaciones web/Sistemas Web. [En línea]. Disponible en: <https://www.fdi.ucm.es/profesor/jpavon/web/42-tomcat.pdf>
- ⌘ Pontius, R.G.; Shusas, E. y McEachern, M. (2004). “Detecting important categorical land changes while accounting for persistence”, *Agriculture, Ecosystems & Environment* 101(2-3) pp. 251-268.
- ⌘ Ramos, A. (2017). Apuntes del Taller de aplicaciones de programación. Toluca: Universidad Autónoma del Estado de México.
- ⌘ Reyes, H.H.; Aguilar, R.M.; Aguirre, R.J. y Trejo, V.I. (2006). “Cambios en la cubierta vegetal y uso del suelo en el área del proyecto Pujal-Coy, San Luis Potosí, México, 1973-2000”. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*. Num. 59, pp.26-42.
- ⌘ Reza, R. (2014). Herramienta geoinformática en línea para la actualización permanente de información en los parques industriales del Estado de México. Reporte técnico. UAEM.
- ⌘ [Secretaría de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente](#). Gobierno del Estado de Yucatán
- ⌘ SEMARNAT. Norma oficial mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo, Diario Oficial 78 (2010). México.
- ⌘ SEMARNAT. Plan de Manejo Tipo de Para Peces Marinos de Ornato (2012). México.
- ⌘ Sevilla, M. (2015). Curso OpenStreetMap. Universidad de Zaragoza. [En línea]. Disponible en: [https://osluz.unizar.es/files/documento\\_curso\\_osm\\_2015\\_1.pdf](https://osluz.unizar.es/files/documento_curso_osm_2015_1.pdf)
- ⌘ Tapia, A. y M. Maya. (2012). “Sistema de visualización y consulta para la gestión del suministro del servicio de agua potable. Caso de estudio: Colonia Morelos, Zinacantepec, Edo. Mex.”
- ⌘ Teixeira, R., Musick, J. 2000. Reproduction and food habits of de lined seahorse, *Hippocampus erectus* (Teleostei: Sygnathidae) of Chesapeake bay, Virginia. *Rev. Brasil. Biol.* 61 (1): 79-90.
- ⌘ Tomlinson, R. (2007). Pensando en el SIG. Planificación del Sistema de Información Geográfica dirigida a gerentes. ESRI Press: EUA.
- ⌘ Velásquez, A.; Mas, J.F.; Díaz, G.J.; Mayorga, S. R.; Alcántara, P.C.; Castro, R., Fernández, T.; Bocco, G.; Ezcurra, E. y Palacio, J.L. (2002a). “Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México”, *Gaceta Ecológica*, Num. 62. INE, México, pp. 21-37.
- ⌘ Vincent, A.; Evans, K.; Marsden, A. 2005. Home range behavior of the monogamous Australian seahorse, *Hippocampus whitei*. *Env Biol Fish* 72: 1-12.

- ⌘ Zizumbo, A. (2016a). Implementación de una interfaz SIG web para el despliegue del pronóstico meteorológico. Tesis de ingeniería. México, Universidad Nacional Autónoma de México.
- ⌘ Zizumbo, A. (2016b). Seminario: Implementación de una interfaz SIG web para el despliegue del pronóstico meteorológico. México. [En línea]. Disponible en: [http://grupo-ioa.atmosfera.unam.mx/images/archivos\\_portal/seminario/PRESENTACION\\_ZIZUMBOIII\\_Final.pdf](http://grupo-ioa.atmosfera.unam.mx/images/archivos_portal/seminario/PRESENTACION_ZIZUMBOIII_Final.pdf)