



**Sexto**  
**Congreso Nacional de**  
Riego, Drenaje y Biosistemas  
COMEII- 2021 / Hermosillo, Sonora



**Artículo: COMEII-21044**

*Hermosillo, Son., del 9 al 11 de junio de 2021*

## **APIS EN JAVASCRIPT PARA EL DESARROLLO DE MAPAS DINÁMICOS EN LÍNEA Y APLICACIONES EN AGRICULTURA**

**Juan, Arista-Cortes<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 62550. Jiutepec, Morelos  
(jarista62@gmail.com).

### **Resumen**

Los servidores de mapas en línea permiten visualizar distinta información espacial que ha sido procesada y generada con la ayuda de los Sistemas de Información Geográfica (SIG). En sus inicios los SIG residían en computadoras de gran capacidad por su gran demanda de recursos informáticos, sin embargo, con el desarrollo de computadoras de mayor capacidad y bajo costo se popularizaron y recientemente con la llegada de Internet los SIG se adaptaron para funcionar desde servidores Web. El siguiente paso de los SIG fue la generación de librerías llamadas API que permiten acceder a la información espacial contenida en los servidores de mapas, así como configurar el despliegado, estilos, hacer búsquedas, realizar trazado de rutas con GPS y hacer cálculos de geoprosesos o análisis espacial. En este trabajo se revisaron los principales servidores de mapas en línea, así como las API que permiten utilizarlos y algunas aplicaciones que se pueden desarrollar.

**Palabras clave:** Sistemas de Información Geográfica, Desarrollo de los SIG, Mapeo Web, Servidores de mapas.



## Introducción

En la vida diaria utilizamos información que hace referencia a objetos, fenómenos o situaciones del mundo real y generalmente cuenta con datos relativos a su localización tales como el nombre del lugar, país o continente lo que permite asignarle una posición geográfica para finalmente ser georreferenciada (Olaya, V. 2020). Dada la gran cantidad de información que se genera en todo el mundo, surge la necesidad de contar con sistemas informáticos capaces de almacenarla, analizarla y generar representaciones gráficas que permitan comprender de forma integral toda la información, de ahí surge el concepto de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) es la integración de información que contiene un componente espacial, recursos humanos y herramientas computacionales, para ser representada en forma vectorial o con matriz de píxeles y mediante algoritmos de geoproceso y análisis espacial, permiten generar gráficas, mapas o informes.

Una característica de los SIG es que representan la realidad mediante un modelo de datos y no solo una imagen determinada (Puebla, 1997), ya que almacenan atributos de los objetos que se están representando tales como: fechas, tipos de objetos, descripciones y distintas magnitudes.

Desde sus inicios los SIG han ido mejorando su interfaz gráfica, las herramientas que contienen y la forma de distribuir los resultados. Los primeros trabajos de los SIG se podían consultar solo mediante impresiones físicas de mapas, reportes o libros, sin embargo, con la llegada de internet nuevas herramientas surgieron como los mapas interactivos en línea a los que se les puede consultar desde cualquier ordenador y para cualquier nivel de usuario, más tarde con el surgimiento de los Sitios Web con sistemas de gestión de contenidos (CMS por sus siglas en inglés), se tiene una mayor interacción con los usuarios a quienes se les permite agregar o modificar contenidos y en general permiten la comunicación entre todos los usuarios (Ozuna y Crus, 2010), por último con la llegada de las redes sociales los usuarios demandan mayor participación no solo para agregar o modificar información, sino también para diseñar y crear contenido en línea así como personalizar sitios Web, crear grupos en redes sociales y desarrollo de consultas personalizadas de cualquier tipo de información. Para poder realizar todas esas actividades, se requiere la interconexión de distintos sistemas como bases de datos, generadores estadísticos, reproducción de multimedia y recientemente los sistemas SIG. Para lograr dicha interconexión se desarrollaron las interfaces de programación de aplicaciones (API por sus siglas en inglés) las cuales consisten en un conjunto de librerías que pueden ser utilizadas desde otros programas para desarrollar aplicaciones personalizadas para distintos propósitos.

Por lo anterior y dada la importancia que han adquirido las API, en este trabajo se investigaron las principales API para desarrollar aplicaciones SIG en línea, los principales servidores de mapas, sus características, la forma de implementarlas y que aplicaciones en la agricultura se pueden desarrollar.

## Materiales y Métodos

Los primeros trabajos que se desarrollaron para la creación de los SIG permitieron establecer los principios básicos para la representación por computadora de datos geográficos, su codificación y análisis. Uno de los primeros trabajos consistió en dividir en cuatro pasos los sistemas de procesamiento de información tales como: recolección de datos, manipulación, almacenamiento y utilización (Tobler, 1959). Los primeros programas SIG representaban los mapas mediante la utilización de caracteres alfanuméricos como el programa SYMAP, el cual podía generar tres tipos de mapas: coropleta (conforme), vecino más cercano (proximal) e isarítmica (contorno). La figura 1 muestra un mapa generado por SYMAP (James, 1972), más tarde la versión mejorada de SYMAP fue el programa SYMVU, el cual fue capaz de hacer mapas en tres dimensiones como se muestra en la figura 2 (Martha, 1989).

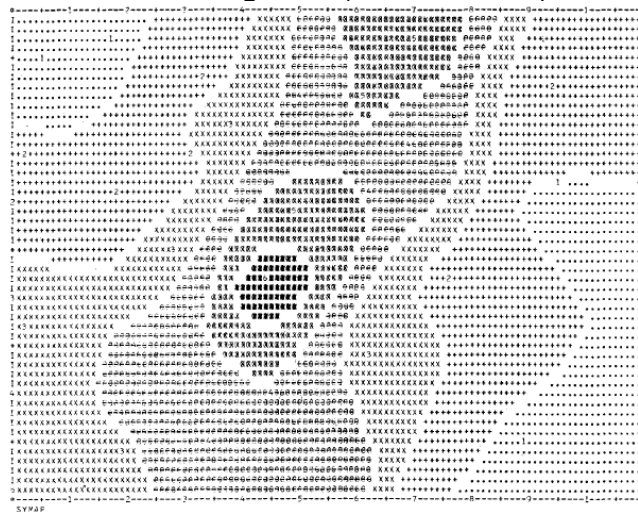


Figura 1. Mapa generado por SYMAP.

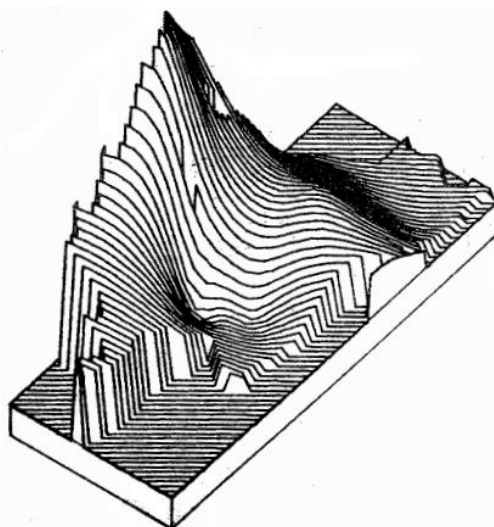


Figura 2. Mapa generado por SYMVU.

Con el remplazo de las cintas magnéticas por discos duros de gran capacidad de almacenamiento, el desarrollo de chips de memorias de acceso aleatorio (RAM) y el de mejores microprocesadores con mayor velocidad, ha permitido que una laptop o un celular tengan mayor capacidad que por ejemplo una computadora IBM 360 de 1960 (Goodchild, 2018), esto permitió que se popularizara el uso personal de los SIG. Por ejemplo, uno de los primeros programas GIS fue Arc/INFO el cual fue liberado para uso comercial en 1982 (ESRI, 2021).

El siguiente paso en la evolución de los SIG fueron los servidores de mapas, los cuales residen en un sitio Web y permiten a los usuarios interactuar con los datos espaciales, así como consultar información geográfica (Monge et al. 2010). Ahora en día existe una gran variedad de dichos servidores, ya sea de costo o de código abierto. La ventaja de los servidores de mapas es que permiten al usuario sobreponer su propia información espacial como vectores (puntos, líneas o polígonos) y raster (malla de pixeles como imágenes de satélite) sobre los mapas base de los servidores de mapas, para ello los distintos proveedores de mapas en línea, han desarrollado librerías, rutinas y programas llamados API. Ahora en día estas herramientas de geo visualización son utilizadas por un gran número de áreas de investigación y permiten a los usuarios realizar tareas que involucran la correlación de datos desde diferentes mapas y coberturas (Lobo et al. 2015). Las APIs para GIS en línea las podemos dividir entre proveedores de mapas base y las librerías JavaScript que permiten al usuario utilizar los servicios de mapas, personalizar mapas base mediante estilos, agregar capas espaciales, generar reportes y exportar resultados. Entre los principales proveedores de mapas bases se encuentran: OpenStreetMap, ESRI, Google Maps y Mapbox. Por otra parte, las principales librerías JavaScript son: OpenLayers, Leaflet, Google Maps, ArcGIS, Carto.js, Stamen, Cesium.js, D3 y Turf.js.

## Servidores de Mapas

El servidor de mapas OpenStreet Map es un proyecto de colaboración que involucra gran cantidad de desarrolladores para construir base de datos geográficas del mundo entero, se desarrolló siguiendo el modelo de producción en pares, el mismo que creo Wikipedia con el objetivo de crear mapas de uso libre (Haklay y Weber, 2008), su meta a largo plazo es tener un registro de cada característica geográfica del planeta, actualmente incluye senderos, edificios, cascadas, red de tuberías, bosques, buzones postales, fronteras administrativas, uso de tierra, rutas de autobuses, entre otras cosas (Bennett, 2010). El formato de datos de OpenStreetMap es vectorial, es decir, puntos, líneas y polígonos más atributos asociados como descripciones o etiquetas. El servidor de mapas de ESRI es quizás de los más completos ya que contiene información vectorial y raster, adicionalmente tiene bastantes rutinas para geoprocursos, geoconsultas y análisis espacial las cuales pueden ser utilizadas mediante el API de JavaScript de ESRI, por otro lado, permite grabar en la nube las coberturas generadas por los usuarios y ponerlas a disposición de uso al público en general, a grupos de trabajo o instituciones. El servidor de mapas de Google Maps ofrece imágenes de satélite, mapas de tráfico en tiempo real, rutas de transporte público, calculador de rutas e imágenes a pie de calle y navegación con GPS y desde su inicio en 2005 utiliza JavaScript Asíncrono y XML(AJAX) como

interacción entre el cliente y el servidor (Hu y Dai, 2013), lo que permite una comunicación continua para la descarga inmediata de mapas. Por último, el servidor de mapas Mapbox es de código libre y contiene distintos ejemplos y tutoriales paso a paso para utilizar todas sus herramientas (Cadenas, 2014), así mismo es un proveedor de mapas personalizados a pedido para ser utilizado por distintos sitios Web como Foursquare, Pinterest, Uber, The Weather Channel, entre otros; algunos de los servicios que proporciona son: Mapas dinámicos vectoriales, mapas raster, navegación inteligente basado en el tráfico en tiempo real, desarrollo de atlas personalizados y búsqueda de sitios.

### Librerías API Javascript

La librería Openlayers apareció a mediados del 2006 como una alternativa de Google Maps y otros proveedores de APIs y se consolidó en 2007 cuando el servidor de mapas OpenStreetMap la estableció como API de acceso a sus servicios (Santiago, 2015). OpenLayers implementa los estándares del consorcio geoespacial abierto, el cual es una organización sin fines de lucro cuyo objetivo es la de estandarizar las comunicaciones de datos geoespaciales (Castronova et al, 213). El API de OpenLayers está basada en las tecnologías más recientes de navegación como HTML5, WebGL y CSS3. Las librerías de Leaflet trabajan con los servidores de mapas OpenStreetMap y Mapbox, son de código abierto y se basan en simplicidad, rendimiento y usabilidad, para trabajar en sitios Web o en plataformas móviles. Leaflet es una buena opción para trabajar con dispositivos móviles debido al reducido tamaño de sus archivos y por el soporte que brinda para interacciones táctiles (Horbiński y Lorek, 2020). Algunos de los sitios Web que utilizan Leaflet son: Flickr, Wikipedia y Foursquare. El API de Google Maps permite personalizar la interfaz y controles del mapa, añadir marcadores mediante JavaScript o con información contenida en archivos JSON, contiene servicios de rutas y direcciones, así como de geolocalización y permite generar polígonos, sobre poner imágenes y estilizar los distintos mapas base (Alcatraz, 2019). El API de ESRI ArcGis incorpora funciones para el mapeo en línea, está basado en JavaScript y utiliza la librería Dojo, la cual provee módulos veloces, ligeros y funcionales para computadoras de escritorio y dispositivos móviles, contiene grupos de rutinas llamadas widget que permiten encapsular distintas operaciones o herramientas SIG como medición, transparencias, contenedores de coberturas, etc. Por otra parte, permite ejecutar procesos en la nube independientemente de la instalación de ArcGis en el escritorio, sin embargo, para poder utilizar el API es necesario suscribirse en el sitio de ArcGis Online (Wendel, 2015).

La librería Carto.js fue desarrollada por Mapbox y es utilizada como lenguaje de estilo para editar sus mapas base con Tilemill y Mapbox Studio, la sintaxis de Carto.js es similar al CSS de HTML y está diseñada para aprendizaje rápido de cualquier desarrollador Web (Eriksson y Rydkvist, 2015). Carto.js permite ejecutar consultas en PostgreSQL y PostGIS así como realizar operaciones espaciales, creación de geometrías, reproyecciones, buffers, etc. La librería Stamen permite visualizar los siguientes mapas base Toner (blanco y negro), Terrain (topografía) y WaterColor (marca de agua), funciona sobre el servidor de mapas de OpenStreetMap. La librería Cesium permite crear globos 3D (con WebGL) y mapas 2D en los navegadores Web y no se requiere la instalación de plugins, soporta simulación dinámica del tiempo con características medio ambientales tales como luz solar, atmosfera, niebla, agua y lluvia (Cemllini, 2018) es de código abierto bajo licencia Apache 2.0 y es soportada por OpenLayers. La librería D3 es de código



abierto, utiliza gráficos vectoriales renderizados en el navegador permitiendo proyecciones dinámicas e interacción directa con las coberturas, a diferencia de los servidores de mapas que son mosaicos de imágenes para diferentes niveles de acercamiento, D3 simplifica la carga e interacción dibujando los gráficos del lado del cliente para ello utiliza vectores en formato SVG (Snack et al, 2014). Por último, la librería Turf.js es utilizada para análisis espacial avanzado (Hanson y Seeger, 2018), sus herramientas se organizan en grupos para fácil acceso, entre las herramientas más importantes que contiene son de agregación, medición, transformación, lectura de datos, interpolación, unión y clasificación de coberturas.

### **Aplicaciones en agricultura**

Agrupando distinta información espacial ya sea de tipo vectorial o tipo raster, así como información agroeconómica, es posible realizar distintas aplicaciones útiles para la agricultura que permitan monitorear, modelar, consultar y hacer recomendaciones ante distintos factores que afectan el desarrollo óptimo de cultivos. A continuación, se listan algunas aplicaciones:

**Mapas de rendimiento:** Se generan al dividir el terreno del cultivo en secciones, medir el rendimiento que se obtuvo en cada sección y mapear los valores en un mapa, posteriormente con el análisis de rendimientos por sección, se pueden recomendar dosis variables para pesticidas, abonos y fertilizantes para mejorar el rendimiento y minimizar el impacto ambiental (Torres, 2017)

**Mapas de erosión del suelo:** Analizando los factores que provocan la erosión como la precipitación, uso del suelo, pendiente del terreno y clases de suelo es posible realizar mapas de erosión potencial del suelo (Sánchez et al., 2013)

**Monitoreo de calidad de agua:** Analizando la calidad del agua a partir de muestras en los distintos cuerpos de agua y concentrando la información en una base de datos, se puede generar un SIG con una interfaz gráfica en línea que permita consultar la calidad del agua y determinar si es apta para consumo humano (Zamora et al, 2017) o para uso agrícola o industrial

**Vigilancia fitosanitaria:** Monitoreando plagas y enfermedades por región se pueden generar boletines de ocurrencia o ausencia de plagas enfocados a la protección de cultivos y controlar la diseminación de patógenos (Mendoza y Gómez, 2013)

**Seguimiento de trayectorias de viento:** Utilizando la base de datos de modelado espacial en regilla GDAS(Global Data Assimilation System) del NOAA ( National Oceanic and Atmospheric Administration) y el programa Hysplit se pueden modelar trayectorias de viento a diferente altitud y frecuencia(Su et al, 2015) lo que permite modelar fenómenos físicos, meteorológicos, plagas o enfermedades que utilizan el viento como vector para dispersarse, como son: incendios, cenizas volcánicas, tormentas de arena, etc. Un ejemplo es la dispersión del hongo *Puccinia graminis*, el cual afecta principalmente los tallos y hojas del trigo para grano (Leonard y Szabo, 2005). Una aplicación GIS que fue desarrollada para dar seguimiento a la dispersión del hongo fue RustMapper, el cual modelaba las trayectorias del viento cada tercer día y se

retroalimentaba con información proveniente de muestreos en parcelas afectadas (Hodson, et al, 2012). La figura 3 muestra la aplicación en línea de RustMapper.

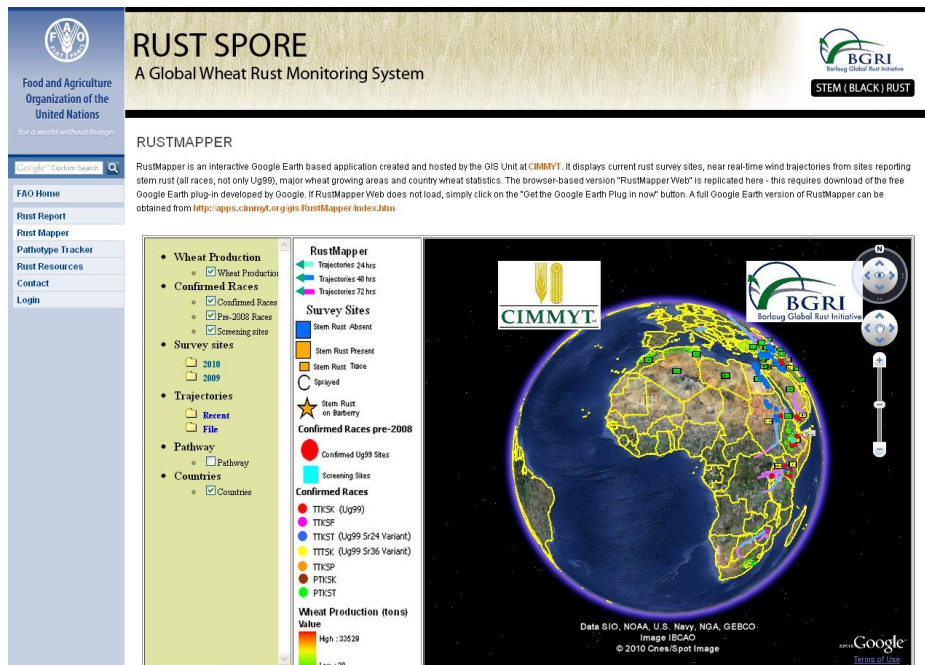


Figura 3. Aplicación RustMapper

**Calculadora de requerimientos de nitrógeno:** Combinando los sensores remotos con los SIG, se pueden calcular índices de vegetación como el NDVI (Índice de vegetación de diferencia normalizada) el cual permite estimar la cantidad de clorofila que hay los cultivos mediante el rango de 0 a 1, donde cero es suelo sin cobertura vegetal y 1 suelo con cobertura total de cultivo verde. Como algunos cultivos varían su intensidad de color, dependiendo de la deficiencia de nitrógeno, es posible realizar una aplicación que genere recomendaciones de nitrógeno en base a la reflectancia, una aplicación de esto es GreenSat del proyecto MasAgro, donde utilizando imágenes Spot para calcular NDVI, y ser calibrado con muestras en campo sobre el cultivo de trigo, permitió generar un modelo que correlaciona la cantidad de nitrógeno en la planta y su índice NDVI, lo que finalmente permite hacer recomendaciones de dosis del fertilizante y de esta forma aplicarlo en cantidades requeridas en el momento adecuado (Stirling y Schulthess, 2016), la figura 4 muestra la interfaz de GreenSat.

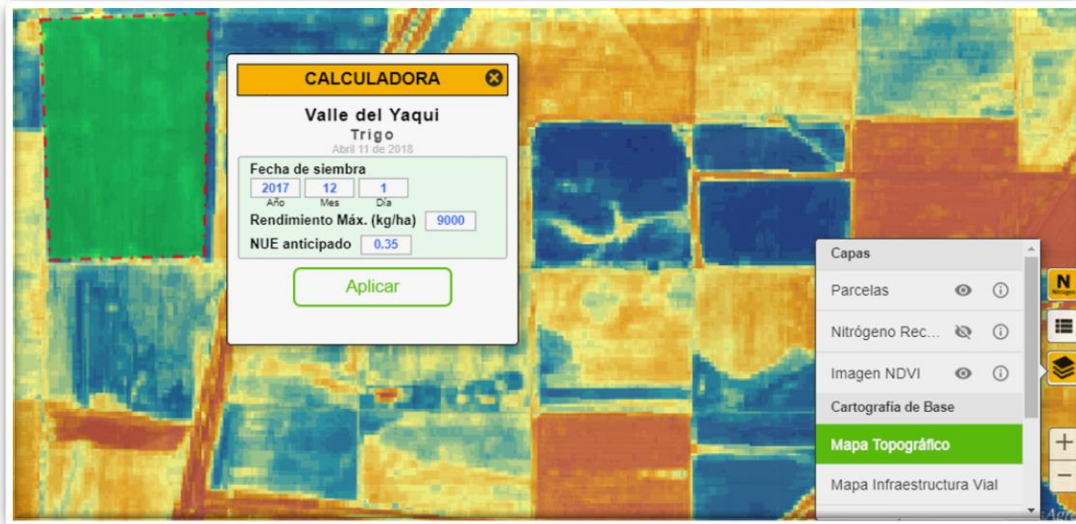


Figura 4. Calculadora de nitrógeno de GreenSat del proyecto MasAgro.

**Consulta de información geoespacial:** Si se tienen distintas coberturas espaciales se pueden agrupar en una aplicación SIG en línea y mediante un API permitir que cualquier usuario pueda consultar o descargar dicha información. Un ejemplo es el API de MasAgro para consultar información espacial de México, solo se requiere proporcionar las coordenadas geográficas del sitio de interés o dar clic en el mapa (Figura 5), el resultado de la consulta se puede descargar en formato texto.

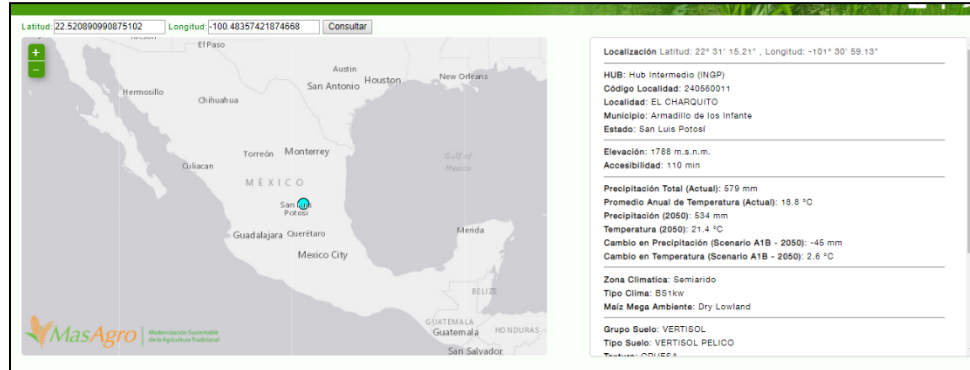


Figura 5. API de MasAgro para consultar información espacial de México

## Resultados y discusión

Se hicieron pruebas con los distintos servidores de mapas y se observó que existe gran diversidad en la forma como representan el mundo real, ya sea por los estilos para representar vectores y rasters o utilizar distintas proyecciones, así como el uso de imágenes de satélites y la forma de realizar geoconsultas sobre los mapas, la ventaja de ello, es poder realizar aplicaciones personalizadas por cada usuario y/o necesidad. La figura 6 muestra un ejemplo de distintos tipos de mapas base para la región cercana a la comunidad de Culiacancito en Sinaloa. Por otro lado, si se cuenta con servidores y acceso a imágenes de satélite, es posible generar servicios de mapas de uso específico,



para ello se requiere un Software GIS (de cuota o libre) para generar las teselas de imágenes, un servidor Web y desarrollar Scripts en JavaScript u otro lenguaje de programación para aplicaciones en línea.

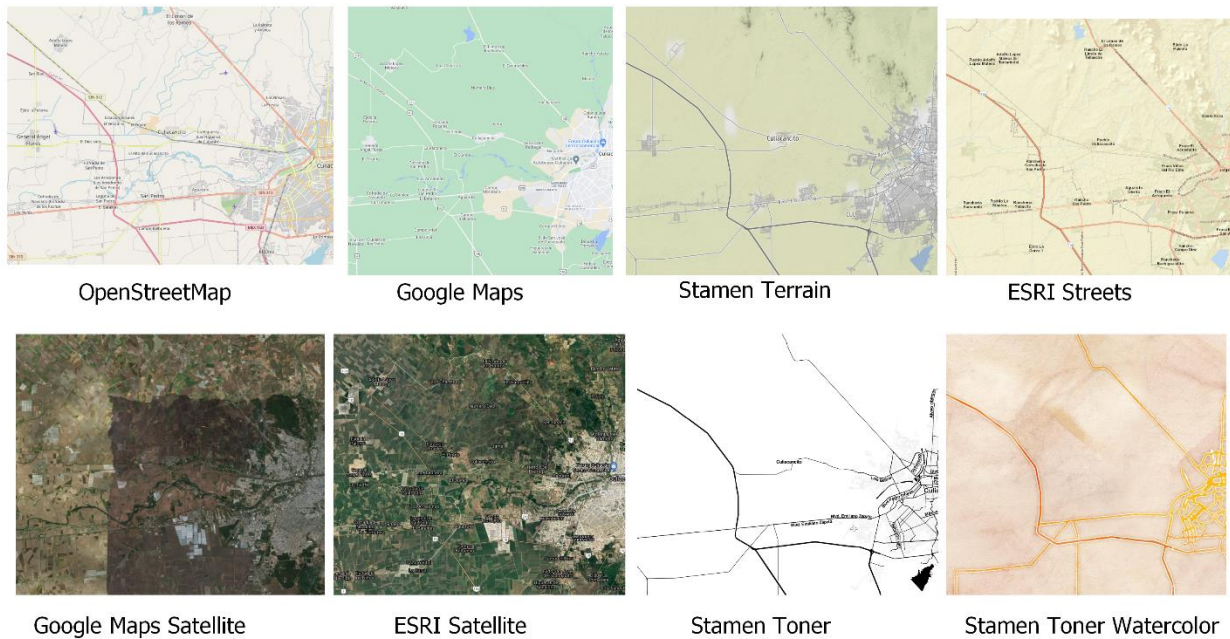


Figura 6. Ejemplos de mapas base.

Con respecto a las Librerías para trabajar con las APIS, se observó que existen para distinto nivel de conocimiento por parte de los usuarios, ya sea para usuarios con el mínimo conocimiento de SIG, así como las que requieren un conocimiento avanzado de sistemas de proyecciones, geoprocetos y análisis espacial. Las librerías pueden ser en JavaScript o Node.js, la diferencia estriba en el lugar donde se ejecutan dichas librerías, JavaScript se ejecutan en el navegador del usuario y Node.js residen en el servidor de aplicaciones Web.

### Llamado a los servidores de mapas y APIS

En general el llamado a todos los servidores de mapas es mediante librerías JavaScript y hojas de estilos CSS a una dirección URL (Conocido como servicio CDN). Algunas librerías hacen llamado al CDN donde se alojan y adicionalmente al servidor de mapas sobre el cual aplican sus funciones (Cuadro 1). Agregar las librerías a las aplicaciones Web es relativamente sencillo y fácil y para actualizarlas basta con colocar la versión en la dirección del servicio DNS. Los servidores de mapas de Google Maps, ESRI y Mapbox requieren que el usuario se suscriba a sus servicios con su nombre y correo lo que les proporciona una llave la cual se agrega en la dirección URL del API, por otro lado, el API de ESRI utiliza la librería Dojo de JavaScript para hacer uso de sus funciones y widgets.

Cuadro 1. Servidores de mapas y dirección de su servicio CDN.

Proveedor	URL al servicio CDN*
Google Maps	<a href="https://maps.googleapis.com/maps/api/js?key=User_Key&amp;callback=initMap">https://maps.googleapis.com/maps/api/js?key=User_Key&amp;callback=initMap</a>
OpenLayers	<a href="https://cdn.jsdelivr.net/gh/openlayers/openlayers.github.io@master/en/v6.5/css/ol.css">https://cdn.jsdelivr.net/gh/openlayers/openlayers.github.io@master/en/v6.5/css/ol.css</a>



	<a href="https://cdn.jsdelivr.net/gh/openlayers/openlayers.github.io@master/en/v6.5/build/ol.js">https://cdn.jsdelivr.net/gh/openlayers/openlayers.github.io@master/en/v6.5/build/ol.js</a>
Leaflet	<a href="https://unpkg.com/leaflet@1.0.2/dist/leaflet.js">https://unpkg.com/leaflet@1.0.2/dist/leaflet.js</a> <a href="https://unpkg.com/leaflet@1.0.2/dist/leaflet.css">https://unpkg.com/leaflet@1.0.2/dist/leaflet.css</a>
ESRI	<a href="https://js.arcgis.com/4.19/esri/themes/light/main.css">https://js.arcgis.com/4.19/esri/themes/light/main.css</a> <a href="https://js.arcgis.com/4.19/">https://js.arcgis.com/4.19/</a>
Carto.js	<a href="https://carto.com/developers/carto-js/examples/maps/public/style.css">https://carto.com/developers/carto-js/examples/maps/public/style.css</a> <a href="https://libs.cartocdn.com/cartov4.2.0/cartov4.min.js">https://libs.cartocdn.com/cartov4.2.0/cartov4.min.js</a>
MapBox	<a href="https://api.mapbox.com/mapbox-gl-js/v2.2.0/mapbox-gl.css">https://api.mapbox.com/mapbox-gl-js/v2.2.0/mapbox-gl.css</a> <a href="https://api.mapbox.com/mapbox-gl-js/v2.2.0/mapbox-gl.js">https://api.mapbox.com/mapbox-gl-js/v2.2.0/mapbox-gl.js</a>
Turf.js	<a href="https://api.tiles.mapbox.com/mapbox.js/v2.2.3/mapbox.js">https://api.tiles.mapbox.com/mapbox.js/v2.2.3/mapbox.js</a> <a href="https://api.tiles.mapbox.com/mapbox.js/plugins/turf/v2.0.2/turf.min.js">https://api.tiles.mapbox.com/mapbox.js/plugins/turf/v2.0.2/turf.min.js</a>

\* Las URL de los servicios CDN se actualizan constantemente con nuevas versiones de las API.

### Aplicaciones en agricultura:

La agricultura es un nicho de oportunidad para generar e innovar GIS en línea, ya que el desarrollo de cultivos involucra muchos factores como el clima, tipo de suelos, disponibilidad de agua, acceso a insumos y a mercados, control de plagas y enfermedades, riesgo de inundaciones, sequías, etc. Con el desarrollo de herramientas informáticas como los API, investigadores pueden participar para generar y mejorar nuevas herramientas como: formularios de captura y registro de información, enlaces a distintas fuentes de información espacial, herramientas de geoproceso de propósito específico y distribución resultados de investigaciones.

Un factor limitante en el desarrollo de aplicaciones en línea es la de contar con un servidor Web permanente, ya que algunas aplicaciones que se consultaron en la revisión de literatura dejaron de estar activas. Del mismo modo es necesario actualizar periódicamente las aplicaciones ya que surgen versiones nuevas de API constantemente y las versiones antiguas dejan de tener soporte o son desactivadas.

### Conclusiones

Existe una gran diversidad de situaciones en el mundo real que se pueden modelar y representar mediante los sistemas SIG mismos que con la ayuda de los servidores de mapas y librerías API, es posible realizar mapas dinámicos en línea de fácil desarrollo, amigables, escalables y al alcance de cualquier usuario que tenga un dispositivo conectado a Internet.

El nivel de conocimiento de los desarrolladores de mapas en línea dependerá del nivel de complejidad de la aplicación a desarrollar, así como al uso que se le quiera dar.

Existen situaciones que son comprensibles solo mediante un enfoque global que abarque todos los factores que lo determinan, como las características sociales y culturales de un país y ahí es donde los sistemas SIG son parte esencial para su investigación.

Para la toma de decisiones es necesario contar con gran cantidad de información en cualquier formato que se tenga, si solo se visualizan en forma tabular o mediante gráficos puede dificultar su análisis, por el contrario, con la ayuda de los SIG, es posible visualizar la información en forma global y además analizar cómo se relacionan entre si los distintos conjuntos de datos.



## Referencias Bibliográficas

- Alcaraz Martínez, R. (2019). Manual de Google Maps JavaScript API v3. Universidad de Barcelona.
- Bennett, J. (2010). OpenStreetMap be your own cartographer. Packt Publishing Ltd.
- Cadenas, C. (2014). Geovisualization: integration and visualization of multiple datasets using Mapbox. California Polytechnic State University, San Luis Obispo, California.
- Castronova, A. M., Goodall, J. L., & Elag, M. M. (2013). Models as web services using the open geospatial consortium (ogc) web processing service (wps) standard. *Environmental Modelling & Software*, 41, 72-83.
- Cemellini, B. (2018). Web-based visualization of 3D cadastre. Thesis in Geomatics for the built environment, Delft University of Technology.
- Eriksson, O., & Rydkvist, E. (2015). An in-depth analysis of dynamically rendered vector-based maps with WebGL using Mapbox GL JS.
- ESRI. 2021. History up close. Sitio visitado en Mayo, 2021:  
Url: <https://www.esri.com/content/dam/esrisites/sitecore-archive/Files/Pdfs/about-esri/esri-history-up-close.pdf>
- González, C., Sepúlveda, J., Barroso, R., Fernández, F., Pérez, F., & Lorenzo, J. (2011). Sistema para la generación automática de mapas de rendimiento. Aplicación en la agricultura de precisión. *Idesia*, 29(1), 59-69.
- Goodchild, M. F. (2018). Reimagining the history of GIS. *Annals of GIS*, 24(1), 1-8.
- Haklay, M., & Weber, P. (2008). Openstreetmap: User-generated street maps. *IEEE Pervasive computing*, 7(4), 12-18.
- Hanson, B., & Seeger, C. J. (2018). Mapping API's: Turf. js in the Browser Console. Geospatial Technology Training Program. IOWA State University.
- Hodson, D. P., Grønbech-Hansen, J., Lassen, P., Alemayehu, Y., Arista, J., Sonder, K., & Jin, Y. (2012, September). Tracking the wheat rust pathogens. In *Proceedings Borlaug Global Rust Initiative 2012 Technical Workshop, China*, pp11-22.
- Horbiński, T., & Lorek, D. (2020). The use of Leaflet and GeoJSON files for creating the



- interactive web map of the preindustrial state of the natural environment. *Journal of Spatial Science*, 1-17.
- Hu, S., & Dai, T. (2013). Online map application development using Google Maps API, SQL database, and ASP .NET. *International Journal of Information and Communication Technology Research*, 3(3).
- James W. Cerny. 1972. Use of the Symap Computer Mapping Program, *Journal of Geography*, 71:3, 167-174, DOI: 10.1080/00221347208981474
- Leonard, K. J., & Szabo, L. J. (2005). Stem rust of small grains and grasses caused by *Puccinia graminis*. *Molecular plant pathology*, 6(2), 99-111.
- Lobo, M. J., Pietriga, E., & Appert, C. (2015, April). An evaluation of interactive map comparison techniques. In *Proceedings of the 33rd annual ACM conference on human factors in computing systems* (pp. 3573-3582).
- Martha, S. (1989). Pemetaan Komputer Tiga Dimensional Dengan Menggunakan Program Symvu= Three Dimensional Computer Mapping by Using SYMVU Package Program. *Majalah Geografi Indonesia*, 2(1989) .
- Mendoza, M. G. G., & Gómez, R. G. 2013. SIG-WEB inteligente: el caso del Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria en México, SENASICA-SAGARPA-UASLP.
- Monge, L. Á., Torres, J. P., López, L. E., & Navarro, C. X. (2010). Análisis comparativo de servidores de mapas. *GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, (10), 1-10.
- Olaya, V. 2020. *Sistemas de información geográfica*. Creative Commons (CC BY)
- Osuna Alarcón, M. R., & Cruz Gómez, E. D. L. (2010). Los sistemas de gestión de contenidos en Información y Documentación.
- Puebla, J. G. 1997. Los sistemas de información geográficos: origen y perspectivas. *Revista general de información y documentación*, 7(1), 93.
- Sack, C. M., Donohue, R. G., & Roth, R. E. (2014). Interactive and multivariate choropleth maps with D3. *Cartographic Perspectives*, (78), 57-76.
- Sánchez-Hernández, R., Mendoza-Palacios, J. D. D., De la Cruz Reyes, J. C., Mendoza Martínez, J. E., & Ramos-Reyes, R. (2013). Mapa de erosión potencial en la cuenca hidrológica Grijalva-Usumacinta México mediante el uso de SIG. *Universidad y ciencia*, 29(2), 153-161.
- Santiago, A. (2015). *The book of OpenLayers 3. Theory and Practice*, Leanpub, Victoria,



BC.

- Sivakumar, M. V. K., Roy, P. S., Harmsen, K., & Saha, S. K. (2004). Satellite remote sensing and GIS applications in agricultural meteorology. In Proceedings of the Training Workshop in Dehradun, India. AGM-8, WMO/TD (Vol. 1182).
- Stirling, C., & Schulthess, U. (2016). New perspectives from satellite data and associated digital tools smallholder agriculture.
- Su, L., Yuan, Z., Fung, J. C., & Lau, A. K. (2015). A comparison of Hysplit backward trajectories generated from two GDAS datasets. *Science of the Total Environment*, 506, 527-537.
- Tobler, W. R. (1959). Automation and cartography. *Geographical Review*, 49(4), 526-534.
- Torres García, M. (2017). Aplicaciones geomáticas en agricultura (Doctoral dissertation), Escuela Técnica superior de ingeniería geodésica cartografía y topografía. Universitat Politècnica de València.
- Wendel, R. (2015). Interactive Network Assessment Tool Using ArcGIS API for JavaScript. *GI\_Forum—Journal for Geographic Information Science*, 2015(1), 136-146.
- Zamora-Hernández, A., Rustrian-Portilla, E., & Sánchez-Reyes, B. (2017). Tecnología SIG para el monitoreo de la calidad del agua en Veracruz. *Revista de Ciencias*, 4(13), 36-45.