



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Automatización de procesos para el
análisis espacial multicriterio,
metadatos y visualización de
productos geográficos.**

Que para obtener el título de
Ingeniero Geomático

P R E S E N T A

Víctor Hernández Díaz

ASESOR DE TESIS

M.I. ADOLFO REYES PIZANO



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2022



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Índice

Introducción	3
Catálogo de metadatos geográficos	3
Automatización de procesos para el análisis espacial multicriterio.	3
Visualizador de mapas web	4
Catálogo de metadatos geográficos	5
Antecedentes	6
Definición del problema o contexto de la participación profesional	7
Metodología.....	8
Instalación de Geonetwork en un servidor.....	8
Crear usuarios.....	10
Decálogo de buenas prácticas para la generación de metadatos.	15
Automatización de procesos para el análisis espacial multicriterio.....	16
Antecedentes	16
Definición del problema o contexto de la participación profesional	16
Metodología.....	17
Caso de uso en el Ordenamiento Ecológico y Territorial de Yucatán	18
¿Cómo ejecutar un código en Qgis?	22
Visualizador de mapas web	28
Antecedentes	28
Definición del problema o contexto de la participación profesional	29
Metodología.....	29
Guía de instalación de Lizmap	29
Instalar Apache	30
Instalación de Qgis server	30
Instalación de Lizmap en servidor.....	32
Instalar plugin de Lizmap en Qgis 3.10.....	41
Publicar un proyecto de Qgis en el servidor.....	43
Resultados y conclusiones	44
Bibliografía	46

Introducción

Dentro de todo el conjunto de cualidades que poseen los profesionales relacionados con los datos geoespaciales, existen dos que destacan a un profesional de la Ingeniería Geomática. La primera; conocer en profundidad temas de física y matemáticas que le permiten desarrollar exitosamente las teorías de las ciencias de la Topografía, Cartografía, Geodesia, percepción remota y datos espaciales, la segunda; contar con habilidades en computación y programación.

La combinación de dichas cualidades le dan la capacidad de adaptar las tecnologías modernas con el fin de desarrollar nuevos procedimientos para optimizar la captura, procesamiento, análisis y representación de información geoespacial.

La presente tesis contiene la aplicación de dichos conocimientos dentro de tres procedimientos que se implementaron en el Laboratorio Nacional de Ciencias de la Sostenibilidad (LANCIS) los cuales se describen a continuación.

Catálogo de metadatos geográficos

Consiste en la implementación de una plataforma web para la creación, consulta y gestión de metadatos geográficos. Esta plataforma permite al LANCIS cumplir con estándares nacionales e internacionales para el manejo y publicación de la información geoespacial.

Automatización de procesos para el análisis espacial multicriterio.

Este procedimiento consiste en la creación y actualización de una librería que contiene una variedad de funciones desarrolladas en Python y Qgis para el análisis espacial multicriterio. Estas funciones permiten la automatización y la documentación de los procesos utilizados en la creación, análisis y tratamiento de productos geográficos. Esta librería ha permitido al LANCIS aumentar la productividad, pues ha reducido el tiempo de procesamiento y minimizado la posibilidad de equivocaciones que se pueden generar al realizar manualmente los procesos en el software de sistemas de información geográfica.

Visualizador de mapas web

Este procedimiento consiste en la implementación de un servicio web de visualización de datos geoespaciales. Este servicio web permite al LANCIS presentar avances y resultados entre diferentes colaboradores lo cual facilita la discusión y consulta de los productos cartográficos generados.

Catálogo de metadatos geográficos

El Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) por medio de la Norma Técnica para la elaboración de metadatos geográficos define a los metadatos como: *datos estructurados que describen las características de contenido, calidad, condición y distribución de la información estadística o geográfica.*

Mediante el Artículo 5 describe las especificaciones técnicas, siendo de gran interés el inciso II, ya que menciona la inclusión de los elementos del **núcleo** de ISO 19115:2003 (Geographic Information – Metadata). El núcleo está conformado por los elementos esenciales para describir y documentar los datos. (Norma Técnica Para La Elaboración de Metadatos Geográficos., 2010)

- Título del conjunto de datos espaciales
- Fecha de referencia del conjunto de datos espaciales
- Parte responsable
- Localización geográfica (por 4 coordenadas o por identificador geográfico)
- Idioma del conjunto de datos espaciales
- Conjunto de caracteres
- Categoría del tema
- Resolución espacial
- Resumen descriptivo
- Formato de distribución
- Información adicional de la extensión del conjunto de datos espaciales
- Tipo de representación espaciales
- Sistema de referencia
- Linaje
- Punto de contacto de los metadatos
- Fecha de creación y/o modificación de los metadatos

La utilidad de los metadatos puede definirse en tres niveles de aplicación (Instituto Geográfico Nacional, 2013):

- **Localizar:** Tiene como objetivo realizar búsquedas para descubrir qué datos y servicios geográficos existen e identificarlos sin ambigüedades respondiendo a preguntas del tipo qué, dónde, cuándo, quién y cómo.
- **Analizar:** Tiene como propósito evaluar si los datos y servicios localizados servirán para satisfacer los requisitos del proyecto o aplicación a desarrollarse. Los metadatos deben contener información suficiente para comparar distintas fuentes de datos y servicios con el fin de discernir si son apropiados.
- **Explorar:** Su función es informar sobre cómo pueden utilizarse los datos o combinarlos con otros para un determinado propósito. Por lo tanto deben incluir diccionario de datos, su organización y su esquema conceptual, información respecto a la proyección espacial, características geométricas y otras características que sean útiles para el uso apropiado de los datos geográficos.

Antecedentes

Entre los usuarios de información geográfica, es importante que se considere como sustancial la existencia y la buena calidad del metadato geográfico asociado, lo cual hoy en día no siempre se toma en cuenta, situación de la cual nace un problema que impacta directamente en la confiabilidad de los datos y del análisis de los productos generados con la información geográfica de origen, pues se desconocen datos importantes como la fuente, escala, significado, tipo de unidades, tipo de captura y/o procesamiento, derechos de uso de la información, autores o responsables.

El problema aumenta si no se cuenta con un sistema de consulta que muestre la información existente, su estado y la manera en que se ha procesado, ya que los colaboradores de proyectos son altamente susceptibles a generar duplicidad de la información, utilizar datos de diferentes escalas temporales, o utilizar datos de diferentes autores, este tipo de situaciones disminuyen la productividad y dejan lagunas en el proceso de la creación de productos cartográficos.

Definición del problema o contexto de la participación profesional

Dentro de los estándares de calidad del LANCIS respecto a productos cartográficos, los metadatos tienen una gran relevancia, sin embargo, el procedimiento de capturar los metadatos de los productos era mediante hojas de cálculo en forma tabular. Este procedimiento complicaba la consulta y gestión de los metadatos.

Por lo anterior, se plantea como objetivo el mejorar los procedimientos de capturar los metadatos y a su vez, hacerlo simple y accesible para los colaboradores.

La mejora de dicho procedimiento consistió de dos partes fundamentales.

- 1) Elabore un decálogo de buenas prácticas para la generación de metadatos.
- 2) Implemente un sistema web que se refiere a una aplicación de catálogo para la administración de metadatos geográficos. Esta aplicación se denomina Geonetwork, y es un software libre desarrollado *por the open source geospatial foundation (OSGeo)*

El uso de la aplicación Geonetwork permite al LANCIS cumplir con estándares nacionales e internacionales para el manejo de los metadatos de la información geográfica, rastreabilidad de los productos generados o procesados, conocer su significado, linaje, fuentes, propósito y uso de la de información.

También permite al LANCIS crear una sinergia con otras instituciones para compartir bidireccionalmente los metadatos de la información geográfica.

La aplicación Geonetwork cumple con los siguientes rubros

- a) Es fácil de usar
- b) Permite la consulta y rastreabilidad de los productos generados o procesados
- c) Facilita la colaboración entre distintas instituciones
- d) Cumple la Norma Técnica para la elaboración de Metadatos Geográficos
 - d.1. Dicha norma, publicada en noviembre del 2010 por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía por medio de la Dirección General de Geografía y Medio Ambiente, garantiza el cumplimiento/compatibilidad con el estándar ISO 19115 (*Geographic information — Metadata*).

Metodología

Geonetwork es una aplicación de catálogo para la administración de recursos referenciados espacialmente, proporciona funciones de creación, edición y búsqueda de metadatos. (Geonetwork, 2021)

La implementación del procedimiento del catálogo de metadatos consiste en dos partes fundamentales.

Instalación de Geonetwork en un servidor

Requisitos

- Servidor con Debian 10.7
- Docker

Docker es una aplicación de código abierto que automatiza el despliegue de aplicaciones dentro de contenedores de software. Estos contenedores también llamados imágenes permiten instalar software de una manera eficiente, optimizando los recursos del sistema y no alterando las dependencias nativas del sistema operativo. (Docker, 2021)

Para instalar en un servidor con Debian Actualizar la lista de paquetes

```
sudo apt update
```

Agregar la clave GPG del repositorio oficial de Docker al sistema

```
curl -fsSL https://download.docker.com/linux/debian/gpg | sudo apt-key add -
```

Agregar el repositorio de Docker a las fuentes de APT

```
sudo add-apt-repository "deb [arch=amd64]  
https://download.docker.com/linux/debian $(lsb_release -cs) stable"
```

Actualizar la base de datos con el repositorio recién agregado

```
sudo apt update
```

Instalar Docker

```
sudo apt install docker-ce
```

Al finalizar. Docker está instalado, el demonio iniciado y el proceso habilitado para verificar el Docker se encuentra activo ejecutar:

```
sudo systemctl status docker
```

La salida en consola debe mostrar algo similar al siguiente bloque:

```
Output
● docker.service - Docker Application Container Engine
Loaded: loaded (/lib/systemd/system/docker.service; enabled; vendor
preset: enabled)
Active: active (running) since Mon 2020-03-23 15:14:13 UTC; 58s ago
Docs: https://docs.docker.com
Main PID: 5709 (dockerd)
Tasks: 8
Memory: 31.6M
```

Instalación de Geonetwork

La instalación se realiza mediante un contenedor o imagen de Docker. a este procedimiento se le conoce como Pull

```
docker pull geonetwork
```

Geonetwork utiliza el servidor de applets Topcmcat, es un servidor web que permite ejecutar aplicaciones WAR mediante un proceso conocido como *deployed* o medianamente traducido sería como desplegar la aplicación web.

El contenedor o imagen oficial de Geonetwork en *docker* contiene las configuraciones pertinentes para asegurar la estabilidad de la aplicación.

Para inicializarla ejecutar en la terminal

```
docker run --name some-geonetwork -d geonetwork
```

Donde, *some-geonetwork* es la etiqueta que se asigna a la aplicación y así poder identificar que la aplicación está en marcha.

Geonetwork por defecto corre en el puerto de salida 8080, para ingresar al sistema y verificar que está en línea ir a la siguiente dirección web

```
http://localhost:8080/geonetwork
```

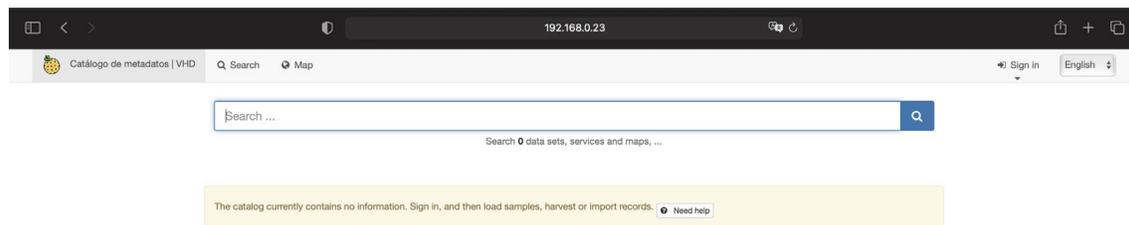


Figura 1 Página de inicio de Geonetwork (Hernández 2021)

Crear usuarios

loguearse como administrador, si es la primera vez que se ingresa el usuario es *admin* y la contraseña es *admin* por cuestiones de seguridad se recomienda cambiar la contraseña.

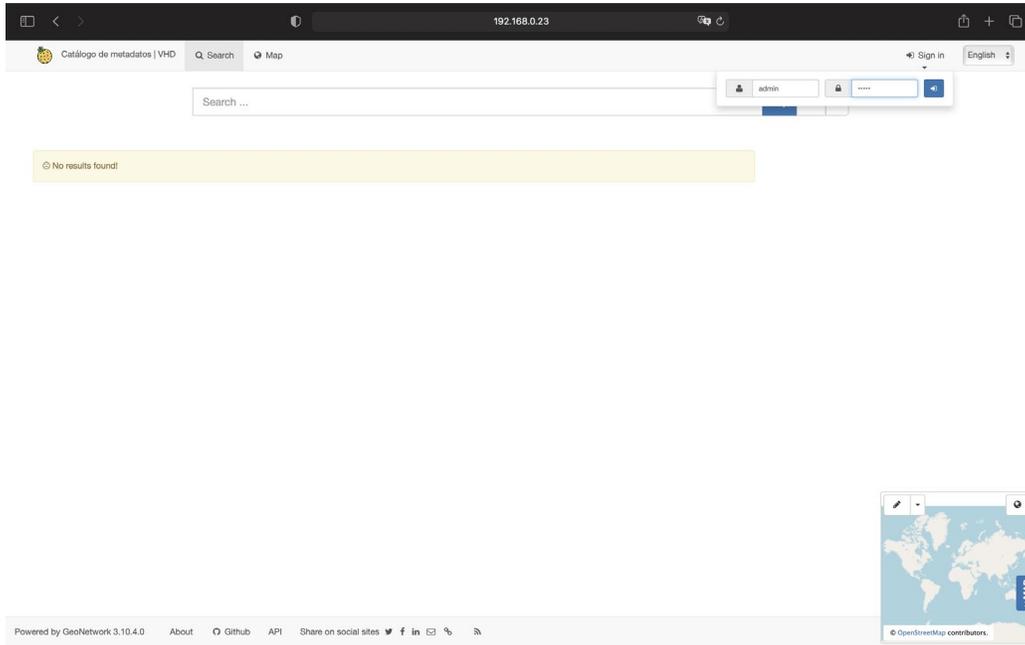


Figura 2 Inicio de sesión. (Hernández 2021)

Del lado izquierdo superior aparece un menú general, hacer clic en *admin console*, se despliega un menú secundario, hacer clic en *Users and groups*

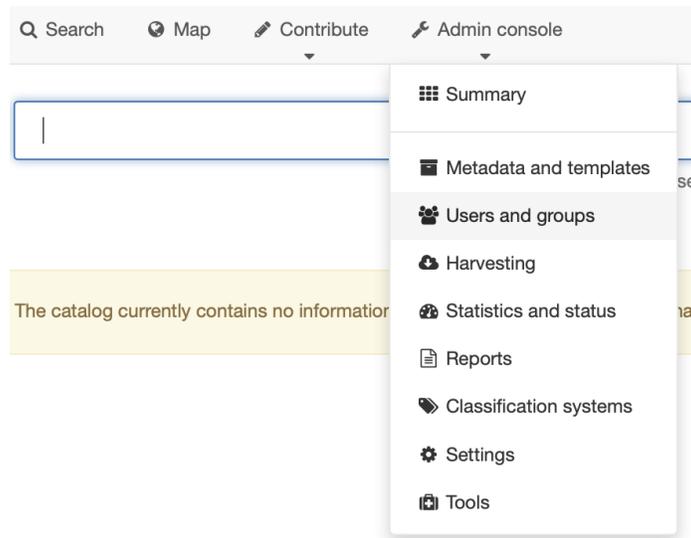


Figura 3 Usuarios y grupos (Hernández 2021)

Hacer clic en el botón *New user*

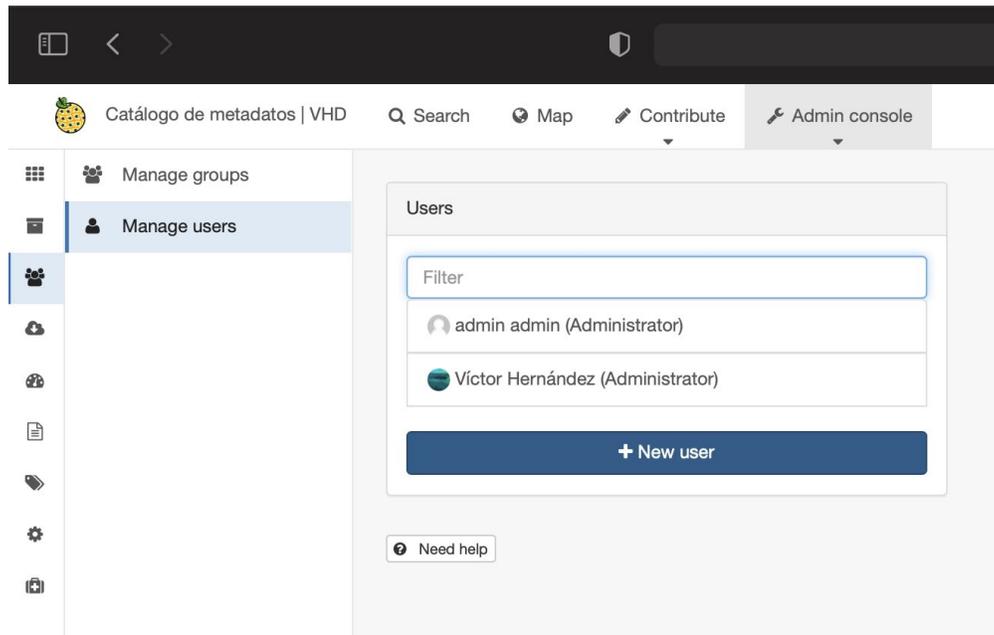


Figura 4 Administrador de usuarios (Hernández 2021)

Del lado derecho se muestra un formulario, llenar los datos solicitados para crear un nuevo usuario.

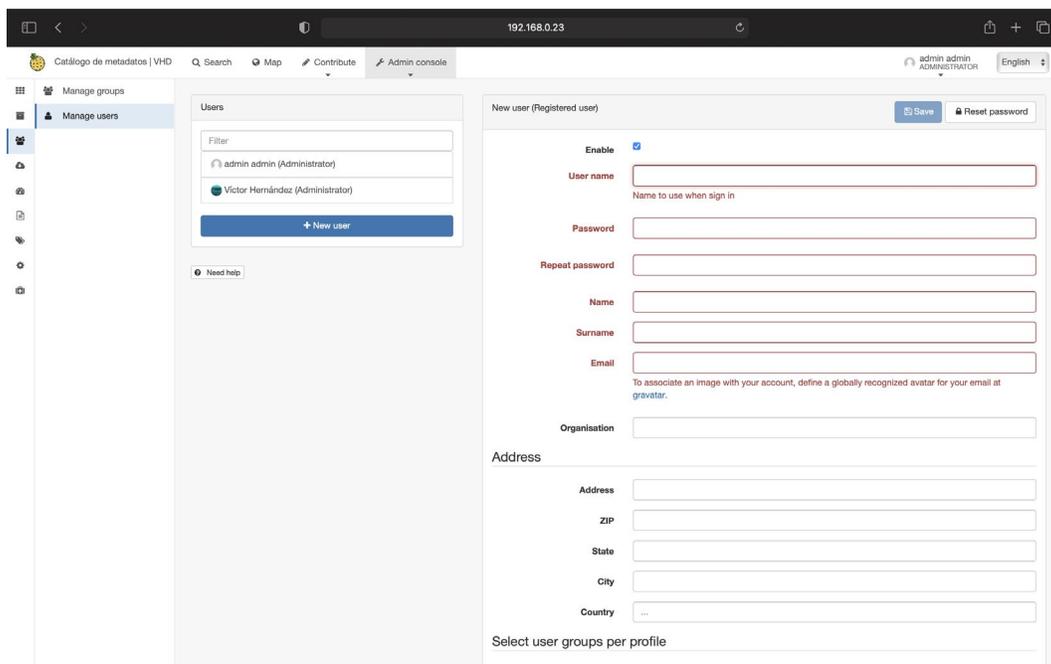


Figura 5 Formulario de nuevo usuario (Hernández 2021)

Si el usuario va a ser administrador seleccionar la casilla siguiente:

Select user groups per profile

Is an administrator?

Figura 6 Permisos de administrador

De esta manera se crean los usuarios administradores, editores y revisores, para que se generen, revisen y publiquen los metadatos.

una vez que se van creando los metadatos aparecen en forma de vistas generales como se muestra la siguiente:

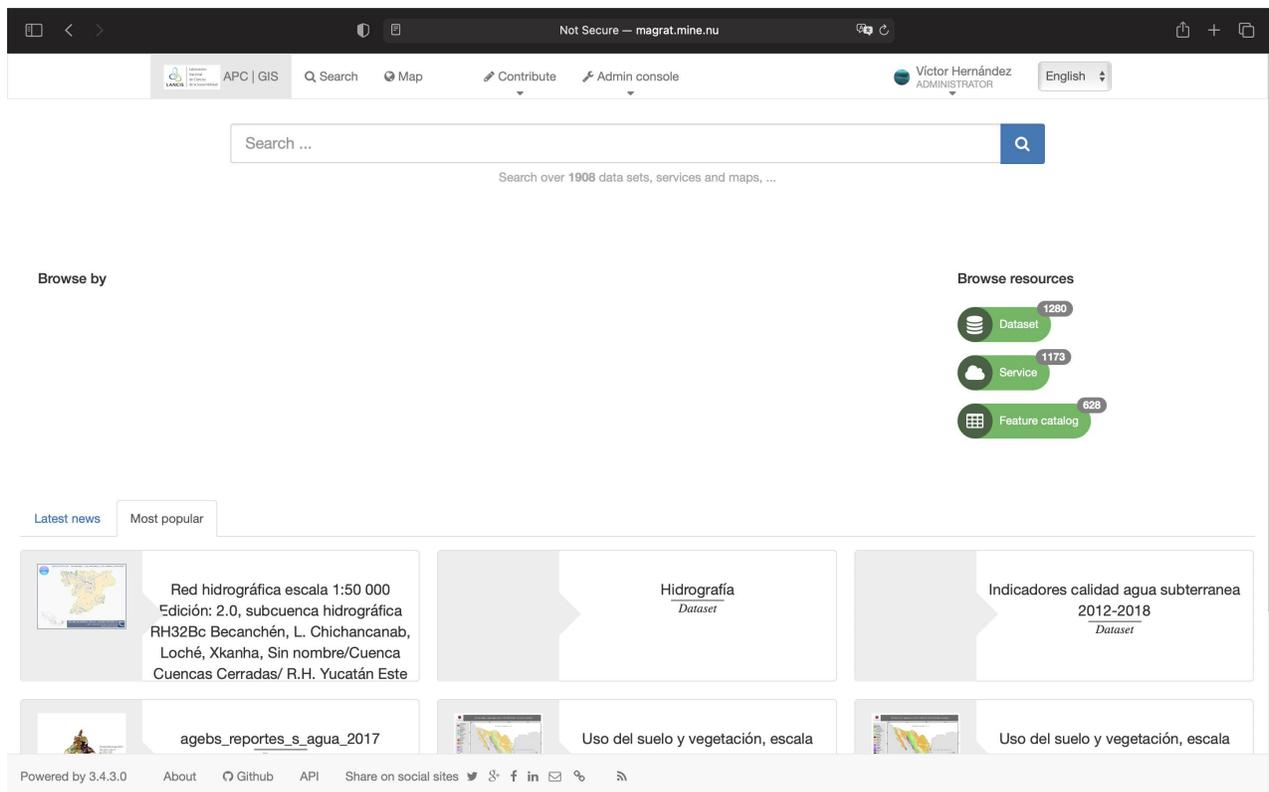


Figura 7 Página principal del catálogo de metadatos (Hernández 2021)

Un metadato específico se ve de la siguiente manera:

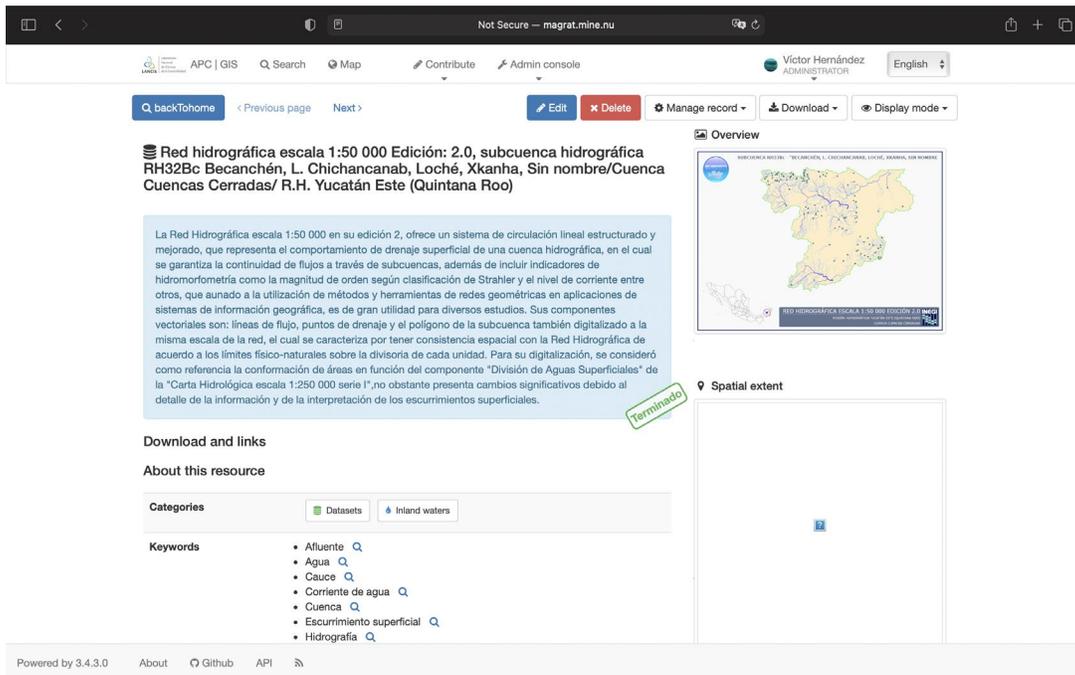


Figura 8 Visualización de un metadato en la plataforma (Hernández 2021)

La siguiente imagen muestra cómo se ven los atributos y sus descripciones

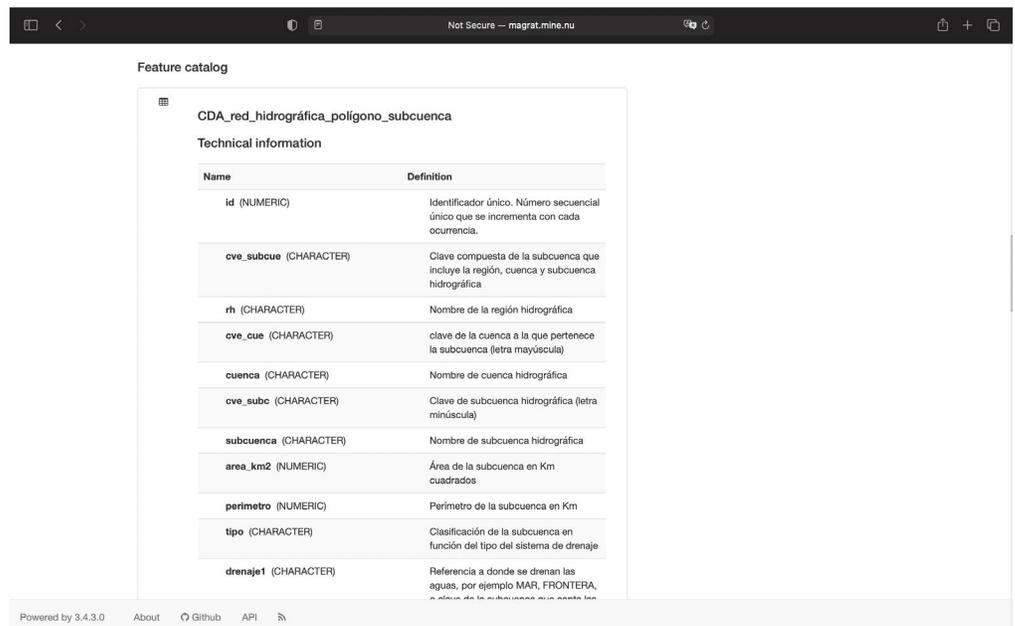


Figura 9 Catálogo de atributos (Hernández 2021)

Decálogo de buenas prácticas para la generación de metadatos.

El siguiente decalogo fue elaborado con el fin de distribuir una copia a cada colaborador para que tenga presente cuales son los puntos vitales y mas importantes a la hora de eleborar un metadato geográfico.

1. Escribir un buen título que refleje el conjunto de datos geoespaciales
2. Describir el contenido de forma clara y concisa
3. Describir el propósito que satisface el conjunto de datos
4. Elegir con criterio riguroso las categorías temáticas, de la más representativa a la menos representativa. Es necesariamente una y se recomienda que no se elijan más de tres.
5. Especificar claramente la herencia o linaje, en decir, la procedencia y origen de la información.
6. Indicar los siguientes dos ¿Cuándo?;
 - a. 1) de cuando es la información o que periodos de tiempo que abarca (escala temporal)
 - b. 2) de cuando es publicada oficialmente.
7. Indicar la resolución y la escala
8. Describir explícitamente el procesamiento; la secuencia de pasos o algoritmos aplicados para la obtención del producto, partiendo del linaje hasta el producto final.
9. Describir los campos de las bases de datos o tabla de atributos, en campos de tipo numérico especificar las unidades que representa el contenido, por ejemplo, metros, °C, Km/h
10. Dar el crédito a quien corresponde; especificar el contacto para información de los metadatos, autor, quien lo publica y quien lo administra.

Automatización de procesos para el análisis espacial multicriterio.

Antecedentes

En la historia relativamente corta del desarrollo y las aplicaciones de GIS (*Geographic Information Systems*) se puede observar un precedente donde los GIS se han reducido a una caja negra que se puede utilizar para generar productos cartográficos agradables que sirven para varios propósitos. (Ningchuan, 2019)

La manera tradicional de transformar y combinar datos geográficos es mediante software para GIS y consiste en realizar una serie de pasos en los cuales se ocupan algoritmos con interfaces gráficas donde la experiencia de usuario es agradable y sencilla.

En esta cadena de producción, el usuario es altamente susceptible a cometer equivocaciones u omitir pasos, que, si bien puede que no interrumpan el flujo, acumulan equivocaciones que perturban el resultado final.

Por otra parte, si la documentación es deficiente o inexistente se tienen que someter todos los productos a una verificación exhaustiva para corregir las equivocaciones, aumentando tiempos de procesamiento y entregas, claro está, que la corrección no garantiza que no se cometan nuevas equivocaciones en el proceso de corrección.

El análisis espacial multicriterio puede considerarse como una colección de métodos y herramientas para transformar y combinar datos y preferencias geográficas para obtener información para la toma de decisiones en el territorio (Malczewski & Rinner, 2015)

Definición del problema o contexto de la participación profesional

El LANCIS necesitaba tener la capacidad de generar capas para el análisis geoespacial multicriterio de una manera eficiente la cual permitiera reducir la probabilidad de equivocaciones, producir más rápido y tener una documentación de los algoritmos empleados en la generación de capas.

En el LANCIS se suele ocupar software libre para el procesamiento de información geográfica, los software más utilizados son Qgis y GRASS. Ambos softwares tienen

soporte para crear y ejecutar scripts utilizando el lenguaje de programación Python y cuentan con una consola inmersa en su interfaz.

Para satisfacer las carencias del LANCIS se propone la creación de una librería de funciones en python que automatizan los procesos para la generación de insumos requeridos en el análisis espacial multicriterio.

Estas funciones están escritas para que puedan ser combinadas y usadas de una manera fácil y práctica, lo que permite aumentar la productividad y a su vez, contar con una documentación de los procesos involucrados en la creación de nuevos productos geográficos.

Metodología

La librería es publicada mediante *GitHub* que es un sistema de control de versiones. De esta manera, se puede actualizar constantemente y los miembros del laboratorio pueden acceder de manera fácil a la última versión actualizada.

Mediante las herramientas disponibles en Github (github pages) desarrolle una página web para la consulta de la documentación de las funciones y guías de uso, con el fin de impulsar la creación de capacidades entre los diferentes colaboradores del laboratorio y que la transición sea lo más amena posible.

Para la creación de scripts en general se siguen los siguientes pasos:

- a) Se descarga la librería del repositorio de Github
https://github.com/vichdzgeo/geo_lancis/blob/master/codigos/apcsig.py
- b) Se identifican las funciones requeridas para el análisis en la página web de la documentación o en la librería.
- c) Se ejecuta la librería en la consola de python. Mientras no se cierre el programa estas funciones estarán cargadas.
- d) Se declara el directorio o ruta de trabajo
- e) se escribe la secuencia de comandos requerida para el análisis acompañado de una documentación simple y específica

- f) se guarda y se ejecuta el script
- g) se comprueba el producto final.

El script creado sirve como documentación detallada pues contiene la secuencia de comandos utilizados para la obtención del producto a partir de uno o varios insumos.

Caso de uso en el Ordenamiento Ecológico y Territorial de Yucatán

El LANCIS realiza la parte técnica y de integración de la información para la actualización del Programa de Ordenamiento Ecológico y Territorial de Yucatán (POETY). Dentro de las responsabilidades del LANCIS en el POETY es realizar los talleres para definir los atributos ambientales que mejor definen o caracterizan la **aptitud** de los sectores económicos y productivos de la región.

El análisis de aptitud es un método que permite conocer la capacidad del territorio para desarrollar ciertas actividades. Este análisis utiliza el conocimiento que tienen los sectores productivos para decidir que zonas proporcionan las mejores alternativas para su emplazamiento. El resultado es un mapa por actividad para toda el área que abarca el Ordenamiento Ecológico y presenta una categorización de las zonas en función de la aptitud que tengan para cada sector (SEMARNAT & INECC, 2006)

Para extraer el conocimiento de los participantes y poder ponderar los atributos ambientales a una escala en común se utilizan metodologías que permiten incluir variables intangibles en la toma de decisiones. Para este caso en específico se utiliza la metodología Analytic Hierarchical Process (AHP) o traducido como Proceso Jerárquico Analítico. En el cual se define una meta y los atributos se van clasificando en comparaciones pareadas de importancia, hasta llegar a un modelo con ponderaciones por atributo.

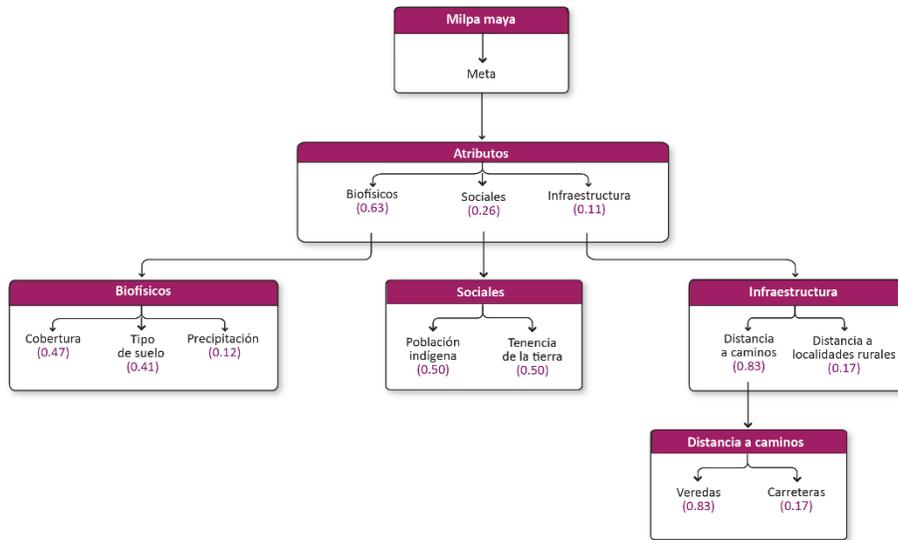


Figura 10 Modelo de decisión AHP del sector milpa maya (Hernández 2021)

Por si sola esta metodología ya es parte del análisis multicriterio, y aunque brinda una jerarquía de los atributos ambientales que definen la aptitud, espacialmente no brinda ninguna información, es por ello, que los atributos ambientales son representados por capas geográficas, estos atributos, tienen que ser transformados a una escala en común, lo que se conoce como una transformación de valores naturales a valores de una función de valor, que van entre 0 y 1.

Existen diferentes tipos de escalas que se pueden aplicar a las capas geográficas, por ejemplo. Para el atributo de tenencia de la tierra aplica una escala de tipo discreta, en donde se asigna un valor entre 0 y 1 para cada diferente categoría, en función de su importancia.

ID	Categoría	Importancia	FV
1	Tierra de uso común	Muy alta	1.00
2	Zona de tierras parceladas	Moderada	0.50
3	No ejidal	Baja	0.25

Figura 11 Transformación de categorías del mapa de tierras de uso común y zonas parceladas en función de su importancia (Hernández 2021)

Por otro lado, para el atributo distancia a caminos se aplica una función continua, este tipo de escalas están representadas por funciones matemáticas y puede ser una línea recta o bien, alguna que describa el comportamiento del atributo.

En la imagen de abajo se puede ver una función cóncava decreciente en donde la mejor condición para este atributo, según los participantes, es una distancia de 0 km y máximo 2 km, a partir de ahí la condición disminuye aceleradamente.

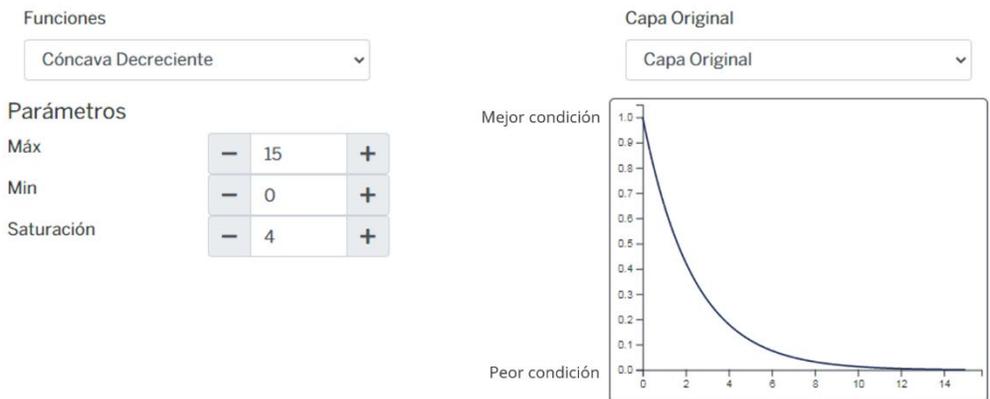


Figura 12 Función de valor de distancia a caminos

De esta manera cada atributo en el modelo de decisión tiene que ser transformado a una escala en común con el fin de poder integrar o sumar los atributos para definir el mapa de aptitud sectorial según sus atributos ambientales.

Por procedimiento la serie de pasos para trabajar con las capas geográficas es el siguiente:



Figura 13 Esquema de flujo de trabajo a partir de capas en formato vectorial (Hernández 2021)



Figura 14 Esquema de flujo de trabajo a partir de capas en formato raster (Hernández 2021)

Una vez que se tienen todas las funciones de valor de los atributos de un sector, la integración de las capas se realiza por medio de la *combinación lineal ponderada*. Este modo de decisión parte del Análisis espacial multicriterio en donde las funciones de valor de los atributos ambientales se suman según la ponderación obtenida en el modelo de decisión.

Figura 15 Base de datos con el nombre, ruta y peso de los atributos que componen al sector milpa maya (Hernández, 2021)

$$aptitud\ sectorial = \sum_i^n f v_i * w_i$$

Donde:

- $f v$ es la capa raster que representa la función de valor del atributo ambiental i
- W es el peso o ponderación global del atributo i

Con la librería *apcsig* se crea un código el cual lee un archivo csv que contiene el nombre del criterio o atributo ambiental, la ruta del archivo raster que representa la función de valor y el peso o ponderación global del criterio.

nombre	ruta	w
Cobertura	../fv_mil_bio_usv_cobertura_usv_svi_16cats_costa_manglar.tif	0.297
Tipo de suelo	../fv_mil_bio_suelo_tipo_suelo.tif	0.258
Disponibilidad de agua (Precipitación)	../fv_mil_bio_agua_precipitacion_prom_may_jun_jul.tif	0.079
Tenencia de la tierra	../fv_mil_soc_ejido_tenencia_tierra.tif	0.130
Población Indígena	../fv_mil_soc_indi_porcentaje_indigena_municipal.tif	0.130
Distancia a caminos - Carreteras	../fv_mil_infra_cam_d_carretera_prolongacion.tif	0.015
Distancia a caminos - Veredas	../fv_mil_infra_cam_d_caminos_veredas.tif	0.073
Distancia a centros de acopio - localidades rurales	../fv_mil_infra_merc_d_localidades_2500.tif	0.018

¿Cómo ejecutar un código en Qgis?

Ejecutar Qgis Desktop 3.XX, la ventana que se muestra es la que corresponde a la interfaz gráfica del programa, en la barra de tareas hacer clic en el ícono correspondiente a python para abrir la consola.

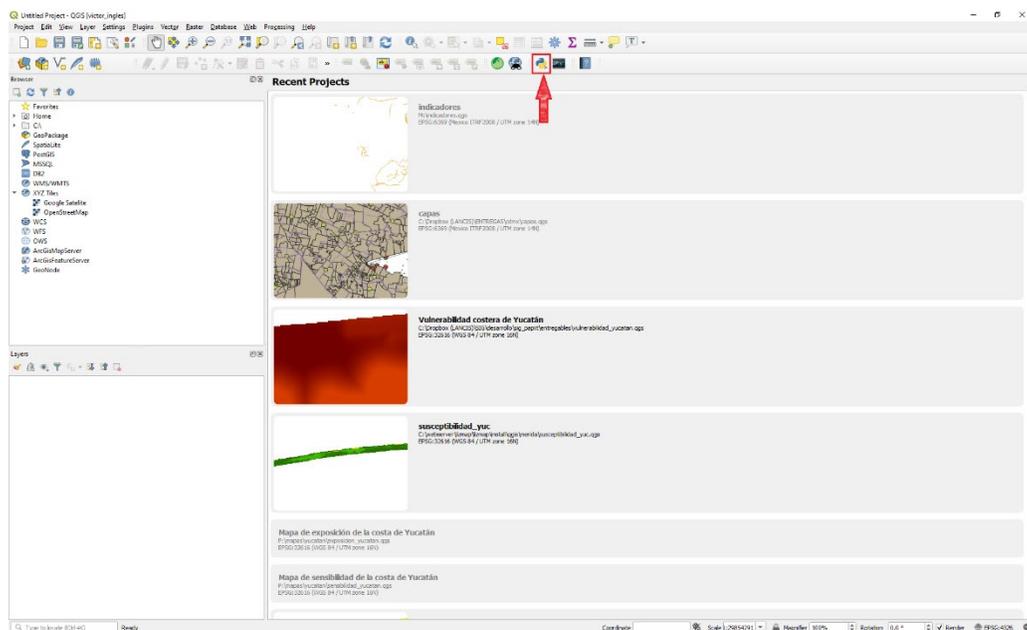


Figura 16 Interfaz de inicio de Qgis (Hernández 2021)

En la parte inferior de la ventana se mostrará la consola de Python

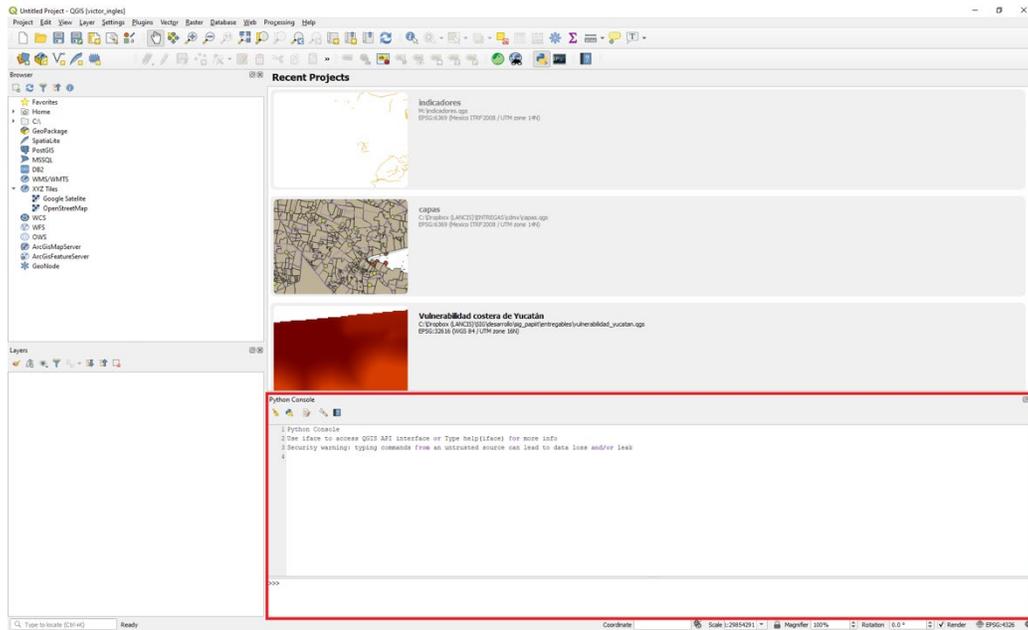


Figura 17 Consola de python en Qgis (Hernández 2021)

Hacer clic en el editor

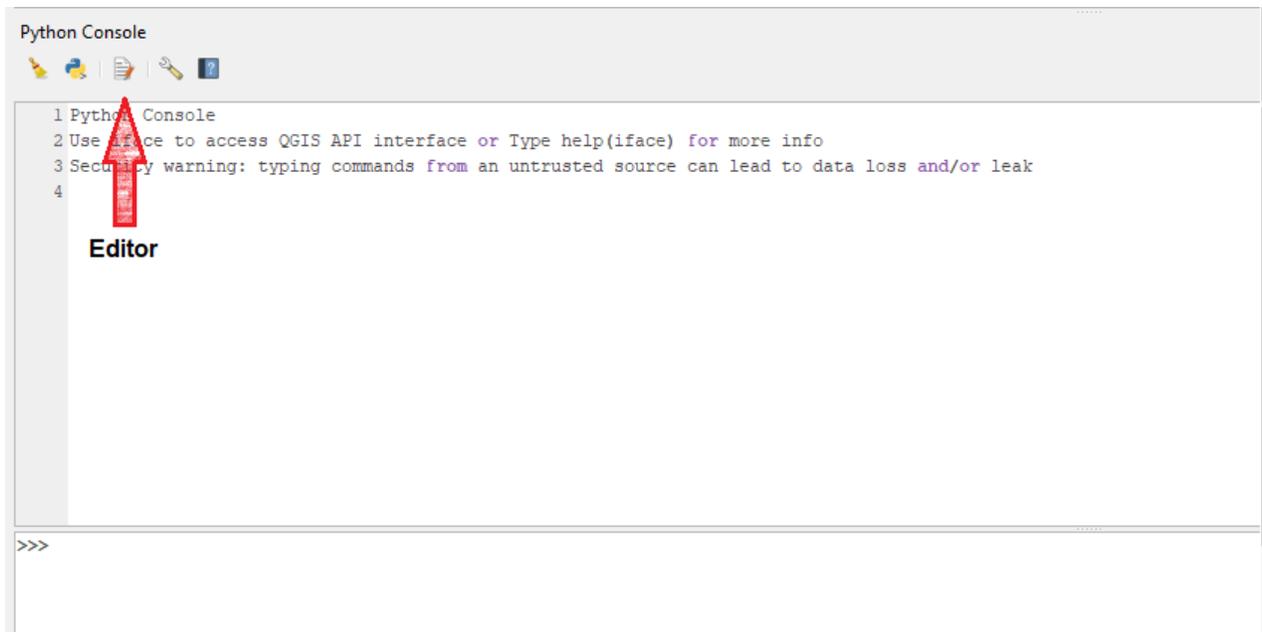


Figura 18 Editor de código (Hernández 2021)

Se despliega en el lado izquierdo un panel, el cual es el editor de código, cuenta con una barra de tareas, para abrir un script dar clic en el ícono de abrir archivo.

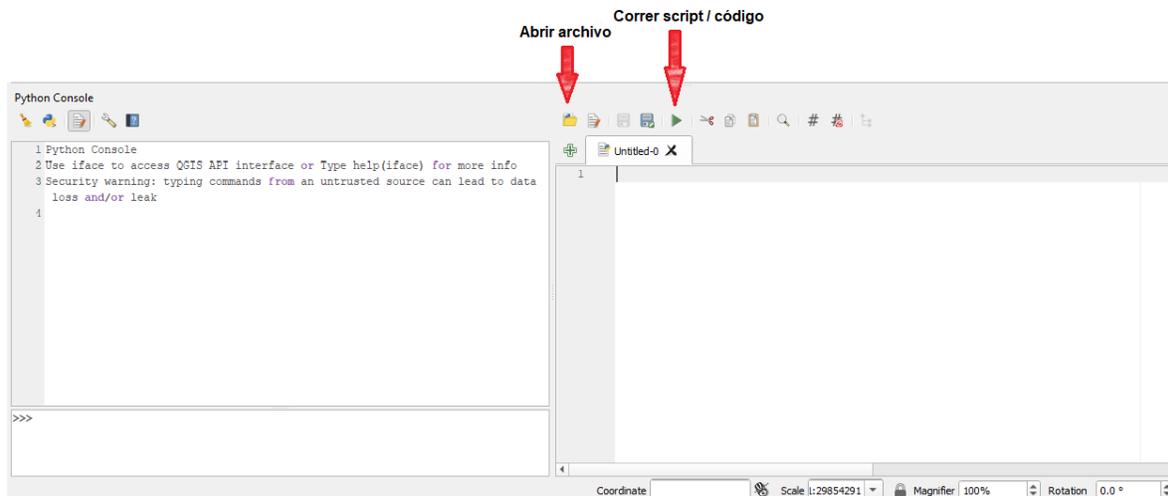


Figura 19 Barra de tareas de la consola de python (Hernández 2021)

Se abrirá una ventana que permite usar el explorador de archivos para navegar y encontrar el archivo con extensión .py. Elegir el archivo deseado y dar clic en abrir.

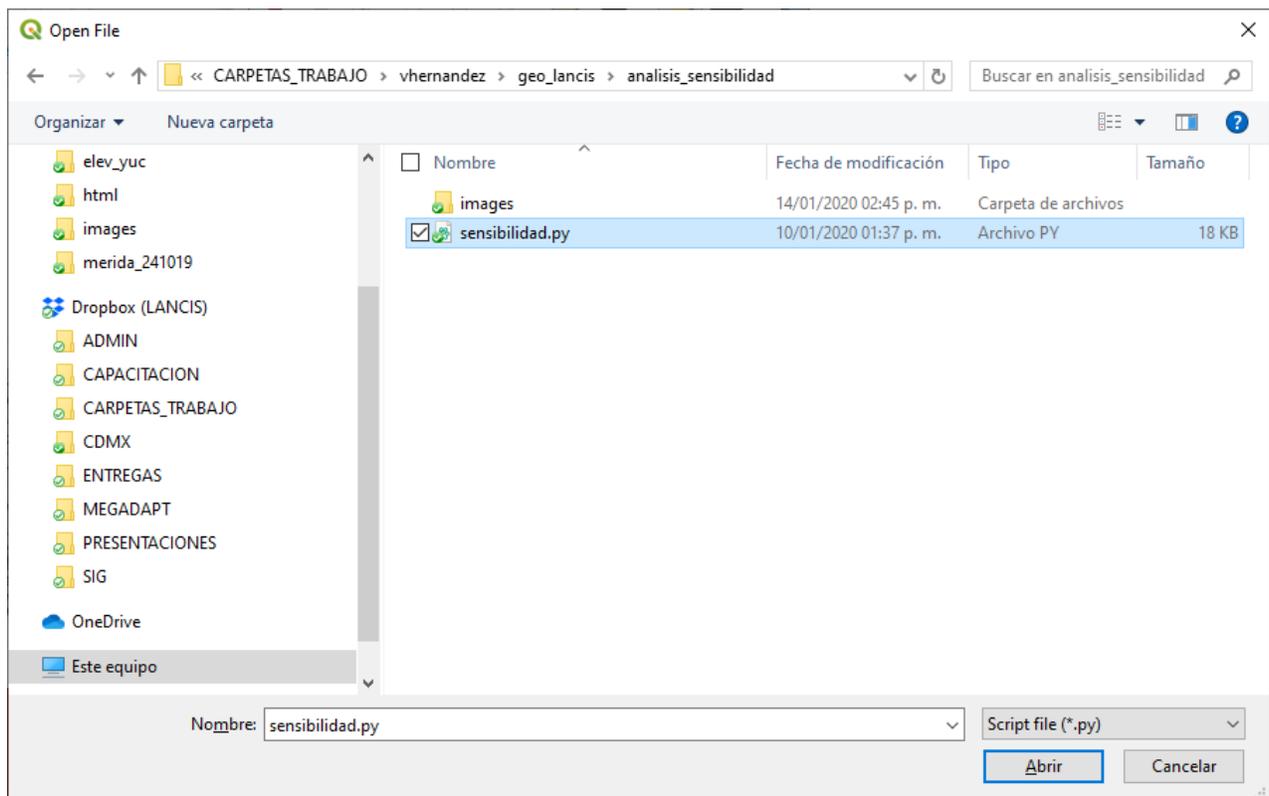


Figura 20 Seleccionar un archivo de python (Hernández 2021)

Código de ejemplo para la automatización de procesos en Python – Qgis

```
path_sig = ../sensibilidad/'

path_datos = 1..sectores/milpa_apic/funciones_valor/sensibilidad_milpa_maya.csv'

cve_sector = 'mil_milpa_maya'
p_procesamiento = path_sig
dicc = csv_to_dicc(path_datos)
criterios,path_capas,pesos = criterios_ruta_pesos(dicc)
ecuacion_indice_clp = ecuacion_clp(pesos)
dir_tmp = p_procesamiento+"tmp"
if "tmp" not in os.listdir(p_procesamiento):
    os.mkdir(dir_tmp)
# ---- GENERACIÓN DE LAS CAPAS CONSIDERANDO TODOS LOS ELEMENTOS ---- #
mapa_sector = dir_tmp+"/tp_"+cve_sector+".tif"
crea_capa_raster(ecuacion_indice_clp,path_capas,mapa_sector)
mapa_sector_media_total = media_raster(mapa_sector)
## NORMALIZANDO EL RESULTADO
rmin,rmax= raster_min_max(mapa_sector)
ecuacion = '(A -'+str(rmin)+' ) / ('+str(rmax-rmin)+')'
mapa_normalizado = p_procesamiento+cve_sector+"_sigindex.tif"
calculadora_grass(mapa_sector, ecuacion,mapa_normalizado)
#---- TERMINA ---#
#--- ANALISIS DE SENSIBILIDAD ----#
path_csv_salida = p_procesamiento+"tabla_sensibilidad_"+cve_sector+"_por_criterio.csv"
archivo = open(path_csv_salida,"w")
archivo.write("criterio,sensibilidad\n")
for criterio in criterios:
    dicc2 = quita_reescala(dicc,criterio,reescala_ind='si')
    criterios_i,path_capas_i,pesos_i = criterios_ruta_pesos(dicc2)
    ecuacion_i = ecuacion_clp(pesos_i)
    mapa_sector_i = dir_tmp+"/tp_"+cve_sector+"_sin_"+criterio+".tif"
    crea_capa_raster(ecuacion_i,path_capas_i,mapa_sector_i)
    media_i = media_raster(mapa_sector_i)
    sensibilidad_calculada = round((abs((mapa_sector_media_total-
media_i))/mapa_sector_media_total),3)
    archivo.write(criterio+", "+str(sensibilidad_calculada)+"\n")
archivo.close()
arch_csv = pd.read_csv(path_csv_salida)
df_o = arch_csv.sort_values('sensibilidad',ascending=True).copy()
df_o.to_excel( p_procesamiento+nOMBRE_CAPA( path_csv_salida)+".xlsx",index = False, header=True)
```

El código lee el archivo csv y su contenido, organiza la información y con una serie de funciones realiza la combinación lineal ponderada para obtener el mapa de aptitud.

El mapa de aptitud es una capa raster que va de 0 (peor condición) hasta 1 (mejor condición), el valor de 1 representa aquellas zonas donde el territorio tiene muy alta aptitud para desarrollarse.

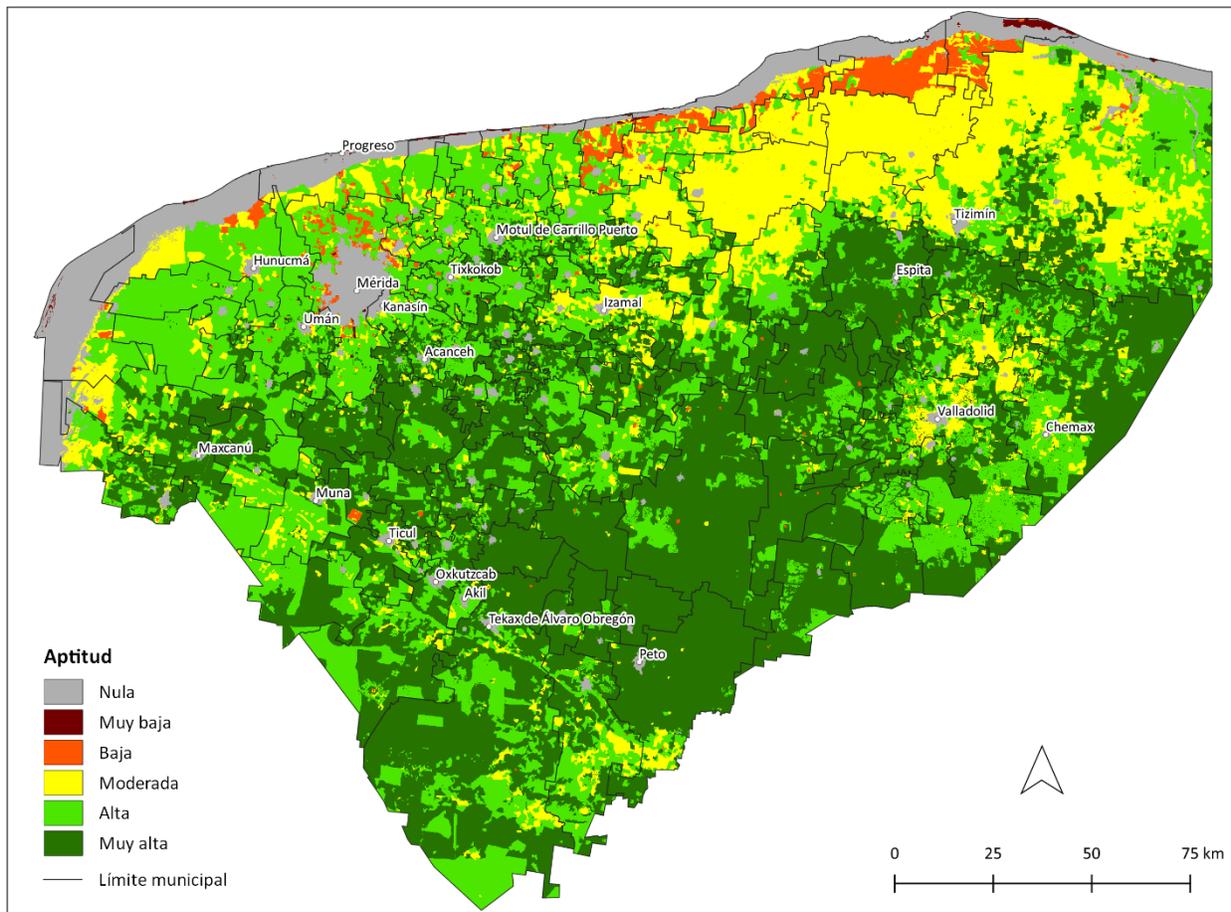


Figura 21 Mapa de aptitud del sector milpa maya (Hernández 2021)

Además de realizar la combinación lineal ponderada, el código realiza un análisis de sensibilidad por remoción de capas y genera un archivo en excel para graficar.

Este análisis se realiza ya que son los atributos ambientales y su peso los que definen la aptitud del sector productivo, sin embargo es importante conocer la calidad y la heterogeneidad de los datos espacialmente, así, este análisis somero quita un atributo,

reescala proporcionalmente los pesos y realiza de nuevo la integración o combinación lineal ponderada. Calcula la proporción de cambio del mapa de aptitud con todos los atributos ambientales y el mapa de aptitud sin ese atributo ambiental.

Lo que resulta en una medida relativa, que puede detonar en poner especial atención en la capa geográfica, ver y analizar su escala y calidad, así, los tomadores de decisiones tienen una herramienta para identificar en donde pueden destinar recursos para mejorar la cartografía de su región.

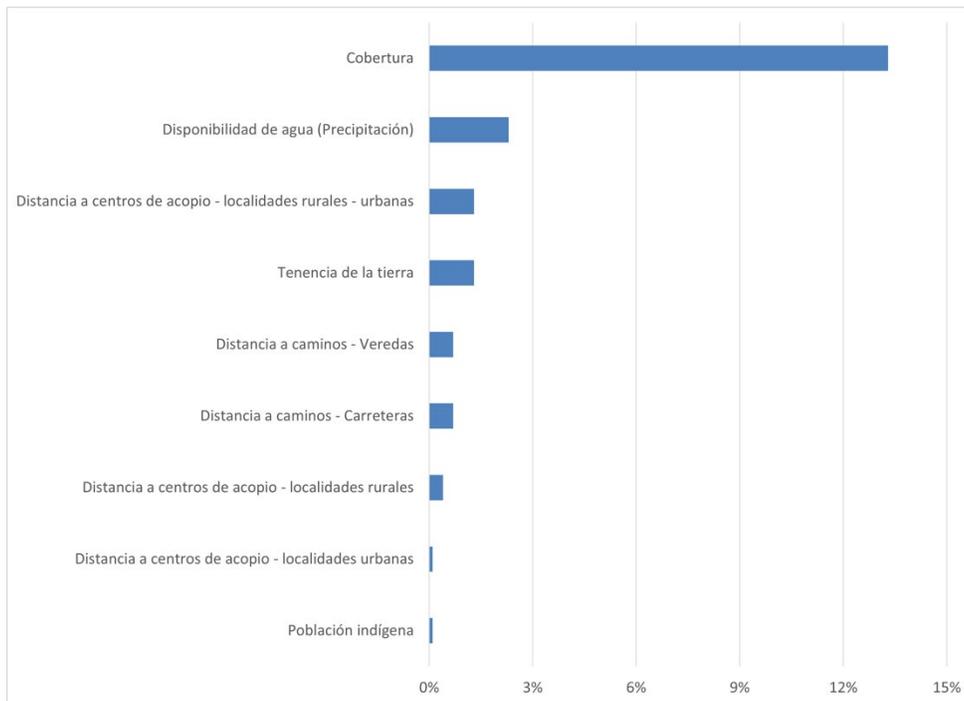


Figura 22 Gráfica de análisis de sensibilidad por remoción de capas. (Hernández 2021)

Visualizador de mapas web

Antecedentes

Al momento de presentar avances o resultados entre diferentes colaboradores respecto a productos cartográficos el proceso puede complicarse debido a una serie de requisitos previos para la visualización de datos como:

- Contar con un software de SIG que permita la apertura y visualización de los datos.
- El tamaño de los datos puede superar el tamaño máximo permitido en datos adjuntos por los servicios de correo electrónico lo que conlleva a utilizar y compartir información mediante servicios de almacenamiento.
- Los estilos y formas de representación no necesariamente son compatibles entre los diferentes softwares que existen, lo que causa que el colaborador tenga que asignar un estilo para visualizar los datos lo más cercano posible al resultado o avance que se desea presentar.

Otras maneras en que se suelen presentar los avances y resultados son mediante una presentación en PowerPoint o la proyección en pantalla del proyecto en el software GIS. Las presentaciones en PowerPoint por lo general contienen capturas de pantalla de los productos cartográficos conservando los estilos y formas de representación, si bien puede ser útil, cuando se trata de productos cartográficos se requiere visualizar ciertos lugares en específico, por lo cual dificulta la discusión al ser imágenes estáticas de los productos.

La proyección de pantalla del proyecto permite explorar los lugares geográficos deseados y visualizar los productos cartográficos en tiempo real, activar o desactivar capas y consultar datos superpuestos, la desventaja es que la discusión y visualización de estas capas está limitada por el tiempo que dure la proyección y depende directamente de al menos de una persona que esté operando el software GIS.

Definición del problema o contexto de la participación profesional

El LANCIS al requerir una herramienta para la presentación de productos geográficos que permitiera facilitar la discusión y consulta, se implementó mediante un servicio web de mapas WMS (*Web Map Services*), un visualizador de capas de software libre, por medio de la web, los colaboradores externos, pueden acceder en cualquier momento del día y visualizar los productos cartográficos con los estilos y formas de representación definidas, realizar sobreposiciones y consultar valores de una zona en específico, medir distancias, áreas o perímetros, activar o desactivar capas, visualizar la tabla de atributos, cambiar el mapa base y hasta realizar búsquedas de direcciones mediante geo codificación inclusive se pueden configurar gráficas mediante la tabla de atributos.

Este conjunto de herramientas permite una visualización homogénea entre todos los colaboradores favoreciendo la discusión de los productos geográficos haciendo las reuniones de planeación y la toma de decisiones más eficientes.

Metodología

Lizmap es un software de código abierto diseñado por 3Liz®, permite crear aplicaciones de mapas web mediante Qgis Desktop.

De parte del servidor requiere tener instalado

- Apache Server
- Qgis server
- Python-Qgis

Guía de instalación de Lizmap

Requisitos del servidor

- Servidor con Debian 10.7

Dependencias

- Apache2
- Qgis server
- libapache2-mod-fcgid

- xauth
- htop
- curl
- libapache2-mod-php
- php7.3-cgi
- php7.3-gd
- php7.3-xml
- php7.3-sqlite3
- php7.3-curl
- php7.3-xmllrpc
- php7.3-pgsql
- python-simplejson
- python-software-properties

Instalar Apache

Ejecutar el siguiente comando en la terminal

```
sudo apt install apache2
```

Reiniciar el servicio

```
sudo service apache2 restart
```

Instalación de Qgis server

Verificar la instalación correcta de apache procedemos a instalar qgis server

```
sudo apt install qgis-server
```

instalar la dependencia de qgis y Python

```
apt install python-qgis
```

instalar y configurar el complemento de apache para servicios fcgid

```
sudo apt install libapache2-mod-fcgid  
sudo a2enmod fcgid  
sudo a2enconf serve-cgi-bin
```

Reiniciar el servicio de apache para actualizar las configuraciones

```
sudo service apache2 restart
```

Modificar el archivo 000-default.conf como se muestra en el siguiente bloque

```
<VirtualHost *:80>
ScriptAlias /cgi-bin/ /usr/lib/cgi-bin/
<Directory "/usr/lib/cgi-bin/">
Options ExecCGI FollowSymLinks
Require all granted
AddHandler fcgid-script .fcgi
</Directory>
ServerAdmin webmaster@localhost
DocumentRoot /var/www/html
ErrorLog ${APACHE_LOG_DIR}/error.log
CustomLog ${APACHE_LOG_DIR}/access.log combined
</VirtualHost>
```

Para editar el archivo:

```
sudo gedit /etc/apache2/sites-available/000-default.conf
```

Reiniciar el servicio de apache para actualizar las configuraciones

```
sudo service apache2 restart
```

Realizar una prueba de las peticiones al servidor de mapas visitando la siguiente liga

<http://localhost/cgi->

[bin/qgis_mapserv.fcgi?SERVICE=WMS&VERSION=1.3.0&REQUEST=GetCapabilities](http://localhost/cgi-bin/qgis_mapserv.fcgi?SERVICE=WMS&VERSION=1.3.0&REQUEST=GetCapabilities)

donde *localhost* puede ser la ip del servidor

Instalación de Lizmap en servidor

Instalar las dependencias necesarias para que funcione adecuadamente, Lizmap es un software de código abierto, se basa en python y php.

```
sudo apt install xauth htop curl libapache2-mod-php7.3 php7.3-cgi php7.3-gd  
php7.3-sqlite3 php7.3-xml php7.3-curl php7.3-xmlrpc php7.3-pgsql python-simplejson  
python-software-properties
```

Descargar el código fuente de la siguiente liga:

https://github.com/3liz/lizmap-web-client/archive/release_3_2.zip

descomprimir en una carpeta con el mismo nombre y guardarla en la siguiente ruta:

```
/var/www/lizmap-web-client-release_3_2
```

Crear un enlace simbólico en la carpeta web de apache, en este punto es importante nombrar la carpeta del enlace con el nombre de preferencia como la url para acceder a lizmap, por ejemplo, si se elige que se llame *mapas* la url quedaría de la siguiente forma

<http://localhost/mapas>

```
sudo ln -s /var/www/lizmap-web-client-release_3_2/lizmap/www/  
/var/www/html/mapas
```

Colocarse en el directorio donde se encuentra la carpeta original y realizar las siguientes configuraciones:

```
cd /var/www/lizmap-web-client-release_3_2  
sudo lizmap/install/set_rights.sh www-data www-data  
cd /var/www/lizmap-web-client-release_3_2/lizmap/var/config  
sudo cp lizmapConfig.ini.php.dist lizmapConfig.ini.php  
sudo cp localconfig.ini.php.dist localconfig.ini.php  
sudo cp profiles.ini.php.dist profiles.ini.php  
cd ../../..
```

Lanzar el instalador php de lizmap

```
sudo php lizmap/install/installer.php
```

En la consola se mostrará algo parecido al siguiente bloque:

```
Installation start..
[notice] Installation starts for the entry point index
All modules dependencies are ok
Module jelix installed
Module jauthdb_admin installed
Module master_admin installed
Module jacl2 installed
Module jacl2db installed
Module jacl2db_admin installed
Module jauth installed
Module jauthdb installed
Module admin installed
Module lizmap installed
Module view installed
Module proj4php installed
All modules are installed or upgraded for the entry point script
Installation ended.
```

Reiniciar el servicio de apache para actualizar las configuraciones

```
sudo service apache2 restart
```

Se tiene que crear y establecer un directorio principal como repositorio en el servidor, en este directorio se almacenan:

- Las capas que tiene el proyecto de Qgis
- el proyecto de qgis con extensión qgs
- el archivo cfg generado por el plugin de lizmap, este archivo contiene las configuraciones para desplegar el proyecto en la web.

A manera de ejemplo se establece la siguiente ruta como directorio

```
home/ingematica/Documents/mapas/
```

Posteriormente se tienen que dar permisos de escritura y lectura, además de agregar el usuario www-data como copropietario de la carpeta, para esos pasos ejecutar los siguiente en la terminal

```
sudo chown :www-data /home/ingematica/Documents/mapas/ -R
sudo chmod 775 -R /home/ingematica/Documents/mapas/
```

Nota: estos dos comandos se tienen que hacer cada vez que se agreguen nuevos proyectos o cambien las configuraciones del archivo cfg

Declarar el repositorio

Ingresar en un navegador web la url donde esta hospedado lizmap, en este caso es: 192.168.0.23/mapas/ se muestra la siguiente ventana, del lado superior derecho dar clic en connect

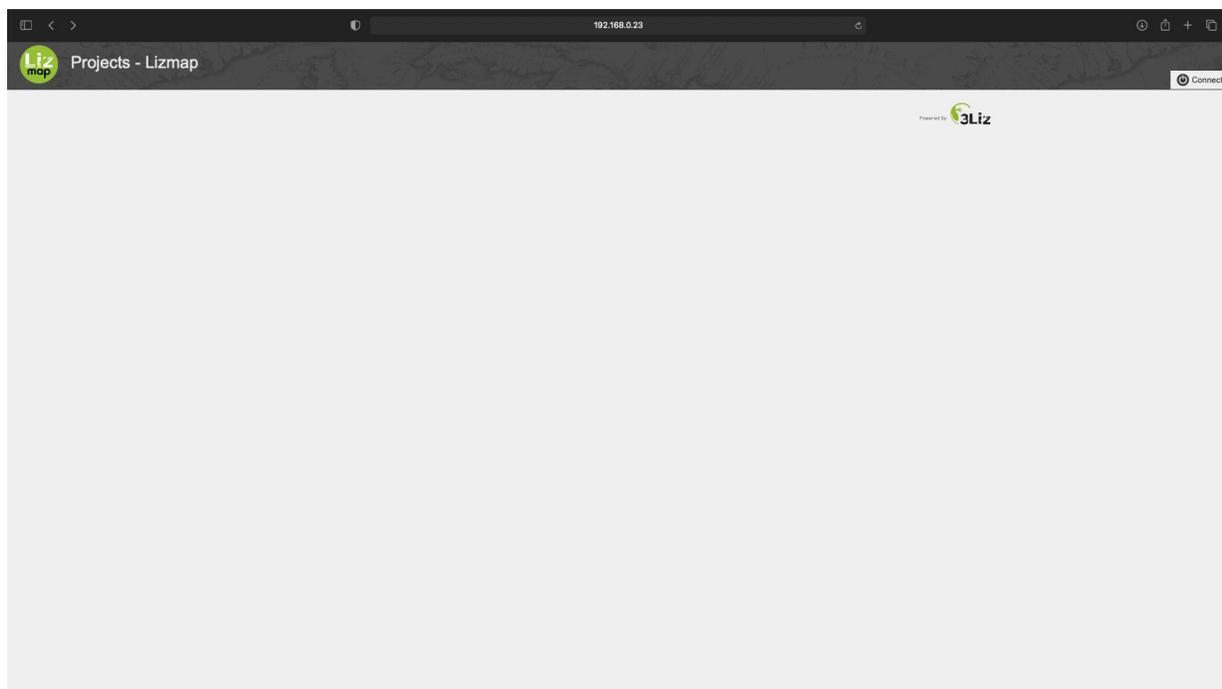


Figura 23 Página de inicio de LizMap (Hernández 2021)

Para ingresar al panel de configuración, ingresar usuario y contraseña por defecto el usuario es *admin* y la contraseña: *admin*, puede crear usuarios una vez ingresando al panel de configuración

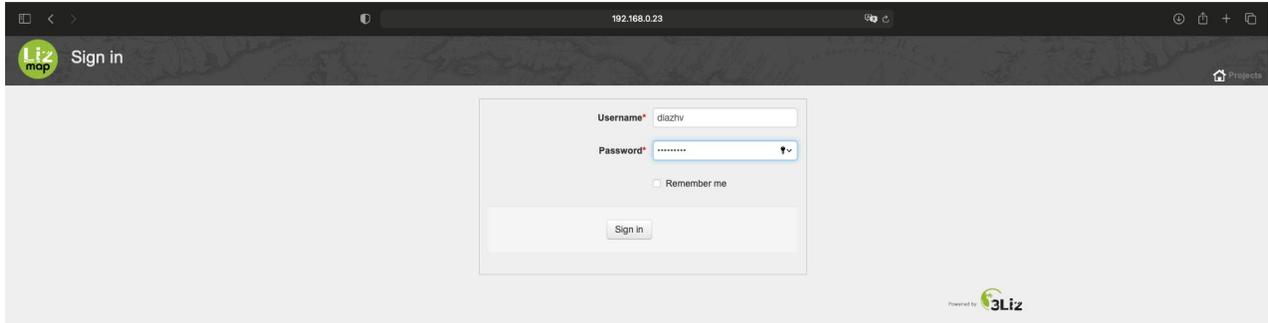


Figura 24 Inicio de sesión en LizMap (Hernández 2021)

Una vez logueado se muestra en la parte superior derecha una pestaña con el nombre *Administration* hacer clic el botón para acceder

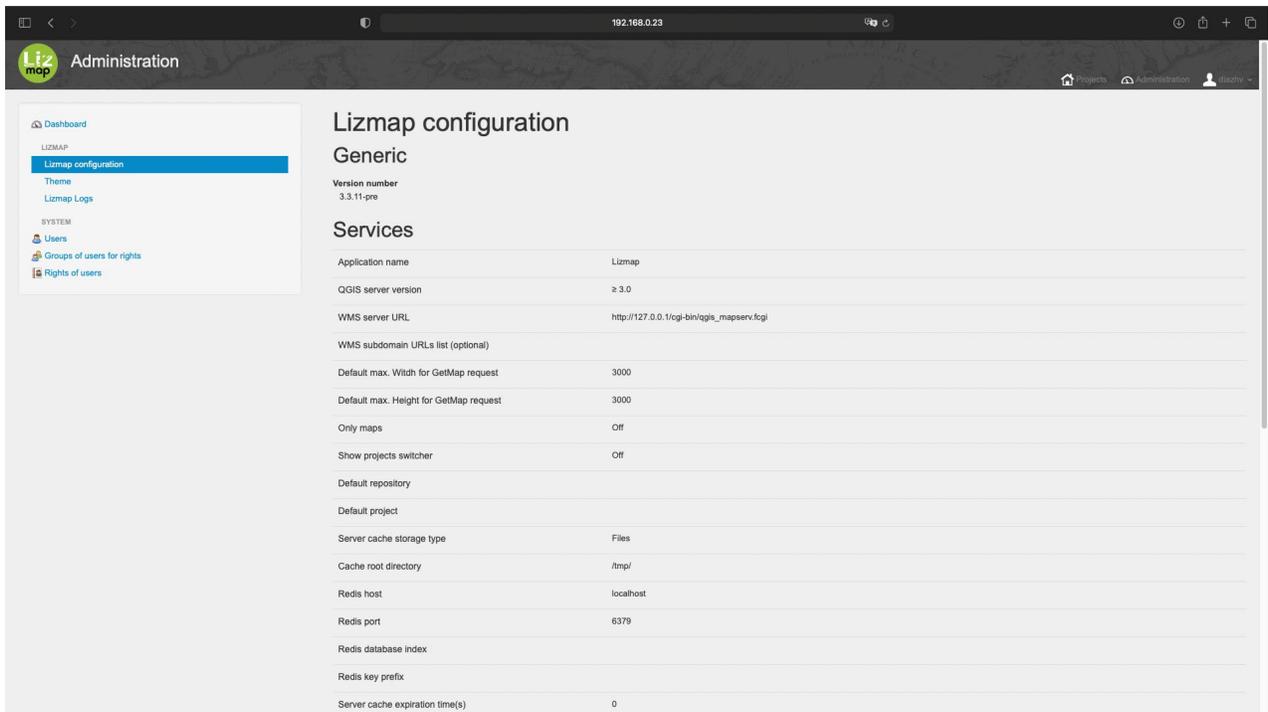


Figura 25 Panel de administración de LizMap (Hernández 2021)

En la parte inferior de la página, se encuentra la sección de repositorios, en esa sección se muestran en forma de lista todos los repositorios que se han dado de alta, para establecer uno nuevo, hacer clic en el botón *Create a repository*



Figura 26 Crear un repositorio de mapas (Hernández 2021)

Para crear un repositorio se rellena el formulario siguiente, compuesto por tres elementos:

- id: es una palabra que sirve de identificador para el repositorio
- Label: Es la etiqueta que llevará por título el repositorio, puede incluirse espacios y mayúsculas
- local folder path: en este elemento se declara la ruta del repositorio

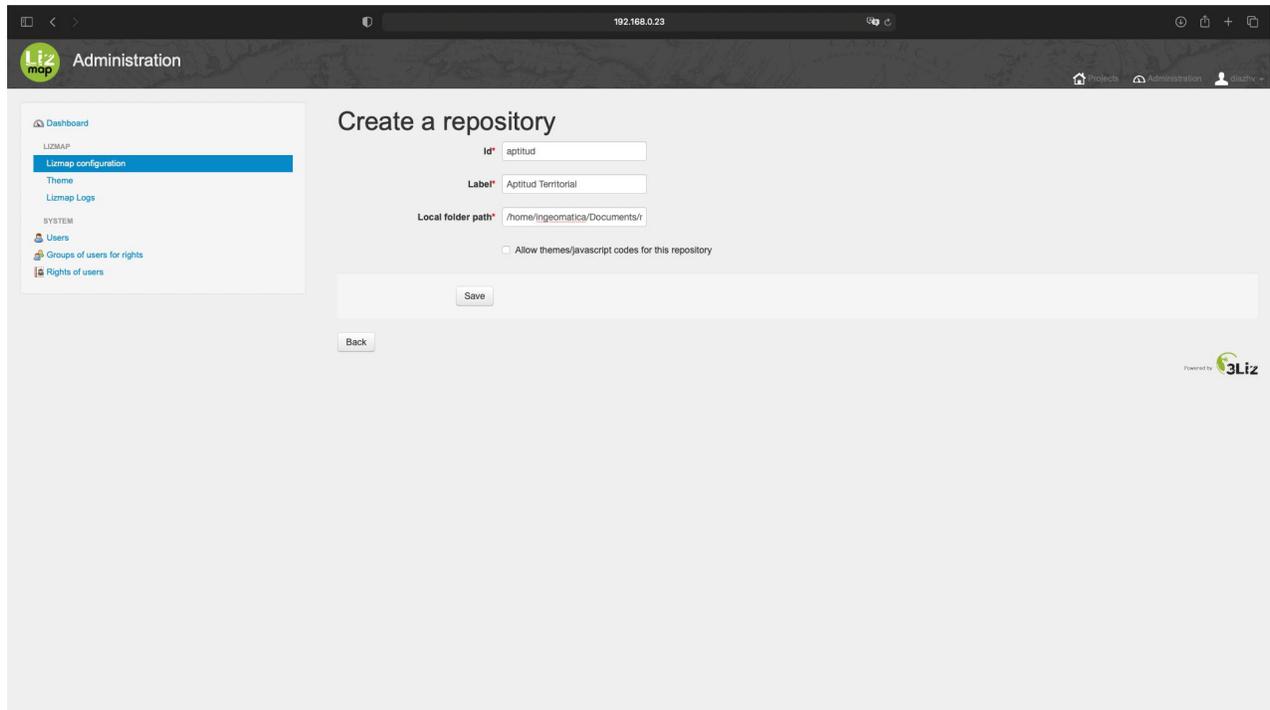


Figura 27 Formulario de creación de repositorio de mapas (Hernández 2021)

hacer clic en el botón save, se muestran una serie de casillas que tienen que ser seleccionadas, en ellas se asignan los permisos para que el proyecto o ciertas funciones puedan ser vistas por diferentes grupos de usuarios, si el proyecto es público, se recomienda activar en todas las funciones la casilla de Anonymous

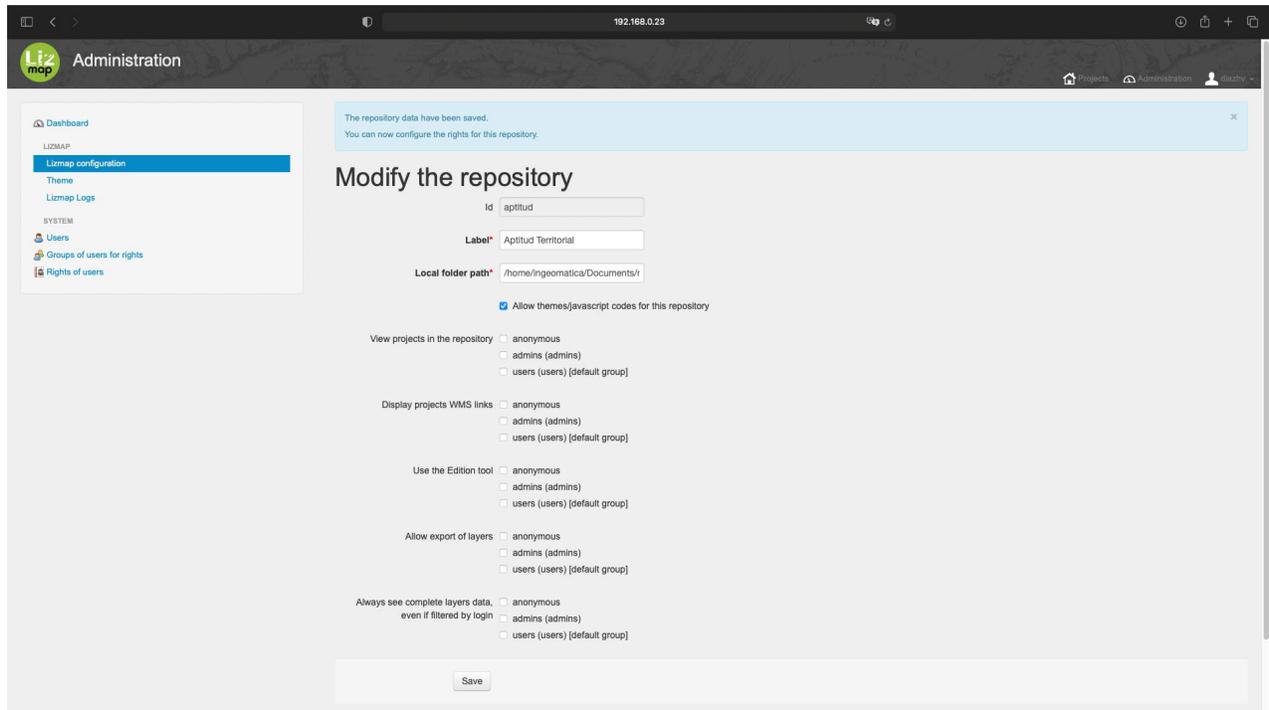


Figura 28 Sección de permisos a grupos para el repositorio de mapas (Hernández 2021)

Una vez seleccionados los grupos y funciones permitidas dar de nuevo clic en el botón save, se muestra de nuevo la sección de repositorios, aquí debe ya mostrarse el repositorio creado.

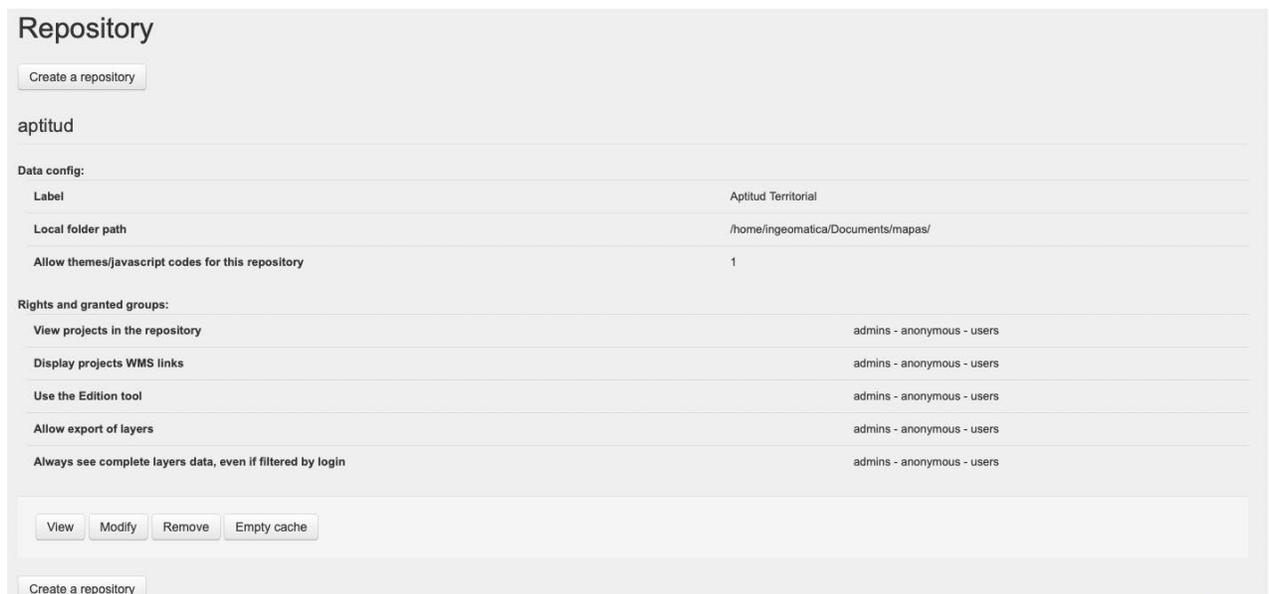


Figura 29 Resumen de configuración y permisos del repositorio (Hernández 2021)

Para ver los proyectos contenidos en el repositorio dar clic en el botón de View, los proyectos se mostrarán como en la siguiente ventana

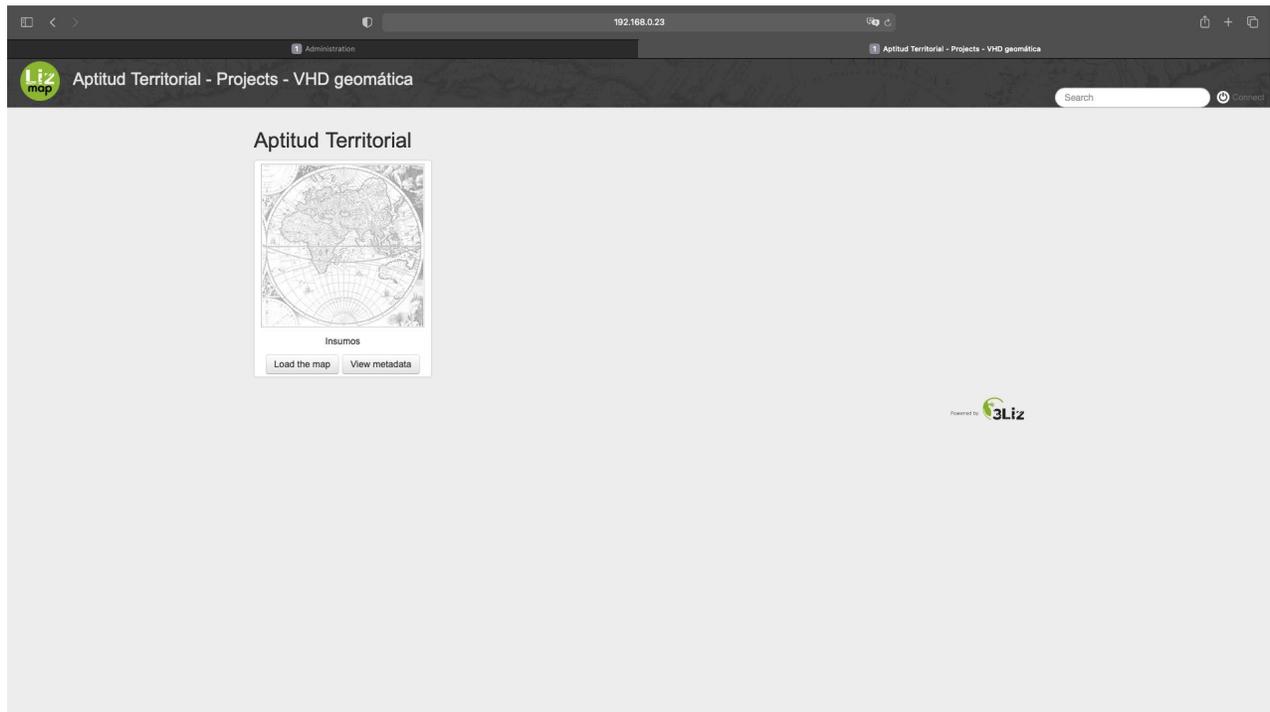


Figura 30 Página de inicio con proyectos de mapas disponibles (Hernández 2021)

Para visualizar el proyecto y ver las capas contenidas dar clic en el botón Load the map

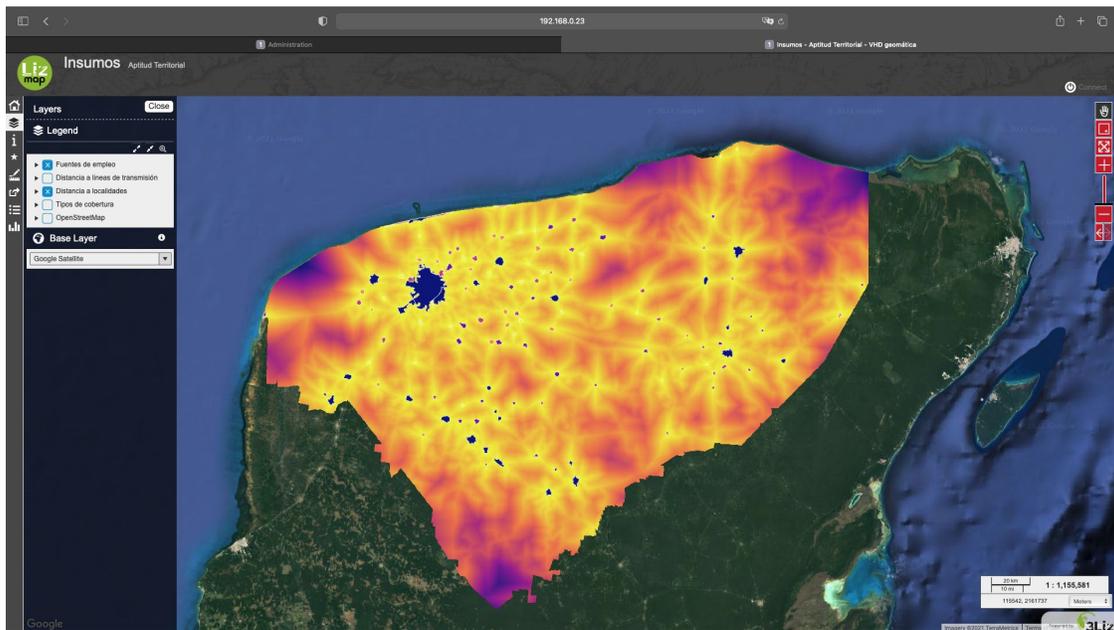


Figura 31 Visualización de proyecto en Lizmap (Hernández 2021)

De esta manera ya se puede visualizar el contenido de un proyecto de qgis con los estilos y las capas a mostrar. unas funciones adicionales que pueden activarse en las configuraciones son:

- Consultar valores haciendo clic sobre el mapa
- Medir distancias o áreas
- Realizar búsquedas de sitios en específicos mediante geolocalización (se requiere instalar API KEY de google)
- Visualizar la tabla de atributos
- Graficar datos de la tabla de atributos

	id	cve_act	cve_mun	cve_local	nom_hab	nom_local	Epo	id_local	hectareas	id_hab_lim	aprox_manej_desechos	comercio_mayor	comercio_menor	construction	count
1	31	005	0001	77916	MERIDA	URBANA	31000001	2207.2	31000001	1005	2000	1788	830	0	
2	31	023	0001	4511	CHICHULA	URBANA	31020001	365.8	31020001	3	7	82	0	0	
3	31	009	0001	4261	CANANCHUC	URBANA	31030001	488.0	31030001	3	8	100	0	0	
4	31	017	0001	892	CANANCHUC	URBANA	31030001	457.7	31030001	1	0	16	0	0	
5	31	068	0001	2563	SIKANCHUC	URBANA	31080001	205.6	31080001	2	2	50	0	0	
6	31	103	0001	3229	KOCHTEL	URBANA	31130001	275.6	31130001	2	3	68	0	0	
7	31	003	0001	11689	MUNA	URBANA	31050001	733.6	31050001	4	13	341	0	0	
8	31	018	0001	2141	CHAMP	URBANA	31010001	212.8	31010001	2	4	38	0	0	
9	31	002	0001	10868	ACANCHE	URBANA	31000001	807.7	31000001	9	12	217	0	0	
10	31	079	0001	3762	FINCIZO	URBANA	31070001	244.4	31070001	2	3	80	0	0	
11	31	104	0001	3007	YUCAB	URBANA	31040001	168.9	31040001	1	0	80	0	0	
12	31	007	0001	4787	CACALCHEN	URBANA	31070001	340.6	31070001	4	6	105	0	0	
13	31	003	0001	1078	AKIL	URBANA	31000001	580.3	31000001	4	24	281	0	0	
14	31	014	0001	2483	TEMBEK	URBANA	31010001	302.4	31010001	0	3	64	0	0	
15	31	048	0001	13621	MANGCANTON	URBANA	31040001	740.3	31040001	7	16	321	0	0	
16	31	027	0001	7393	DECCANTON	URBANA	31027001	428.5	31027001	4	13	201	0	0	
17	31	086	0036	3276	POPULAHN	URBANA	31080001	154.4	31080001	2	2	53	0	0	
18	31	090	0001	9054	TEPE	URBANA	31090001	309.6	31090001	4	7	204	0	0	
19	31	068	0001	1075	TEPA	URBANA	31080001	208.4	31080001	1	0	47	0	0	
20	31	011	0001	8810	CELESTION	URBANA	31010001	236	31010001	9	11	205	0	0	
21	31	084	0001	2386	WICUP	URBANA	31080001	280	31080001	0	3	50	0	0	
22	31	080	0001	32796	TOLA	URBANA	31080001	1088.6	31080001	22	87	1149	0	0	
23	31	012	0001	3072	CENTILLO	URBANA	31010001	308.7	31010001	4	1	78	0	0	
24	31	006	0001	7910	BUCIZOTZ	URBANA	31000001	546.1	31000001	4	12	210	0	0	
25	31	068	0001	5468	SOTULA	URBANA	31080001	418.1	31080001	4	11	163	0	0	

Figura 32 Visualización de tabla de atributos (Hernández 2021)

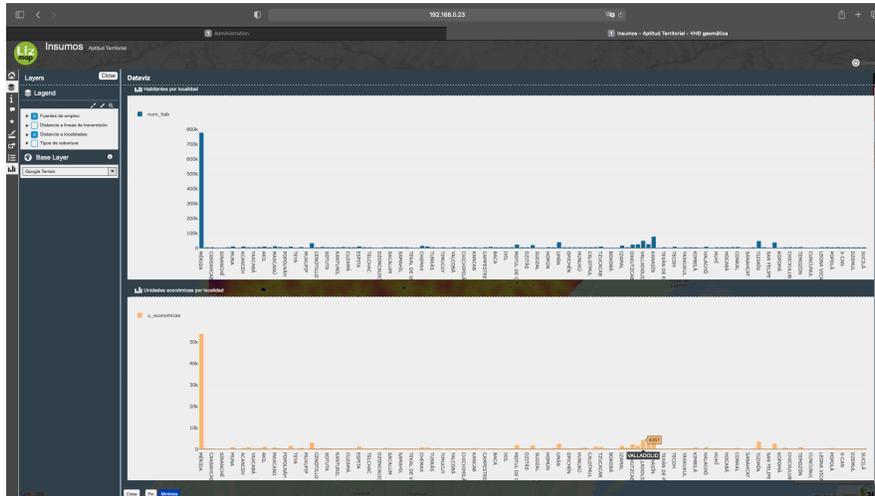


Figura 33 Gráficas de datos (Hernández 2021)

Instalar plugin de Lizmap en Qgis 3.10

Abrir un proyecto en Qgis, en la barra de herramientas superior, en el menu de *plugins* seleccionar *Manage and Install Plugins*



Figura 34 Menu para instalar y administrar plugins en Qgis (Hernández 2021)

escribir en la barra de búsqueda *lizmap* y hacer clic en aceptar.

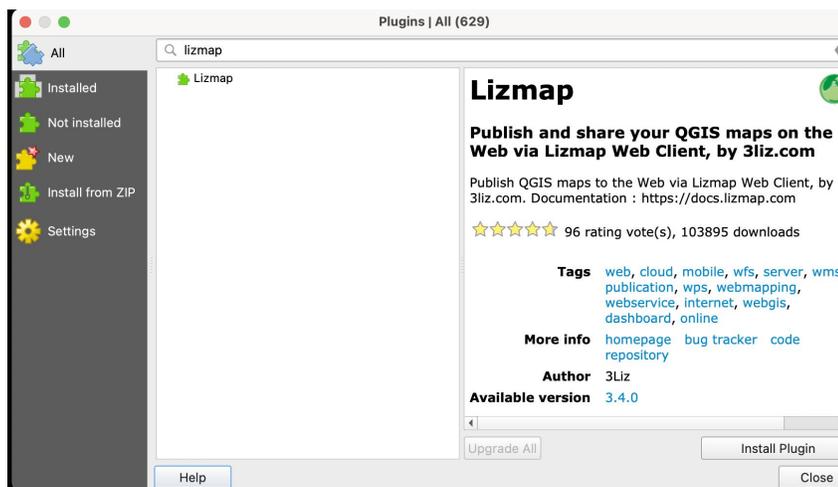


Figura 35 Búsqueda del plugin Lizmap (Hernández 2021)

posteriormente se requiere abrir un proyecto de qgis, en la barra de herramientas superior, hacer clic en el ícono de un mundo color verde.

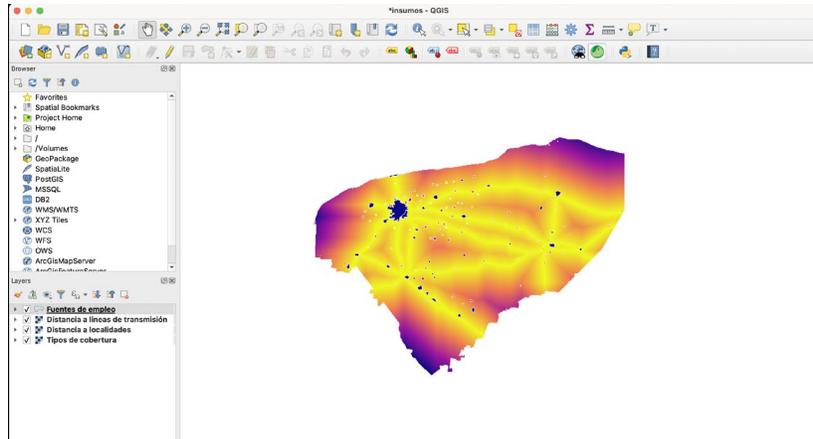


Figura 36 Proyecto en Qgis a publicar con LizMap (Hernández 2021)

se abrirá la ventana de configuración de parámetros, en ella se configuran nombres de capas, descripción, se generan las gráficas y se activan las tablas de atributos, es importante realizar esta configuración una vez que ya están establecidos los estilos de las capas. al finalizar hacer clic en Ok

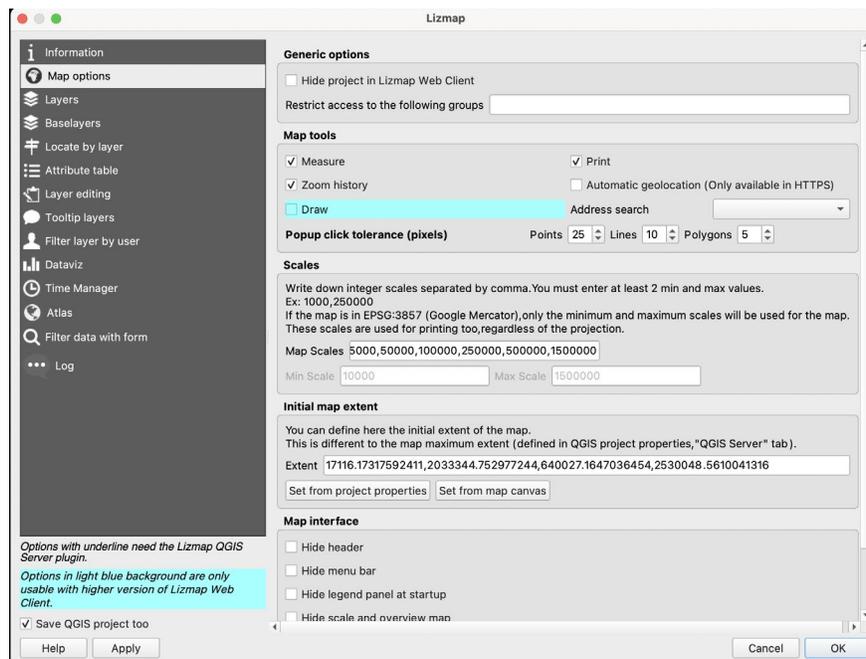


Figura 37 Configuración de parámetros en LizMap (Hernández 2021)

al aplicar los cambios se crea un archivo con extensión *qgs.cfg* este archivo, el proyecto y las capas deben ser copiadas en el directorio del servidor.

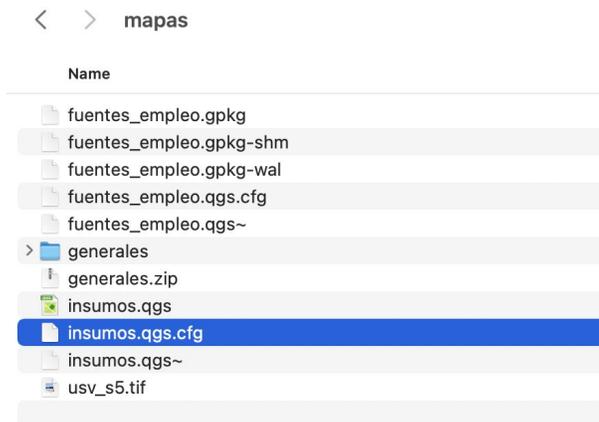


Figura 38 Archivos qgs y cfg del proyecto a publicar en LizMap (Hernández 2021)

En resumen, de parte del usuario se requiere:

- contar con la versión estable de Qgis 3.10 A Coruña
- Instalar el plugin de lizmap

Publicar un proyecto de Qgis en el servidor

Para publicar un proyecto en su servidor siga los siguientes pasos:

- a) Generar un proyecto en Qgis Desktop
- b) Aplicar los estilos cartográficos a cada capa para su mejor comunicación
- c) Configurar el proyecto para ser publicado mediante el plugin de lizmap
- d) Copiar el proyecto, los datos y el archivo con extensión *cfg* en el directorio *mapas* del servidor.

*Nota: Recuerde que los comandos *chown* y *chmod* relacionados con los permisos de lectura y propiedad se tienen que aplicar a la carpeta que contiene los datos en el servidor cada vez que se agreguen nuevos archivos o cambien las configuraciones del archivo *cfg**

Resultados y conclusiones

La aplicación Geonetwork se encuentra publicada en una dirección web permanente, donde los colaboradores consultan, rastrean y generan los metadatos de los productos geográficos, esto ha favorecido la comunicación y la eficiencia en el desarrollo de los proyectos existentes.

Con la aplicación Geonetwork, se han creado más de 1200 metadatos geográficos para los insumos ocupados y los productos generados por el LANCIS.

Se generan repositorios específicos que son transferidos a las instituciones responsables de resguardar la información geográfica.

Algunas instituciones con las que ha colaborado el LANCIS han decidido implementar oficialmente Geonetwork como su catálogo de metadatos al tener una grata experiencia en el uso y consulta durante sus colaboraciones.

Para la automatización de procesos para el análisis espacial multicriterio se creó la librería de funciones ***apcsig*** publicada en github la cual está disponible en https://vichdzgeo.github.io/geo_lancis/apcsig.html para su consulta.

En el LANCIS se adopta como procedimiento general para la generación de análisis y procesamiento de datos geográficos, ya que al crear scripts del procesamiento nos permite conocer el tratamiento realizado a las fuentes de datos. Esta información es útil al momento de generar la documentación y permite replicar o modificar el procedimiento de una forma más eficiente, la detección de errores es más sencilla y al estar en una secuencia de comandos, las correcciones son prácticamente inmediatas.

Este procedimiento contribuyó de una manera significativa en el desarrollo de la etapa de diagnóstico de un Ordenamiento Ecológico Estatal, al generar insumos requeridos durante los talleres sectoriales para la creación de los mapas de aptitud y el análisis de conflictos ambientales.

El servicio de publicación de proyectos de qgis en la web mediante Lizmap disponible en en <http://sig.apps.lancis.ecologia.unam.mx> para su consulta, se ha establecido como procedimiento para la presentación de información geográfica en reuniones o talleres participativos. Esto ha permitido mejorar la comunicación y favorecer la discusión para la toma de decisiones en los análisis.

Por otra parte, ha sido una herramienta muy útil en talleres sectoriales realizados para la actualización de programas de ordenamiento ecológico del territorio al permitir mostrar los insumos geográficos disponibles, hasta el momento se han creado 16 proyectos en los cuales se incluyen insumos, funciones de valor y mapas de aptitud por cada sector productivo, lo que ha permitido una fluida comunicación con los participantes y el órgano técnico del OE.

Es un servicio sumamente fácil de utilizar a diferencia de otros servidores de mapas, Lizmap trabaja de la mano con Qgis, por lo cual usuarios sin conocimientos avanzados de servidores web pueden publicar fácilmente sus proyectos.

Bibliografía

Lawhead, J. (2015). *Learning geospatial analysis with Python*. Packt Publishing Ltd.

Instituto Geográfico Nacional. (2013). Introducción a las Infraestructuras de Datos Espaciales. *Instituto Geográfico Nacional*, 1–27.

<http://www.ign.es/ign/resources/cartografiaEnsenanza/ideeEso/I-IDE/I-IDE/>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2010). Norma Técnica para la elaboración de Metadatos Geográficos.

Malczewski, J., & Rinner, C. (2015). *Multicriteria decision analysis in geographic information science* (Vol. 1, pp. 55-77). New York: Springer.

Ningchuan, X. (2019). *GIS Algorithms Theory and Applications for Geographic Information Science & Technology* (Vol. 1).

Bolstad, P. (2016). *GIS fundamentals: A first text on geographic information systems*. Eider (PressMinnesota).

SEMARNAT, & INECC. (2006). *Manual del Proceso de Ordenamiento Ecológico* .

Instalación de Qgis Server.OSGeo. (2020).

Recuperado de

https://docs.qgis.org/3.16/en/docs/training_manual/qgis_server/install.html

Geonetwork, OSGeo (2020)

Recuperado de <https://geonetwork-opensource.org>

Docker (2021)

recuperado de <https://www.docker.com>

Instalación de Geonetwork con docker(2021).

Recuperado de https://hub.docker.com/_/geonetwork

Instalación de Lizmap en debian. (2021).

Recuperado de <https://docs.lizmap.com/current/en/install/linux.html>

Westra, E. (2013). Python Geospatial Development. Packt Publishing Ltd.

Lliffe, J. (2000). *Datums and Map Projections for remote sensing, GIS and Surveying*. CRC Press.

Yager, R. R. (1988). On Ordered Weighted Averaging Aggregation Operators in Multicriteria Decisionmaking. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 18(1), 183–190. <https://doi.org/10.1109/21.87068>

Jiang, H., & Eastman, J. R. (2000). Application of fuzzy measures in multi-criteria evaluation in GIS. *International Journal of Geographical Information Science*, 14(2), 173–184. <https://doi.org/10.1080/136588100240903>