

3^{er} Foro de Opinión

Diálogo entre jóvenes

“LOS RETOS DE LAS ZONAS DE RIEGO ABASTECIDAS
POR AGUAS SUBTERRÁNEAS:
de la sobreexplotación al control”

MODELACIÓN DEL ACUÍFERO
MORELIA-QUERÉNDARO

LUIS DAVID NAVARRO ARELLANO

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

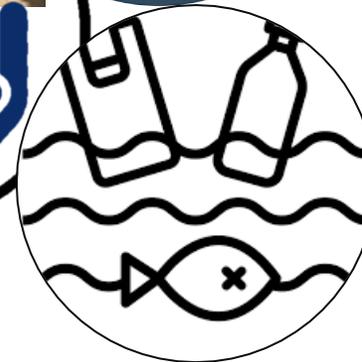


ASOCIACIÓN
MEXICANA
DE
HIDRÁULICA



INTRODUCCIÓN

El ser humano desde la antigüedad buscó establecerse en entornos con agua, obteniéndola principalmente en régimen natural.



INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

OBJETIVO

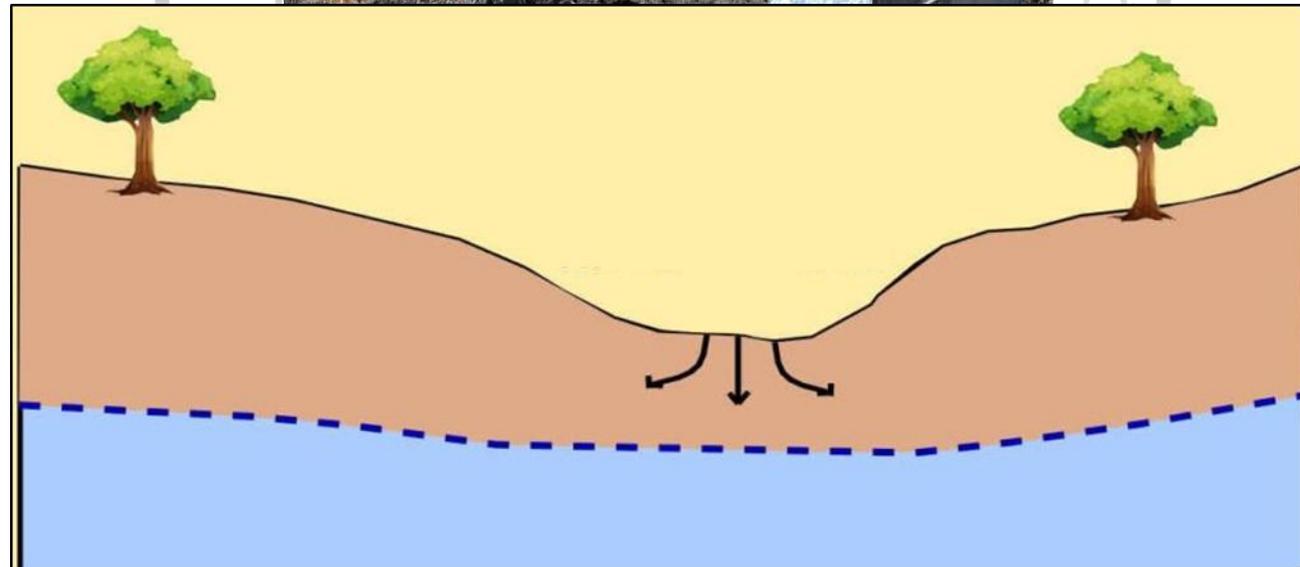
METODOLOGÍA

CONCLUSIONES



INTRODUCCIÓN

Por lo que se recurrió a la practica de nuevas formas de abastecimiento, el cual fue mediante extracción por pozos de bombeo.



INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

OBJETIVO

METODOLOGÍA

CONCLUSIONES

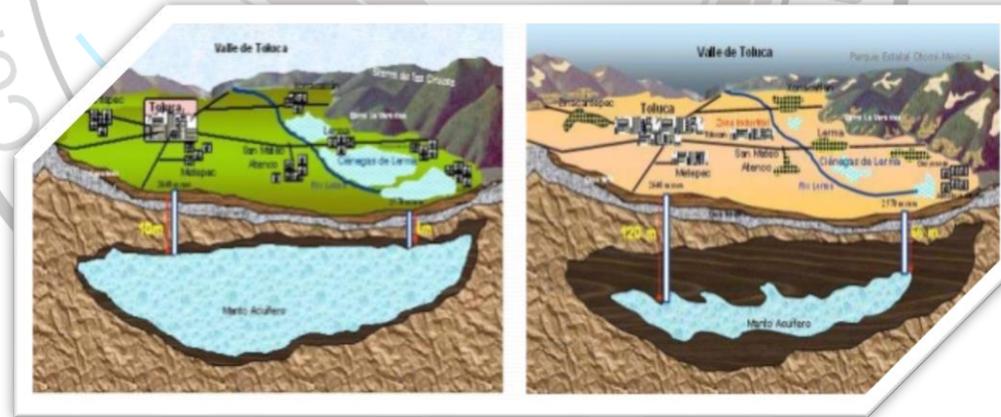


INTRODUCCIÓN

La sobreexplotación de los acuíferos ocurre cuando se extrae más agua de la que a este se le infiltra.

México extrajo durante el 2017 un total de 34 385 millones de m^3 de agua al año. (CONAGUA, 2018)

Acuíferos sobreexplotados: 105



INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

OBJETIVO

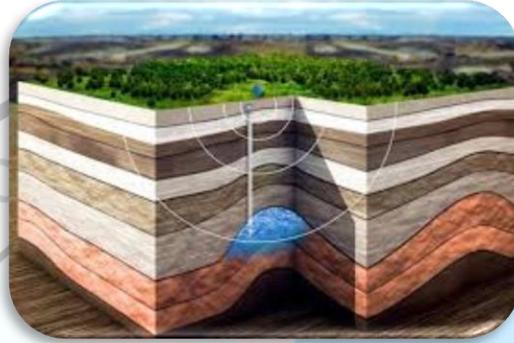
METODOLOGÍA

CONCLUSIONES



ANTECEDENTES

- México está compuesto por zonas áridas y semiáridas casi en un 50%, las cuales necesitan del líquido vital que es obtenido mayormente por extracción.
- El agua subterránea se utiliza principalmente en zonas de riego de las cuales en México se estiman que son alrededor de unas 6.5 millones de hectáreas.



INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

OBJETIVO

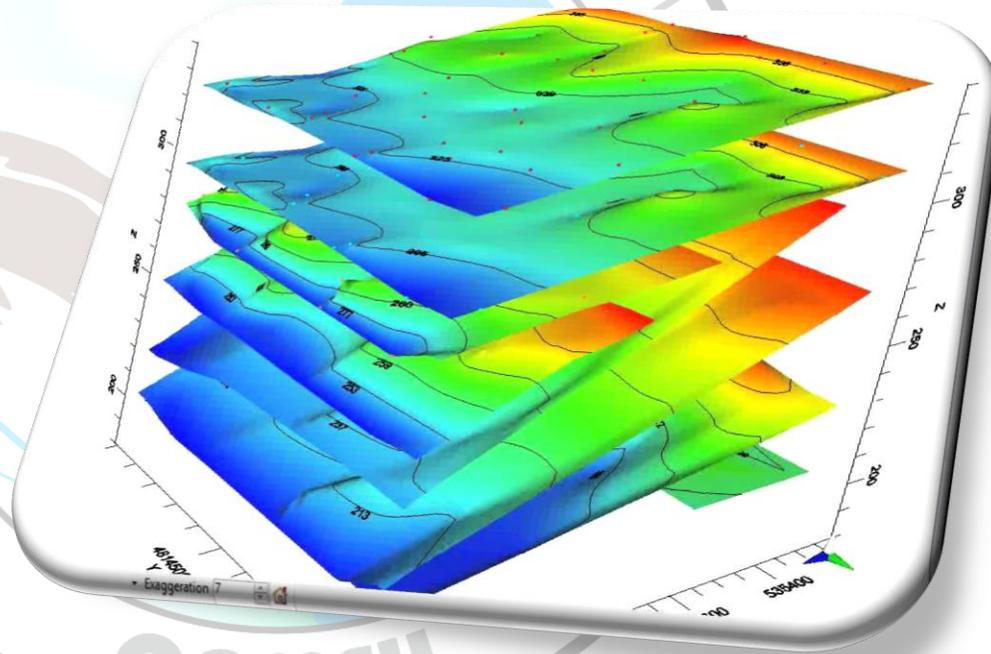
METODOLOGÍA

CONCLUSIONES



OBJETIVO

- Caracterizar y generar un modelo hidrológico de simulación subterránea para el acuífero “Morelia-Queréndaro”, el cual pueda ser utilizado posteriormente en estudios futuros, ya sean de tipo hidrológicos o de gestión de recursos hídricos.



INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

OBJETIVO

METODOLOGÍA

CONCLUSIONES



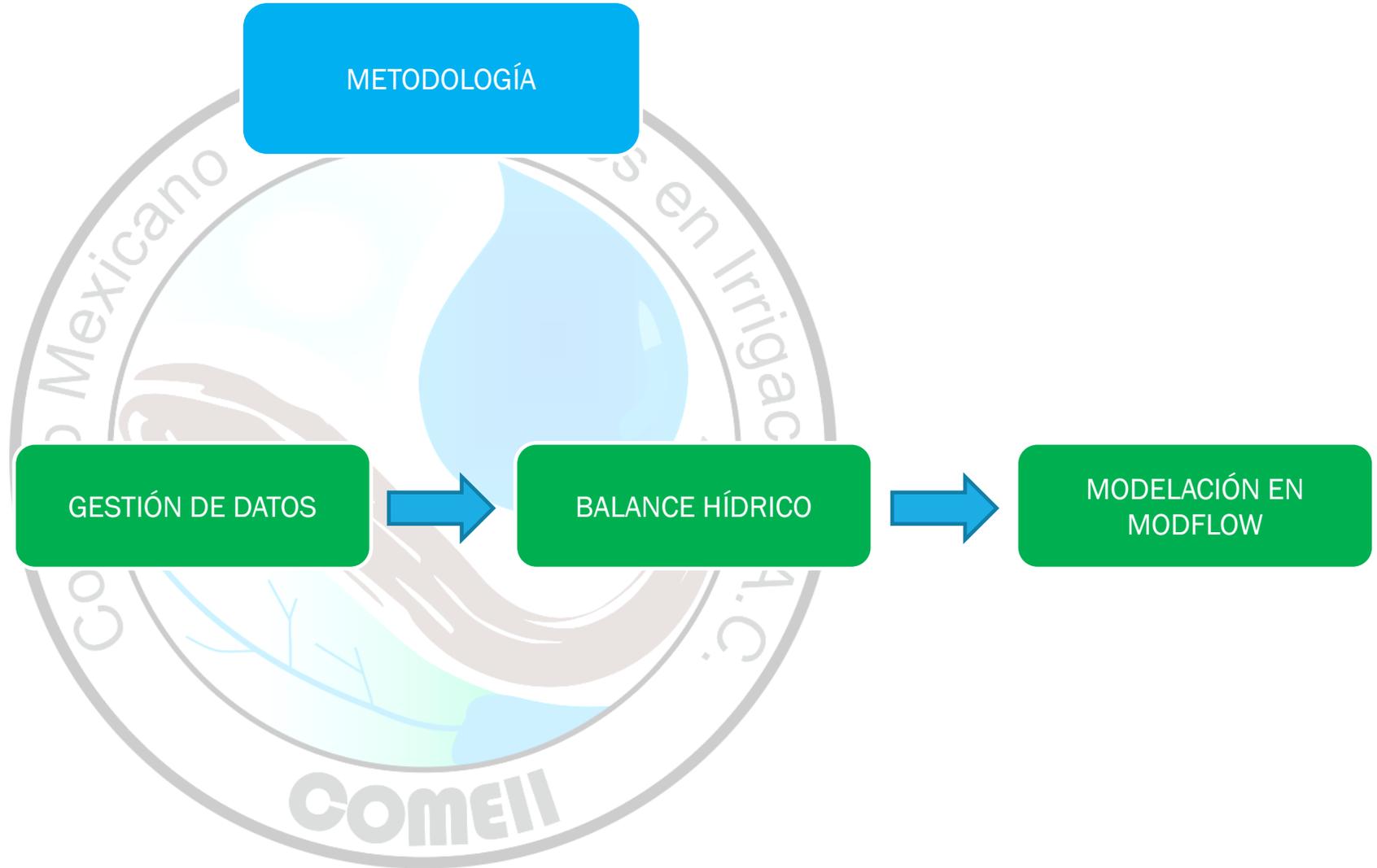
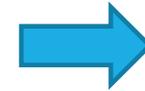
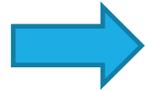
METODOLOGÍA

CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA

GESTIÓN DE DATOS

BALANCE HÍDRICO

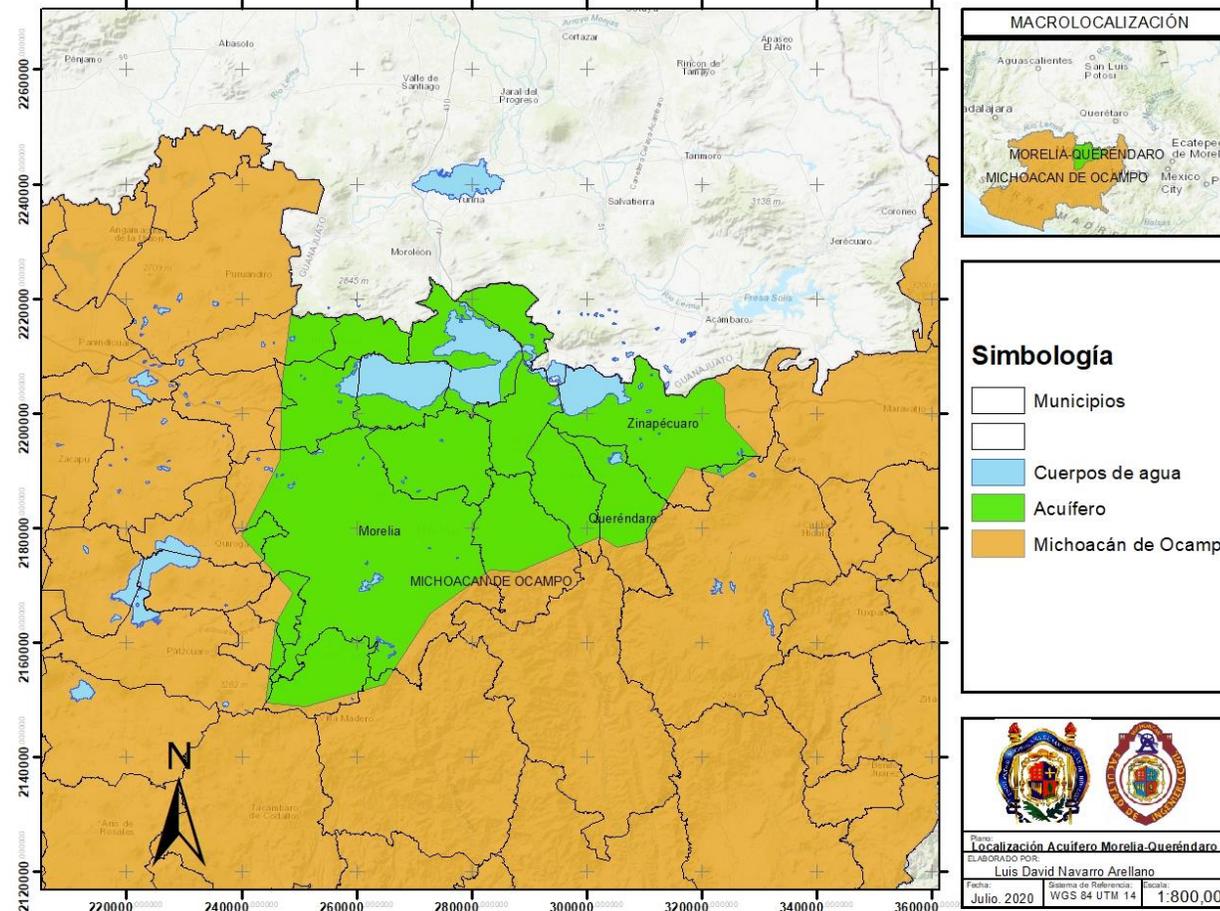
MODELACIÓN EN MODFLOW



UBICACIÓN POLÍTICA DE LA ZONA DE ESTUDIO

El acuífero a analizar se encuentra en México, en el estado de Michoacán incluyendo municipios como Morelia, Queréndaro, Zinapécuaro entre otros.

Área total: 3534.9 km^2



METODOLOGÍA

INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

GESTIÓN DE DATOS

BALANCE HÍDRICO

MODFLOW

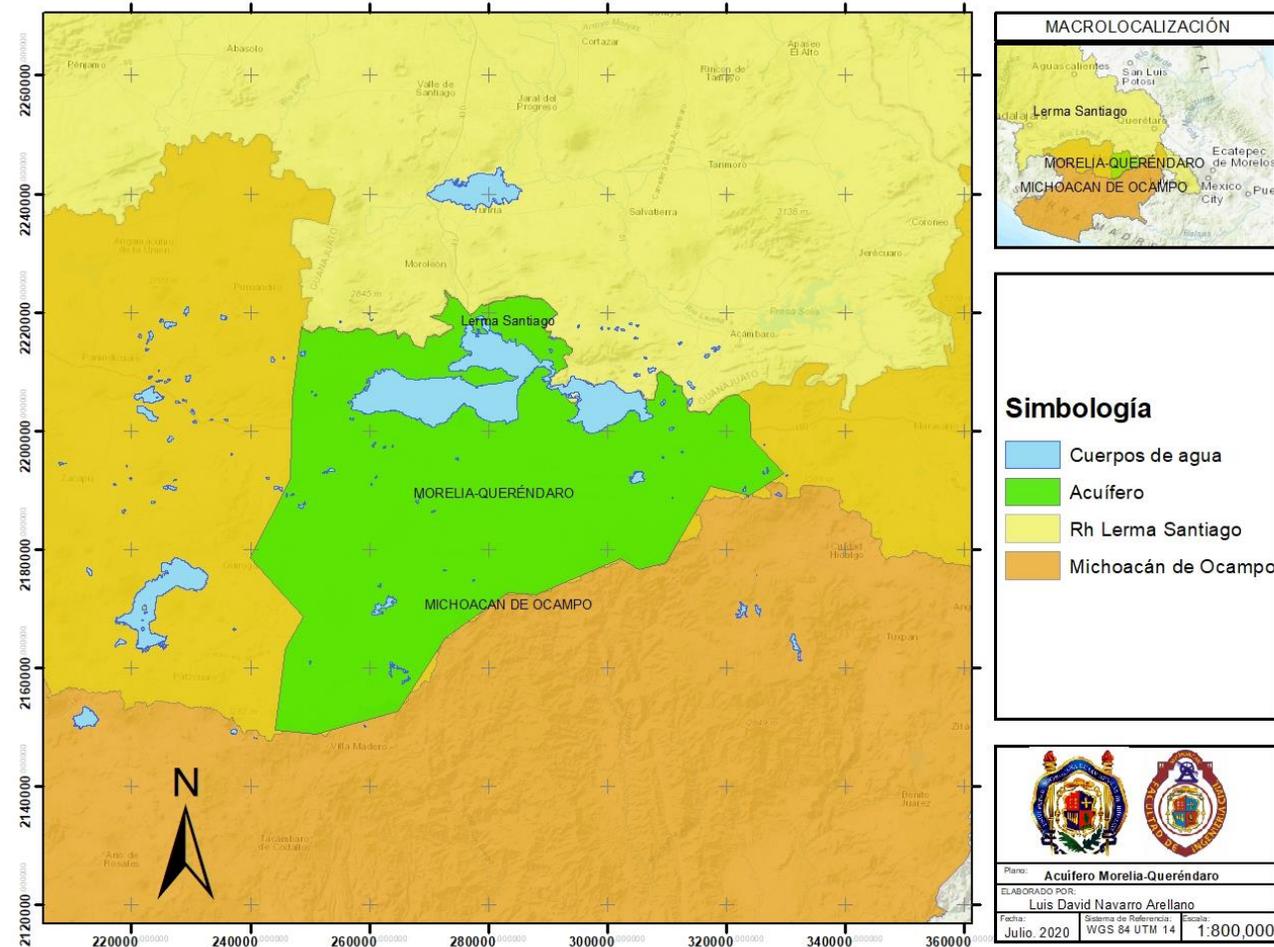


DELIMITACIÓN HIDROLÓGICA

de Ingeniero

- Región hidrológica 12, Lerma Santiago

ÁREA TOTAL: 3534.9 km^2



METODOLOGÍA

INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

GESTIÓN DE DATOS

BALANCE HÍDRICO

MODFLOW

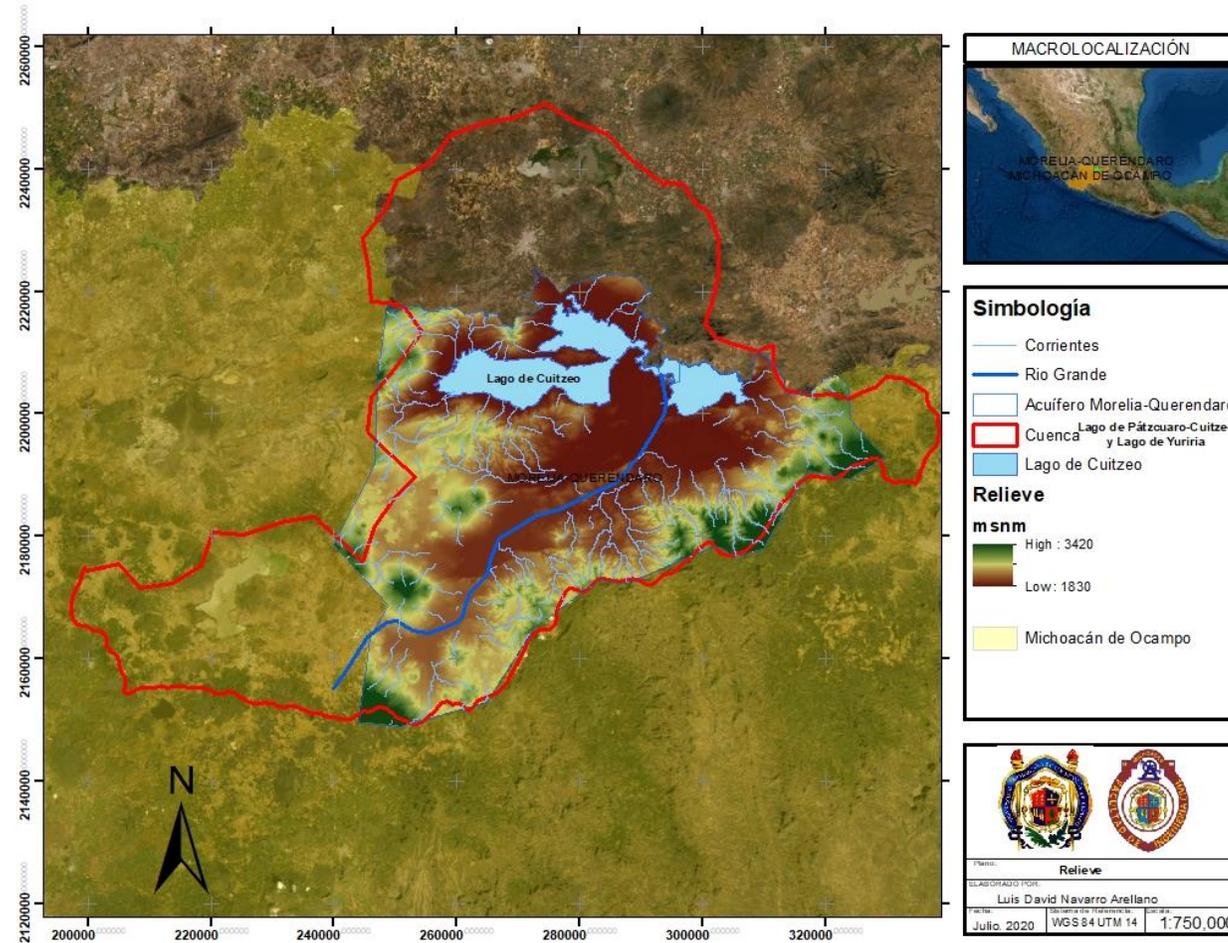


DELIMITACIÓN HIDROLÓGICA

de Ingenieros

- Cuenca 51 lago de Pátzcuaro-Cuitzeo y Lago de Yuriria.

Elev. Max: 3420 msnm
Elev. Min: 1830 msnm



METODOLOGÍA

INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

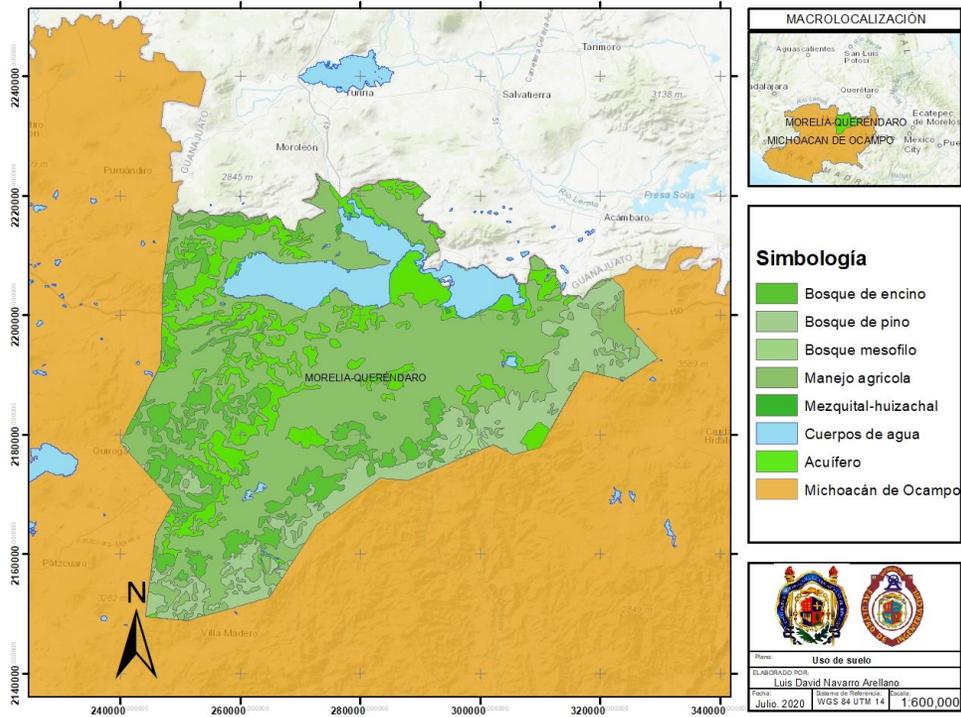
GESTIÓN DE DATOS

BALANCE HÍDRICO

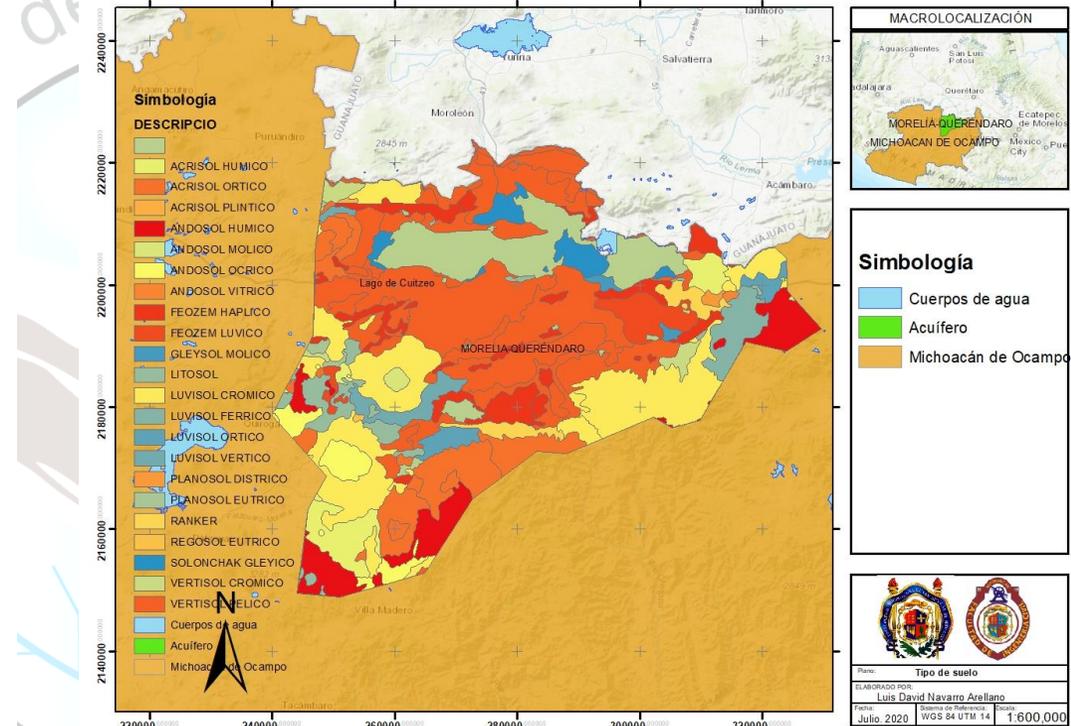
MODFLOW



USO Y TIPO DE SUELO



Más del 70% del área está conformado por uso agrícola



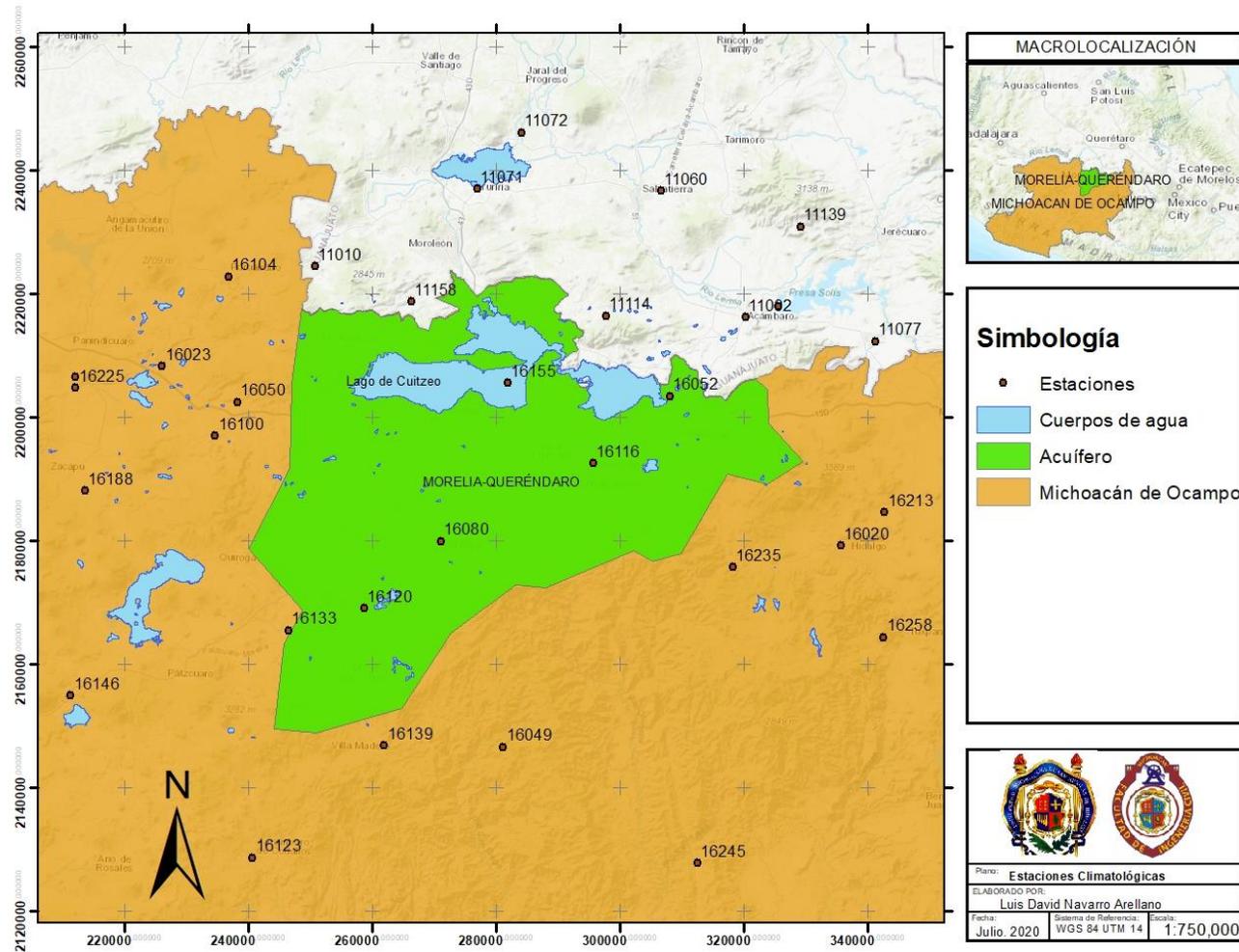
Tipo de suelo acrisol y vertisol pélico los cuales se consideran con una textura fina.

- METODOLOGÍA
- INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
- GESTIÓN DE DATOS
- BALANCE HÍDRICO
- MODFLOW



ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS

31 estaciones



METODOLOGÍA

INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

GESTIÓN DE DATOS

BALANCE HÍDRICO

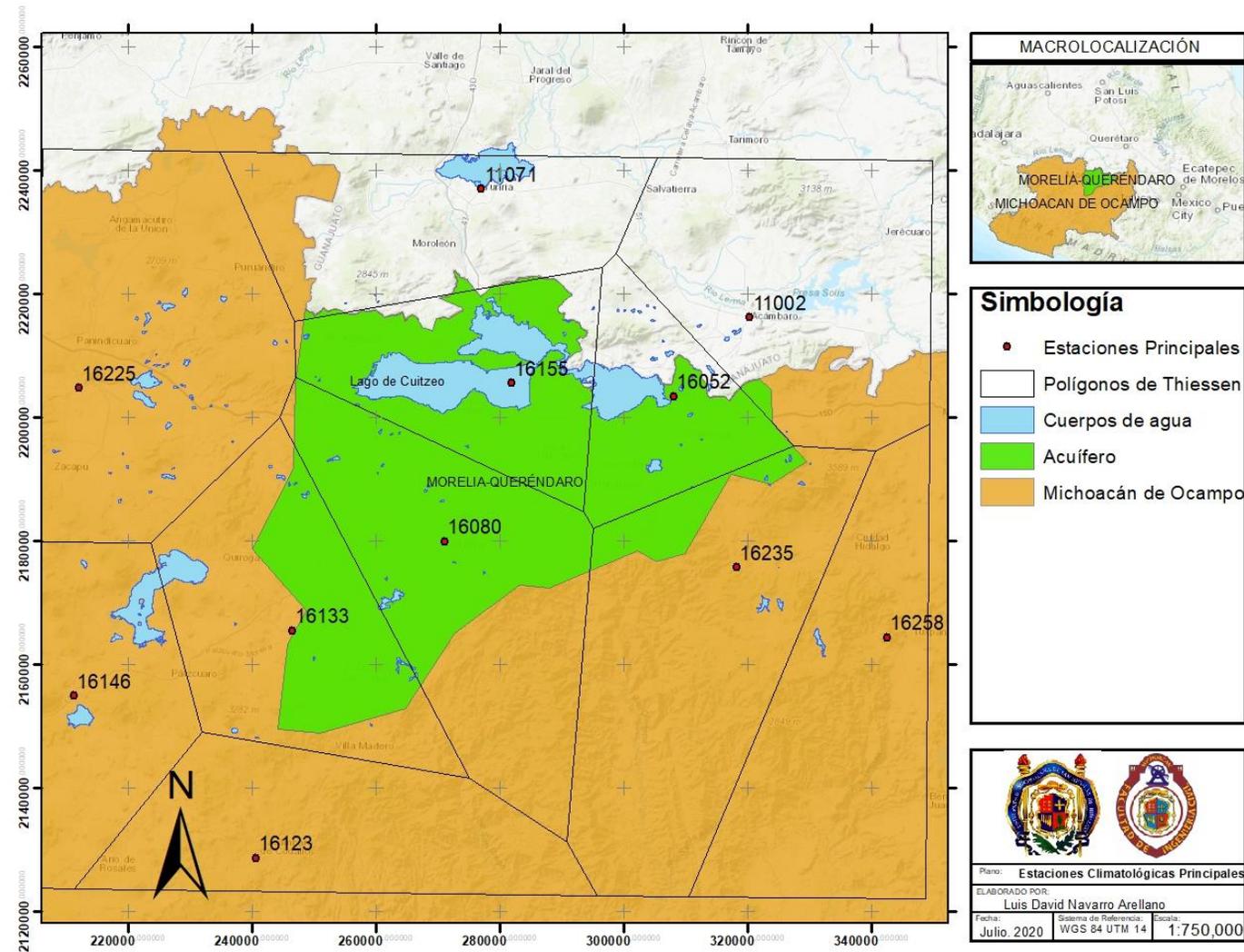
MODFLOW



De estas estaciones se obtiene información de lluvia y temperatura.

ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS

- Estaciones principales 11.



- METODOLOGÍA
- INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
- GESTIÓN DE DATOS
- BALANCE HÍDRICO
- MODFLOW



VALIDACIÓN DE DATOS

Análisis y validación de datos

Cargar Datos

Carpeta de trabajo: C:\Users\David Navarro\Desktop\Verano 2020\Proyecto\estacion

Cargar directorio: Estacioness.csv

Estaciones leídas: 74

Tipo de Analisis: Gastos Medios

Resultados de las pruebas

Estación	T-Student	Cramer	Bartlett	P. de regreción	Spearman	Mann Kendall	L. Ande
11072	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Sin tendencia	Sin tendencia	sin tendencia	Independ
11021	No Homog...	No Homog...	Homogénea	Existe Tendencia	Existe tend...	Existe tenden...	Dep. a 2
11146	Homogénea	No Homog...	Homogénea	Sin tendencia	Sin tendencia	sin tendencia	Dep. a 1
11097	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Sin tendencia	Sin tendencia	sin tendencia	Dep. a 2
11060	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Sin tendencia	Sin tendencia	sin tendencia	Independ
11071	Homogénea	Homogénea	No Homog...	Sin tendencia	Sin tendencia	sin tendencia	Independ
11139	Homogénea	Homogénea	No Homog...	Sin tendencia	Sin tendencia	sin tendencia	Independ
11149	Homogénea	No Homog...	Homogénea	Sin tendencia	Existe tend...	Existe tenden...	Sin datos
11156	No Homog...	Homogénea	Homogénea	Existe Tendencia	Existe tend...	Existe tenden...	Independ
11047	Homogénea	No Homog...	Homogénea	Existe Tendencia	Existe tend...	Existe tenden...	Independ
11010	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Sin tendencia	Sin tendencia	sin tendencia	Independ
16104	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Sin tendencia	Sin tendencia	sin tendencia	Independ
11070	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Sin tendencia	Sin tendencia	sin tendencia	Independ

Estaciones eliminadas

Estación	T-Student	Cramer	Bartlett	P. de regreción	Spearman	Mann Kendall	L. Anderson

Antes de continuar elimine las estaciones que crea conveniente en funcion del resultado de las pruebas de consistencia

las series de precipitacion deben ser Homogeneas, sin tendencia e independientes.

Grafica y Tabla (1)

11072

Graficar

Eliminar estación

Papelera (2)

NaN

Recuperar estacion

Tablas y resultados (3)

Tabla General

Continuar

Regresar

METODOLOGÍA

INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

GESTIÓN DE DATOS

BALANCE HÍDRICO

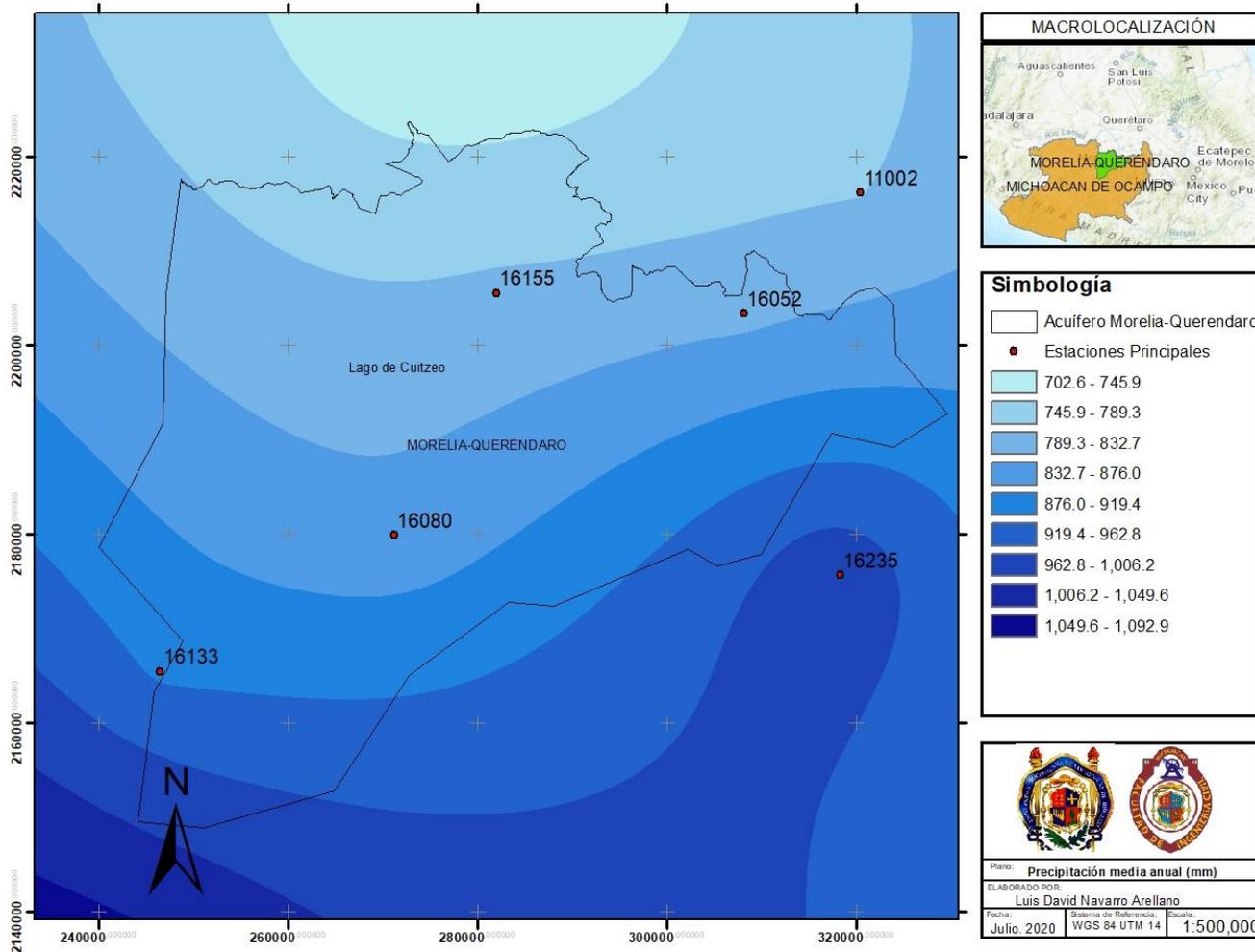
MODFLOW

GS **GESTAD** v1.00

Gestion estadística de datos climatológicos



PRECIPITACIÓN

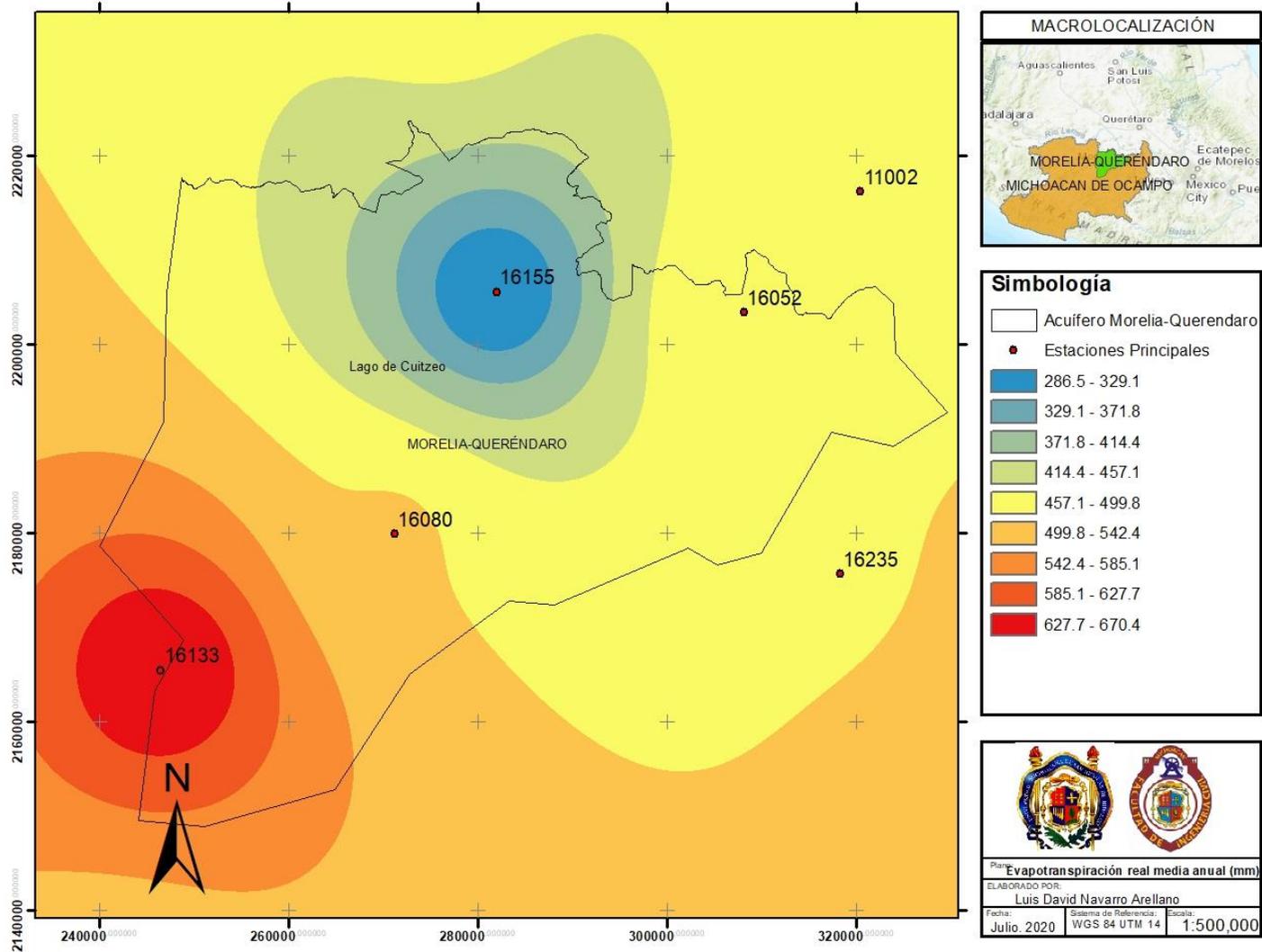


■ Precipitaciones medias anuales donde las precipitaciones oscilan entre los 700 y 1000 mm/anuales.

- METODOLOGÍA
- INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
- GESTIÓN DE DATOS
- BALANCE HÍDRICO
- MODFLOW



EVAPOTRANSPIRACIÓN

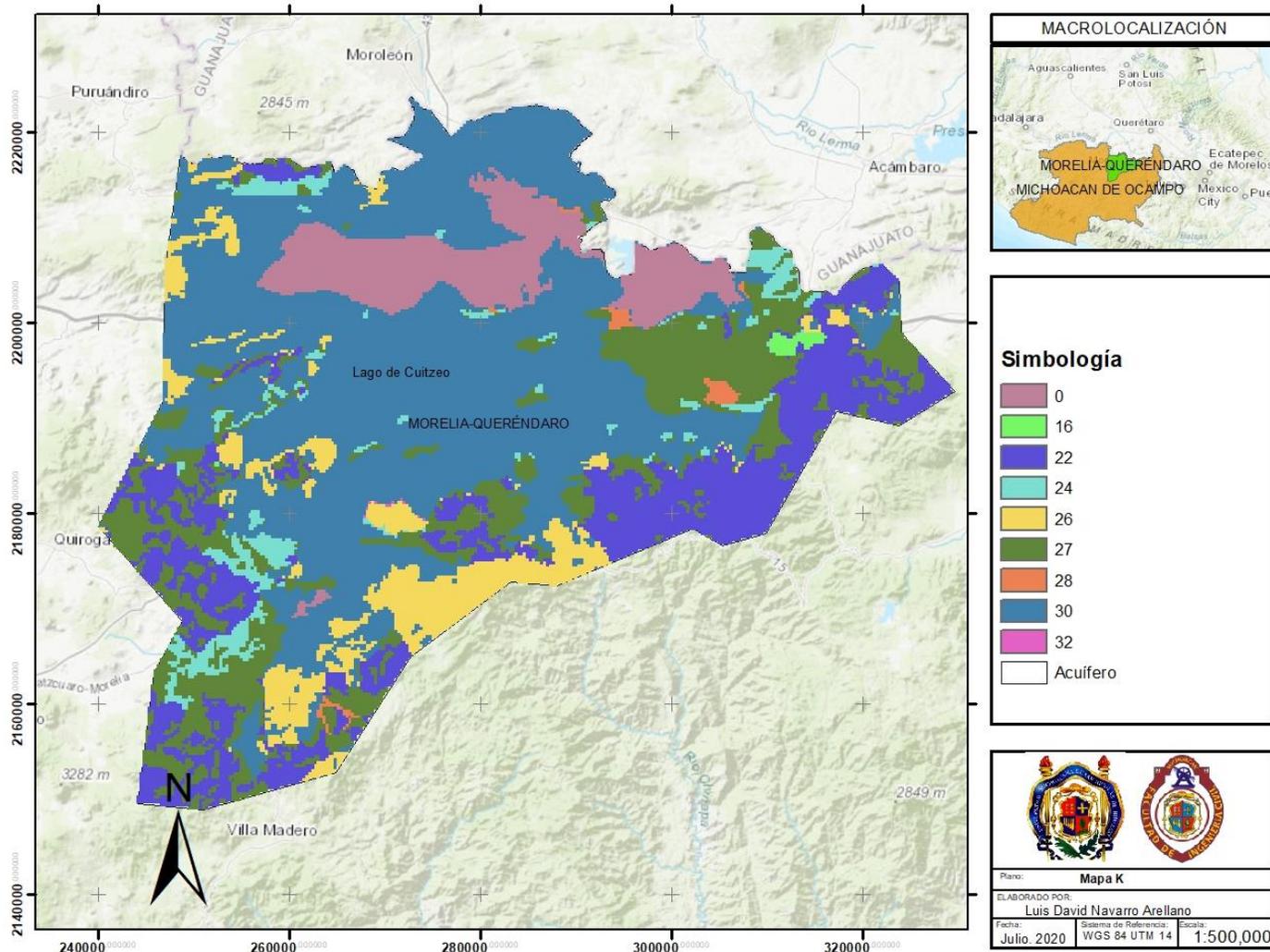


La evapotranspiración real oscila entre los 280 y los 670 mm anuales.

- METODOLOGÍA
- INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
- GESTIÓN DE DATOS
- BALANCE HÍDRICO
- MODFLOW



MAPA K

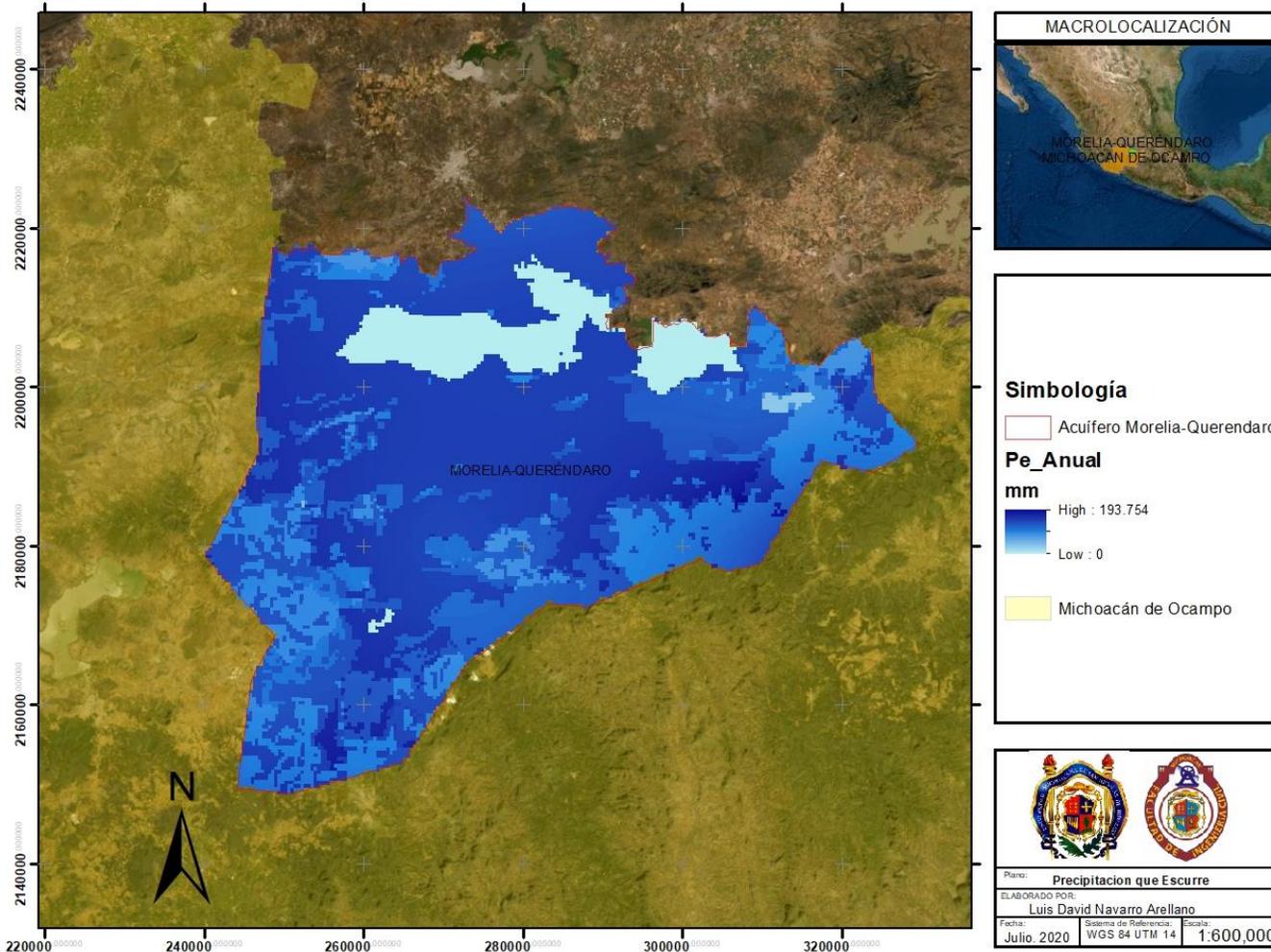


■ Los valores de K están entre 0 y 0.32

- METODOLOGÍA
- INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
- GESTIÓN DE DATOS
- BALANCE HÍDRICO
- MODFLOW



PRECIPITACIÓN QUE ESCURRE (PE)



$$Pe = P * Ce$$

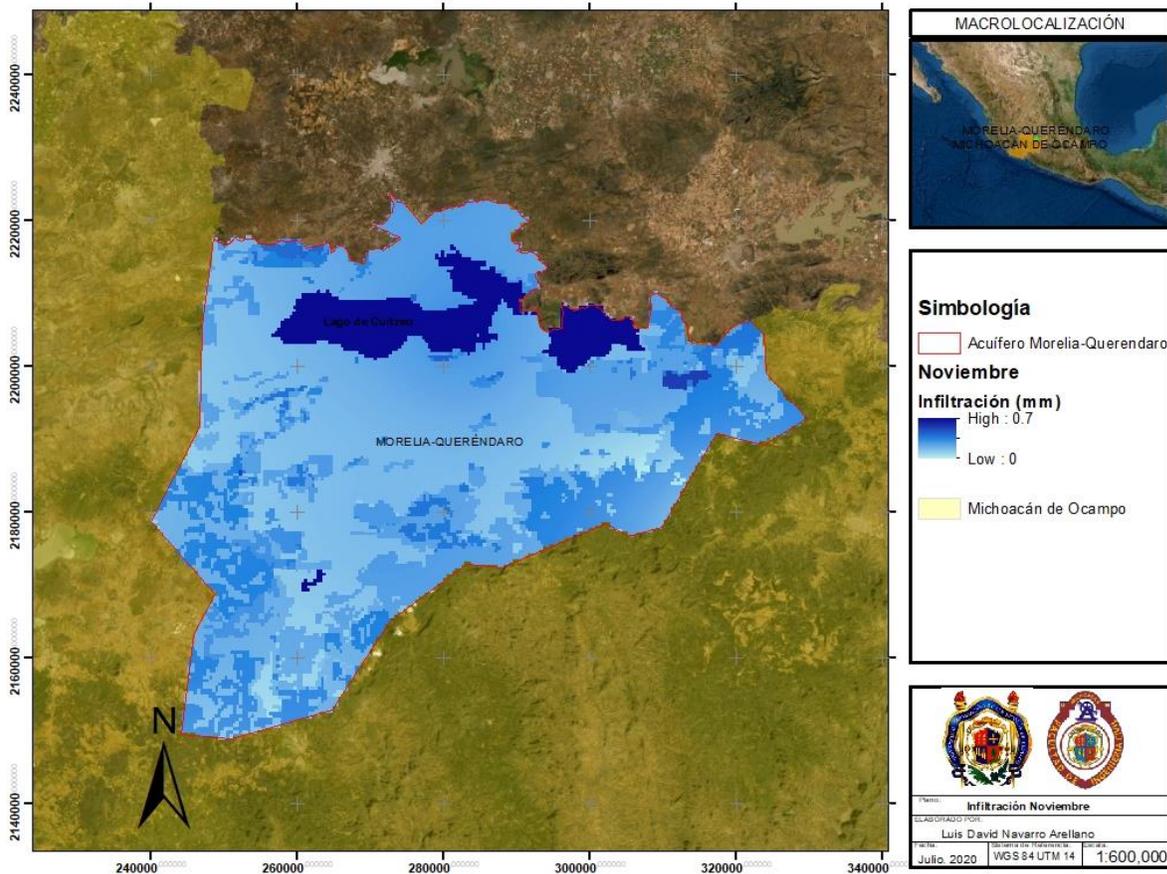
$$Ce = \frac{k(P - 250)}{2000} + \frac{k - 0.15}{1.5}$$

NOM-011-CONAGUA-2015

- METODOLOGÍA
- INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
- GESTIÓN DE DATOS
- BALANCE HÍDRICO
- MODFLOW



INFILTRACIONES

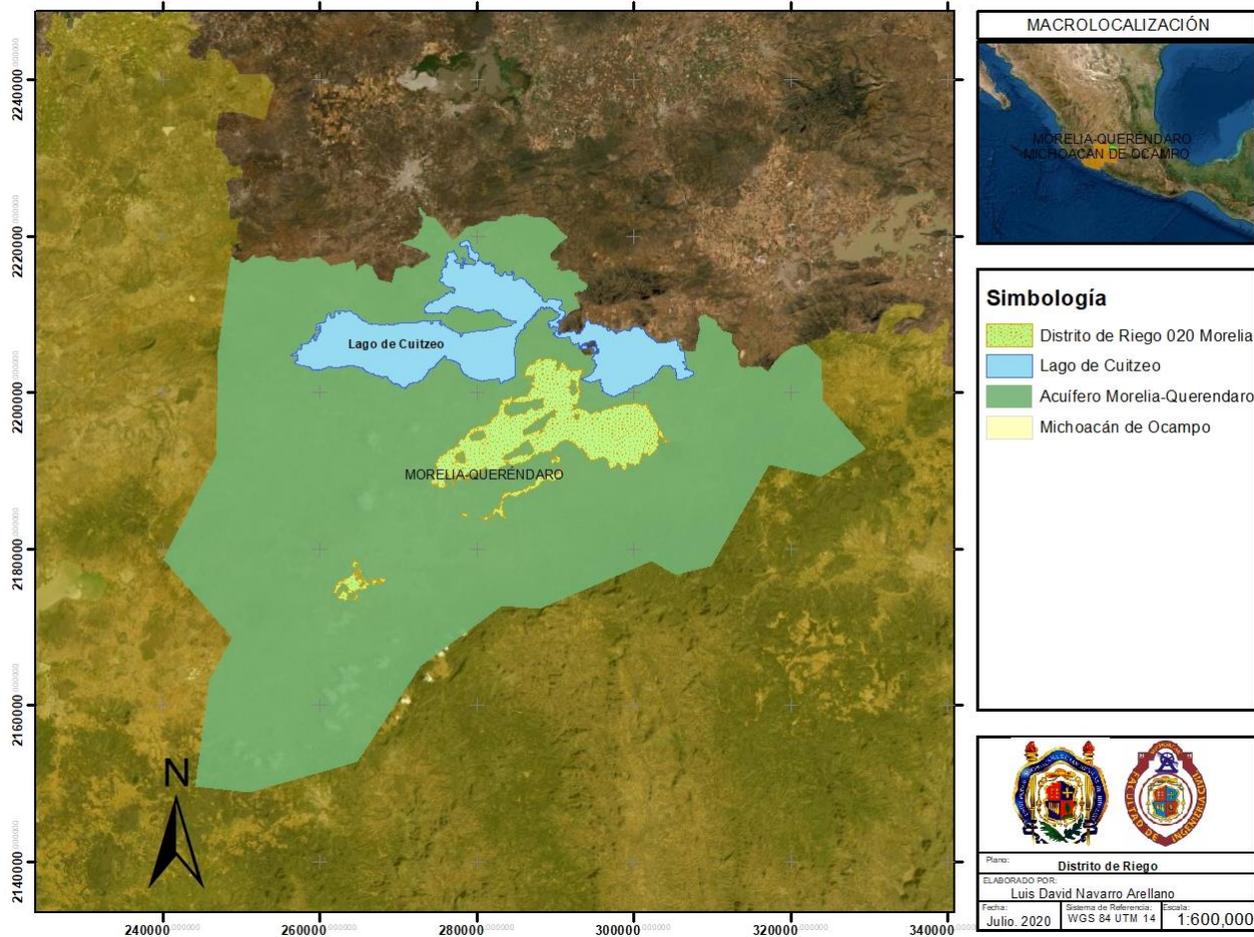


$$\text{Inf.} = P - \text{Evtr} - \text{Pe}$$

- METODOLOGÍA
- INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
- GESTIÓN DE DATOS
- BALANCE HÍDRICO
- MODFLOW



DISTRITO DE RIEGO



METODOLOGÍA

INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA

GESTIÓN DE DATOS

BALANCE HÍDRICO

MODFLOW

DTTO. 020 MORELIA

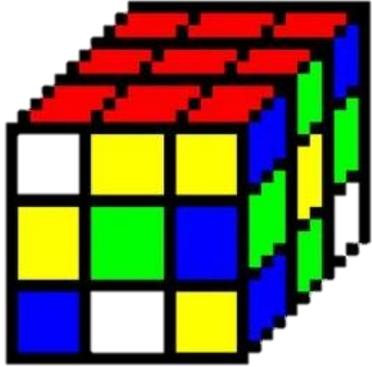
ÁREA TOTAL: 198.52 km²

RIEGO ANUAL : 107.17 Hm³/Anuales

Coef. Inf. : 10%



PROCESSING MODFLOW



Software utilizado para simular y predecir las condiciones de las aguas subterráneas y la interacción que tienen éstas con el agua superficial.

- Se define una malla
- Celdas activas, inactivas y de nivel constante.
- Nivel estático.
- Extracciones e infiltraciones.
- Manantiales.
- Conductividad, porosidad y almacenamiento.

METODOLOGÍA

INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA

GESTIÓN DE DATOS

BALANCE HÍDRICO

MODFLOW



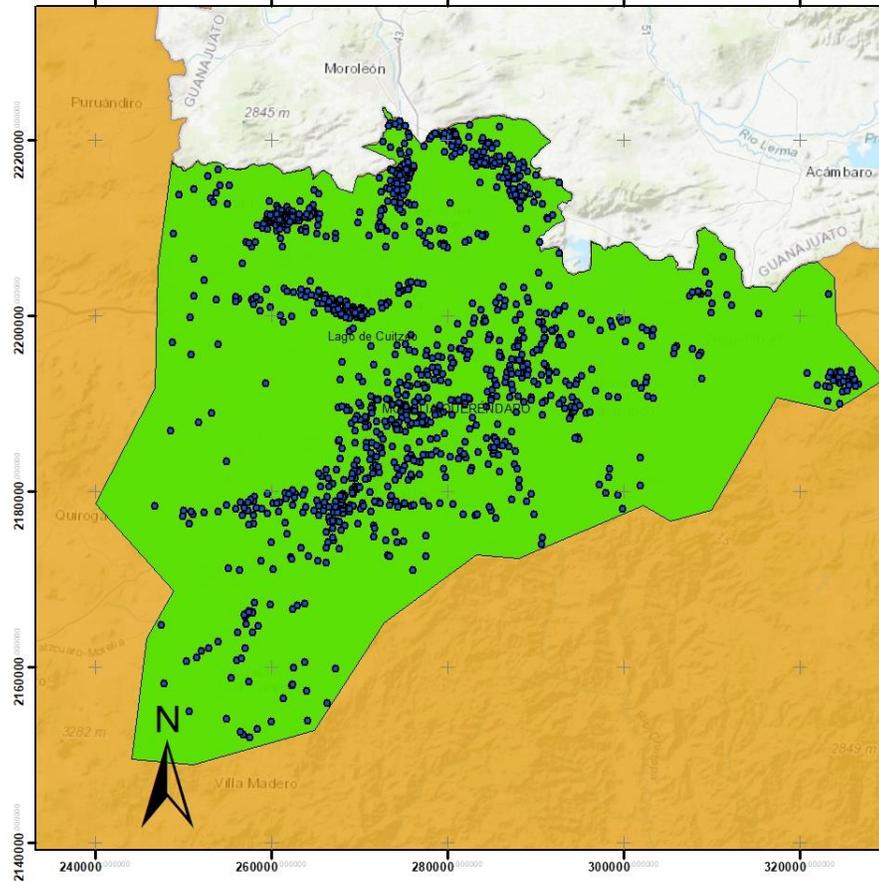
EXTRACCIONES

Se cuenta con un total de 1232 registros de los cuales 694 son para el uso agrícola.

Vol. total = 171.92 hm³/año

Uso	Hm ³ /año	Concesiones
ACUACULTURA	0.05	2
AGRICOLA	87.08	694
DIFERENTES USOS	5.71	84
DOMESTICO	0.65	17
INDUSTRIAL	28.49	75
PECUARIO	0.17	9
PUBLICO URBANO	44.69	271
SERVICIOS	5.09	80
Total	171.92	1232

- ACUACULTURA ■ AGRICOLA ■ DIFERENTES USOS
- DOMESTICO ■ INDUSTRIAL ■ PECUARIO
- PUBLICO URBANO ■ SERVICIOS



Simbología

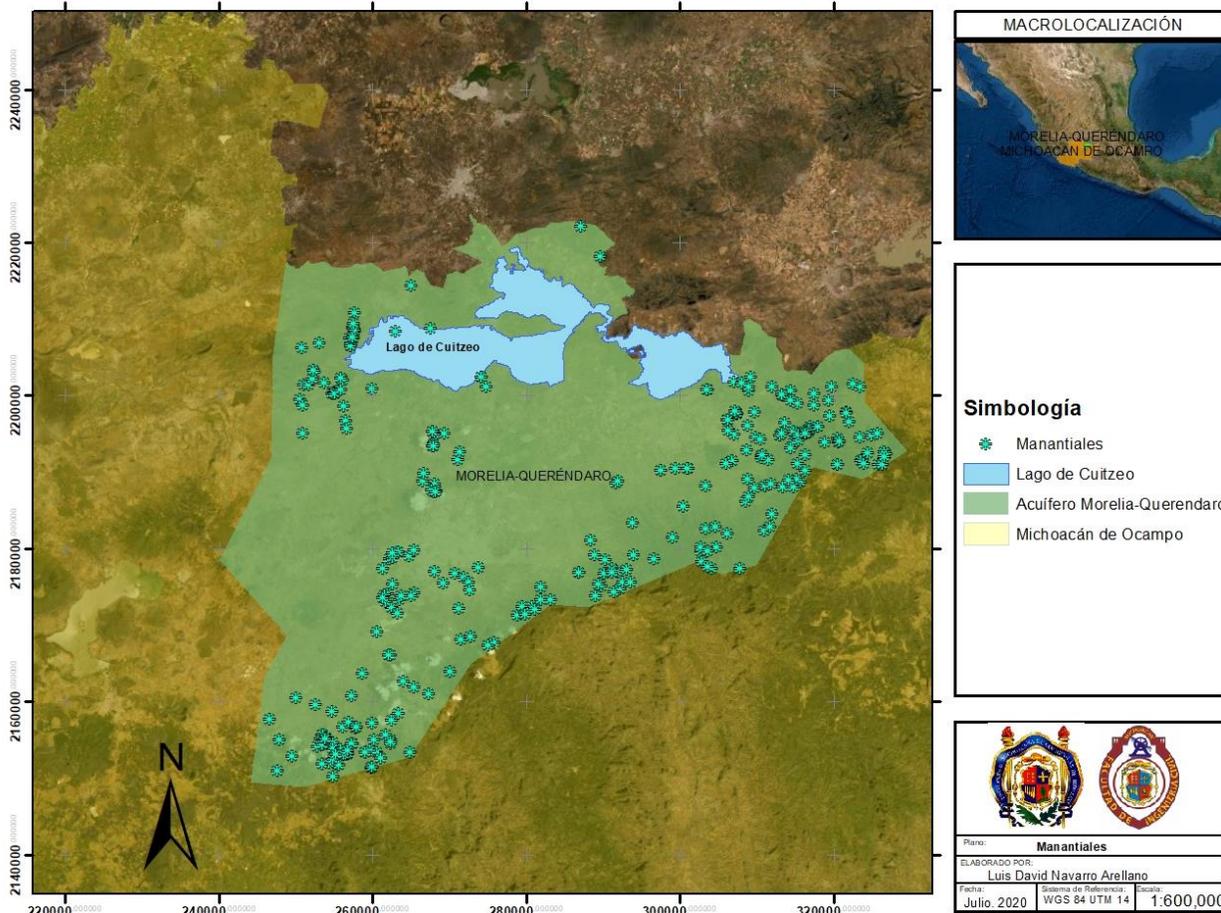
- Pozos de Extracción
- Acuífero
- Michoacán de Ocampo

Plano: Pozos de Extracción
 ELABORADO POR: Luis David Navarro Arellano
 Fecha: Julio, 2020 Escala: WGS 84 UTM 14 1:500,000

- METODOLOGÍA
- INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
- GESTIÓN DE DATOS
- BALANCE HÍDRICO
- MODFLOW



MANANTIALES



Uso	Hm ³ /año	Cociones
ACUACULTURA	1.35	10
AGRICOLA	16.46	89
DIFERENTES USOS	5.37	46
DOMESTICO	1.00	31
PECUARIO	0.00	3
INDUSTRIAL	11.04	4
PUBLICO URBANO	39.51	130
SERVICIOS	17.19	24
Total	91.93	337

METODOLOGÍA

INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

GESTIÓN DE DATOS

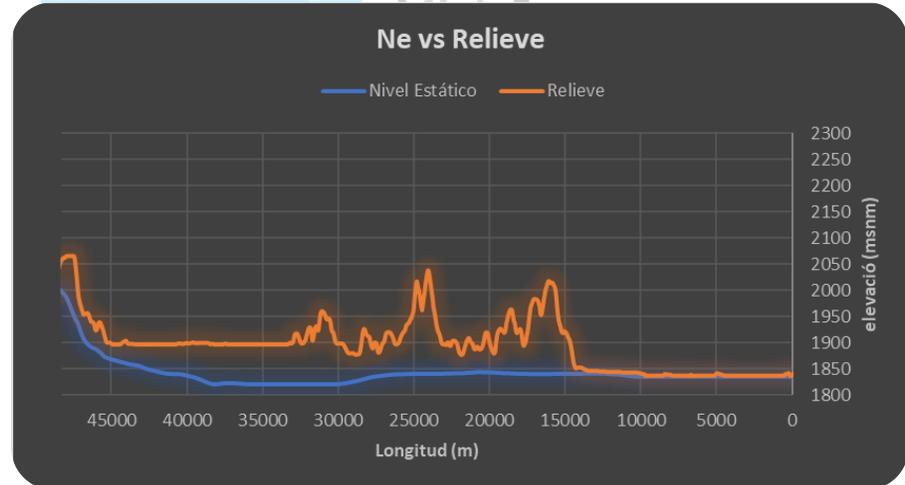
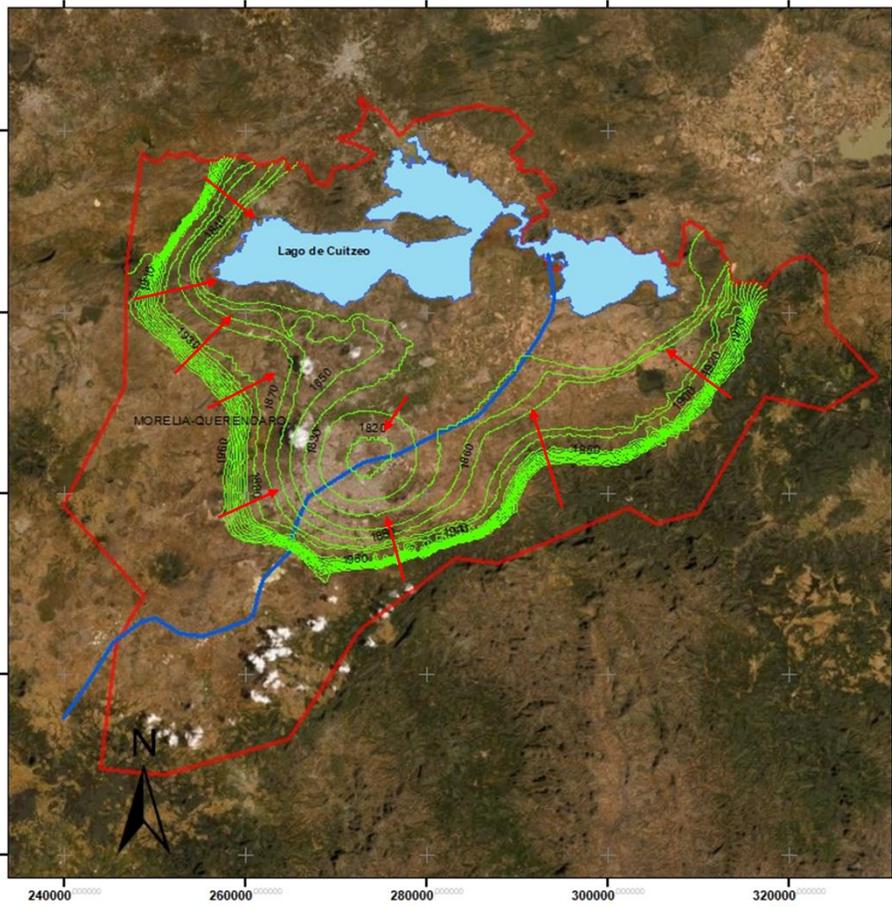
BALANCE HÍDRICO

MODFLOW

Donde el volumen
concesionado es usado
principalmente en el uso
Público Urbano representando
el 43%



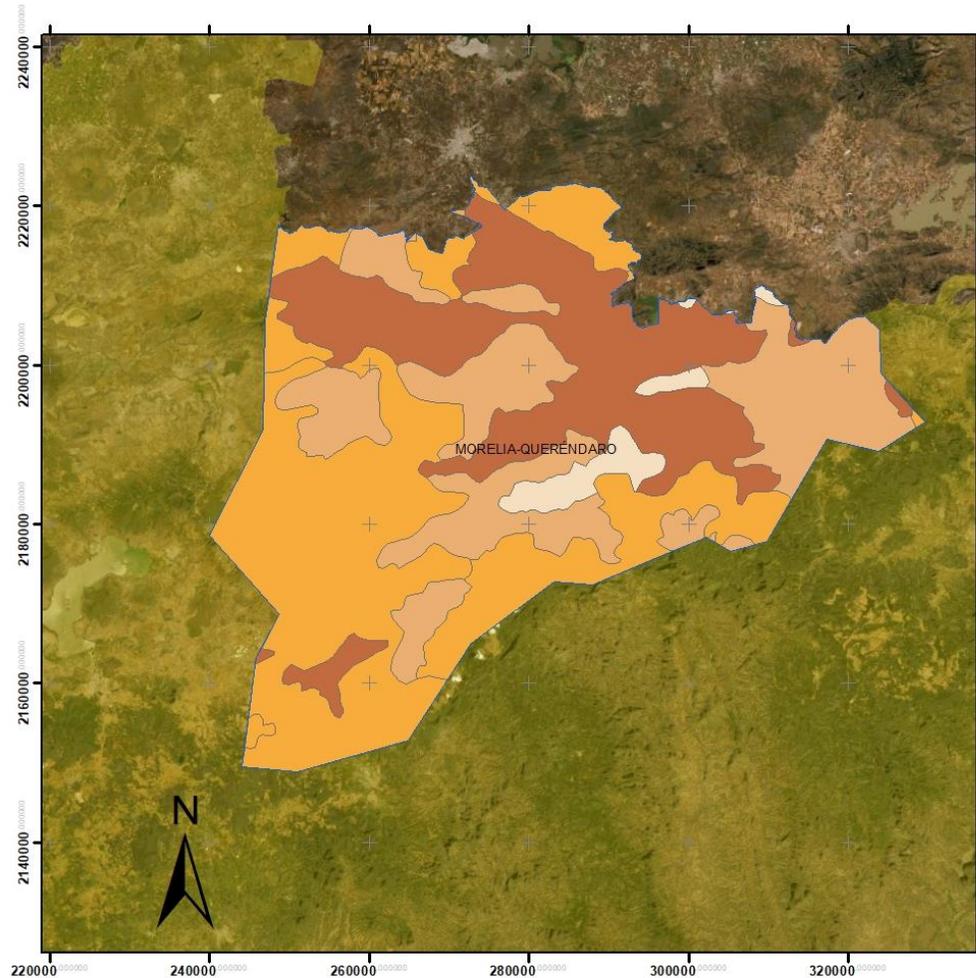
NIVEL ESTÁTICO



- METODOLOGÍA
- INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
- GESTIÓN DE DATOS
- BALANCE HÍDRICO
- MODFLOW



GEOLOGÍA



Simbología

Acuífero Morelia-Querendaro

Geología

TIPO

- Depósitos Aluviales
- Volcanoclástico
- Ígnea extrusiva básica
- Ígnea extrusiva ácida
- Michoacán de Ocampo

Plano: **Geología**

ELABORADO POR:
Luis David Navarro Arellano

Fecha: Julio, 2020 Sistema de Referencia: Estad. WGS 84 UTM 14 1

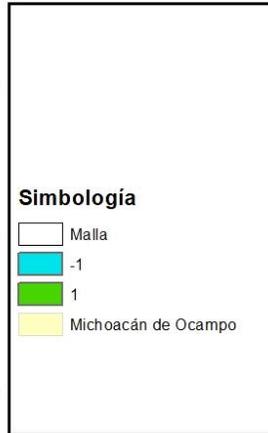
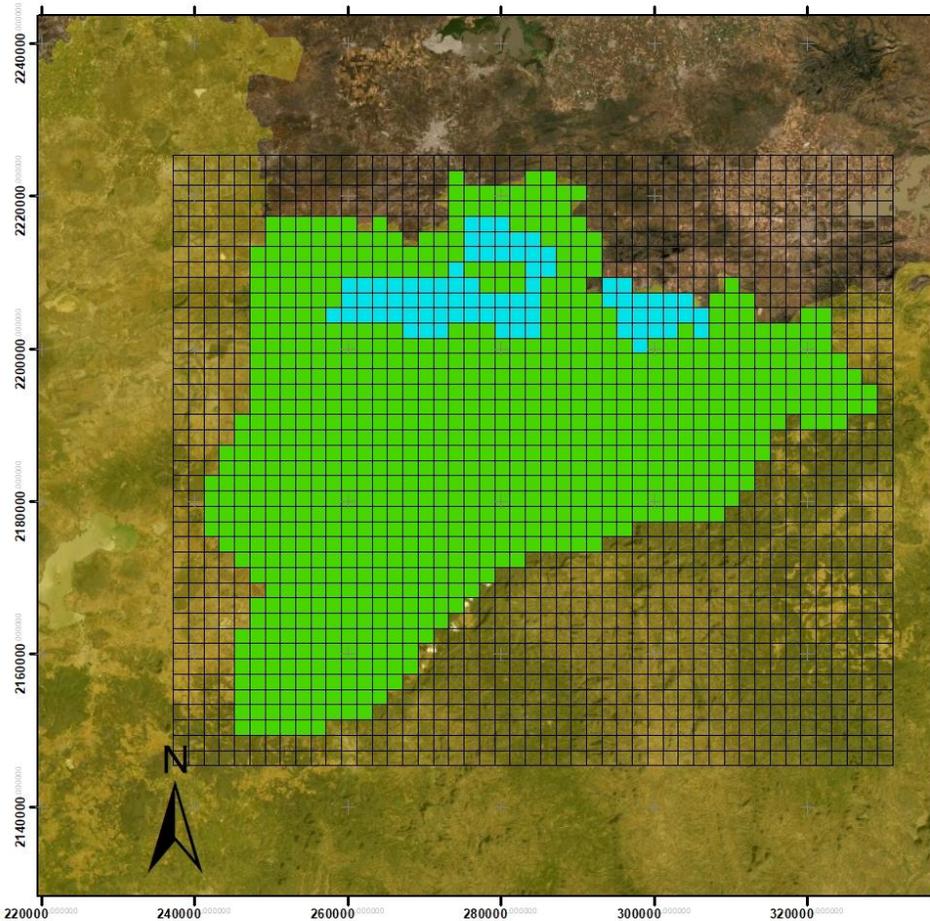
Principalmente rocas ígneas Extrusivas
Acuífero Libre en su mayor parte.
Espesor de 300 m.

- METODOLOGÍA
- INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
- GESTIÓN DE DATOS
- BALANCE HÍDRICO
- MODFLOW

GEOLOGÍA	POROSIDAD		CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA
	TOTAL	EFICAZ	
Depósitos Aluviales	20-50	10-28	0.1-50
Ígnea extrusiva ácida	1-10	0.00005-0.01	0.001-25
Ígnea extrusiva básica	1-10	0.00005-0.01	0.001-25
Volcanoclástico	1-10	0.5-5	10-8 - 2*10-4



MALLA



Plano: Celdas Activas	
ELABORADO POR: Luis David Navarro Arellano	
Fecha: Julio, 2020	Sistema de Referencia: WGS 84 UTM 14 Escala: 1:600,000

Malla: 47 Columnas y 40 Renglones

Celdas: 1880

Activas: 806

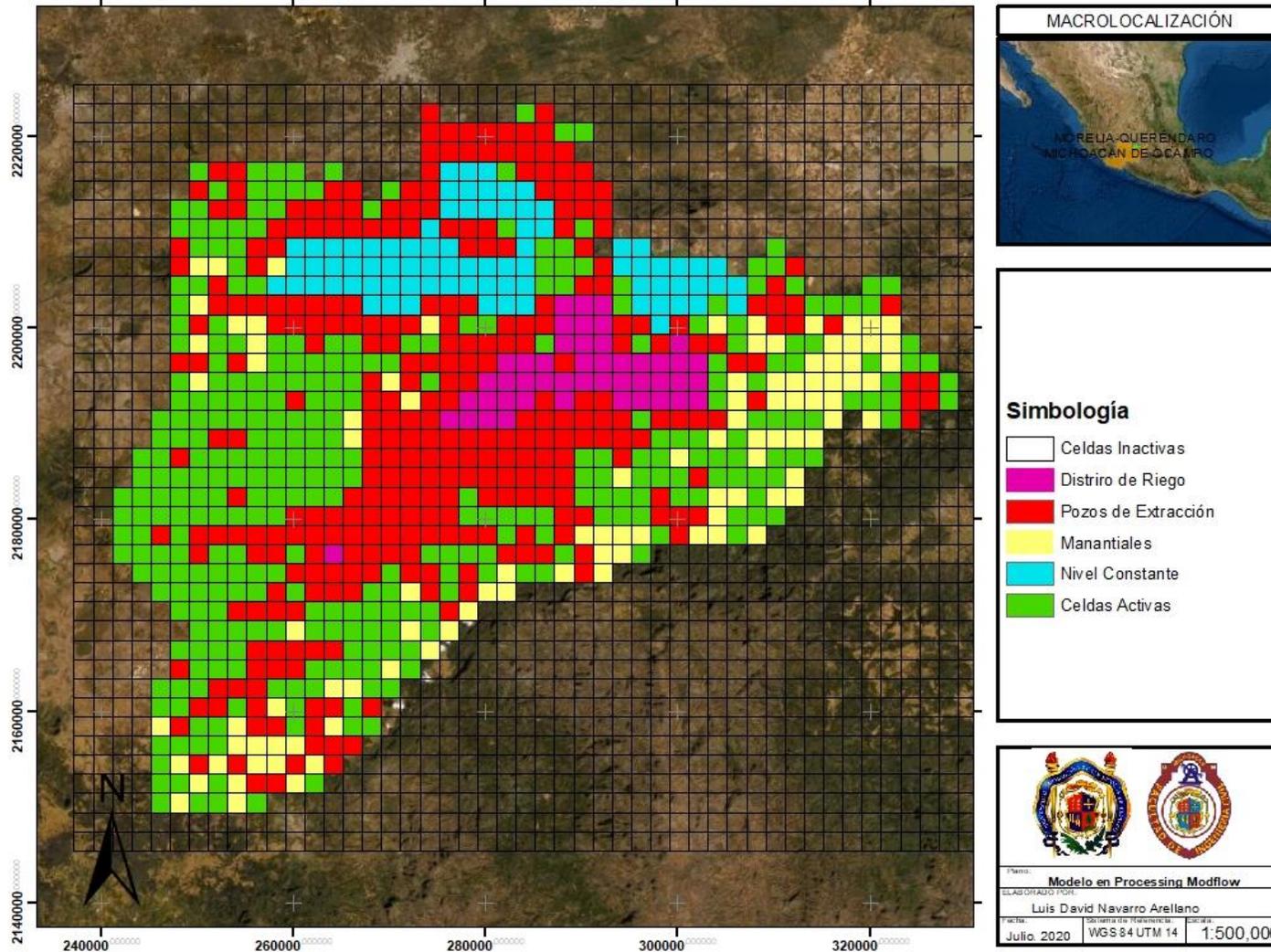
Nivel constante: 79

Dimensión de celda: 2km x 2km

- [METODOLOGÍA](#)
- [INFORMACIÓN GEOGRÁFICA](#)
- [GESTIÓN DE DATOS](#)
- [BALANCE HÍDRICO](#)
- [MODFLOW](#)



MODELO



Representación del modelo en Processing Modflow

METODOLOGÍA

INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

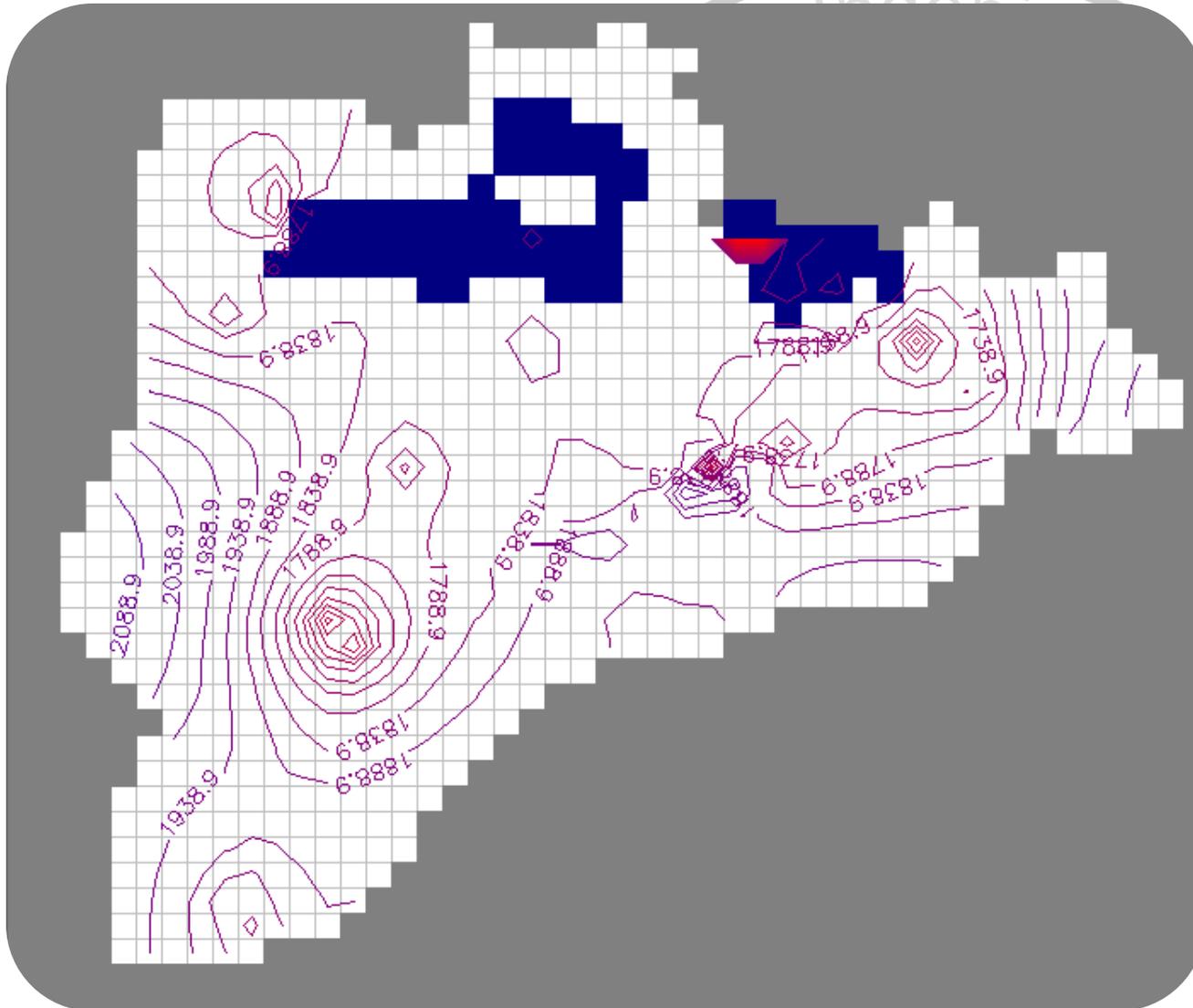
GESTIÓN DE DATOS

BALANCE HÍDRICO

MODFLOW



RESULTADOS



METODOLOGÍA

INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA

GESTIÓN DE DATOS

BALANCE HÍDRICO

MODFLOW

Aún en fase de calibración.



CONCLUSIONES

La falta de información en México respecto a las aguas subterráneas es muy grande lo que genera mayor labor para la generación de modelos.

Los modelos subterráneos nos ayudan a ver el comportamiento de los acuíferos ante las acciones de extracción, por lo que es posible ubicar las zonas de mayor afectación y distinguir en sí cuál es el uso consuntivo que está causando mayor impacto.

Una vez calibrado el modelo se pretende utilizar para ver posibles escenarios futuros además de transporte de contaminantes generados por la agricultura.

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

OBJETIVO

METODOLOGÍA

CONCLUSIONES



BIBLIOGRAFÍA

CICESE, (2018). CLICOM, Base de datos climatológicos, Climate Computing project.

CONABIO, (2020). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Obtenido de Geoportal del Sistema Nacional de Información Sobre Biodiversidad : <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>

CONAGUA (2018). Comisión Nacional del Agua, “Situación de los Recursos Hídricos”, Gobierno de México.

CONAGUA (2015). Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, “Conservación del recurso agua- Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales”.
Diario Oficial de la Federación.

CONAGUA, (20 de Abril 2015). Comisión Nacional del Agua, “Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Morelia-Queréndaro (1602), Estado de Michoacán”. Diario Oficial de la Federación.

INEGI (2020). Instituto Nacional de Estadística y geografía. México: INEGI

REPDA, CONAGUA, (2020). Consulta de base de datos del Registro Público de Derechos del Agua.

SINA, CONAGUA, (2018). Sistema Nacional de Información del Agua,

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

OBJETIVO

METODOLOGÍA

CONCLUSIONES





ASOCIACIÓN
MEXICANA
DE
HIDRÁULICA

Muchas Gracias

Luis David Navarro Arellano
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

Correo: 1179801d@umich.mx

Para citar esta presentación:

Navarro Arellano, L. 2020. [Modelación del acuífero Morelia-Queréndaro](#). Tercer Foro de Opinión: LOS RETOS DE LAS ZONAS DE RIEGO ABASTECIDAS POR AGUAS SUBTERRÁNEAS. 8 de octubre de 2020. Colegio Mexicano de Ingenieros en Irrigación (COMIIR). México. 31 pp.

Consulta el portal del COMIIR y sus redes sociales:

www.comeii.com y www.riego.mx