



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO  
DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES

BALANCE HIDROLÓGICO-FORESTAL Y URBANO DE LA  
CUENCA LA ARMELLA, SIERRA DE GUADALUPE,  
CIUDAD DE MÉXICO.

TESIS PROFESIONAL

Que como requisito parcial para obtener el título de

INGENIERO FORESTAL

Presenta:  
**Erick Eduardo Mendoza Ruiz**



SUBDIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN  
DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES

Bajo la dirección del  
**Dr. Alejandro S. Sánchez Vélez**

Chapingo, Méx, diciembre 2020



La presente tesis, titulada: "BALANCE HIDROLÓGICO-FORESTAL URBANO DE LA CUENCA DE LA ARNELLA, SIERRA DE GUADALUPE, CIUDAD DE MÉXICO" fue realizada por el C. Erick Eduardo Mendoza Ruiz, bajo dirección del Dr. Alejandro Sánchez Vélez, quien ideó y diseñó el estudio, el cual forma parte de la línea de investigación en Servicios Ambientales Hidrológica del CIIDRI. De la misma manera, el documento ha sido aprobado por el siguiente Comité Revisor y jurado examinador como requisito para obtener el título de: **INGENIERO FORESTAL**

Presidente: \_\_\_\_\_

Dr. Alejandro Sánchez Vélez

Secretario: \_\_\_\_\_

Dra. Rosa María García Núñez

Vocal: \_\_\_\_\_

Dr. Baldemar Arteaga Martínez

Suplente: \_\_\_\_\_

Ing. Hugo Larios Tlali

Suplente: \_\_\_\_\_

M.C. Liborio González Hernández

Chapingo, Méx., marzo de 2021

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Autónoma Chapingo, principalmente a sus maestros de la Preparatoria Agrícola y de la División de Ciencias Forestales, por enseñarme durante siete años las formas y métodos para administrar la naturaleza y dirigirla a los intereses de nuestra sociedad, también a sus bibliotecarios, investigadores del Museo Nacional de Agricultura, y todo el personal que da vida a la Universidad.

Al Profesor Dr. Alejandro Sánchez Vélez por su consejo a lo largo de mis estudios superiores, y por haber dedicado su tiempo en la dirección de esta tesis en sus diferentes etapas.

Agradezco a la maestra Rosita, Rosa Ma. García Núñez, su tiempo para leer detenidamente el escrito y dar coherencia los contenidos para mejorar la redacción y la estructura general de la tesis.

A la esposa del Profesor M.C. José Manuel Arceo Arceo, Aurora Lake dejo mis respetos y agradecimiento a él, por haberme orientado y apoyado durante mi preparatoria, y presento con orgullo ser el último de sus discípulos, asumiendo los trabajos por realizar que él dejó encomendados.

A GDT ambiental S.A. de C.V. por su generosidad al sustentarme económicamente durante el tiempo de la elaboración de esta tesis.

Al. Dr. Ángel Leyva Ovalle por su apoyo desde mi ingreso a la División de Ciencias Forestales. También agradezco al Dr. Hugo Guerrero por su amistad y consejo.

## **DEDICATORIA**

A mi Madre, Rosamaría Ruiz Escobedo, a mi Padre Marino Mendoza Priego, y  
a mi Hermano, Iván Mendoza Ruiz, por su cariño y atención.

## Tabla de contenido

1. Introducción .....	1.
2. Objetivos e hipótesis .....	3.
2.1. Objetivo general .....	3.
2.1.1. Objetivos específicos .....	3.
2.2. Hipótesis.....	3.
3. Planteamiento del problema.....	4.
3.1. El Problema Urbano.....	4.
3.2. El Ordenamiento Forestal .....	4.
3.3. El ciclo hidrológico .....	5..
3.4. Pérdida de suelo. ....	5.
4. Revisión Literaria.....	6.
4.1. La Silvicultura como Necesidad Urbana.....	6.
4.2. La valoración de los Servicios Ambientales en un Bosque Urbano .....	10.
4.3. La Sierra de Guadalupe.....	12.
4.5. Caracterización de la cuenca .....	14.
4.5.1. Ubicación .....	14.
4.5.2. Fisiografía .....	16.
4.5.3. Clima .....	18.
4.5.4. Edafología .....	19.
4.5.5. Geología .....	19.
4.5.6. Flora .....	22.
4.5.11. Fauna.....	26.
4.5.12. Aspectos demográficos .....	28.
4.5.13. Marginación y pobreza.....	31.
4.5.14. Economía de la Zona.....	37.

5. Método de investigación .....	39.
5.1. Trabajo de gabinete .....	39.
5.1.1. Caracterización.....	39.
5.1.2. Resultados .....	39.
5.1.2.1. Rodalización.....	40.
5.1.2.2 . Balance Hídrico.....	41.
5.1.2.3. Zonas Potenciales de Recarga Hídrica.....	49.
5.1.2.4 Metodología Erosión Potencial Hídrica.....	53.
5.2. Trabajo de campo.....	57.
6. Resultados .....	60.
6.1. Caracterización fisiográfica.....	60.
6.1.2. Exposición.....	60.
6.1.2. Pendiente .....	63.
6.1.3. Hidrología .....	65.
6.2. Propuesta de rodalización.....	68.
6.3. Balance hidrológico.....	73.
6.2.1. Precipitación.....	73.
6.2.2. Intercepción.....	75.
6.2.2. Escurrimiento .....	75.
6.2.3. Infiltración.....	77,
6.2.4. Evapotranspiración.....	82.
6.2.4.1. Ventana de reforestación.....	84.
6.2.5. Infiltración Subterránea.....	86.
6.2.6. Balance .....	88.
6.4. Zonas Potenciales de Recarga Hídrica.....	91.
6.4. Pérdida de Suelo (Erosión Hídrica).....	95.
7. Conclusiones .....	99.

7.1. De esencia .....	99.
7.2. De forma.....	100.
8.Bibliografía citada.....	103.

Cuadro 1. Costo por práctica silvícola.....	12
Cuadro 2. Topoformas con las mayores elevaciones en la cuenca de estudio.....	16
Cuadro 3. Especies representativas del matorral xerófito de la SG.....	22
Cuadro 4. Especies representativas del matorral de encino de la SG.....	23
Cuadro 5. Especies representativas del pastizal de la SG.....	23
Cuadro 6. Especies representativas del bosque de encino de la SG.....	24
Cuadro 7. Especies representativas de plantas cultivadas de la SG.....	25
Cuadro 8. Especies vegetales que aparecen en la NOM-059.....	25
Cuadro 9. Anfibios que aparecen en la NOM-059.....	26
Cuadro 10. Reptiles que aparecen en la NOM-059.....	26
Cuadro 11. Aves que aparecen en la NOM-059.....	26
Cuadro 12 Especies animales no amenazadas.....	27
Cuadro 13. Estimación de la pirámide de población en la zona de estudio.....	28
Cuadro 14. Proyección demográfica en Cuautepec.....	30
Cuadro 15. Medición de la pobreza, GAM , CDMX y Cuautepec.....	32
Cuadro 16. Indicadores de Rezago social.....	34
Cuadro 17. Índice de Marginación Urbana.....	34
Cuadro 18. Actividades económicas en Cuautepec (unidades económicas).....	37
Cuadro 19. Actividades económicas por sector en Cuautepec.....	38
Cuadro 20. Estaciones meteorológicas.....	41
Cuadro 21. Grupos hidrológicos de suelo propuesto por SCS-USDA 1972 .....	42
Cuadro 22. Porosidad efectiva y conductividad hidráulica.....	46
Cuadro 23. Porcentaje de horas luz.....	48
Cuadro 24. Coeficiente global.....	48
Cuadro 25. Coeficiente K.....	49
Cuadro 26. Ponderación de pendiente, zonas potenciales de recarga hídrica.....	50
Cuadro 27. Cobertura vegetal.....	51
Cuadro 28. Porosidad rocas.....	51
Cuadro 29. Porosidad de rocas.....	52
Cuadro 30. Factor Uso de suelo.....	52
Cuadro 31. Ecuaciones de erosividad.....	54
Cuadro 32. Factor Cobertura (EUPS).....	55

Cuadro 33. Factor Erodabilidad (EUPS).....	56
Cuadro 34. Expedición del 20 de Junio 2020.....	58
Cuadro 35. Distribución de exposiciones .....	60
Cuadro 36. Distribución de la pendiente en la SG	63
Cuadro 37. Distribución de la vegetación de la Armella en la Sierra de Guadalupe, CDMX.....	69
Cuadro 38. Claves nemotécnicas de los rodales.....	70
Cuadro 39. División de los rodales por comunidad vegetal.....	71
Cuadro 40. Curvas de nivel de escurrimiento.....	75
Cuadro 41. Infiltración por grupo de suelo.....	80
Cuadro 42 Factor de temperatura y luminosidad para la zona de estudio.....	82
Cuadro 43 Evapotranspiración potencial en la zona de estudio.....	83
Cuadro 44 Climograma completo.....	84
Cuadro 45 Balance hídrico.....	88
Cuadro 46 Balance hídrico.....	89
Cuadro 47 Calificación de la capa de infiltración más infiltración subterránea....	92
Cuadro 48 Calificación del factor cobertura vegetal .....	92
Cuadro 49 Zonas Potenciales de Recarga Hídrica por categoría.....	93
Cuadro 50 Factor K para la zona de estudio.....	96
Cuadro 51 Categorías de erosión potencial hídrica de suelo.....	96
Cuadro 52 Pérdida de suelo.....	97
Cuadro 53 Parámetros morfométricos de la cuenca y de la red hídrica.....	101
Cuadro 54 Balance hídrico y de suelo.....	102.

Fig. 1 Ubicación de la Armella de la Sierra de Guadalupe, CDM.....	15.
Fig. 2 Elevaciones de la Armella de la Sierra de Guadalupe, CDMX.....	17.
Fig. 3 Climograma de la Sierra de Guadalupe (Basado en CONAGUA, 2018).....	18.
Fig. 4 Edafología de la Armella de la Sierra de Guadalupe.....	20.
Fig. 5 Geología de la Armella de la Sierra de Guadalupe, CDMX.....	21.
Fig. 6 Pirámide demográfica.....	29.
Fig. 7 Proyección demográfica.....	31.
Fig. 8 Comparación: pobreza en la CDMX y en la DGAM.....	33.
Fig. 9 Índice de Marginación Urbana.....	35.
Fig. 10 Índice de marginación Urbana.....	36.
Fig.11 Zona de estudio en el mapa de erosividad nacional (Montes,2011).....	53.
Fig.12 Expedición del 20 de Junio del 2020.....	59.
Fig. 13 Curva Hipsográfica de la SG.....	61.
Fig. 14 Exposición de la Sierra de Guadalupe.....	62.
Fig. 15 Pendiente de la SG.....	64.
Fig. 16 Perfil del arroyo Armella.....	66.
Fig. 17 Perfil del arroyo Xochitla.....	66.
Fig. 18 Perfil del arroyo el Panal.....	66.
Fig. 19 Hidrología de la SG.....	67.
Fig. 20 Distribución de la vegetación de la Armella en la Sierra de Guadalupe,CDMX.....	70.
Fig. 21 Área por vegetación en el rodal.....	71.
Fig. 22 Rodalización.....	72.
Fig. 23 Mapa de Precipitación de la Armella de la Sierra de Guadalupe, CDMX.....	74.
Fig. 24 Intercepción.....	76.
Fig. 25 Cartografía de escurrimiento.....	78.
Fig. 26 Infiltración.....	81.
Fig. 27 Ventana de reforestación.....	84.
Fig. 28 Evapotranspiración.....	85.
Fig. 29 Infiltración subterránea.....	87.
Fig. 30 Balance hídrico.....	88.

Fig. 31 Balance hídrico de la zona de estudio.....	90.
Fig. 32 Distribución de las categorías de las ZPRH.....	93.
Fig. 33 Zonas potenciales de recarga hídrica.....	94.
Fig. 34 Distribución de la pérdida de suelo por categoría.....	97.
Fig. 35 Erosión potencial hídrica del suelo.....	98.

## **RESUMEN**

El presente estudio se desarrolló en el Área Natural Protegida (ANP) “La Armella”, localizada en la Sierra de Guadalupe, al norte de la Ciudad de México (CDMX). La investigación consistió en realizar cuatro estudios distintos: rodalización, balance hidrológico, zonas potenciales de recarga hídrica, y estimación de pérdida de suelo por erosión. También se contextualizó el concepto de Ordenamiento Forestal-Urbano al ANP, y se propuso la estructura de un Plan de Manejo sustentado en la evaluación de los Servicios Ambientales con base en la teoría del valor-trabajo.

El área de estudio corresponde a una subcuenca específica cuya superficie es de 23.5131 km<sup>2</sup>, presenta un clima C(w0)(w)gi, cálido subhúmedo, el más seco, con lluvias invernales menores al 5% del anual, con temperaturas más elevadas después del equinoccio otoñal y una variación entre el mes más cálido y más frio de 5°C. En la subcuenca específica precipita una lámina (milímetros de precipitación) que totaliza un volumen de 16,306,567.9 m<sup>3</sup> para toda la cuenca, no obstante, el 62% de este volumen (lo equivalente a 10,138,219.2 m<sup>3</sup>) es conducido al sistema de drenaje de la zona urbana . El consumo de agua consuntiva, se estima en 317 litros diarios por persona, que multiplicado por 358,138 habitantes da un total de 113,529,746 litros al día, o bien, o 41,438,357.29 m<sup>3</sup> al año es decir 2.5 veces más de lo que llueve en la zona. La infiltración en zona porosa y zona de saturación),es de 347,707.09 m<sup>3</sup>, lo equivalente al 0.8% de la demanda poblacional, generando un déficit de 41,090,650.2 m<sup>3</sup>.Del volumen captado en la zona forestal (6,168,348.7 m<sup>3</sup>): el 21.9% es interceptado en dosel (1,350,880m<sup>3</sup>), 58.7% se escurre (3,624,216.6 m<sup>3</sup>), 3.8% se infiltra (238,500 m<sup>3</sup>), se percolan 1.7% (109,207 m<sup>3</sup>), y se evapotranspira 13.7% (845,545 m<sup>3</sup>): la erosión hídrica estimada es de 31,835 toneladas de suelo al año.

## **SUMMARY**

This document was developed among of Protected Natural Area ANP “La Armella” , Sierra de Guadalupe, on north of CDMX. Was concluded with four analysis: rodalization, water balance, recharge water potential zones and soil water erosion. Also this document introduce Forestry-Urban timber concept to ANP, and a structure of forest management plan it was proposed according value-work teory.

Study area is a specific basin with surface of 23.5131 km<sup>2</sup>, weather C(w0)(w)gi, sub-humid warm, the driest, invernal rain under 5% of year, after fall temperatura is high, difference of mount coldest and hottest is 5°C. On specific basin rain 16,306,567.9 m<sup>3</sup>, but 62% of precipitation (10,138,219.2 m<sup>3</sup>) finish on pipelines. Consumptive water is near to 317 liters daily, in 358,138 persons in Cuatepec, is equal to 113,529.75 m<sup>3</sup> for day, and 41,438,357 m<sup>3</sup> for year, or 2.5 volume that rain in the Armella.. The rain that fall on woodlander divides on 21.9% intercept (1,350,880 m<sup>3</sup>), 58.7% drain (3,627,216.6 m<sup>3</sup>), 3.8% infiltrates (238,500 m<sup>3</sup>), 1.7% underground water recharge (109,207 m<sup>3</sup>), 13.7% evotrasnpiration (845,545 m<sup>3</sup>) and lost 31,835 tons of soil each year.

## **1. Introducción**

En las líneas siguientes, se desarrollan los métodos precisos para determinar ciertos elementos esenciales de la Biocenosis y Biotopos en la Sierra de Guadalupe, (propiamente la zona de estudio es conocida como “La Armella” y es parte de la Sierra de Guadalupe, de ahora en adelante la referencia a la Sierra de Guadalupe debe interpretarse como a la Zona de Estudio), que es la reminiscencia de la Sierra del Tepeyac, al extremo norte de la Ciudad de México, no es una práctica de rutina pues para llegar a las conclusiones que aquí se presentan, se aborda el problema del ordenamiento Forestal Urbano, es apenas el primer paso de una serie de estudios que son impostergables para la Sierra de Guadalupe. Es pertinente por dos razones principales, una de *forma* y otra de *esencia*, la primera es la necesidad de la sociedad por conservar el monte en cuestión, desde hace décadas grupos espontáneos de vecinos se organizan en cuadrillas para trabajar el monte en medida de sus posibilidades. Y la segunda, es la necesidad de integrar a las modernas ciudades, y planes ordenamiento ecológico, la dimensión de la silvicultura urbana como una disciplina particular.

Para Mayo de 2019 se habrían desatado numerosos Incendios Forestales en la CDMX, desde un año antes, el autor de este documento emitió oficios sobre la necesidad de los trabajos silvícolas en la Armella(SEDEMA,2020), pero sólo fue hasta que la ciudad se cubrió de humo, que se expedieron convocatorias por parte de la SEDEMA, reflejando la necesidad incluso por parte del Estado, de intervenir en la Sierra de Guadalupe, actualmente es incierto el fallo de la licitación, pues no se puede rastrear en COMPRANET. Los incendios del 2020 en la Sierra de Guadalupe fueron más dramáticos todavía, pero afortunadamente existe ya, una brigada más o menos constituida, operada por la SEDEMA por medio de una empresa outsourcing, en charlas con los jóvenes brigadistas, se manifiesta que no se conoce el curso s-120, el kit básico de incendios, por lo que parece que es necesario introducir técnicas valiosas en el combate de incendios.

Para abordar ese tema, es menester primero llevar a cabo los estudios que aquí se presentan, para que de lo complejo (el ordenamiento forestal) se pueda partir a lo simple (planes operativos silvícolas, incluyendo el plan de combate de incendios). Los métodos que aquí se exponen y las variables que aquí se concluyen, son clásicas del estudio de cuencas y se han simplificado gracias a los Sistemas de Información Geográfica pero apenas brindan

elementos para definir lo complejo y lo simple. Se trata de la delimitación de tipos de rodales, la Pérdida de Suelo por el Método de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, y por otra parte, la Hidrología, un diagnóstico de zonas potenciales de recarga de aguas subterráneas con un Balance Hídrico.

El objetivo más alto e implícito de estos trabajos es la divulgación entre todos aquellos que quieran saber de la Sierra de Guadalupe, vecinos, guardabosques, voluntarios, autoridades, y para la Academia.

## **2. Objetivos e hipótesis**

Se trata de la ordenación de la Sierra de Guadalupe. Reduciendo todo lo anterior a los siguientes renglones: lograr la abstracción de los elementos esenciales de complejo, que nos permitan trabajar y configurar la realidad en favor de nuestros intereses:

### **2.1. Objetivo general**

Evaluar los parámetros de vegetación, suelo e hidrología en la subcuenca específica La Armella , proponiendo nuevos elementos para el ordenamiento forestal urbano.

#### **2.1.1. Objetivos específicos**

- Realizar una caracterización hidrológica, morfométrica, climática, y socioeconómica de la subcuenca específica.
- Rodalizar la subcuenca específica en unidades mínimas de manejo a fin de emitir específicas.
- Realizar el balance hidrológico en la subcuenca específica para definir sus servicios ambientales hidrológicos.
- Estimar la pérdida de suelo en la subcuenca a través de la EUPS.

## **2.2. Hipótesis**

$H_I$ = La población contenida en la subcuenca específica se distingue por el rezago social y la degradación ambiental.

$H_{II}$ = La subcuenca específica presenta una vegetación xerófila, con bosquetes que fueron repoblados.

$H_{III}$ = La subcuenca específica presenta erosión hídrica extrema.

$H_{IV}$ = No se cubre la demanda de agua consuntiva en la subcuenca.

### **3. Planteamiento del problema**

No sería muy útil hacer un listado de la demanda general de agua ni hablar de las tasas de deforestación, porque son problemáticas que ya se han abordado en varias ocasiones en los trabajos de tesis. Además, atendiendo al método (de lo complejo a lo simple) establecemos como postulado de esta tesis la problemática ambiental por la que la Humanidad está cruzando, y pasamos a revisar puntualmente las características de la Zona de Estudio, acaso aventurándose a elementos generales de la Silvicultura Urbana en la CDMX.

#### **3.1. El Problema Urbano**

Existe una presión constante de la sociedad sobre los recursos de la Sierra de Guadalupe, además, en algún momento de la historia, esta Sierra fue totalmente aprovechada seguramente como resultado de las necesidades energéticas de la CDMX. Los cuerpos de agua de la antigua Tenochtitlan fueron drenados, desapareciendo las corrientes permanentes, actualmente los derroteros de las corrientes están trazados en planificaciones de drenaje, conducidos por tubería. A parte debe considerarse el cambio climático posterior a la industrialización del país, que ha vuelto más agreste la zona.

La acción del hombre, en lo que fuera un bosque encino-pino, cambió en todas sus condiciones, principalmente climáticas e hidrológicas. Actualmente, la frontera urbana al Norte de la CDMX está contenida por barreras de piedra, parcialmente, y por las fuertes pendientes, así mismo la explosión demográfica derivó en presión ambiental. También sobresale la organización comunitaria, que entiende la importancia de la calidad del bosque y sus servicios ambientales. Estas organizaciones, requieren de transferencia tecnológica, con este documento se pretende empezar a resolver los problemas técnicos y satisfacer a autoridades y sociedad de algunos elementos necesarios para el manejo y ordenamiento forestal.

#### **3.2. El Ordenamiento Forestal**

La respuesta a las necesidades técnicas, en conjunto y por separado debe ser un Plan de Manejo Forestal, destacado por su complejidad a los Planes de Manejo convencionales, puesto que no se tiene por objeto de estudio la producción de madera. El Plan de Manejo debe dividirse en dos partes, la primera es la producción de servicios y mercancías del bosque urbano, cuando esté se pueda aprovechar, y la segunda es la valoración económica que es lo mismo que la necesidad financiera de las operaciones silvícolas, de restauración, etc., cómo

más adelante veremos. En la primera parte también deben abarcarse los planes de operaciones silvícola, cómo el combate a fuego, a plagas, repoblación, reforestación, planes de muestreo, planes de aprovechamiento cuando se permita, obras de conservación, y todo aquello que sea necesario. Deberá ser elaborado anualmente, pero considerando siempre un Plan de Ordenamiento Territorial, que toque generalmente la ordenación y manejo forestal proyectado en un horizonte de años igual al tiempo de paso. Esta estructura explicada rápidamente, es una propuesta para la elaboración de Planes de Manejo Forestal Urbanas.

Este plan no existe aún, por lo tanto, su elaboración y aplicación es un problema que empieza a abordar esta investigación. El objetivo de este trabajo, es consolidar una comunidad de trabajo forestal que pueda ser modelo de la Administración Forestal Urbana, que pueda convivir con la urbanidad en simbiosis.

### **3.3. El ciclo hidrológico**

Es innegable la escasez de agua en la CDMX, y aunque en su momento la Sierra de Guadalupe fue utilizada como manantial para toda la Ciudad, ahora no podría ni satisfacer las necesidades de la población local, lo que exige la necesidad de implementar acciones para mantener la humedad en la Sierra, reviviendo algunos charcos y corrientes permanentes. Es conveniente detener el flujo y promover su infiltración, a terminar en las cloacas urbanas, o en inundaciones que afectan económicamente a cientos de familias. Además, al conocer la dinámica hidrológica en la zona, se pueden determinar elementos técnicos importantes, cómo la fecha de plantación, cantidad de agua que ingresa a la cuenca, potencial de cosecha de lluvia, etc.

### **3.4. Pérdida de suelo.**

En la Cuenca, por sus pendientes y falta de cobertura, pierde suelo de forma alarmante, este azolve termina por estropear las tuberías y obras de arte de la Ciudad, lo que desemboca en inundaciones y por lo tanto en el gasto de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) en mantenimiento y maquinaria especializada para el desazolve. Es necesario cuantificar y cartografiar las Pérdidas de Suelo.

#### **4. Revisión literaria**

En este apartado se ofrece una semblanza del problema del Manejo Forestal Urbano a través de periodos muy definidos de la historia y muy particularmente en México, es una introducción al desarrollo de la jardinería y diseño paisajístico de nuestro país, también se habla de los enfoques más modernos, lo que permite desarrollar las conclusiones posteriores.

##### **4.3. La silvicultura como necesidad urbana**

No son nuevos los esfuerzos por incorporar en las Ciudades extensiones de suelo dedicadas a la función forestal, basta recordar los jardines colgantes, levantados bajo dictamen de Nabucodonosor II y que se sabe contaba con complejas redes de irrigación y era fuente de frutas, donde se mantenían todo tipo de árboles (Pettinato,1985), podría ser este sistema de terrazas del siglo VI a.C. la cúspide de la silvicultura urbana del mundo antiguo, o podrían ser también los magníficos jardines romanos o árabes que tuvieron lugar en los inicios de nuestra era. Cada civilización ha tenido la necesidad de conservar o cultivar jardines y espacios forestales, por diferentes motivaciones.

El ejemplo más cercano de organización forestal urbana antigua que citamos, resulta ser también uno de los más grandes de la América precolonial; el Rey Netzahualcóyotl, quien comprendía la pertinencia de los bosques urbanos y marginales de su reino como manera de sostenibilidad y habitabilidad de la urbe, (Clavijero,1985) por lo que dictó políticas públicas que penaban las prácticas de desertificación de los bosques de Acolhuacan, en las calzadas aún vigentes de la ciudad de Texcoco se puede disfrutar de los árboles que son reminiscencia o descendencia de aquellos que plantarán los súbditos de Netzahualcóyotl.

Su trabajo más importante es el cerro de Tetzcotzinco que está totalmente labrado por el hombre y era un complejo dedicado al Dios Tlaloc, y que al igual que el Sacro Bosque en Bomarzo estaba cargada de fuerte simbología mítica y diseño caprichoso, el segundo se construiría casi un siglo después de terminado Tetzcotzinco. Se sabe, que los Acolhuas mantenía sus jardines como colección científica, clasificando plantas y ordenándolas con sentido científico (Heyden,2003). El otro pico de la silvicultura Acolhua se encuentra en el bosque centenario de Chapultepec, que fue un sitio ceremonial y sagrado, pero también incorporó el servicio del agua potable como fundamental para el sostén de Tenochtitlan.

En la colonia se establecerían jardines dentro y fuera de las iglesias, y en patios interiores de las casas más acomodadas (Caballero,1993) que en general ocuparon el centro de las ciudades, apenas caída Tenochtitlan, se declararía como parque la Alameda y el Bosque de

Chapultepec. De la conquista española se heredó la idea del jardín árabe, como una amplia zona, en el patio interior o anexo a la casa, rebosante de áboles, frutos y hortalizas a manera de vergel. Esta tradición es muy común en la ciudad e incluso en los suburbios más marginados, se intenta conservar al menos un pequeño espacio para macetas o unos cuantos metros cuadrados para un árbol o algunos jardines, se ven casas con una o dos especies de áboles, dependiendo la calidad de vida del barrio; es típico en todas las clases sociales conservar al menos un espacio para el cultivo de flores.

Sería hasta la intervención francesa que se manifestó el diseño rigurosamente geométrico de los Jardines, y hoy día muchos lo conservan como testigos de esa época (claramente se puede ver esta influencia en la Alameda central de la CDMX) (Caballero, 1993). El Porfiriato incorporó la visión positivista en sus esquemas de producción y urbanismo, no fue distinto para las ciudades, el grupo de los “científicos” se encargó de edificar modernas obras de higiene urbana hasta el final de los días de ese régimen. Es necesario hablar dentro de este punto del apóstol del árbol: Miguel Ángel de Quevedo, que sería uno de los “científicos” que más destacaría en este régimen, y quienes sus obras siguen creándole fama y prestigio. Por aquél entonces existían al menos dos teorías sobre las infecciones y enfermedades que azotaban a todos los países; la que prevaleció fue la de Luis Pasteur, que sostenía que los agentes infecciosos eran microscópicos, pero podían observarse y combatirse, la otra teoría era la de los miasmas, acumulaciones de hedores fétidos (por ejemplo, los que se concentran en un campo de batalla donde se han abandonado a los caídos) que enfermaban a la gente.

Aunque M.A. de Quevedo sabía de ambas teorías y había estudiado bajo la enseñanza de Luis Pasteur, quien era su amigo y con quien discutió sus proyectos, todavía se mantenía la idea popular de los miasmas. El enfoque de casi toda política pública del porfiriato y muy específicamente de urbanismo era el de la Higiene, M.A. de Quevedo entendía que los árboles tenían capacidad de filtrar el aire viciado, por lo tanto eran fundamentales para la higiene y salubridad de las ciudades, por lo que era necesario saltar de la concepción de los jardines como elementos estéticos, privados o simbólicos para retomar la idea de Netzahualcóyotl : el bosque urbano, el jardín y parque como elemento funcional de la ciudad que contribuye a su higiene, a su salud y a su habitabilidad.

A inicios del siglo XX , el mentor de M.A. de Quevedo: J. Forestier, habría desarrollado la teoría más importante sobre silvicultura urbana, y consideraba, junto al Congreso Científico sobre Problemas de Urbanismo e Higiene Urbana (en Paris, 1900) que las ciudades modernas deberían incluir en su planificación una extensión del 15% para jardines, y parques, que

contribuyeran a la higiene física pero también moral (esta idea sobre los jardines actuando sobre la salud y por tanto sobre la moralidad de la sociedad parece ser influencia de los urbanistas de la Revolución Francesa). La propuesta de J. Forestier giraba en torno a componer una ciudad-jardín o un sistema de parques permanente, para conservar la higiene(Valenzuela,2015). Los problemas en los que Forestier se ocuparía eran distintos a los de la Ciudad de México, por ejemplo, que se consideraba cómo ciudad solamente a los habitantes dentro de las fortificaciones dejando en el olvido a los suburbios que se levantaron en la periferia del casco de Paris (Caballero,1993). Lo interesante, es que hoy día se sigue manteniendo su doctrina como la más factible o como estrategia de arbolado, este modelo es complementado con una rutina de podas y saneamiento urbano en las hileras que guarda la banqueta de las vialidades.

Después se establecerían jardines como el Parque España, Parque México y Parque Hundido, con técnicas de elevación y caminos sinuosos. El enfoque actual, parece ser el más desarrollado y fundamentado en estudios científicos sobre el efecto de la ciudad en el ser humano. No puede ser otro enfoque que el de la sustentabilidad y sostenibilidad, para esto tenemos que discernir entre los dos conceptos: el primero es la doctrina política que sostiene que la producción humana solamente puede ser replicable en generaciones futuras si encuentra un esquema que satisfaga las necesidades sociales, económicas y ambientales, y la sostenibilidad es la capacidad de replicar, o mantener por tiempo indefinido (o infinito) la producción sin necesitar de agentes externos para reponer materiales u energía. Este documento intenta proponer una visión más completa.

Es necesario ensayar aún más el concepto de silvicultura urbana si se busca realmente satisfacer las necesidades sociales, veamos al menos dos panoramas, entendiendo que entre ellos existe un sinfín de estratos según su relación con la producción social de mercancías, en cada uno de ellos se manifiesta la silvicultura urbana de distintas maneras.

En un barrio popular, la aplicación de este modelo en la silvicultura urbana no es distinta a la que pudo concebir Forestier, se trata de un sistema de parques que asegura la comunidad de la sociedad, que integra naturaleza (el parque en sí), la economía (no se interrumpe el movimiento de materiales en la ciudad) y social (el punto de reunión que implica el parque), bajo este modelo la administración de la Ciudad de México ha hecho de una política de seguridad, una política de silvicultura urbana: la campaña de “recuperar los espacios públicos” que debe llevar al menos veinticinco años en acción, se trata de una serie de operativos que defenestraran a los lumpen-proletarios que disfrutan de los parques, en nombre

la seguridad ciudadana, acto seguido una brigada pinta e instala juegos infantiles, tiende una cama de tezontle, barre y pinta canchas de futbol, reestablece luminarias, para después abandonar el sitio y repetir el ciclo.

Pero en los barrios más acomodados del país, se cuentan con grandes parques, no existe precarización evidente, los trabajadores del ayuntamiento se encargan de la limpieza, pasean perros y hay actividad incluso en la madrugada, ni una luminaria falta, por si fuera poco, cuenta con remodelaciones casi por sexenio y cada casa cuenta con un jardín incluso de azotea. Tampoco rompe los límites de la doctrina de Forestier, y funciona tal como se pensó.

En ambos sitios se desarrollan lazos de comunidad, en clubs deportivos, semi-militares, culturales, etc. Ahora bien, la capacidad de disfrutar estos lugares depende directamente del tiempo de ocio con el que cuente sus habitantes, en los primeros no existe capacidad, lo que repercute directamente en su salud mental, pues mientras que en el segundo panorama el habitante puede disfrutar de una hilera de árboles en cada calle que complementa el sistema de Parques, no así el del primer panorama, dónde los árboles que prevalecen son enanos, enfermos y escasos, a propósito, debemos citar:

“Los ojos del hombre no pueden estar tan ocupados como lo están en las grandes ciudades debido a la cantidad de cosas artificiales, o bien por cosas naturales vistas bajo condiciones artificiales evidentes, sin un efecto dañino, primero sobre su sistema nervioso y mental y en última instancia sobre la totalidad de su organización constitucional” (Olmsted, 1886)

Ahora bien, si se logra hacer diferencia entre las clases sociales y la forma en que necesitan la silvicultura urbana, se alcanza mayor grado de concreción, permite crear técnicas y metodologías de intervención social más acorde, pero también se rompe con el concepto de “ciudadano” que da por sentado la igualdad de derechos, posibilidades, y responsabilidades.

La sustentabilidad ha fallado al menos en el capítulo México, porque en nuestra sociedad existe una división de clases sobre la que se fundamenta el rendimiento y productividad en la producción de bienes: la conglomeración de desempleados en los parques abandonados es a la vez un stock de fuerza de trabajo para las fábricas del corredor industrial Vallejo que mantiene en orden el precio del salario, por lo que la planificación de parques y demás también debe incluirlos, por ejemplo, este tipo de concreciones se alcanza comprendiendo las condiciones inalienables de la propia sociedad.

A sí mismo no es posible hablar de sustentabilidad en el suburbio que nunca fue planificado, que ocupa un sitio inconveniente para la cuenca, que sencillamente no tiene ningún espacio para incluir áreas verdes. Tampoco en los barrios céntricos, que fueron establecidos a la

usanza española, con falta de concepción de la cuenca, de la higiene, etc. En sí, el concepto de sustentabilidad resultaría hipócrita o inocente para hablar del ordenamiento forestal urbano en la Ciudad de México.

Después de integrar la dimensión socioeconómica es necesario integrar un método epistemológico, para asegurar que se está poniendo interés en los puntos esenciales o en las variables que determinan los resultados de nuestra práctica, este método no puede ser otro que el del materialismo dialéctico. Esto es fundamental, las doctrinas de silvicultura urbana que hemos estudiado parten de la mayéutica aunque no se expresa abiertamente, por ejemplo, el elemento estético que fue fundamental desde la antigüedad hasta nuestros tiempos, es puramente subjetivo y se atiene a reglas convenidas por la humanidad, la nueva silvicultura urbana tiene que poner en balanza la capacidad financiera de la comunidad y su capacidad para procurarse áreas verdes, la voluntad del gobierno sobre esta población, el desarrollo e historia de la comunidad, para luego ser analizado y encontrar la estrategia correcta para ofrecer el mayor volumen de bienes y servicios por el menor costo.

Es necesario desechar los diseños forzosamente geométricos, árboles por gusto, o políticas públicas por intereses electoreros, es necesario empezar a entender al jardín y parque como una unidad de producción tal como una industria, un taller, etc.

Después de este necesario preámbulo, empezamos a delimitar geográficamente el tema de la presente tesis: se trata de las reminiscencias de la Sierra del Tepeyac en la parte más septentrional de la Ciudad de México, donde existe ya un esfuerzo importante para la conservación, de parte de los habitantes y que establecen la pertinencia de este documento. Este escrito tiene como visión sentar las bases de una doctrina de bosques urbanos, o silvicultura urbana que pueda ser concretada en la Ciudad de México, primero, y que permita integrar más elementos a la técnica, traduciendo el trabajo silvícola en trabajo social, y rompiendo necesariamente con la idea de la sustentabilidad en favor de la idea de desarrollo desigual del bosque urbano. Esperemos que en algunas décadas este proyecto pueda desarrollar una base forestal urbana en Cuautepetl, una organización fuerte que entienda los beneficios económicos del bosque y se mantenga de esta riqueza y en fin sirva para por fin establecer una política pública robusta y flexible para la silvicultura urbana en CDMX.

#### **4.4. La valoración de los Servicios Ambientales en un Bosque Urbano**

La clasificación más aceptada sobre los servicios ambientales (Challenger,2009) parte de una base de Servicios Ambientales de Soporte cuyos beneficios son directos y prolongados

(formación del suelo, ciclos biogeoquímicos, ciclo hidrológico y producción primaria (de biomasa/energía)), los servicios ambientales de regulación que son resultado de la dinámica del ecosistema y le confiere perpetuidad (clima, agua, calidad del aire, etc.). Los servicios ambientales de provisión, que son los bienes forestales (alimentos, combustibles, madera, etc), servicios ambientales o culturales que se refieren a todo aquello que contribuye al bienestar espiritual, cultural, (hace un siglo se diría moral).

Es en general, un listado de beneficios que el bosque provee a la sociedad. Ensayemos ahora este concepto desde el enfoque de la teoría del valor. El valor de una mercancía esta directamente fundamentada en el trabajo humano, este trabajo esta medido por convención, con una unidad que invariablemente agrupa tanto el valor del trabajo humano como cualquier valor agregado, es el dinero, el valor que determina en que proporción se puede intercambiar una mercancía con otra, es conocido como valor de cambio y, por último, el valor de uso que se expresa en la utilidad de la mercancía. La producción de mercancías es una operación social que se desprende de una división de trabajo especializada, entre la que se encuentran los servicios, administraciones, etc.

Entonces una mercancía se compone de tres diferentes categorías distintas de valor, la riqueza se fundamenta en la explotación de la sociedad sobre la naturaleza. Sobre esta base, conocemos de donde proviene la riqueza y de donde no, volviendo a Challenger, todos los bienes pueden ser mercantilizados e intercambiados, también los servicios siempre y cuando estos sean trabajados por la mano del hombre imprimiendo valor sobre el servicio, constituyendo una mercancía. El agua puede embotellarse, y el carbono puede venderse por tonelada secuestrada (el trabajo que se imprime en este evidentemente es, las prácticas silviculturales).

El problema del valor de los servicios ambientales es clásico, aquí proponemos una respuesta: el valor de una hectárea produciendo servicios ambientales es igual al costo total que implica su ordenación, conservación, aumento en incrementos de los árboles, aumento de suelo, y el aceleramiento de su etapa seral clímax. Por lo tanto, las variables que intervienen en este costo serán, costo de materiales y herramientas, de mano de obra, pendiente, etapa seral, etc. El determinar para la Sierra de Guadalupe está proyección financiera, es tema y aplicación posterior a esta tesis, para salvar esté valor retomaremos experiencias anteriores.

**Cuadro 1. Costo por práctica silvícola**

Zona/práctica forestal	Mediana	Mediana
	Dólares/tonelada de carbono	Dólares por hectárea
Boreal		
Regeneración Natural	5	93
Reforestación	8	324
Templado		
Regeneración Natural	1	9
Repoblación	2	259
Reforestación	6	357
Tropical		
Regeneración Natural	1	178
Agrosilvicultura	5	454
Reforestación	7	450

(Schroeder & R. Dixon,1993)

El cuadro 1, explica los costos iniciales de una práctica silvícola según zona para una plantación de captura de carbono, por lo tanto, nos puede ser útil para establecer el costo inicial (según las características propias de la operación podría ser un costo anual). Para la Sierra de Guadalupe utilizaremos el valor medio de la reforestación en zona templada ( $357 \text{ USD ha}^{-1}$ ) convirtiendo el dólar de 1993 (1.81 veces más valioso que el actual) al valor actual encontramos la cifra de  $646 \text{ USD ha}^{-1}$  o lo que actualmente se tasaría como  $\$ 15\,478 \text{ MXN ha}^{-1}$ , más de diez veces lo ofrecido por el Programa de Pago por Servicios Ambientales.

A parte de esto debe incluirse la capacidad de producción de mercancías de la Sierra de Guadalupe, particularmente para lo urbano, el aumento de la plusvalía en vivienda al otorgar un entorno agradable, sano y comunitario.

Sobre el cómo atraer el ingreso necesario para la restauración de la Sierra de Guadalupe, es trabajo posterior y aplicación de esta tesis, pero solo se puede dar una respuesta útil en forma empírica y solo puede ser descubierta en el desarrollo del trabajo silvicultural, por lo demás existe ánimo ciudadano sobre la Sierra y muchos esfuerzos. En este mismo sentido, la experiencia de la Iniciativa en pro de los Recursos Urbanos (IRU), en Baltimore donde se agregó correctamente a la sociedad, se otorgaron cursos y en general crearon una identidad o ejemplo para la juventud sobre el trabajo Forestal (W.R. Burch & J.M. Grove,1993).

#### **4.5. La Sierra de Guadalupe**

La Sierra de Guadalupe está compuesta de dos diferentes sujetos jurídicos, ambas son Zonas Ecológicas Sujetas a Protección (ZESP): la de La Armella, declarada como tal el 9 de junio de 2006 (GODF,2006) y la Sierra de Guadalupe, decretada como ZESP el 20 de agosto de

2002 (GODF,2002). En fisiografía, la Armella es una depresión de más de 600 ha en forma de una minúscula cañada, que recuerda a una armella de carpintería, por su exposición, pendiente y extensión es una zona de captación que agrupa gran cantidad de escorrentías intermitentes, sobre los que existen algunos bosquetes del Bosque Relicto en Clímax, un bosque de encinos que recuerda mucho al Bosque Mesófilo de Montaña. La otra parte de la Sierra de Guadalupe, es un nudo de cerros y elevaciones casi en totalidad dominado por pastizales, matorral xerófito y bosques de eucalipto.

Por otra parte, es menester contextualizar a la Sierra de Guadalupe, en la Ciudad de México existen al menos tres situaciones en los que el bosque urbano se puede encontrar: Las Áreas de Valor Histórico, como puede ser Chapultepec, la Alameda, Jardines ya establecidos, etc. Los Nuevos Desarrollos Urbanos Planificados que integran en su trazo jardines, parques, bosquetes, etcétera. Y por último los Cinturones de Miseria (Caballero,1993).

“Varias áreas de la periferia oriental de la ciudad, dentro del Estado de México, han sido receptoras de la mayor parte de la violenta inmigración rural que ha padecido la metrópoli. La forma tan anárquica en la que ha ocurrido este proceso, en tierras que carecían en absoluto de infraestructura urbana, no ha permitido ningún tipo de planificación en materia de áreas verdes. Por otro lado, la alta densidad poblacional en estos sitios ha dejado poco margen para llevar a cabo programas apropiados de reforestación urbana. Algunos pobladores, preocupados ante la necesidad de áreas verdes, han hecho un esfuerzo personal por plantar árboles, pero esta acción se ha llevado a cabo de manera desordenada e irregular, sin responder a ningún tipo de plan o de estrategia concreta. Cabe aclarar que la asistencia técnica en este sentido es prácticamente inexistente. Los interesados difícilmente obtienen una orientación en cuanto a qué tipo de árboles emplear, cuándo plantarlos, cómo preparar la cepa de plantación, cómo colocar el árbol, qué tipo de mantenimiento prodigarle, etc.” (Caballero,1993)

A estas tres categorías, se proponen las siguientes:

**-Monte enclavado:** Que es la condición de la Sierra de Guadalupe y de muchas ZESP en la CDMX, se trata de una extensión de suelo no urbano ni agrícola dominado por vegetación espontánea, original o artificial que está rodeado en más de la mitad de su perímetro por tejido urbano continuo o discontinuo.

**-Monte marginal:** Es la condición de un monte que está rodeado en menos de la mitad de su perímetro por tejido urbano continuo o discontinuo.

**-Lote baldío:** Pequeñas extensiones de suelo que están rodeadas por artefactos, en la que se desarrolla vegetación espontánea o pionera.

## **4.5. Caracterización de la cuenca**

Aunque no es resultado de una revisión literaria en todos los puntos y más bien son procesos integrados en los Sistemas de Información Geográfica, o resultados de geoprocessos, a continuación, se delimita y caracteriza la cuenca, explicando la metodología cuando sea pertinente. La exposición, pendiente e hidrografía, por la forma en que se obtuvieron, se presentan en los resultados.

### **4.5.1. Ubicación**

Se trata del Área Natural Protegida ANP de “La Armella” y una parte de la ANP “Sierra de Guadalupe”, está delimitado por la frontera Ciudad de México-Estado de México, que resultan ser también los parteaguas de la cuenca, y la cota de nivel 2270, esto incluye la cara del oriente del cerro del Tenayo al sureste de la subcuenca específica y la cima del Pico de los tres padres que son parte del Estado de México. La posición más septentrional del polígono está en las coordenadas (WGS 84 UTM 14 N, x, y respectivamente):487017.,2166425, el vértice más austral se encuentra en: 485544,2158528, la coordenada más occidental es: 482950,2160098 y la más oriental: 488650,2163338. En las altitudes entre 2250 msnm y 3000 msnm, un diferencial de 750 m. Se encuentra en la cuenca del Rio Moctezuma, en la microcuenca RH26Dp.Tiene una extensión ortogonal de 2351.31 ha y un perímetro de 21.861 km.

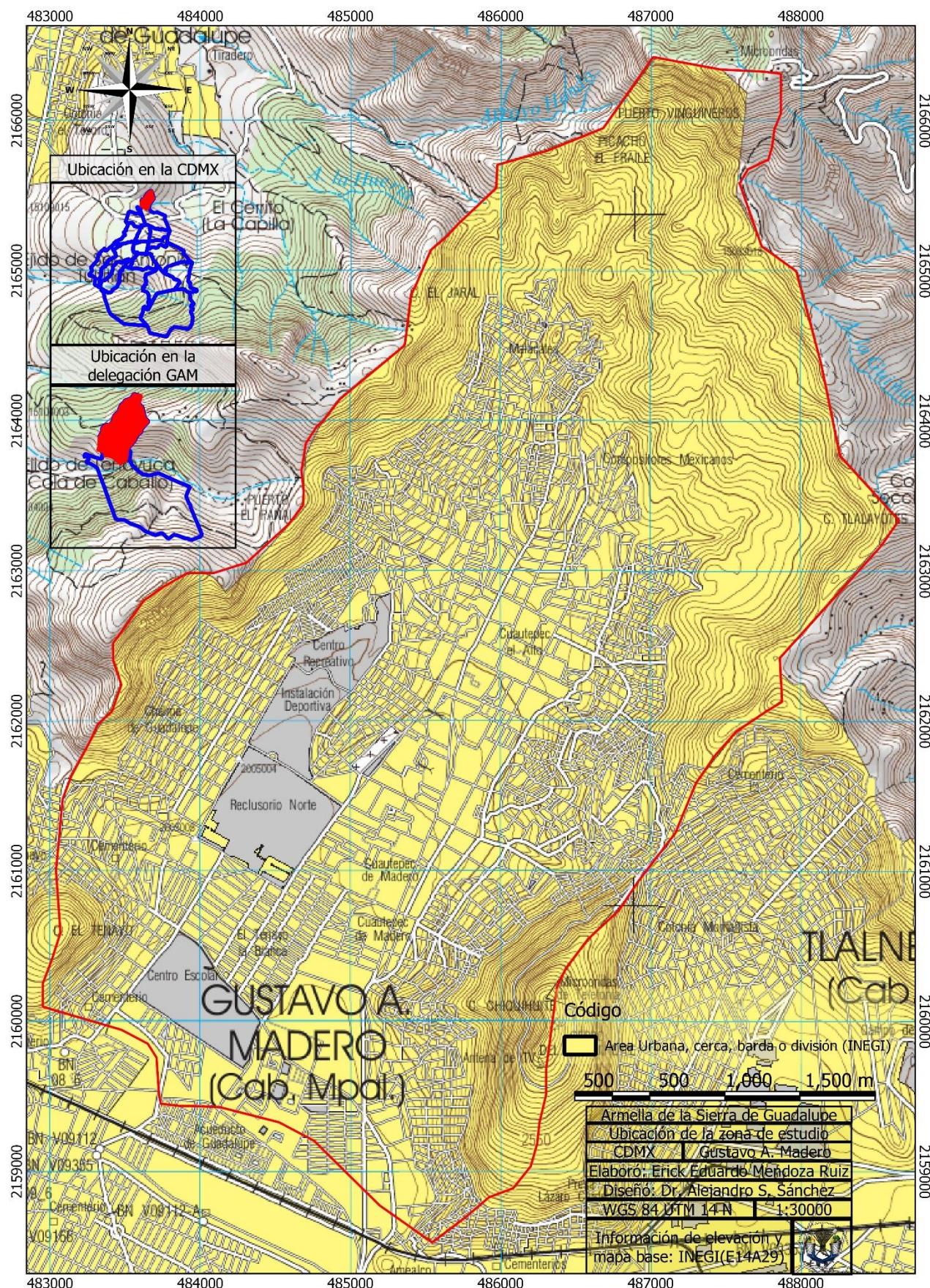


Fig. 1 Ubicación de la Armella de la Sierra de Guadalupe, CDMX

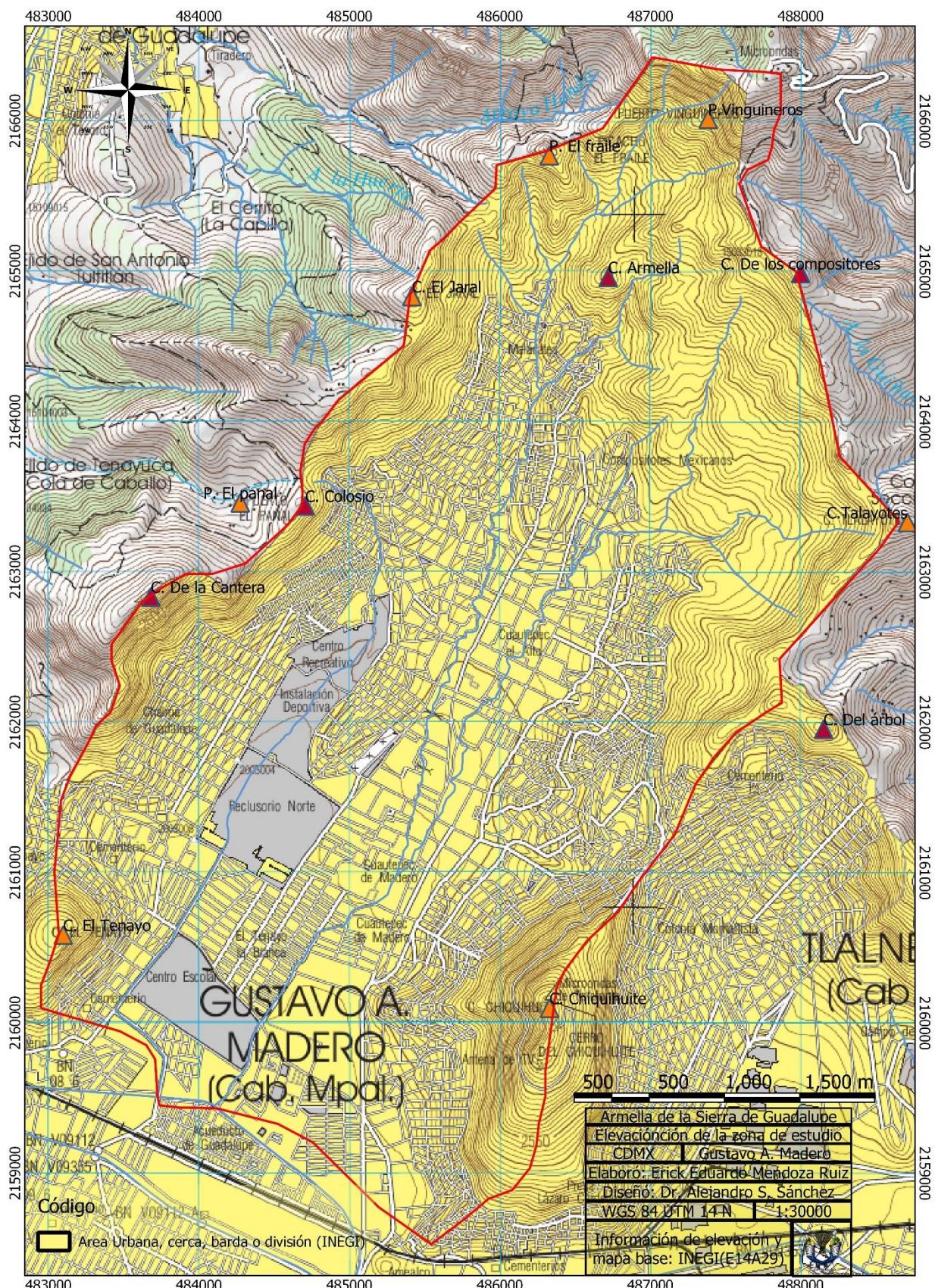
#### **4.5.2. Fisiografía**

Se ubica en su totalidad en la región fisiográfica Lagos y Volcanes del Anáhuac, mientras que sus topoformas obedecen al litoral del otrora lago de Texcoco. La mayor parte del SA está caracterizada como Escudo de Volcanes, debido a que encuentra en el Eje Neovolcánico Transversal, por otro lado, el documento titulado (GODF,2006) caracteriza a la zona como Lomeríos, que sería una imprecisión, debido a la elevación del macizo, por lo que se propone hablar de una Sierra.

En algún momento, en la primera mitad del S.XIX la Sierra de Guadalupe y la del Tepeyac formaban un único Sistema ambiental, sin embargo, la apertura primigenia de caminos hacia Pachuca, dividieron ecológicamente a la Sierra. Ahora está partida a la mitad por un laberinto urbano que es sencillamente inexpugnable. En la siguiente cartografía se observan las elevaciones más importantes de la microcuenca, los señalados en naranja se encuentran descritos en la Carta Topográfica Cuautitlán E14A29, 1:50,000 (INEGI,2014) y los indicados en lila son propuestos por el autor y sólo tienen efecto para este trabajo, pues cada elevación tiene un nombre local. El cuadro 2 muestra la altitud de cada punto marcado.

**Cuadro 2. Topoformas con las mayores elevaciones en la cuenca de estudio**

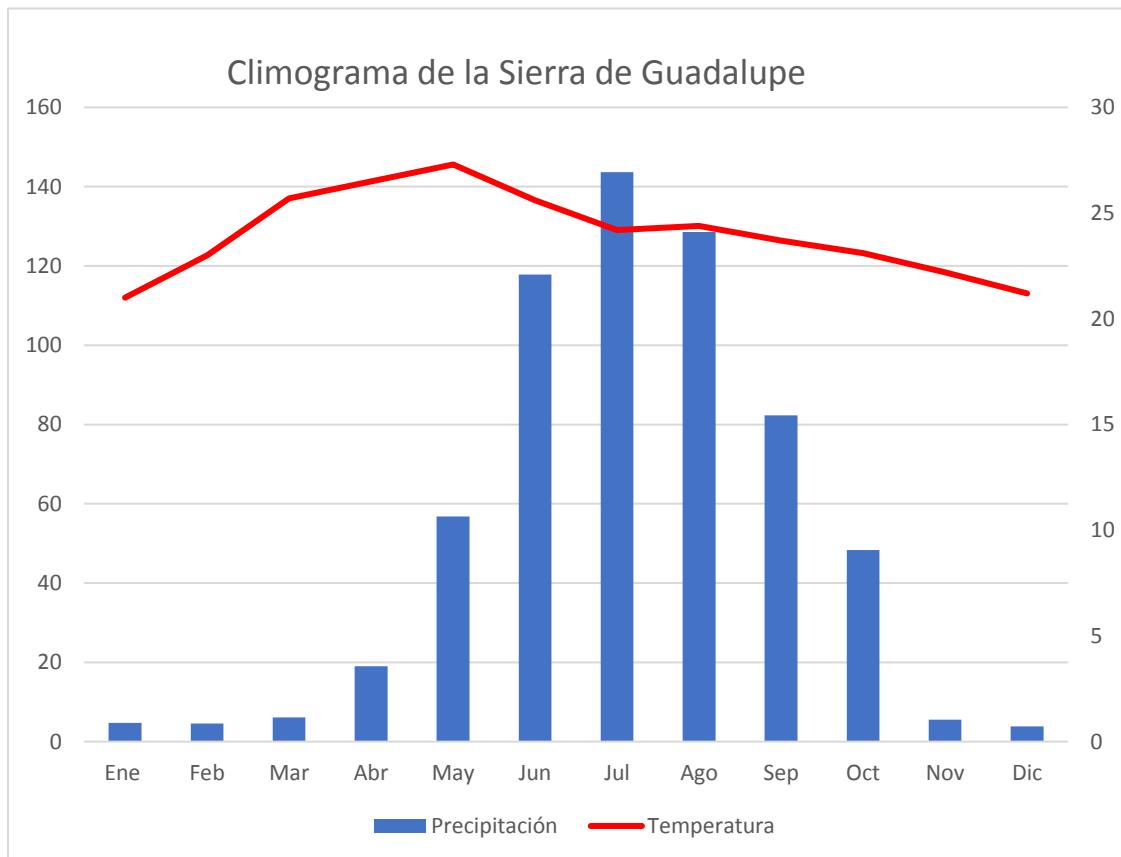
Nombre	Elevación	Fuente
Cerro Chiquihuite	2720	INEGI
Cerro Talayotes	2705	INEGI
Puerto Vinguineros	2768	INEGI
Picacho El fraile	2660	INEGI
Cerro El Jaral	2691	INEGI
Puerto El Panal	2482	INEGI
Cerro El Tenayo	2479	INEGI
Cerro Colosio	2556	Propuesto
Cerro De la Cantera	2701	Propuesta
Cerro Armella	2554	Propuesta
Cerro De los compositores	2802	Propuesta
Cerro Del árbol	2683	Propuesta
Cerro Escorpio	2471	Opentopomap



**Fig. 2 Elevaciones de la Armella de la Sierra de Guadalupe, CDMX**

#### 4.5.3. Clima

La estación 9017 Cuautepec Barrio Alto, del Servicio Meteorológico en la Ciudad de México, sirve como representativa a toda la Zona de Estudio, es posible determinar Clima Cw(0) según la fórmula climática de Köppen modificada por Enriqueta García, es decir, templado subhúmedo con temperatura mensual de 12 a 18° C, el mes más cálido con 22°C, la precipitación sería menor a 40 mm en el mes más seco, y las lluvias invernales representarían un 5 a 10.2 % del total de precipitación al año. La fórmula climática que se deduce de los datos de la Estación de Cuautepec, es: C(w0)(w)gi, cálido subhúmedo, el más seco, con lluvias invernales menores al 5% del anual, con temperaturas más elevadas después del equinoccio otoñal y una variación entre el mes más cálido y más frío de 5°C.



**Fig. 3 Climograma de la Sierra de Guadalupe, CDMX ( Basado en: CONAGUA, 2018)**

#### **4.5.4. Edafología**

La capa de Edafología Serie II escala 1: 250000 de la carta E14 -2 Cuautitlán (INEGI,2014), presenta dos diferentes ordenes de suelo fuera de la zona urbana (donde el concreto no deja suelo). La mayor parte está dominada por Andisoles, suelos de origen volcánico, testimonio del pasado de la cuenca, que puede soportar bosques de coníferas, y en menor medida en partes medianas de la cuenca, se pueden encontrar molisoles, que son suelos típicos de las estepas y piedemontes caracterizado por un régimen de precipitación semiárido, color oscuro, que tuvo que haberse generado como resultado de la sedimentación. La figura 4 muestra este hecho.

#### **4.5.5. Geología**

En una cuenca joven existiría mucha diferencia entre las áreas que se encuentran arriba de la cota 2440, teóricamente, en algún momento esas diferencias desaparecerán por acción de la gravedad, formándose una planicie, será entonces una cuenca en vejez, en el caso de la zona de estudio resulta un poco distinto, se sabe que el Valle de México contenía lagos en vejez para 1521, al quedar atrapados después de que se cerrarán por acción volcánica hace 700 mil años , cuando la cuenca del Valle de México se cerró en su parte sur (Ingeniería, 2014)poco a poco el nivel del agua se replegaría al centro del otrora lago, dejando al descubierto su lecho llano, que ahora recibe el nombre de fosa de Cuautepec, que es muy claro en la Orografía de la Sierra de Guadalupe, es por esto el 65% de la cuenca se encuentra debajo de la cota 2440, como la curva hipsográfica lo revela, se trata de una cuenca vieja (por la extensión de sus tierras bajas). El escudo de volcanes que son las elevaciones del norte está compuesta de domos volcánicos (como el Chiquihuite, Tenayo) y estratovolcanes derrumbados (el Jaral, Pico del Fraile) que tienen lugar en el Mioceno medio (Jacobo-Albarrán, 1985).

La capa de geología de INEGI (INEGI,2014), describe la composición geológica de la cuenca de esta manera: en la bajiplanicie (respecto a la subcuenca específica) se concentran materiales sedimentados, aluviales, lo que podría indicar suelos profundos en la zona urbana (figura 5). Al este y oeste de la bajiplanicie se encuentran brechas volcánicas intermedias, rocas en su mayoría de gran tamaño que se solidificaron en el aire cuando el momento de la erupción y que interrumpieron el flujo de magma cementándose en un depósito, de pH

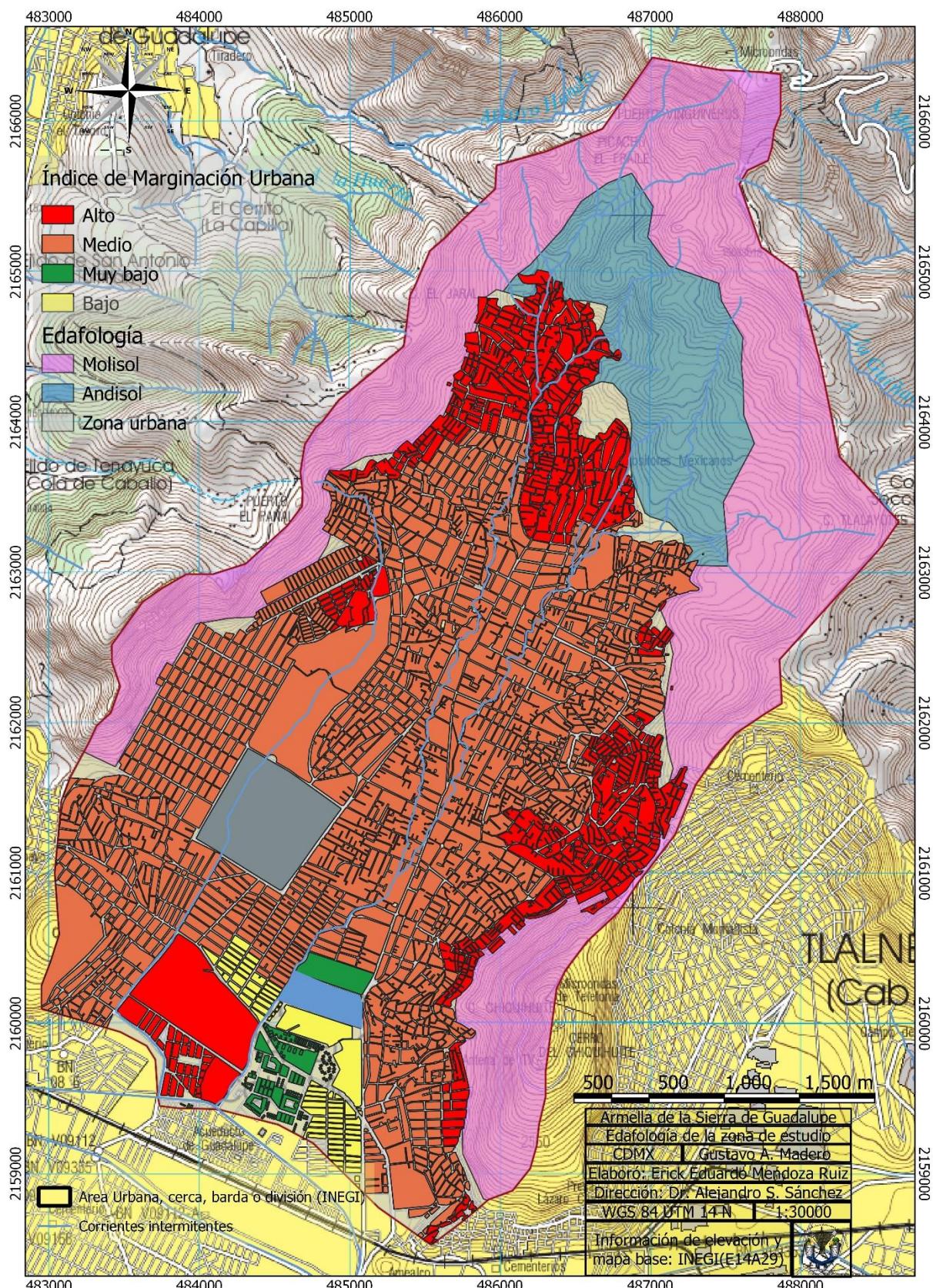
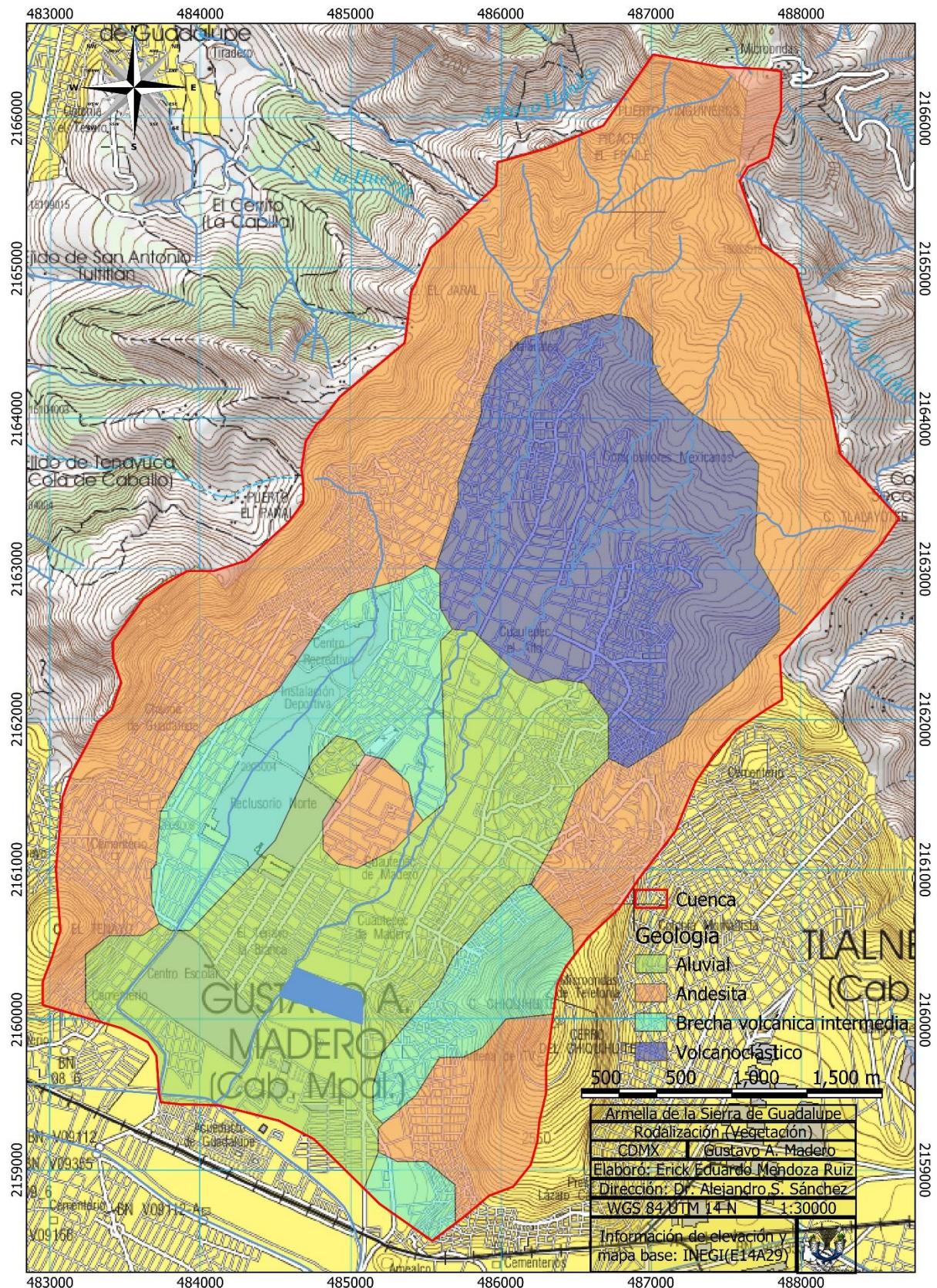


Fig. 4 Edafología de la Armella de la Sierra de Guadalupe,



**Fig. 5 Geología de la Armella de la Sierra de Guadalupe, CDMX**

neutral. Al centro de la zona urbana, se encuentra una región de andesitas (rocas volcánicas) y brecha volcánica intermedia. A las faldas del Pico del Fraile, donde se concentraron volcanoclastos, que pueden ser andesitas, basaltos, pomesitas y tezontles. Adviértase que las fracturas geológicas pasan por las cimas de las principales elevaciones, al oriente la Falla Tenayuca, al norte la de Talayotes, y al este la Falla Chiquihuite, la bajiplanicie recibe el nombre de Fosa de Cuautepec (Valerio & Palomo, 2007).

#### 4.5.6. Flora

Existe, aunque no publicado en la red, un listado florístico que incluye 301 especies, distribuidas en 222 géneros y 79 familias (GODF,2006). No es de nuestro interés hacer un inventario florístico, pero si entender la composición de los montes de la Sierra de Guadalupe, por lo que conviene rescatar la clasificación del programa de manejo (SEDEDMA,2006):

-Matorral xerófito: es el más extendido en la zona.

**Cuadro 3. Especies representativas del matorral xerófito de la SG**

Familia	Especie	Nombre común
Asteraceae	<i>Dahlia coccinea</i> Cav.	Dalia roja
Cactaceae	<i>Opuntia streptacantha</i> Lem.	Nopal cardón
Caprifoliaceae	<i>Syphoricarpos microphyllus</i> H.B.K.	Perlilla
Commelinaceae	<i>Tradescantia crassifolia</i> Cav.	Matlaxóchitl
Fabaceae	<i>Eysenhardtia polystachya</i> (Ortega) Sarg.	Palo dulce
Fabaceae	<i>Mimosa biuncifera</i> (Benth)	Uña de gato
Fabaceae	<i>Acaciella angustissima</i> Mill.	Tuna mansa
Fabaceae	<i>Havardia leptophylla</i> (D.C.) L. Rico	Sin nombre común local
Fabaceae	<i>Brongniartia intermedia</i> Moric.	Sin nombre común local
Fabaceae	<i>Mimosa aculeaticarpe</i> (Benth.) Barneby.	Espino
Liliaceae	<i>Milla biflora</i> (Cav.) Raf.	Estrella mexicana
Loganiaceae	<i>Buddleja parviflora</i> Kunth.	Tepozán
Phytolaccaceae	<i>Phytolacca icosandra</i> L.	Fitólaca
Rubiaceae	<i>Bourvadia ternifolia</i> H.B.K.	Trompetilla
Sapindaceae	<i>Cardiospermum halicacabum</i> L.	Farolitos

(SEDEMA, 2016).

-Matorral de encino: Que es la vegetación pionera en la zona oeste.

**Cuadro 4. Especies representativas del matorral de encino de la SG**

Familia	Especie	Nombre común
Asparagaceae	<i>Agave salmiana</i> otto ex Salm-Dyck	Maguey pulquero
Asparagaceae	<i>Nolina parviflora</i> (Kunth.) Hemsl.	Izote
Asparagaceae	<i>Manfreda pringlei</i> Rose.	Amole
Asparagaceae	<i>Echeandia mexicana</i> R.W.Cruden.	Sin nombre común local
Boraginaceae	<i>Lithospermum strictum</i> Lehm.	Hierba de las perlillas
Cactaceae	<i>Opuntia streptacantha</i> Lem.	Nopal cardón
Convolvaceae	<i>Ipomoea capillacea</i> (Kunth) G. Don.	Sin nombre común local
Fabaceae	<i>Havardia leptophylla</i> (DC.) L. Rico.	Sin nombre común local
Fagaceae	<i>Quercus frutex</i> Trel.	Encino chaparro
Phytolaccaceae	<i>Phytolacca icosandra</i> L.	Fitólaca
Polemoniaceae	<i>Loeselia mexicana</i> (Lam.) Brand.	Espinosa

(SEDEMA,2016)

-Pastizal: Producto del desmonte y abandono agrícola, las leguminosas y gramíneas han proliferado en ciertas zonas, se pueden encontrar árboles tolerados de las especies.

**Cuadro 5. Especies representativas del pastizal de la SG**

Familia	Especie	Nombre común
Anacardaceae	<i>Schinus molle</i> L.	Pirul
Fabaceae	<i>Prosopis laevigata</i> (Humb. et Bonpl. ex Willd)	Mezquite
Fabaceae	<i>Acacia farnesiana</i> L.	Huizache
Fabaceae	<i>Mimosa aculeaticarpe</i> (Benth.) Barneby.	Espino
Poaceae	<i>Muhlenbergia macroura</i> (H.B.K.) Hitchc.	Pasto amacoyado

(SEDEMA,2016)

-Bosque de encino: Los bosques relicto se encuentran en cañadas, se encuentran especies como:

**Cuadro 6. Especies representativas del bosque de encino de la SG**

Familia	Especie	Nombre común
Fagaceae	<i>Quercus rugosa</i> Née.	Encino prieto
Apiaceae	<i>Arracacia tolucensis</i> (Kunth) Hemsl.	Neldo
Apocynaceae	<i>Metastelma angustifoli</i> Turcz.	Venenillo
Asteraceae	<i>Pittocaulon praecox</i> H.Rob. & Brettell.	Palo loco
Begoniaceae	<i>Begonia gracilis</i> Kunth.	Ala de ángel
Bromeliaceae	<i>Tillandsia recurvata</i> L.	Seca palo
Caprifoliaceae	<i>Symporicarpos microphyllus</i> H.B.K.	Perlilla
Ericaceae	<i>Arbutus xalapensis</i> Kunth.	Madroño
Fabaceae	<i>Phaseolus coccineus</i> L.	Frijol ayocote
Fagaceae	<i>Quercus castanea</i> Née.	Capulincillo
Fagaceae	<i>Quercus deserticola</i> Trel.	Encino blanco
Fagaceae	<i>Quercus glaucoidea</i> M.Martens & Galeotti	Encino prieto
Fagaceae	<i>Quercus mexicana</i> Liebm.	Amarillo
Fagaceae	<i>Quercus castanea</i> Trel.	Encino capulincillo
Fagaceae	<i>Quercus obtusana</i> Bonpl.	Encino chino
Loganiaceae	<i>Buddleja cordata</i> Kunth.	Tepozán
Passifloraceae	<i>Passiflora exsudans</i> Zucc.	Pasiflora
Rubiaceae	<i>Bouvardia ternifolia</i> H.B.K.	Trompetilla

(SEDEMA,2016)

-Cultivos forestales y frutales: Se distribuyen en bosquetes aislados enclavados en el matorral xerófito, las especies que dominan son:

**Cuadro 7. Especies representativas de plantas cultivadas de la SG**

Familia	Especie	Categoría de riesgo
Myrtaceae	<i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnh.	Eucalipto azul
Myrtaceae	<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	Eucalipto rojo
Pinaceae	<i>Pinus halepensis</i> Mill.	Pino carrasco
Pinaceae	<i>Pinus radiata</i> D.Don.	Pino insigne
Pinaceae	<i>Pinus ayacahuite</i> Ehrenb. ex Schltdl.	Ayacahuite
Pinaceae	<i>Pinus greggii</i> Engelm. ex Parl.	Pino prieto
Fabaceae	<i>Senna multiglandulosa</i> (Jacq.) H. S. Irwin & Barneby	Retama
Cupressaceae	<i>Cupressus lusitánica</i> Mill.	Cedro blanco
Casuarinaceae	<i>Casuarina equisetifolia</i> L.	Casuarina
Olaceae	<i>Fraxinus uhdei</i> (Wenz.) Lingelsh	Fresno
Rosaceae	<i>Crataegus mexicana</i> DC.	Tejocote
Rosaceae	<i>Prunus pérsica</i> (L.) Batsch	Durazno
Rosaceae	<i>Cydonia vulgaris</i> L.	Membrillo
Myrtaceae	<i>Psidium guajava</i> L.	Eucalipto azul
Rosaceae	<i>Pyrus communis</i> L.	Peral
Rosaceae	<i>Prunus serotina</i> Ehrh.	Capulín

(SEDEMA,2006)

También se presenta el cuadro 8 que recopila las especies que aparecen en la NOM-059-SEMARNAT-2001.

**Cuadro 8. Especies vegetales que aparecen en la NOM-059**

Familia	Especie	Categoría
Amaranthaceae	<i>Iresine ajuscana</i> Suess. & Beyerle ex Suess	Endémica
Bromeliaceae	<i>Tillandsia bourgaei</i> Baker.	Rara
Burseraceae	<i>Bursera cuneata</i> Jacq. ex L.	Característica, vulnerable
Commelinaceae	<i>Tradescantia crassifolia</i> Cav.	Endémica
Fabaceae	<i>Cologania biloba</i> G.Nicholson	Vulnerable
Fagaceae	<i>Quercus castanea</i> Née	Características de comunidades
Fagaceae	<i>Quercus rugosa</i> Née	Características de comunidades
Lythraceae	<i>Cuphea Procumbens</i> Ort.	Aparentemente inexiste
Poaceae	<i>Muhlenbergia mocroura</i> Kunth.	Característica de comunidades
Sapindaceae	<i>Dodonaea viscosa</i> L.	Rara
Violaceae	<i>Viola painteri</i> Rose & House.	Endémica

(SEDEMA,2006)

#### **4.5.11. Fauna.**

En la investigación encontramos que los siguientes anfibios están presentes en la zona de estudio y en la NOM-059-SEMARNAT-2001.

**Cuadro 9. Anfibios que aparecen en la NOM-059**

Especie	Nombre común	Categoría de Riesgo
<i>Ambistoma velasci</i> Dugés.	Ajolote tigre	Protección especial y endémica
<i>Litobates tlaloci</i> Hillis and Frost	Rana de Tláloc	En peligro de extinción y endémica

(SEDEMA,2006)

Aun cuando este cuadro se reporta en la literatura, no es cierto que existan corrientes permanentes y por tanto es imposible que existan estas especies.

**Cuadro 10. Reptiles que aparecen en la NOM-059**

Especie	Nombre Común	Categoría de riesgo
<i>Barisia imbricata</i> Wiegmann	Falso escorpión	Sujeta a protección especial y endémica
<i>Phrynosoma orbiculare</i> L.	Tapayaxín	Amenazada y endémica
<i>Sceloporus grammicus</i> Wiegmann	Lagartija mesquite	Sujeta a protección especial
<i>Pituophis deppei</i> Dumeril y Bibron.	Cincuate/Culebra sorda mexicana	Amenazada y endémica
<i>Salvadora bairdi</i> Jan.	Culebra parchada de Baird	Sujeta a protección especial y endémica
<i>Thamnophis eques</i> Reuss.	Culebra de agua	Amenazada
<i>Thamnophis scalaris</i> Cope.	Culebra listonada de montaña	Endémica y amenazada
<i>Crotalus molossus</i> (Baird y Girard)	Cascabel cola negra	Sujeta a protección especial
<i>Crotalus (Sistrurus) ravus</i> Cope.	Cascabel pigmea	Amenazada y endémica

(SEDEMA,2006)

**Cuadro 11. Aves que aparecen en la NOM-059**

Especie	Nombre Común	Categoría de Riesgo
<i>Bubo virginianus</i> Gmelin.	Búho Cornudo	Amenazada
<i>Cyrtonyx montezumae</i> Vigors.	Codorniz Moctezuma	Sujeta a protección
<i>Megascops (Otus) asio</i> L.	Tecolote Oriental	Sujeta a protección
<i>Oporornis tolmiei</i> Townsend	Chipe de Tomie	Amenazada
<i>Parabuteo unicinctus</i> Temminck	Aguililla de Harris o Rojinagra	Sujeta a protección
<i>Streptoprocne smicollaris</i> De Saussure	Vencejo Nuca Blanca	Sujeta a protección

(SEDEMA,2006)

De la misma manera, en documento citado se han encontrado los siguientes reptiles, anfibios, aves y mamíferos.

**Cuadro 12 Especies animales no amenazadas**

Especie	Nombre Común	Familia
<i>Pipilo fuscus</i> Swainson	Sastrecillo	Aegithalidae
<i>Psaltriparus minimus</i> Townsend	Dominico	Aegithalidae
<i>Barisia imbricata</i> Wiegmann	Falso escorpión	Anguidae
<i>Pituophis deppei</i> Duméril	Cincuate	Colubridae
<i>Carduelis psaltria</i> Say	Tórtola	Columbidae
<i>Conopsis nasus</i> Günther	Culebra terrestre narigona	Culobridae
<i>Didelphis virginianus</i> Allen	Tlacuache	Didelphinae
<i>Buteo jamaicensis</i> Gmelin	Aguililla cola roja	Falconidae
<i>Falco sparverius</i> L.	Cernícalo	Falconidae
<i>Haemorhous (Carpodacus) mexicanus</i> Statius Muller.	Gorrión	Fringillidae
<i>Cratogeomys tylorhinus</i> Merriam.	Tuza	Geomysidae
<i>Hyla arenicolor</i> Cope.	Ranita de árbol color arena	Hylidae
<i>Sylvilagus floridanus</i> J.A.Allen.	Conejo castellano	Leporidae
<i>Mustela frenata</i> Lichtenstein.	Comadreja	Mustelidae
<i>Sceloporus grammicus</i> Weigmann.	Lagartija común	Phrynosomatidae
<i>Sceloporus torquatus</i> Weigmann.	Lagartija de collar	Phrynosomatidae
<i>Hyrundo rustica</i> L.	Pájaro carpintero mexicano	Picidae
<i>Picoides scalaris</i> Wagler.	Pájara vieja	Picidae
<i>Bassariscus astutus</i> Lichstenstein.	Cacomixtle	Procyonidae
<i>Spea hammondii</i> Baird.	Sapo de espuelas	Scaphiopodidae
<i>Sciurus aureogaster</i> F.Cuvier.	Ardilla	Sciuridae
<i>Spermophilus variegatus</i> Erxleben.	Ardillón	Sciuridae
<i>Amazilia beryllina</i> Deppe.	Colibrí berilio	Trochilidae
<i>Synanthus latirostris</i> Swaison.	Colibrí de pico ancho	Trochilidae
<i>Turdus migratorius</i> L.	Mirlo de primavera	Turdidae
<i>Pyrocephalus rubinus</i> Boddaert.	Cardenalillo mosquitero	Tyrannidae
<i>Crotalus aquilus</i> Klauber.	Víbora	Viperidae
<i>Crotalus molossus</i> Baird & Girard	Cascabel de cola negra	Viperidae

(SEDEMA,2010)

#### **4.5.12. Aspectos demográficos**

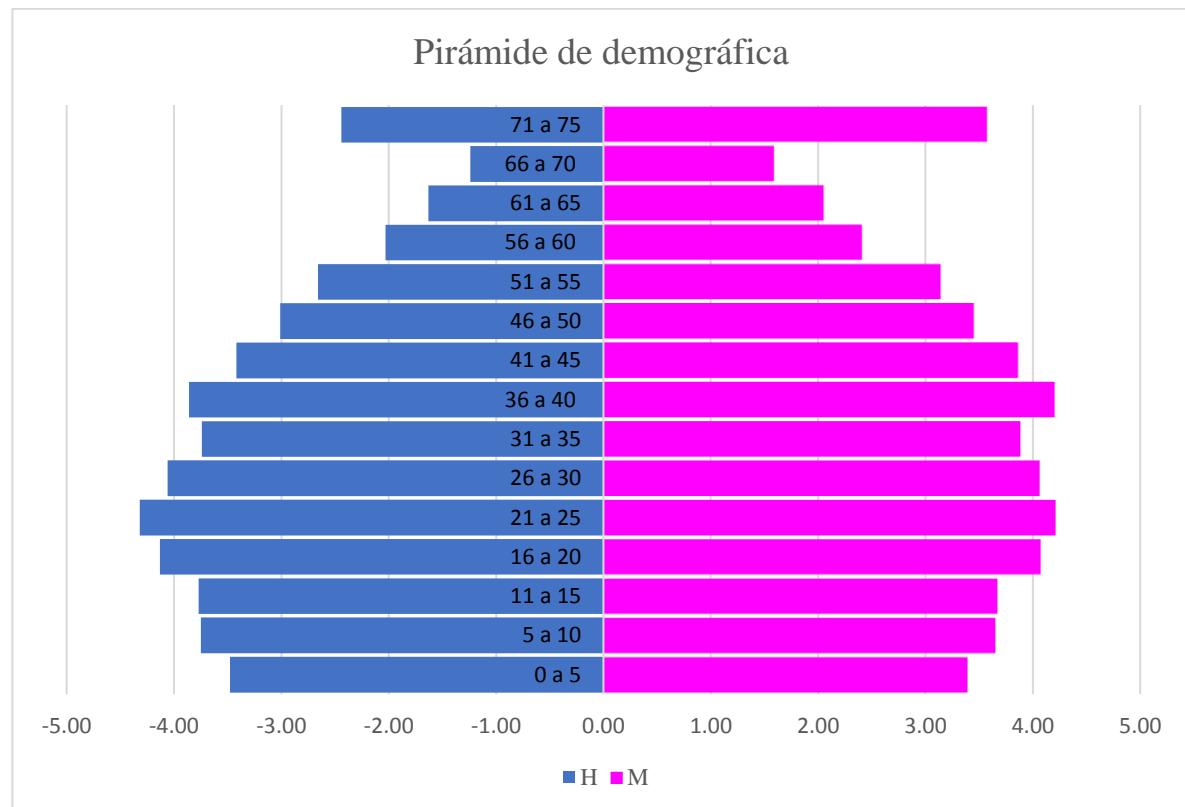
Según el Mapa Digital de México V6 (INEGI,2020) en la zona de estudio existe una población total de 358,138 habitantes, cuya población masculina es de 180,994 individuos (50.53%) y 177,144 mujeres (49.47%), en una extensión urbana de 1460.91 ha representa una densidad de 245 hab ha<sup>-1</sup>, con un total de 94,749 viviendas la densidad de viviendas es de 64 viviendas por hectárea, quiere decir que en promedio las viviendas tienen un área de 156 m<sup>2</sup>, este dato también nos dice que en cada vivienda viven 3.7 personas (1.9 hombres y 1.7 mujeres).

El censo poblacional realizado en 2015 (DGAM,2016) arroja que en la delegación Gustavo A. Madero, existe la siguiente proporción entre grupos quinquenales de edad, esta proporción es representativa para la zona de estudio, por lo que la población por grupo quinquenal indicada en Cuautepec es la interpolación de los datos de la GAM con la población de las AGEB en la zona de estudio.

**Cuadro 13. Estimación de la pirámide de población en la zona de estudio**

Edad	%H	%M	(H+M)	Hombres	Mujeres	Total
0 a 5	3.39	3.39	6.87	12463	12141	24604
6 a 10	3.75	3.65	7.40	13430	13072	26502
11 a 15	3.77	3.67	7.44	13502	13144	26645
16 a 20	4.13	4.07	8.2	14791	14573	29367
21 a 25	4.32	4.21	8.53	15472	15078	30549
26 a 30	4.06	4.06	8.12	14540	14540	29081
31 a 35	3.74	3.88	7.62	13394	13896	27290
36 a 40	3.86	4.2	8.06	13824	15042	28866
41 a 45	3.42	3.86	7.28	12248	13824	26072
46 a 50	3.01	3.45	6.46	10780	12356	23136
51 a 55	2.66	3.14	5.8	9526	11246	20772
56 a 60	2.03	2.41	4.44	7270	8631	15901
61 a 65	1.63	2.05	3.68	5838	7342	13179
66 a 70	1.24	1.59	2.83	4441	5694	10135
71 a 75	2.44	3.57	6.01	8739	12786	21524
Total	48.14	51.86	100	172407	185731	358138

Claramente la distancia de diez años hace imprecisa la estimación que en el cuadro 13 se muestra, pero ilustra bien la proporción que seguramente conserva la estructura poblacional en Cuautepec, con base en la pirámide, los infantes, son más reducidos que los adultos jóvenes en 32.56% (la población de 0 a 16 años es de 21.71% y la de 16 a 50 años de 54.27%). Aunque estos datos son interpolados desde el nivel delegacional, en la zona de estudio es claro el fenómeno, la primer oleada de habitantes llegaron como migrantes muy particularmente de la huasteca hidalguense, comprando terrenos ejidales y cambiando el uso de suelo compone un 36.5% de la población, la descendencia de ellos compondría el 40.5% (primera generación), quiere decir un aumento en la población, y el 21.71% restante serían la segunda generación nativa urbana de Cuautepec, pueden ser dos las razones porque las que en esta generación no se ve un aumento para la zona (que seguramente no son muy distintas para la alcaldía), la primera es que la etapa reproductiva de la segunda generación apenas empieza y la de la primera generación aún no acaba, y la segunda es que la calidad de vida, nivel de ingreso y espacios habitables no permiten la reproducción exponencial, para lo que en otras disciplinas se recurre al término “capacidad de carga”.



**Fig. 6 Pirámide demográfica. Fuente: (DGAM, 2016)**

En cuanto a la proyección de crecimiento poblacional, será útil la misma interpolación: se cuenta con datos de la población en la Delegación Gustavo A Madero de los censos

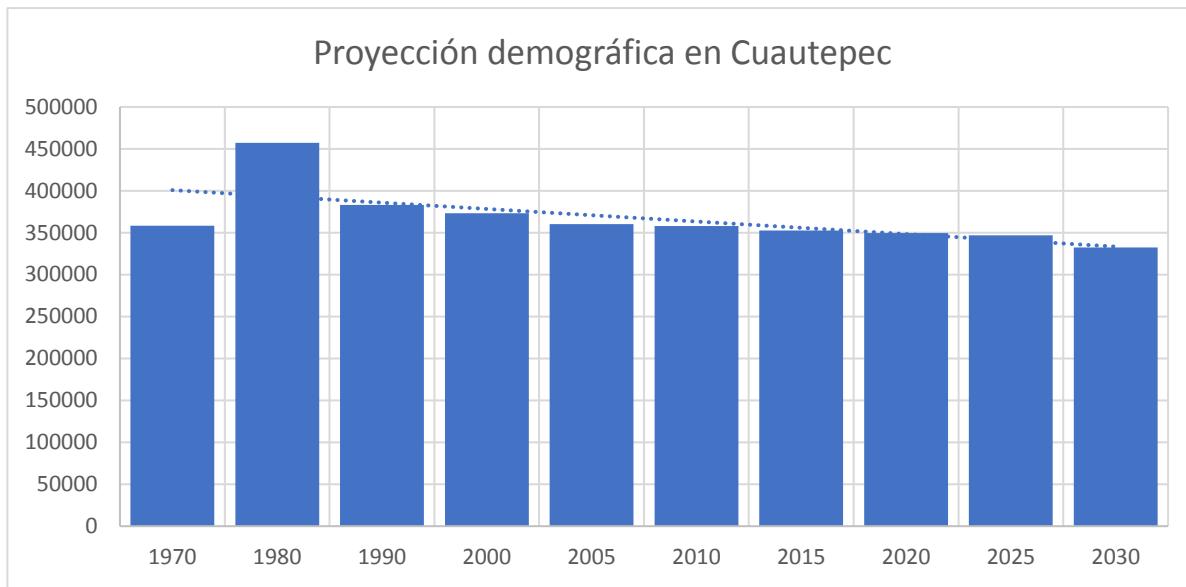
nacionales desde 1970 (DGAM, 2016), de ellos se obtiene una línea de tendencia ( $-8737x + 18736814$ ) donde x es el año del censo a cuatro dígitos, y tiene un coeficiente de correlación ( $r^2$ ) de .8, de esta manera se estiman dos quinquenios más (2020 y 2025) mientras que 2015 está calculado en el documento fuente. Después se interpoló cada cifra para la zona de estudio, utilizando la proporción que tiene la población de la GAM en el 2010 y la de Cuautepec. En el cuadro 14 se presentan resultados del anterior procedimiento, en color rojo se muestran las cifras de los censos nacionales, en color amarillo el estimado que propone el Programa de Desarrollo delegacional, en azul la población en la zona de estudio en el año 2010, las demás cifras son estimaciones.

Como es claro, es presumible que en la zona de estudio existe una tendencia a la baja (en 4.18% para el 2025), aunque es muy elevada la predicción, las proyecciones logarítmicas o exponenciales aumentan aún más la caída de población, por esta razón se prefirió la regresión lineal. Los datos del censo del 2020 darán luz sobre esta polémica, y permitirá por medio del Mapa Interactivo Nacional fijar una tendencia lineal para una proyección al 2030.

**Cuadro 14. Proyección demográfica en Cuautepec**

Año	Gustavo A. Madero	Tasa de Crecimiento Anual	Estimación Zona de Estudio
1970	1186107		358239
1980	1513360	2.5	457079
1990	1268068	-1.8	382993
2000	1235542	-0.3	373170
2005	1193161	-0.1	360369
2010	1185772	-0.09	358138
2015	1179855	-1.56	352555
2020	1087892	-0.80	349723
2025	1044207	-0.84	346797
2030	1000521	-4.18	332288

Basado en DAGM (2015)



**Fig. 7 Proyección demográfica**

#### 4.5.13. Marginación y pobreza

Para estimar la población en cada categoría, se utilizaron los indicadores para la Gustavo A. Madero (CONEVAL,2015); en pobreza se encuentran 101,153 personas, 185,874 habitantes padecen al menos una carencia social, 18,981 con tres o más, 142,897 personas percibían un ingreso inferior a la línea de bienestar, y 29,725 del bienestar mínimo. Cabe destacar que 131,079 personas no eran pobres ni vulnerables, este es un dato útil para poder estimar una proyección de ingresos en un proyecto que debe seguir de este trabajo de tesis, otro indicador interesante es el de la carencia por acceso a la seguridad social, esta condición es reflejo de las actividades económicas principalmente informales en la delegación, empero la ubicación cercana a los medios de producción más importantes de la CDMX le confiere ventaja en accesos básicos en la vivienda, por ejemplo, en varias colonias de Cuautepec, nunca se ha pagado ni se paga impuesto sobre el agua o energía eléctrica.

El cuadro 15 contiene más indicadores de marginación en la zona, que merecen presentarse y dibujar en lector una correcta imagen de las condiciones de la pobreza urbana: accesibilidad a los medios que facilitan la producción en las fábricas, pero un ejército industrial de reserva que abarata los salarios de la zona. Estas condiciones son fundamentales para planear estrategias entorno a la restauración ambiental en la Sierra de Guadalupe. Por otro lado, es de esperar que la marginación en Cuautepec sea más grave que en los números aquí estimados, porque claramente es una zona por debajo de la media delegacional en esos

indicadores, el cuadro 15 indica a su vez, la comparativa GAM y CDMX en todos los indicadores que presenta CONEVAL.

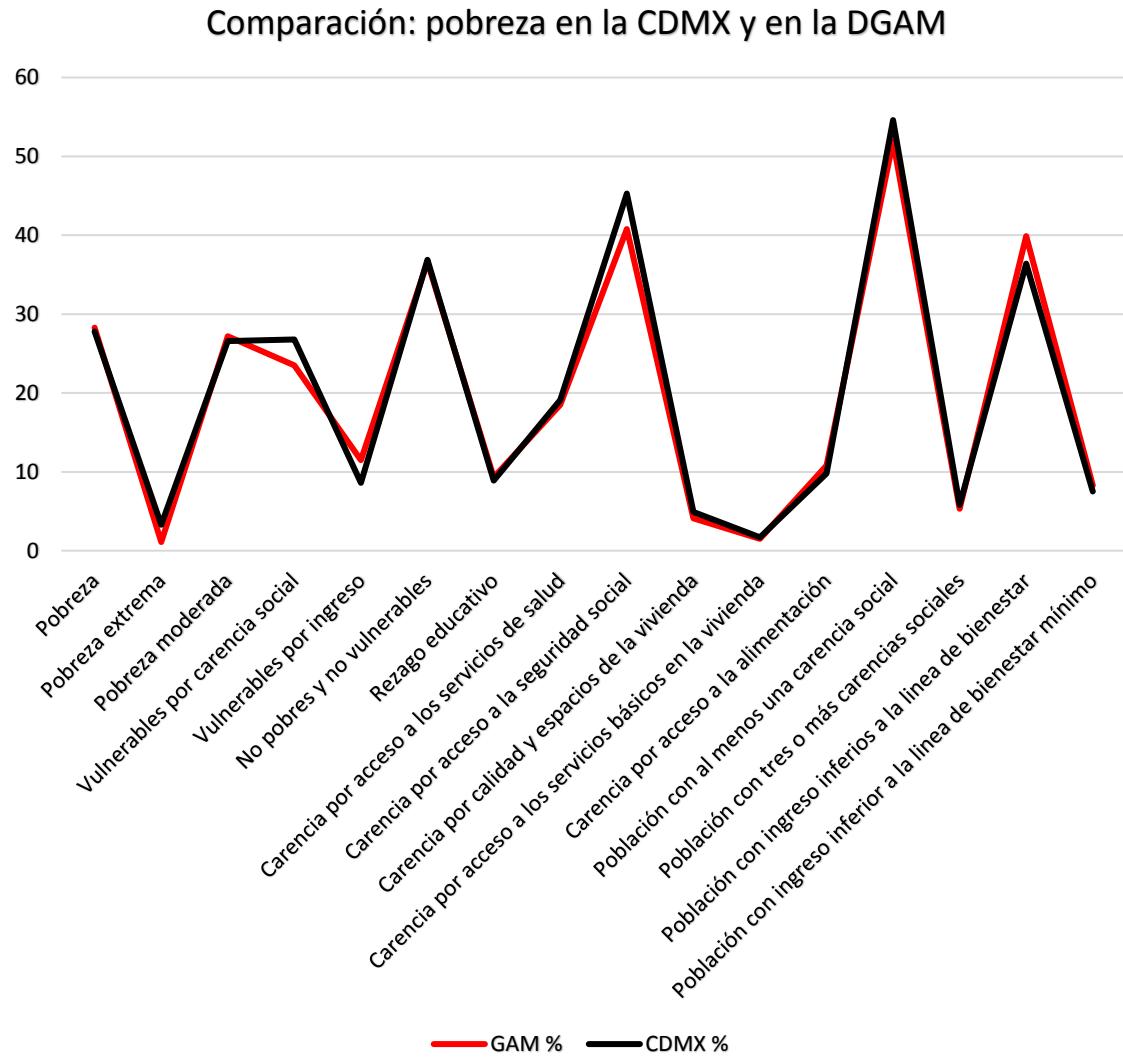
Para seguir definiendo la marginación en la Zona de Estudio, se ha retomado la información que el CONEVAL desarrollo con las AGEBS de la Gustavo A. Madero (CONEVAL,2010), no representa todas las AGEBS de la Zona de Estudio, solo aquellas que se encuentran en la CDMX, que es representativa, pues reúnen 276,308 habitantes (77% de la población en la zona de estudio, además las AGEBS que se encuentran en el Estado de México, se cortan por los límites de la zona de estudio)

**Cuadro 15. Medición de la pobreza, GAM , CDMX y Cuautepec**

Indicador	GAM %	CDMX %	Cuautepec(estimado)
Pobreza	28.3	27.8	101353
Pobreza extrema	1.1	3.3	3940
Pobreza moderada	27.2	26.6	97414
Vulnerables por carencia social	23.5	26.8	84162
Vulnerables por ingreso	11.5	8.6	41186
No pobres y no vulnerables	36.6	36.9	131079
Rezago educativo	9.3	8.9	33307
Vulnerables por acceso a los servicios de salud	18.5	19.1	66256
Vulnerables por acceso a la seguridad social	40.8	45.3	146120
Carencia por calidad y espacios de la vivienda	4.1	4.9	14684
Carencia por acceso a los servicios básicos en la vivienda	1.5	1.7	5372
Carencia por acceso a la alimentación	10.8	9.8	38679
Población con al menos una carencia social	51.9	54.6	185874
Población con tres o más carencias sociales	5.3	5.8	18981
Población con ingreso inferior a la línea de bienestar	39.9	36.4	142897
Población con ingreso inferior a la línea de bienestar mínimo.	8.3	7.5	29725

(CONEVAL, 2015).

La siguiente gráfica ilustra bien la diferencia entre la media de la Ciudad de México y los indicadores de la Delegación Gustavo A. Madero (CONEVAL,2015).



**Fig. 8 Comparación: pobreza en la CDMX y en la DGAM**

Como puede verse, el acceso a los servicios y educación no representa un grave problema, si acaso es preocupante el rezago educativo de gran proporción de la población económicamente activa. Muy diferente la estadística de hacinamiento que manifiesta 24,677 personas sufren esta condición, es en estas AGEB's donde se hace necesario aún más, el establecimiento de jardines urbanos, de tal suerte que aún es vigente el pensamiento de M.A. De Quevedo. El cuadro 16 contiene indicadores que hablan bastante de la dinámica familiar y capital social en la zona.

**Cuadro 16. Indicadores de Rezago social.**

Indicador	% Cuautepec	Habitantes/Viviendas en Cuautepec
Población de 15 años y más con educación básica incompleta	34.3	122751
Población de 15 a 24 años que no asiste a la escuela	55.4	198347
Población no derechohabiente para servicios de salud	29.8	106734
Personas que viven en hacinamiento	6.9	24677
Viviendas que no disponen de excusado o sanitario	0.7	648
Viviendas que no disponen de lavadora	29.1	27600
Viviendas que no disponen de refrigerador	12.8	12157
Viviendas que no disponen de teléfono fijo	37.8	35854
Población de 15 años o más analfabeta	3.4	12034
Población de 6 a 14 años que no asiste a la escuela	3.1	2926
Viviendas con piso de tierra	1.2	1143
Viviendas que no disponen de agua entubada de la red pública	.47	443
Viviendas que no disponen de drenaje	.13	120
Viviendas que no disponen de energía eléctrica	.08	80

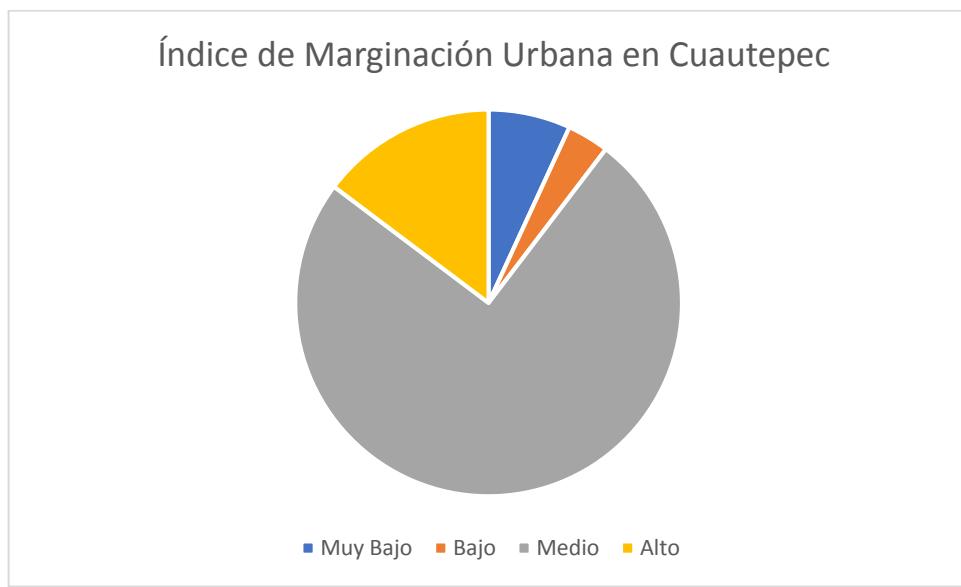
(CONEVAL, 2015)

Para terminar con el apartado de marginación, es necesario establecer el Índice de Marginación Urbana (IMU) para Cuautepec, el IMU es una estimación que integra más indicadores de marginación que los que aquí se presentan , incluso integra información sobre fallecimientos prematuros que permiten condensar en una cifra el nivel de marginación de la zona (CONAPO, 2015); para este caso se integraron datos de las AGEBS que se encuentran en la CDMX y dentro de la subcuenca específica, de los que se determinó la siguientes estadísticas:

**Cuadro 17. Índice de Marginación Urbana**

IMU	% Población	Población
Muy Bajo	6.9	24606
Bajo	3.5	12536
Medio	74.9	268217
Alto	14.7	52779

(CONAPO, 2015)



**Fig. 9 Índice de Marginación Urbana**

Casi tres cuartos de la población en Cuautepec se caracterizó un índice de marginación medio y un 14.7 % en alto índice de marginación, quiere decir que al menos 320 996 personas no pueden acceder a una calidad de vida digna, esto es sumamente importante para la materia que en esta tesis se trabaja, elevar al ecosistema clímax también es elevar las oportunidades de calidad de vida de la población, luego, este número tan elevado de personas, constituye una población objetivo muy concreta. Para concluir con la caracterización de marginación en la zona de estudio, se presenta el mapa de distribución del índice de marginación urbana, como puede observarse toda la zona de contacto y en general de la cuenca, está dominada por la marginación, y literalmente, Cuautepec está al “margen” de la ciudad.

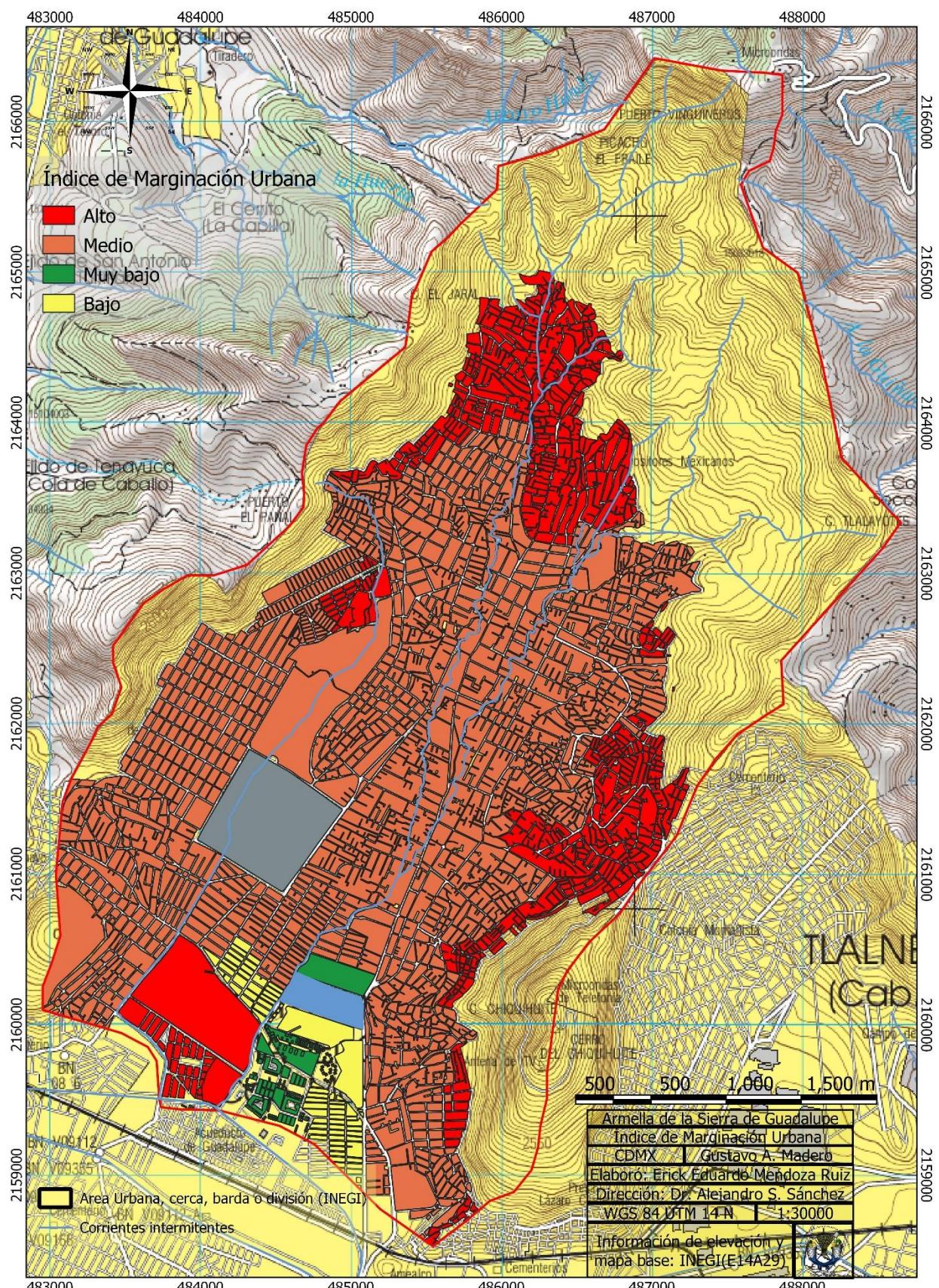


Fig. 10. Índice de marginación Urbana

#### 4.5.14. Economía de la Zona

El censo económico de INEGI 2014, representa el desarrollo de la economía dentro de la cuenca, la mitad de las actividades económicas en la zona son comercio al por menor, seguido a ello con quince por ciento se encuentran servicios específicos, esto implica informalidad, en tercer lugar con servicios de alojamiento temporal y de preparación de alimentos y bebidas en un décimo, como puede verse, estas tres actividades (más del 76%) sobreviven de muchas operaciones de pocos ingresos, es decir, los salarios de los habitantes de Cuautepec.

**Cuadro 18. Actividades económicas en Cuautepec (unidades económicas)**

Actividad económica	Cuautepec	CDMX	% CDMX	% Cuautepec
Pesca.	0	17	17.64	0
Minería	0	20	0	0
Suministro de agua	18	24	75	0.17
Construcción	11	1617	.1	0
Manofactura/Industria	862	31413	2.74	8.19
Comercio al por mayor	189	15698	1.20	1.80
Comercio al por menor	5386	194923	2.76	51.51
Transporte	24	1833	1.3	0.23
Información en medio masivo	14	1301	1.07	0.13
Servicios financieros y de seguros	67	1768	3.78	0.64
Servicios inmobiliarios	79	5328	1.48	0.75
Servicios profesionales	119	13326	.89	1.13
Corporativos	0	143	0	0
Servicios de apoyo a los negocios	187	9776	1.91	1.78
Servicios educativos	285	6347	4.49	2.71
Servicios de la salud	415	19927	2.08	3.94
Servicios culturales	141	4737	2.97	1.34
Servicios de alojamiento/ alimentación.	1104	49322	2.29	10.5
Otro servicios	1587	57961	2.73	15.08
Total	10521	415481	100	100

Basado en INEGI (2014)

Conocer la distribución de la ocupación de los habitantes de la cuenca es muy difícil, las fuentes que existen se refieren a la CDMX, que se comporta de una forma totalmente distinta,

en tanto sus zonas industriales (aun siquiera de construcción) y financieras, que no existen en Cuautepec, pero se concluye en que la cuenca es un dormitorio obrero, que presta su fuerza de trabajo a la zona industrial Vallejo, Tlanepantla, etc, en su mayor parte.

La única actividad que es estratégica para toda la ciudad y que se encuentra en Cuautepec, es el suministro de agua, que concentra el 75% de las unidades económicas de CONAGUA, esto por ser una zona de explotación de pozos, etc. También que al ser uno de los últimos reductos verdes y ejidales de la CDMX, concentra alguna proporción importante de su producción piscícola y acuícola, sin embargo, también existe aprovechamiento de Pulque, Maíz, Frijol, Nopales, entre otros productos que no representan una fuente de riqueza. Cuautepec concentra el 2.53% de la actividad económica en la CDMX.

En Cuautepec, el 52.99% de las unidades económicas se dedican al comercio, 38.51% se involucra en el sector servicios, y 8.47% es industria o manufactura, solo un 0.03% en el ramo de la pesca. El cuadro 19 y gráfica muestra la proporción de entre servicios, comercio, manufactura y agricultura.

**Cuadro 19. Actividades económicas por sector en Cuautepec**

Sector	Unidades Económicas	%
Manufactura	891	8.47
Servicio	4052	38.51
Comercio	5575	52.99
Pesca	3	.003

INEGI (2014)

## **5. Método de investigación**

La elaboración de los siguientes resultados son producto de trabajo de gabinete y trabajo de campo. El primero, ocupó la mayor parte del tiempo y el segundo, se compuso de un recorrido con una ruta de puntos de entrenamiento además de algunos datos que se habían obtenido en 2018. Primero vamos a abordar el trabajo de gabinete, los numerosos archivos que generamos no están integrados en el proyecto SIG, solamente incluye las imágenes resultado y las imágenes y vectores de la variable, pero no aquellos que se utilizaron para producir esas variables, para estas variables nos referiremos a ellas como las expresiones matemáticas, es decir, se tiene que entender que cuando se hable de un coeficiente, una variable, o un valor este es único para cada pixel de una imagen de 1144 por 1534 píxeles, con tamaño de 5 metros por lado. Para todo proceso de gabinete se utilizó Quantum Gis 3.14.

### **5.1. Trabajo de gabinete**

En esta fase de trabajo se procesó la información disponible y generada, se revisa el procedimiento según la estructura de los resultados.

#### **5.1.1. Caracterización**

**Ubicación.** La cuenca se trazó a mano alzada, por los parteaguas de los cerros que encierran a la Armella, e incluyendo el Pico del Fraile al norte, hacia el sur tiene límite o desemboca fluido en el acueducto de Guadalupe.

**Fisiografía.** Se utilizaron las curvas de nivel de datos Abiertos de la carta E14A29 y se recortaron a tamaño de la cuenca.

#### **5.1.2. Resultados**

Propiamente esta es la estructura que se presenta en el capítulo de resultados.

##### **5.1.2.1. Exposición**

Se utilizó el MDE que brinda el INEGI, sin embargo, este tiene un inconveniente en cualquiera de sus resoluciones espaciales, las ortofotos con las que se elaboraron presentan errores de topología, pues seguramente no se superpuso bien cada mosaico de imagen. De cualquier manera, aporta datos muy valiosos de elevación. Se sometió a la herramienta de “aspectos”, luego se reclasificó dicha imagen separando los grados de cada rumbo, de esta imagen reclasificada se extrajo un informe de valores únicos en formato de hoja de cálculo, de este documento se determinaron las extensiones que se presentan en este subtema.

Para determinar el coeficiente de Gravelius se utiliza la siguiente igualdad:

$$G=0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Dónde

**P**= perímetro de la cuenca

**A**= área.

**G**= Coeficiente Gravelius

Para determinar la curva hipsométrica se determinaron puntos donde X es el área que esta sobre la cota y el eje Y es la altitud de la curva.

Con los datos abiertos de INEGI, se trazó una línea con la herramienta de perfil topográfico para determinar el perfil de los cauces.

### **5.2.1.2. Pendiente**

Se utilizó el mismo MDE recortado, ahora se sometió al algoritmo de pendiente, este se reclasificó en las cinco categorías que se presentan en la categoría correspondiente y luego se extrajeron los datos en un informe de valores únicos.

La caracterización posterior está bien explicada en cada título y consistió en recortes vectoriales de capas de datos abiertos. En el caso de la caracterización socioeconómica, los datos vectoriales obtenidos de las fuentes citadas, están basadas en las Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB) descartando fracción de la zona de estudio que pertenece al Estado de México, también se analizaron datos en el Mapa Interactivo de México.

### **5.1.2.3. Rodalización.**

La ordenación forestal es la materia de esta tesis, es de principal interés adelantar aún con todas las limitaciones, elementos fundamentales para trabajar sistemática y eficientemente el monte, aunque no se tenga como objetivo formular un plan de ordenamiento y de manejo, si es menester establecer algunos parámetros útiles para un futuro programa. En este mismo sentido, se ha formulado una división por unidades mínimas de manejo, los criterios que se utilizaron fueron la orientación y vegetación predominante, utilizando la imagen Sentinel que reclasificamos con supervisión. Se trabajó a mano alzada con la intención de delimitar cada rodal de la forma más conveniente. Después se determinó que tipo de comunidad vegetal se encuentra en la zona, con orientación de los datos de campo, también se anotó el porcentaje de dosel aproximado, luego se determinaron las extensiones de cada uno.

#### **5.1.2.4. Balance Hídrico**

La metodología del balance hídrico resultó ser muy compleja, pero los productos que se obtuvieron son muy útiles y reveladores. La importancia de este análisis es medular para este trabajo de tesis, y es en general la aportación más puntual y útil que pudo desarrollarse en este documento. Se trata de la determinación de cada uno de los derroteros en los que se divide el agua que precipita y la precipitación misma.

#### **Precipitación**

Para determinar la precipitación se recortó el archivo .kmz (archivo de vectorial de localización, parte del Sistema de Información Geográfica) de estaciones meteorológicas y asignó a cada una su precipitación media anual:

**Cuadro 20. Estaciones meteorológicas**

<b>Id</b>	<b>Nombre</b>	<b>Precipitación</b>	<b>Evaporación</b>
15047	Las arboledas	829.3	1423.4
15137	Amealco	695	
15040	Bombas Sn. Mateo	570.9	1890.3
15100	Tecoloapan	398.1	
15013	Calacoaya	859.8	1725.9
15098	San Martín Obispo	682.1	1954.9
15075	Presa de las ruinas	813	1578.4
15092	San Juan Ixhuatépec	617.5	1719.8
15129	Tultepec	613.7	2007
9017	Cuautepet barrio b.	621.2	
9025	Hacienda la patera	453.6	

(CONAGUA,2020)

Esta capa vectorial de puntos se interpola mediante el algoritmo de distancia media ponderada para generar una capa de precipitación, que fue recortada con capa de máscara vectorial igual a la superficie de la zona de monte de la Armella de la Sierra de Guadalupe.

#### **Escurrimiento**

Para estimar el escurrimiento se practicó el Método de Curvas Numéricas propuesto por el Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos, mismo que integra dos factores principales (para nuestro caso), el grupo hidrológico de suelos (cuadro 21) y la vegetación,

la primera fue determinada en un archivo vectorial, donde se agrupo en un solo polígono, varios rodales que rodeaban en una misma orientación a los puntos que levantamos en campo con información de textura.

**Cuadro 21. Grupos hidrológicos de suelo propuesto por SCS-USDA 1972**

Grupo de suelo	Potencial de escorrentía	Infiltración cuando está húmedo	Textura del suelo	Descripción de las características del suelo
A	Escaso	Alto	Arenas con poco limo y arcilla, suelos muy permeables	Suelos con bajo potencial de escurrimiento, incluye arenas profundas con muy poco limo y arcilla; también suelo permeable con grava en el perfil
B	Moderado	Moderada	Arenas finas y limos	Suelo con potencial de escurrimiento moderadamente bajo, arenosos menos profundos y agregados que el grupo A, y presentan una infiltración mayor, que el promedio cuando están húmedos. Encontramos suelos migajonosos, arenosos ligeros y migajones limosos.
C	Medio	Lenta	Arenas muy finas, limos, suelos con alto contenido de arcilla	Suelos con potencial de escurrimiento moderadamente alto. Comprende suelos someros y considerable contenido de arcilla, pero menos que el grupo D. Este grupo tiene una infiltración menos que el promedio después de saturación, talas como: suelos migajonosos arcillosos.
D	Elevado	Muy Lenta	Arcillas en grandes cantidades; someros, suelos muy permeables	Suelos con alto potencial de escurrimiento. Encontramos suelos pesados, alto contenido de arcillas expandibles y suelos someros con materiales fuertemente sementados.

(Aparicio, 2005) (Becerra, 2005) (CONAFOR, 2014).

Para la vegetación y uso de suelo se ocupó la información del satélite A de Sentinel 2, que tomo capturas el día 2 de Mayo del 2019 a las 16:58 horas y cuyas imágenes recordamos a la extensión del Monte de la Armella de la Sierra de Guadalupe, de las que se derivó una clasificación supervisada por el método “Isodat” dentro del complemento “Semi Automatic Classification Pluggin”, misma que resultó en 15 clases, pero que en la validación en campo se concluyó que solamente es útil este método para diferenciar acahuales, pastizales y en general zonas sin dosel contra las zonas de bosque mixto o extensiones con dosel.

Para considerar el gasto por escorrentimiento en caminos, se generó una capa vectorial con los caminos de terracería y brechas principales en formato de línea, a cada una de ellas se les aplicó un buffer de 5 metros a cada lado misma capa que se rasterizó con un valor de 80 para la curva de Nivel. Para seleccionar la Curva de Nivel indicada se sumaron tres imágenes diferentes, la primera es la correspondiente a pastizales: la imagen Sentinel sometida a clasificación supervisada fue reclasificada con valor 60 para pastizales, acahual, matorral xerófito subinerme, chaparral y 0 para todo lo que no fuera pastizal, esta imagen se sumó al rasterizado del archivo de grupos de suelo, pero con los valores 19 para el grupo tipo 2,26 para el grupo 3,y 29 para el grupo 4, a la imagen resultado correspondiente de esta suma se multiplicó una capa donde el pastizal era igual 1 y todo lo demás igual a 0, dejando únicamente los valores para pastizal, a esta imagen le denominaremos en este documento borrador 1, pues en el trabajo de gabinete está imagen fue un archivo temporal.

Luego, se generó una imagen donde el bosque mixto era igual 50 y 0 para todo lo que no fuera área con dosel y se sumó con el raster producido por el vector de grupo de suelo era 10 para el grupo hidrológico 2, 20 para el grupo hidrológico 3 y 27 para el grupo 4. La imagen resultado del anterior proceso fue sometida a una multiplicación con el raster Sentinel reclasificado de tal manera que el bosque mixto valiera 1 y todo lo demás como 0, de tal forma que el archivo generado expresaba solamente la curva de nivel de las zonas con dosel, archivo que llamaremos “borrador 2”. Después se generó un tercer borrador, que fue la suma del rasterizado del vector de buffer de caminos, donde la zona buffer fue igual a 80 y todo lo demás igual a 0 con el rasterizado del vector de grupos de suelo donde el grupo 2 tuvo un valor de 4, el 3 un valor de 10, y el cuatro con un valor 12, la imagen que resultó de esta adición fue multiplicado por la imagen reclasificada donde el buffer sobre caminos es igual a 1 y todo lo demás igual a 0.

De esta manera los tres borradores tenían información de la curva de nivel para un solo tipo de vegetación y uso de suelo, y lo demás no tenía valor, los tres borradores se sumaron, y

dieron como resultado una imagen con la curva de nivel de cada píxel, grupo de suelo y cobertura de dosel. Con esta imagen se calculó la retención máxima potencial de humedad en mm (S) que es igual a la siguiente ecuación:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

Donde

**CN**=Curva de nivel.

**S**= Retención máxima potencial en mm.

Seguido a esto, se calculó el gasto por escurrimiento del mes más lluvioso, Julio, igual a la relación:

$$Q_{Julio} = \frac{(P - .2S)^2}{P - .8S}$$

Dónde

**Q<sub>Julio</sub>**=Gasto por escurrimiento en Julio

**P**= Precipitación media mensual del mes de Julio

**S**= Retención máxima potencial de humedad.

La proporción de la columna que se escurre en Julio con la que se infiltra en todo el año, debe ser cercana a la misma que hay entre la que columna de lluvia que precipita en Julio y la que precipita en todo el año.

$$C = \frac{Q}{Pp}$$

**Q**=Gasto por escurrimiento (mm)

**Pp**= Columna de escurrimiento (mm)

**C**= Coeficiente de escurrimiento.

El coeficiente C fue procesado como una imagen y está multiplicada por la capa de precipitación dando como resultado una imagen con la altura de la columna que se escurre, después se extrajo de la misma un informe de valores únicos, desde el que se calculó la lámina.

## Infiltración

Para determinar la infiltración, retomaremos la ecuación de Green para estimar coeficiente potencial de infiltración como se interpreta en el trabajo de Arizmendi (2017):

$$C = \frac{V}{Vi}$$

Donde

**C**=Coeficiente potencial de infiltración

**V**= Velocidad de descarga

**Vi**= Velocidad de infiltración.

La velocidad de descarga está regida por la ley de Darcy, es igual al producto de la conductividad hidráulica (K) por el gradiente hidráulico (i).

**V**= (K) (i)

**V**= Velocidad de descarga

**K**= Conductividad hidráulica

**i**=Gradiente hidráulico

y

$$Vi = (V) \left(1 + \frac{1}{e}\right)$$

**e**= Porosidad efectiva

Tanto la conductividad hidráulica como la porosidad efectiva, pueden encontrarse en el cuadro 22.

**Cuadro 22. Porosidad efectiva y conductividad hidráulica**

Clase de suelo	Porosidad efectiva (adimensional)	Conductividad hidráulica (K) cm/hora
Arena	0.417	11.78
Franco arenoso	0.412	1.09
Franco	0.434	0.34
Franco limosos	0.486	0.65
Franco arcillo-arenoso	0.33	0.15
Franco arcilloso	0.309	0.1
Franco arcillo-limoso	0.432	0.1
Arcilla arenosa	0.321	0.06
Arcilla limosa	0.479	0.05
Arcilla	0.385	0.03

(Nania,2002).

La bondad que permite el cociente no fue advertida por Arizmendi (2017), pero aquí la ensayamos: se vuelve unidad el cociente de denominador y numerador igual a la velocidad de descarga, resultando el cociente igual a la relación de los espacios porosos de un volumen, y ese mismo volumen más la proporción de los espacios porosos. Tiene total sentido que el coeficiente de infiltración sea igual a la proporción de poros del suelo.

$$C = \frac{V}{Vi} = \frac{(k)(i)}{\left(\frac{1+e}{e}\right)(k)(i)} = \frac{1}{\left(\frac{1+e}{e}\right)} = \frac{e}{1+e}$$

**V**= Velocidad de descarga

**Vi**= Velocidad de infiltración.

**k**=Conductividad hidráulica

**e**= Porosidad efectiva

De cualquier manera, se produjeron imágenes raster de velocidad de descarga y velocidad de infiltración, pues es información útil para otros proyectos.

Utilizando este coeficiente, deducimos que existe un área porosa efectiva y bidimensional por cada unidad de área, la proporción en la que se encuentra es igual al coeficiente. Multiplicamos ese coeficiente por el área de cada grupo de suelo determinado:

$$A_v = (A)(C)$$

**A<sub>v</sub>**= Área porosa

**A**=Área del grupo de suelo.

Para calcular el gasto potencial( $Q$ ) en volumen por hora falta multiplicar esta área, por la velocidad de descarga dando como resultado el volumen que absorbe por hora (en metros cúbicos).

$$Q = (A_v)(V)$$

Ahora que conocemos este gasto potencial, debemos encontrar cuantos son los días de lluvia y cuantas horas llueve en esos días. Para esto, se tomaron datos en la zona de estudio, solamente se pudo recabar tres días de lluvia del mes de Julio del año en que se escribió esta tesis, que por experiencia de quien es originario de la cuenca, representan bien la duración de las precipitaciones en la zona. Se multiplicaron las horas promedio por los días y este producto por el gasto calculado, resultando en la infiltración en  $m^3$ , luego se dividió en los metros cuadrados del grupo de suelo, resultando una altura para cada grupo, esta imagen nos servirá para deducir la infiltración subterránea.

### **Evapotranspiración.**

Se estima la evapotranspiración con el método de Thornthwaite & Mather (1955) y Blaney-Criddle & Criddle (1950). Que estima un coeficiente ( $K$ ) como el cociente de la evapotraspiración real entre la potencial, que es la relación entre lo que se evapora teóricamente según el tipo de vegetación y lo que se evapora teóricamente según la latitud y calor.

$$K = \frac{ETR}{ETP}$$

La evapotranspiración real integra, además del elemento temperatura, un elemento para cada tipo de vegetación.

$$ETR = K_g F$$

$$F = \text{Factor duración del sol} = \sum P_i \left( \frac{T_i + 17.8}{21.8} \right)$$

$K_g$  = Coeficiente global de desarrollo.

El factor de  $P_i$ , de duración del sol fue obtenido del cuadro 23:

**Cuadro 23. Porcentaje de duración del sol.**

Lat°	Ene	Feb	Mar	May	Abr	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
10	8.13	7.47	8.45	8.37	8.81	8.6	8.86	8.71	8.25	8.34	7.91	8.1
15	7.94	7.36	8.43	8.44	8.98	8.8	9.05	8.83	8.28	8.2	7.75	7.88
16	7.93	7.35	8.44	8.46	9.07	8.83	9.07	8.85	8.27	8.24	7.72	7.83
17	7.86	7.32	8.43	8.48	9.04	8.87	9.11	8.87	8.27	8.22	7.69	7.8
18	7.83	7.3	8.42	8.5	9.09	8.92	9.16	8.9	8.27	8.21	7.66	7.74
19	7.79	7.28	8.41	8.51	9.11	8.97	9.2	8.92	8.28	8.19	7.63	7.71
20	7.74	7.25	8.41	8.52	9.15	9	9.25	8.93	8.3	8.18	7.58	7.66

(Aparicio,2005)

Y el coeficiente global de desarrollo el cuadro 24:

**Cuadro 23. Coeficiente global**

Cultivo	Kg
Maíz	0.75
Cebada	0.75
Avena	0.75
Pastizal denso	0.75
Erosión	0.05
Bosque	0.9

(Arizmendi, 2017)

La evapotranspiración potencial es igual a un índice de calor corregido según la latitud de la zona de estudio bajo la siguiente Formula:

$$ETP = 16Ka \left( \frac{10Tj}{I} \right)^\alpha$$

Donde

**Ka**= Factor de temperatura y luminosidad.

$$I = \text{Índice de calor mensual} = \sum \left( \left( \frac{Tj}{5} \right)^{1.514} \right)$$

**Tj**=Temperatura del mes j.

$$\alpha = ((675) (10^{-9}) (I^3)) - ((771) (10^{-7}) (I^2)) + ((179) (10^4) (I))$$

El factor Ka que se utilizó es el indicado para la latitud 19°:

**Cuadro 25. Factor Ka**

Lat°	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0	1.04	0.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01	1.01
10	1	0.91	1.03	1.03	1.08	1.06	1.08	1.07	1.02	1.02	0.98	0.99
20	0.95	0.9	1.03	1.05	1.13	1.11	1.14	1.11	1.02	1	0.93	0.91
30	0.9	0.87	1.03	1.08	1.18	1.17	1.2	1.14	1.03	0.98	0.89	0.88
35	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	1.03	0.97	0.86	0.85
40	0.84	0.83	1.03	1.11	1.24	1.25	1.27	1.18	1.04	0.93	0.83	0.81
45	0.8	0.81	1.02	1.13	1.28	1.29	1.31	1.21	1.04	0.94	0.79	0.75
50	0.74	0.78	1.02	1.15	1.33	1.36	1.37	1.25	1.06	0.92	0.76	0.7

(Aparicio, 2005)

El coeficiente K obtenido en una imagen, es multiplicado por la imagen de altura de la columna de agua precipitada y del resultado se extrajo un informe de valores únicos desde el que se calculó el volumen de la lámina evapotransporada.

**Infiltración subterránea.** Todas las imágenes resultado de altura de la columna precipitada de cada factor fueron sumadas, y esta adición fue restada a la capa de precipitación, luego se determinó el volumen de la lámina con el informe de valores únicos del raster resultado.

### 5.1.2.3. Zonas Potenciales de Recarga Hídrica

El movimiento y deposición de flujo de agua es uno de los fenómenos más ampliamente estudiados, pero también, más inciertos que se presentan dentro de una cuenca hidrológica, puesto que depende de un sinfín de variables; sobre la entrada al sistema tendríamos principalmente la precipitación, los ríos, las escorrentías , pero también, la transpiración de las plantas y animales, la niebla, la evaporación del suelo, de estos mismos cierta cantidad no será aprovechable por contenerse en la atmósfera y otra migrará a otras cuencas. En la salida encontramos también la evapotranspiración, los caudales, y las intrincadas y desconocidas rutas qué bajo el suelo, arriba y debajo de la zona de saturación toman las corrientes de agua; cuya materia se conoce cómo geohidrología.

En los resultados se determinan las Zonas Potenciales de Recarga Hídrica bajo la metodología de Oscar Matus, que considera cinco variables distintas concernientes a la zona de saturación y superficie, es una metodología cualitativa en tanto que no considera el volumen de entrada, permanencia y salida del líquido: pero si determina las zonas que tienen mayor posibilidad de almacenar agua en su zona de saturación. Para llegar a esta conclusión

integran en cinco diferentes calificaciones con distinta ponderación, siendo cinco la mejor condición para almacenamiento hídrico y uno la menor posibilidad de recarga(Matus,2009).El valor de cada pixel en la imagen será igual a:

$$ZR= (0.27pend) + (0.23Ts) + (0.12Tr) + (0.25Cve) + (0.13Us)$$

Donde

**Pend**=Factor pendiente

**Ts**= Factor tipo de suelo

**Tr**= Factor tipo de roca

**Cve**= Factor cobertura vegetal

**Us**=Factor uso de suelo.

**Pendiente.** De los tres factores con mayor determinación (aunque son casi la misma ponderación) la pendiente es la más importante; aquellas zonas con mayor posibilidad de recarga son las más llanas, porque no ceden el flujo a causa de la gravedad. Se clasifico la pendiente según el cuadro 26:

**Cuadro 24. Ponderación de pendiente, zonas potenciales de recarga hídrica**

Microrrelieve	Pendiente %	Posibilidad de recarga	Ponderación
Plano o casi plano	0-6	Muy alta	5
Moderadamente ondulado	6-15	Alta	4
Ondulado/Cóncavo	15-45	Moderada	3
Escarpado	45-65	Baja	2
Fuertemente escarpado	>65	Muy baja	1

(Matus,2009)

**Cobertura vegetal.** En orden de importancia le sigue la cobertura vegetal, entra más vigorosa y permanente la vegetación en una zona más potencialidad tiene de mantener el agua e infiltrarla en la misma.

**Cuadro 25. Cobertura vegetal**

Cobertura vegetal %	Posibilidad de recarga	Ponderación
>80	Muy alta	5
70-80	Alta	4
50-70	Moderada	3
30-50	Baja	2
<30	Muy baja	1

(Matus,2009)

**Tipo de suelo / Infiltración.** El tipo de suelo también juega uno de los papeles más determinantes, los suelos arenosos, o de partículas más grandes tienen más capacidad de infiltrar agua que aquellos que son arcillosos y tienen menos porosidad o que puedan presentar hidrofobia bajo ciertas condiciones (piso de arado, compactación, por incendio, etc). Adicional a esto, incluimos criterios de infiltración que determinamos en ese elemento del balance hídrico, haciendo más preciso esta variable. El Factor tipo de suelo fue determinado en campo y otorgado a los grupos de suelo que dibujamos en el balance hídrico.

**Geología.** En orden de importancia sigue la geología de cada zona, debido a que la hidrogeología superficial está directamente relacionada con la conductividad hidráulica de las betas de roca o por las barreras físicas que se puedan presentar en la zona de saturación (confinamiento de los acuíferos). El criterio utilizado fue la porosidad, se calificó en cinco unidades, una para cada 20% .

**Cuadro 26. Porosidad rocas**

Roca	Porosidad	Roca	Porosidad
Andesita	10-15	Arenisca	5-25
Basalto	.1-2	Caliza	5-20
Carbón	10	Cuarcita	0.1-.5
Creta	30	Diabasa	0.1
Dolomita	.5-10	Esquisto	3
Gabro	.1-.2	Gneiss	0.1-0.2
Granito	.5-1.5	Grauvaca	3
Mármol	.3-2	Lutita	2-15
Pizarra	.1-1	Riolita	4-6
Sal	5	Toba	14-40

( E. Custodio &amp; M.R. Llamas ,1983)

**Cuadro 27. Porosidad de rocas**

Tipo	Descripción	Porosidad %
Rocas masivas	Granito	0.3
	Caliza masiva	8
	Dolomita	5
Rocas metamórficas		0.5
Rocas volcánicas	Piroclastos y tobas	30
	Escorias	25
	Pumitas	85
	Basaltos densos, fonolitas	2
	Basaltos vacuolares	12
	Pizarras sedimentarias	5
Rocas sedimentarias consolidadas	Areniscas	15
	Creta blanda	20
	Caliza detrítica	10
	Aluviones	25
	Dunas	35
	Gravas	30

(Mechanics,1989)

**Uso de suelo.** Cómo ultima variable se presenta el uso de suelo: según las características de la actividad humana o ecosistema que soporte la zona, será mayor o menor su capacidad de recarga hídrica: siendo el bosque prístino el de mayor posibilidad y los terrenos de agricultura intensiva los que menos recargarían líquido. Se utilizó el cuadro 30 como criterio de clasificación.

**Cuadro 28. Factor Uso de suelo**

Uso de suelo	Posibilidad de recarga	Ponderación
Bosque	Muy alta	5
Sistemas agroforestales o silvopastoriles	Alta	4
Cultivos con obras de conservación	Regular	3
Cultivos sin obras de conservación	Baja	2
Terrenos agropecuarios con manejo intensivo	Muy baja	1

(Matus,2009)

#### 5.1.2.4 Erosión Potencial Hídrica.

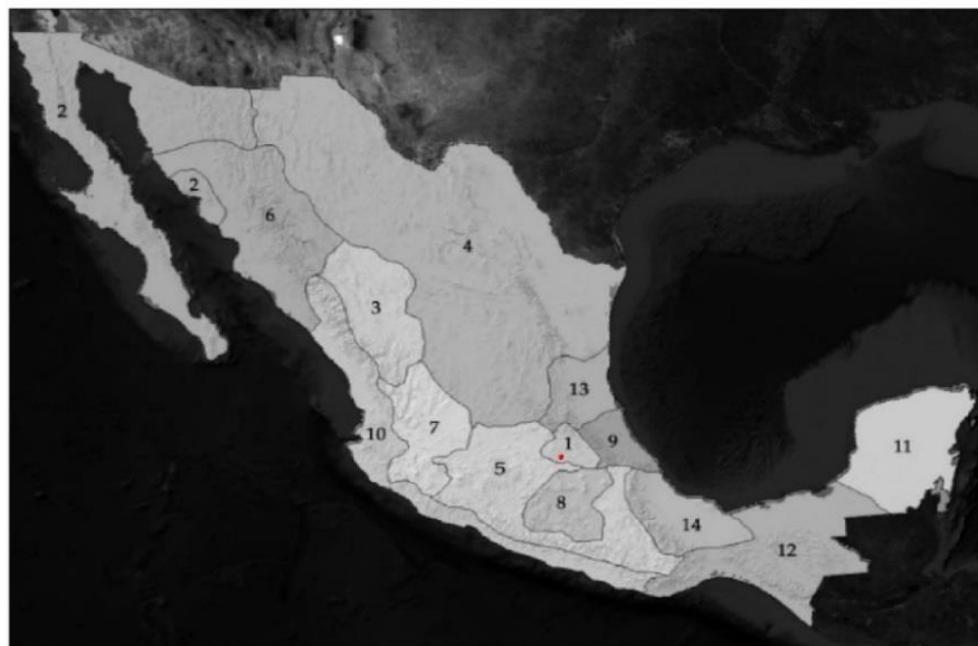
La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, es la metodología más ampliamente aceptada para estimar la masa de suelo que se desplaza, en corrientes de flujo a lo largo de un año.

Está estimada en toneladas por hectárea y es una función que se puede representar como  $F(R,C,K,L,S,P)=$ Pérdida Potencial de Suelo

**Erosividad.** R es la erosividad de la lluvia, que es la energía cinética con la que las gotas de lluvia impactan sobre el suelo y tiene una dimensión expresada en las unidades  $(MJ)(mm)(ha^{-1}) (h^{-1})$  donde:

- MJ: Megajulio
- mm: milímetro de lluvia
- ha: Hectárea
- h: Hora

Para calcular este valor se acudió al mapa de ecuaciones de erosividad que publicó el mapa de Nacional de Erosión (Montes, 2011), que divide al país en catorce regiones, la Zona de Estudio se encuentra en la región correspondiente a la primera ecuación:  $1.2078p+0.002276p^2$ , con una  $r^2$  de 0.92, donde de p es la media anual.



**Fig. 11 Zona de estudio en el mapa de erosividad nacional (Montes,2011)**  
El cuadro 31 muestra las demás ecuaciones:

**Cuadro 29. Ecuaciones de erosividad**

Región	Ecuación	R <sup>2</sup>
1	1.2078p+.002276p <sup>2</sup>	0.92
2	3.4555p+.00647p <sup>2</sup>	0.93
3	3.6752p+.002276p <sup>2</sup>	0.94
4	2.8959p+.002983p <sup>2</sup>	0.92
5	3.488p+.000188p <sup>2</sup>	0.94
6	6.6847p+.00168p <sup>2</sup>	0.9
7	(-.0334)p+.0061p <sup>2</sup>	0.98
8	1.9967p+.00327p <sup>2</sup>	0.98
9	7.0458p+.002096p <sup>2</sup>	0.97
10	6.8938p + .000442p <sup>2</sup>	0.95
11	3.7745p+.00454p <sup>2</sup>	0.98
12	2.461p + .006067p <sup>2</sup>	0.96
13	10.7427p+.001008p <sup>2</sup>	0.97
14	1.5005p+.00264p <sup>2</sup>	0.95

(Montes.2011)

Se utilizó la capa de precipitación que con anterioridad se produjo como valor de precipitación.

**COBERTURA.** C es el factor cobertura del suelo, representa la proporción de suelo perdido en un terreno bajo condiciones específicas de uso y vegetación, comparada con la pérdida de suelo que puede presentar este mismo terreno estando desprovisto de vegetación y bajo labranza continua, que favorecería la máxima erosión y tomaría un valor de 1, por lo tanto, el valor 0 manifiesta una cobertura vegetal máxima u óptima y es adimensional. Para otorgar valores a cada cobertura sirvió como referencia el cuadro 32.

**Cuadro 30. Factor Cobertura (EUPS)**

Uso de suelo	Factor C
Zonas industriales o Comerciales	1
Zonas de extracción minera	1
Tierra de labor de secano	0.435
Terrenos regados permanentemente	0.507
Terrenos principalmente agrícolas con vegetación natural	0.435
Tejido Urbano discontinuo	1
Tejido Urbano continuo	1
Pastizales	0.13
Olivares	0.525
Mosaico de cultivos	0.435
Matorrales esclerófilos	0.153
Matorral boscoso en transición	0.153
Bosque mixto inferior al 2%	0.435
Bosque mixto de 2% a 7%	0.186
Bosque mixto superior a 7%	0.041
Bosque de coníferas al inferior 2%	0.186
Bosque de coníferas de 2% a 7%	0.086
Bosque de coníferas superior al 7%	0.041
Frutales	0.525

(Pacheco,2014)

**Erodabilidad K** es el factor erodabilidad del suelo, que es la susceptibilidad de cada tipo de suelo por ser erosionado por la acción del agua y depende de la especie de suelo y de la textura que esté presente en el terreno. Se expresa en  $(t)(ha)(h)(ha^{-1})(MJ^{-1})(mm^{-1})$  y fue determinada según el cuadro 33.

**Cuadro 31. Factor Erodabilidad (EUPS)**

Orden	Textura		
	G	M	F
Acrisol	0.026	0.040	0.013
Alisol	0.026	0.020	0.013
Andosol	0.026	0.040	0.013
Chernozem	0.013	0.020	0.007
Arenosol	0.013	0.020	0.007
Calcisol	0.053	0.079	0.026
Cambisol	0.026	0.040	0.013
Durisol	0.053	0.079	0.026
Fluvisol	0.026	0.040	0.013
Ferralsol	0.013	0.020	0.007
Gleysol	0.026	0.040	0.013
Gypsisol	0.053	0.079	0.026
Leptosol	0.013	0.020	0.007
Luvisol	0.026	0.040	0.013
Lixisol	0.013	0.020	0.007
Nitosol	0.013	0.020	0.007
Phaeozem	0.013	0.020	0.007
Planosol	0.053	0.079	0.026
Plinthosol	0.026	0.040	0.013
Regosol	0.026	0.040	0.013
Solonchak	0.026	0.040	0.013
Solonetz	0.053	0.079	0.026
Vertisol	0.053	0.079	0.026

(Montes,2011)

**FACTOR LS.** L es el factor de longitud de la pendiente, es el ajuste de la dimensión lineal sobre el terreno analizado con una parcela experimental de 22.13m.S es el factor grado de pendiente y manifiesta la inclinación del terreno la misma parcela experimental y es adimensional. La mayoría de autores, agrupan el factor L y S en un mismo factor o proceso. Se utilizaron datos del Continuo de Elevación Mexicano(INEGI,2020), que presenta defectos de origen. La determinación del Factor LS resulta de la siguiente ecuación (Moore & Nieber,1991):

$$LS = (1.4) \left( \frac{SCA}{22.13} \right)^{.4} \left( \frac{\sin(\theta)}{.0896} \right)^{1.3}$$

L= Factor longitud de la pendiente

S= Factor Grado de la pendiente

\Theta= Pendiente en grados

**Factor obras de conservación.** P expresa la acción de las obras de conservación que se han aplicado en el terreno para detener la erosión, es la proporción entre lo que se pierde en un terreno desnudo y lo que se sostiene de suelo gracias a las obras de conservación. Es adimensional y fue determinado en campo, se trata de zanjas trinchera, sin embargo, es posible que no sean las únicas obras en la zona de estudio.

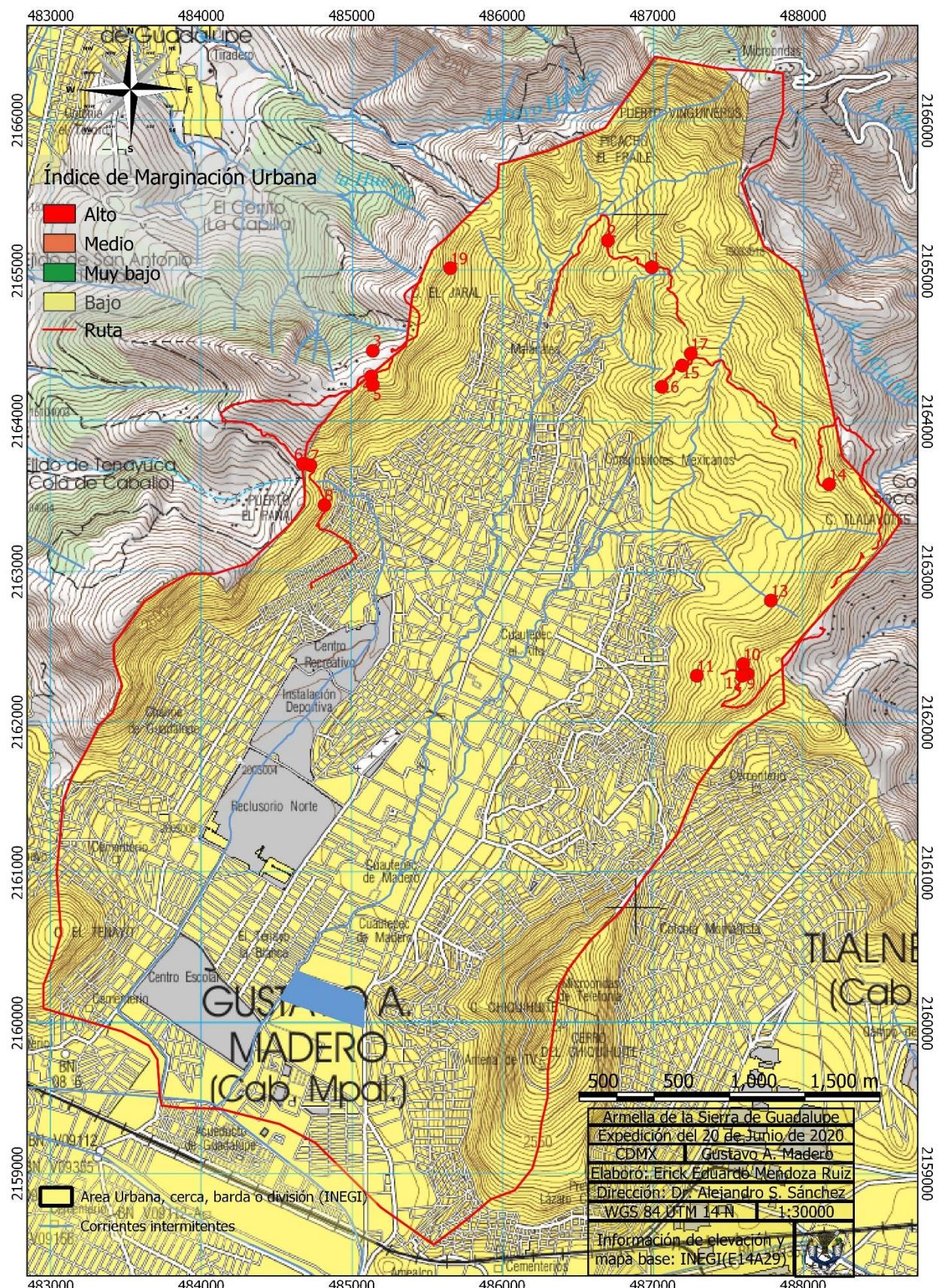
La multiplicación de todos los factores resulta en la pérdida de suelo en toneladas por hectárea cada año (puesto que el factor dónde se agrupa el tiempo; la erosividad, está considerado en promedio anual), resulta en estas unidades por el producto de dimensiones de erosividad y erodabilidad;  $\left(\frac{(MJ)(mm)}{(ha)(h)}\right) \left(\frac{(t)(ha)(h)}{(ha)(MJ)(mm)}\right) = \frac{t}{ha}$ .

## 5.2. Trabajo de campo.

El 20 de Junio del 2020, se realizó una expedición por la altitud media de la zona de estudio, el objetivo fue discernir entre comunidades vegetales verificando campos de entrenamiento para imágenes Sentinel, pero no tuvo los resultados esperados, el sensor multiespectral de ese satélite solo nos brinda información sobre la densidad del dosel, esto tiene sustento en que la mayor parte de las extensiones arboladas son bosques mixtos, entre eucaliptos, coníferas y latifoliadas de varios géneros.. En el cuadro 34 se muestra los puntos visitados y el mapa correspondiente del trayecto, posterior a esta tesis, esa información será utilizada para estudiar la actividad y determinar variables de eficacia, la ruta se interrumpe pues se utilizó una aplicación para celular, y perdimos la señal varias veces.

**Cuadro 32. Expedición del 20 de Junio 2020**

N	Comunidad	Plantas	Cob.	Textura	Estructura de suelo	Observación	X	Y
1	Bosque artificial con sotobosque de chaparral	Juniperos, eucaliptos, tepozán, acacias					486993	2165024
2	Pinar						486701	2165201
3	Latizal de eucaliptos	Eucalipto				Altura 6-8 m	485139	2164469
4	Monte bajo de eucalipto y sotobosque de acacia	Eucalipto, acacia, soyate				Regeneración por incendio	485129	2164299
5	Latizal de eucalipto y sotobosque	Eucalipto, acacia	30		Granular		485139	2164244
6	Cardonal	Cardonal y acacia	0				484675	2163718
7	Bosque de mixto	Eucalipto, junípero, casua-rina, Muhlemburgia	70	1		Altura de 4 a 7 m	484724	2163709
8	Chaparral	Acacia, trompetilla, ojo de muñeca	0				484819	2163444
9	Acahuall	Acacia, nopal, agaves, palo azul	0			Presencia de andesita	487631	2162322
10	Bosque mixto artificial	Pasto estrella, eucalipto, encinos	90	2	Granular	Bien cultivado, zanjas trinchera	487601	2162386
11	Bosque de juníperos	Juniperos	90			Bien cultivado, fustal	487293	2163209
12	Eucaliptar	Eucalipto, sotobosque de acacia, trompetilla	95	2		Zanjas trinchera	487594	2162309
13	Eucaliptar	Eucalipto con pinos suprimidos, montebravo de eucalipto	95			Pinus halepensis	487785	2162809
14	Bosque mixto	Pirul, mezquite, nopal, casuarinas, cedro blanco, eucalipto y acahuall	0	3		Sotobsque	488172	2163581
15	Eucaliptar	Eucalipto					487195	2164371
16	Bosque mixto	Chaparral	70	1		Suelo hidrofóbico	487060	2164229
17	Eucaliptar	Eucalipto, chaparral de pirul, acacia	50	2	Bloques subangulares	Altura de 10-15 metros	487253	2164450
18	Casuarinar	Casuarina	80			Montebravo	487235	2154054



**Fig. 12 Expedición del 20 de Junio del 2020**

## **6. Resultados**

En las siguientes páginas se encuentra información trascendental de la dinámica forestal de la Sierra de Guadalupe.

### **6.3. Caracterización fisiográfica**

En los siguientes apartados se presenta información de caracterización que se obtuvo bajo los procesos ya mencionados, no están en la parte introductoria de esta tesis pues son parte de los resultados.

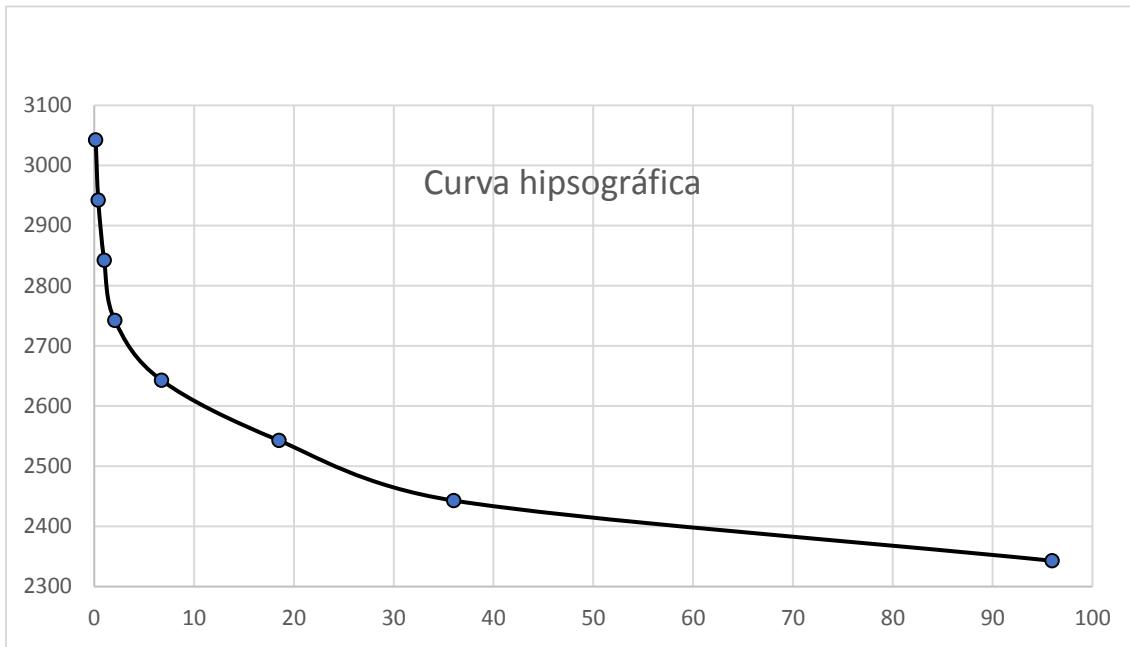
#### **6.1.2. Exposición**

La cuenca, en forma de armella, integra todas las exposiciones, en el cuadro 35 se observa la distribución de esta, es interesante destacar que las caras encontradas SO, O, SE, concentran el 72% de la superficie, esto caracteriza perfectamente la forma de la cuenca, que es cóncava hacia el sur. Además, las caras opuestas S y NO, se guarda una proporción muy parecida (un poco más del 13%). En la siguiente página, la figura 10 ilustra esta condición.

**Cuadro 33. Distribución de exposiciones**

Orientación	Extensión ha	Porcentaje
Zenit	5.51	0.23
N	44.58	1.90
NE	42.18	1.79
E	138.9	5.91
SE	497.70	21.17
S	314.97	13.4
SO	494.46	21.03
O	503.81	21.43
NO	309.19	13.15
Total	2351.31	100

En la figura 10 se muestra la curva hipsográfica relación hipsométrica (0.04) de la microcuenca, lo que la caracteriza como una cuenca en vejez:

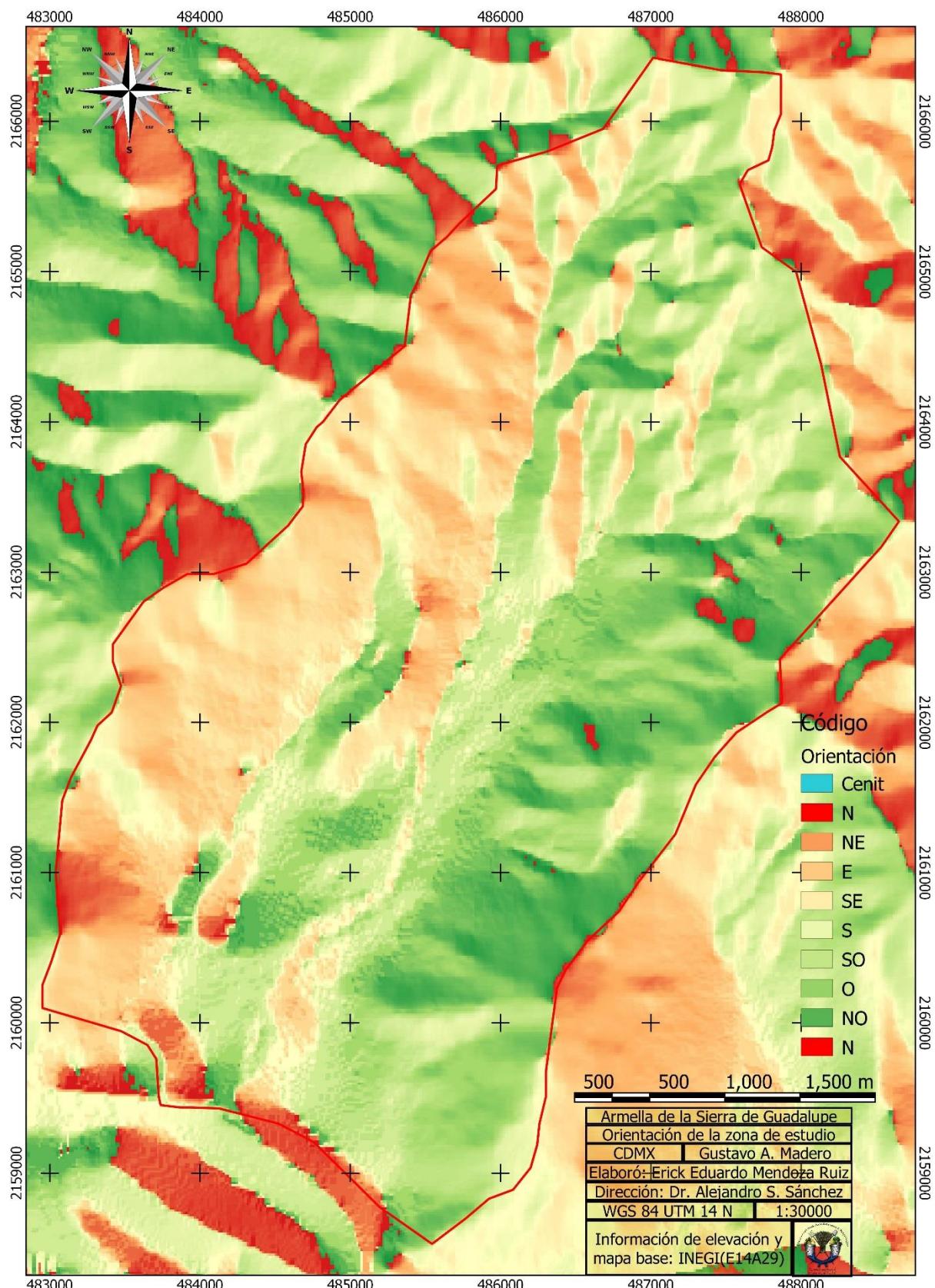


**Fig. 13 Curva hipsográfica de la SG**

La longitud del eje mayor de la cuenca es igual a 7,768 m, su ancho es de 3,260 m. El índice de forma o de Gravelius, que se define como la relación entre el perímetro de la cuenca y el de un círculo con la misma área es igual a 1.27 por lo que es una microcuenca Oval Oblonga, la relación de alargamiento, que es igual a la relación del diámetro de un círculo que tiene la misma área, entre la longitud del eje Mayor de nuestra cuenca dando como resultado 0.7. El cuadro 36 es la curva que se mostró anteriormente. La figura 11 es la cartografía de exposición.

**Cuadro 36. Curva hipsográfica de la Sierra de Guadalupe (La Armella)**

Altitud	Área sobre la cota	Área de la cota	%
3043	3.39	3.39	0.14
2943	6.13	6.52	0.4
2843	13.70	23.22	0.99
2743	25.04	48.26	2.05
2643	110.36	158.62	6.75
2543	276.46	435.08	18.50
2443	411.73	846.81	36.01
2343	1409.29	225	95.95



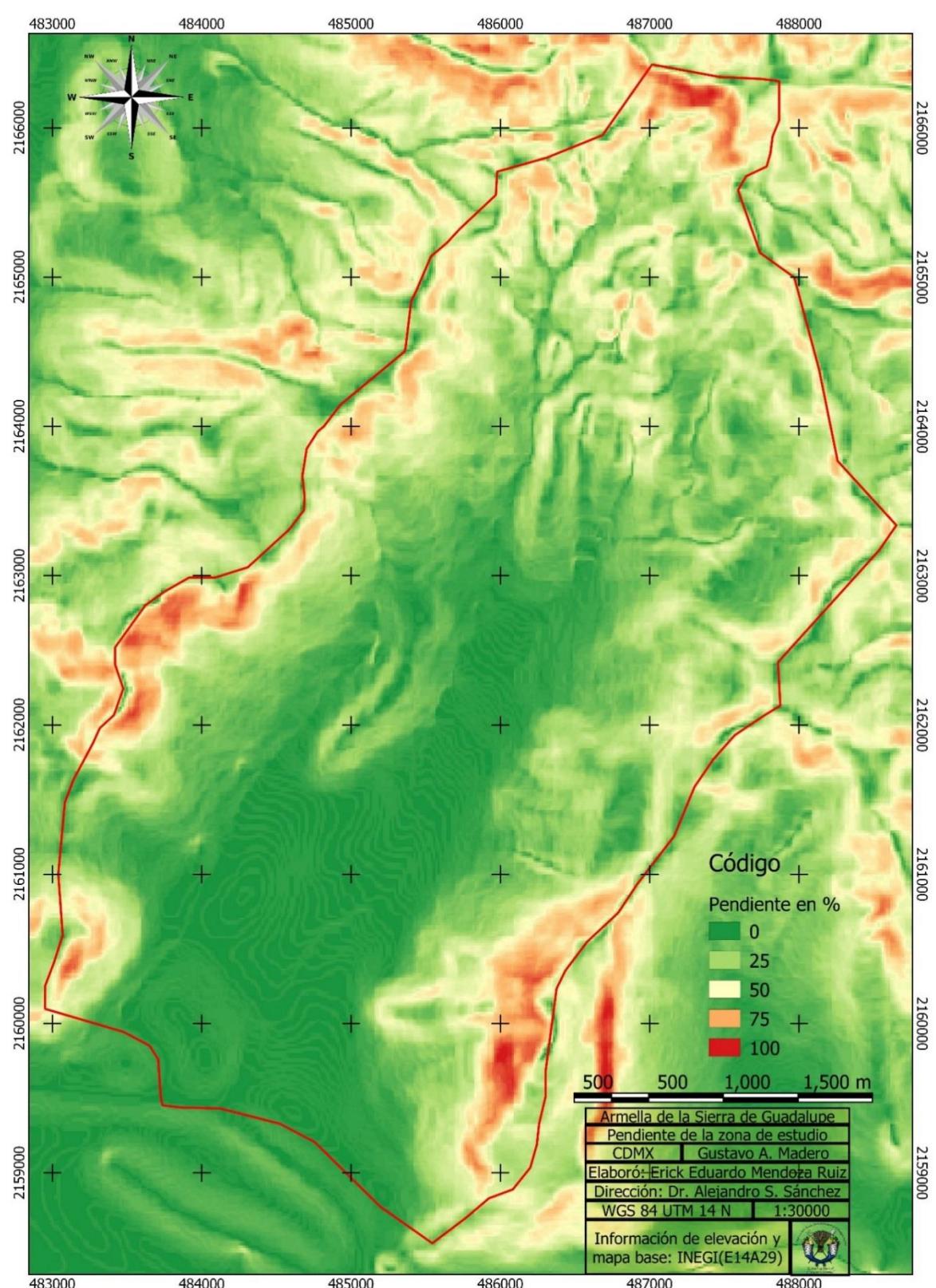
**Fig. 14 Exposición de la Sierra de Guadalupe**

### **6.1.2. Pendiente**

Más de la mitad de la cuenca tiene pendientes muy suaves, por la condición que ya revisamos. La pendiente media de la cuenca es de 24.3% y una elevación media de 2409 msnm. La figura 12 ilustra dicha condición.

**Cuadro 34 Distribución de la pendiente en la SG**

Pendiente %	Ha	% de área
0-20	1075.78	45.7
20-40	763.6	32.5
40-60	361.45	15.4
60-80	115.71	4.9
80-100	34.46	1.5
Total	2351	100



**Fig. 15 Pendiente de la SG**

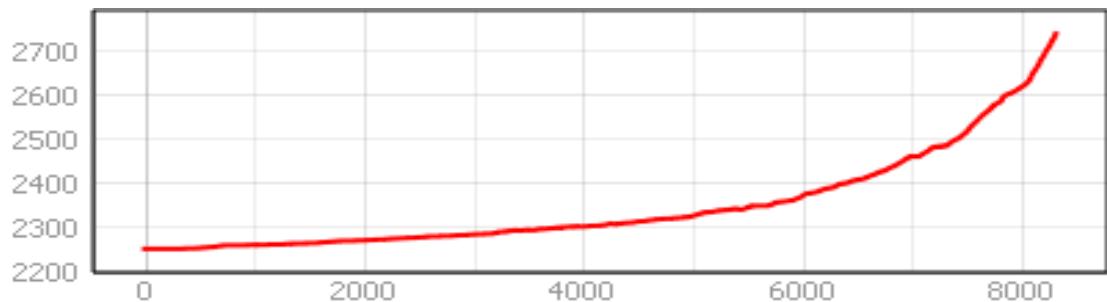
### **6.1.3. Hidrología**

En la microcuenca no existen corrientes permanentes, todas son efímeras, por la reducida dimensión de las zonas de captación conjugada con las bajas precipitaciones. Se trata de la cuenca correspondiente al Rio Moctezuma, la Zona de Estudio alberga tres corrientes principales. El Arroyo Armella al centro de la cuenca y el Arroyo Xochitla que se unen y desembocan en la Laguna Cuautepec después es emitida hacia el Acueducto Guadalupe, que en tiempos mejores abasteció a la ciudad de agua limpia, ahora es una tubería. Otro Arroyo, El Panal, parte del occidente y se incorpora al Acueducto de Guadalupe. La intersección del Arroyo el Panal y el Acueducto de Guadalupe es límite de la microcuenca, de tal suerte que el resto del Acueducto forma parte de otras cuencas. Finalmente, el Acueducto (una corriente permanente de aguas negras) pasa por la avenida del Periférico y circuito central hasta descargar en el Lago de Texcoco.

Se trata de una red de drenaje de arreglo dendrítico, y el hecho que contenga una laguna y ceda su flujo al Acueducto de Guadalupe, puede caracterizarla como arreglo de multicuenca. La densidad de drenaje apenas es de 12.3 m por cada hectárea.

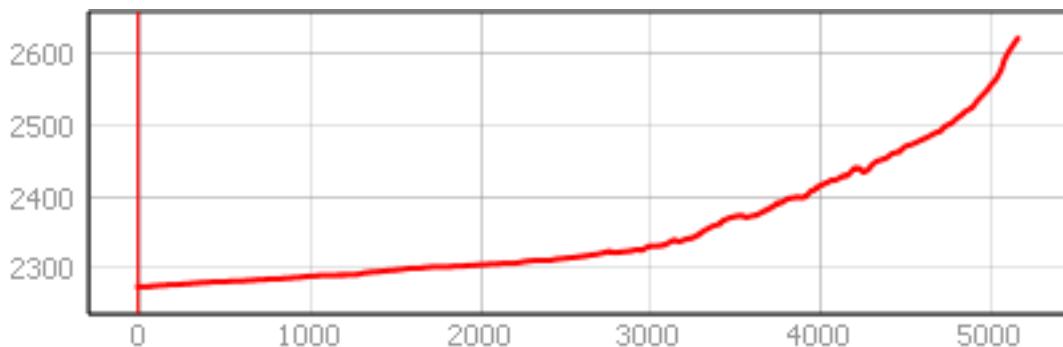
El Arroyo La Armella se prolonga por 8450 m hasta desembocar en el Acueducto de Guadalupe, y se une a Arroyo Xochitla a los 6380 m ortogonales hasta su punto con más altitud, entra a la Laguna Cuautepec a los 7390 m. El Arroyo Xochitla se prolonga por 6975 m hasta llegar a la Laguna Cuautepec, y se une a Arroyo La Armella a una distancia ortogonal de 5915 m. El Arroyo el panal se prolonga por 5125 m hasta el Acueducto Guadalupe del que se tomó una sección de 413 m que descarga toda la cuenca. Las figuras 13, 14, 15, son los perfiles altitudinales de cada arroyo, el Arroyo Armella es superior al Xochitla. Todas las corrientes intermitentes tendrán una longitud de 28,981 metros.

Para el Arroyo de la Armella se determinó una altitud mínima de 2199 msnm y máxima de 2789 msnm con una pendiente media de 6.98% (gran parte del río corre por zona urbana donde la pendiente es mínima, lo mismo sucede con los demás arroyos).



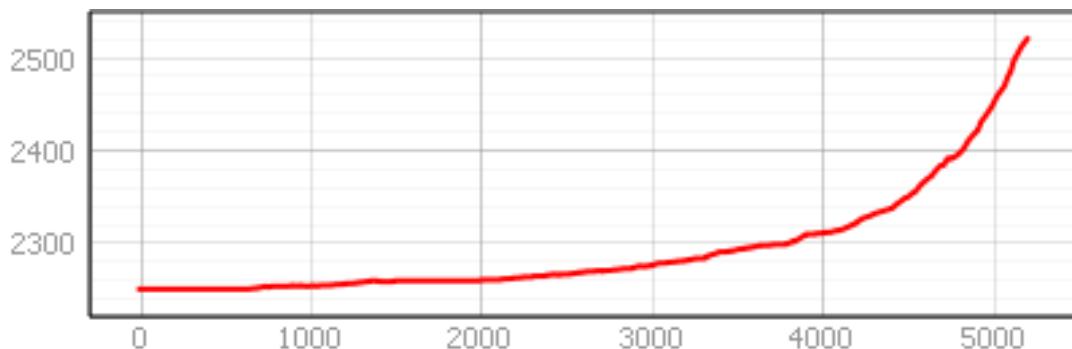
**Fig. 16 Perfil del arroyo Armella Fuente: Qgis 3.14.16**

En el Arroyo Xochitla está delimitado entre las altitudes de 2235 y 2658 msnm, con una pendiente media de 6%



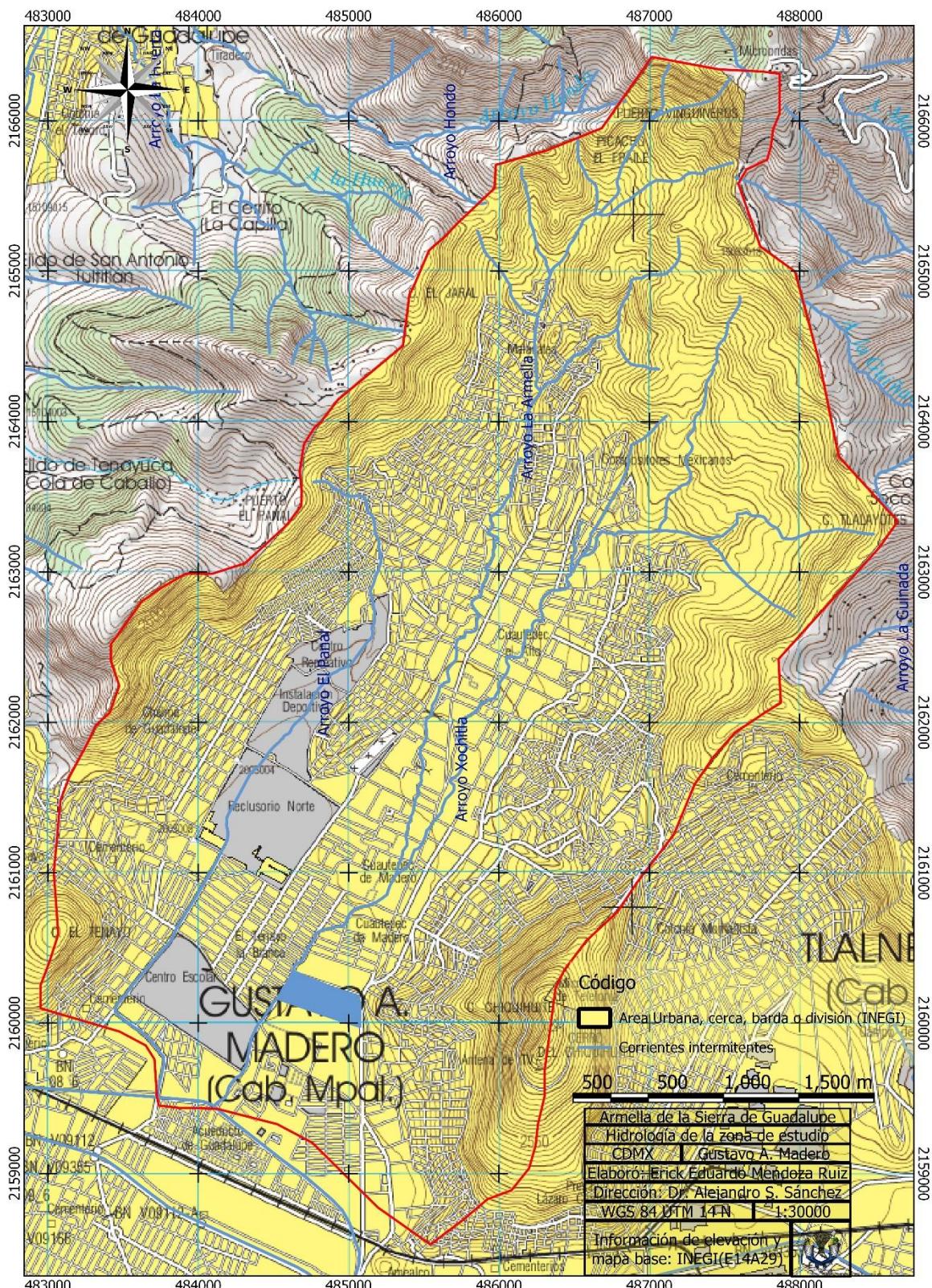
**Fig. 17 Perfil del arroyo Xochitla Fuente: Qgis 3.14.16**

El Arroyo el Panal inicia a los 2587 msnm y su derrotero se encuentra a 2211 msnm, y tiene una pendiente media de 7.33%



**Fig. 18 Perfil del arroyo el Panal Fuente: Qgis 3.14.16**

En la figura 16 se observa el plano de los arroyos.



**Fig. 19 Hidroología de la SG**

#### **6.4.Propuesta de rodalización.**

Para iniciar cualquier trabajo de restauración o silvicultura, es necesario encontrar la Unidad Mínima de Manejo, para nuestra zona es necesario rodalizar aún más allá del bosque enclavado, también es necesario ubicar y caracterizar, lotes baldíos, jardines y áreas verdes abandonadas, sin embargo, ese trabajo requiere de un esfuerzo financiero real. En esta propuesta, se presentan cerca de 250 unidades mínimas de manejo, que producidas bajo el método especificado, constituyen una importante herramienta para empezar a trabajar sistemáticamente en las operaciones necesarias, por ejemplo: se declaran perfectamente aquellas zonas donde el régimen de fuegos es más común, o dónde se puede observar bosque relicto.

De tal suerte, que se delimitan las áreas más homogéneas en la Armella, estableciendo comunidades vegetales que para estas zonas son muy heterogéneas y coetáneas. Mientras que en un bosque de Coníferas, o templado, encontraremos dos géneros representativos y un buen número de especies aisladas o minoritarias dentro de cada rodal, y entre los rodales encontraremos grandes extensiones con una estructura parecida, en la selva se encuentra alta diversidad de especies en un mismo rodal y grandes extensiones de la misma estructura. Nuestro caso, se podría entender como el intermedio entre las dos condiciones, dentro de cada rodal encontraremos un bosque mixto, con muchas especies latifoliadas y coníferas y en otro solo encontraremos bosque de eucalipto a una distancia de menos de 200 metros.

Esta es una característica de los bosques marginales o enclavados urbanos y obedece a que la mano del hombre (repopulación artificial) es más pequeña que la mano de la naturaleza, y esta última en la zona de estudio ha sido casi totalmente borrada, dejando espacio al tejido que se forma de reforestaciones en diferentes tiempos. El mapa de vegetación generado con información Sentinel, no tiene la resolución suficiente para discernir entre árboles aislados o manchones pequeños de un género u otro, además de que por las orientaciones varias firmas espectrales quedan en la misma categoría aunque se trate de vegetación radicalmente distinta, pero aún de esta manera, da una buena ilustración de cómo se distribuye la vegetación en la zona. En solamente dos categorías principales chaparral, y bosque nos damos una buena imagen de la distribución de las zonas arboladas.

Como zonas arboladas debemos entender, comunidades puras de eucalipto, bosques mixtos de latifoliadas y hojas, bosques de coníferas, pinos, casuarináceas, bosques de juníperos, o encinares. Y como chaparral debemos entender: matorral xerófilo subinerme (uña de gato), cardonales, acahuales, chaparral de compuestas, pastizal Muhlenbergia, con árboles

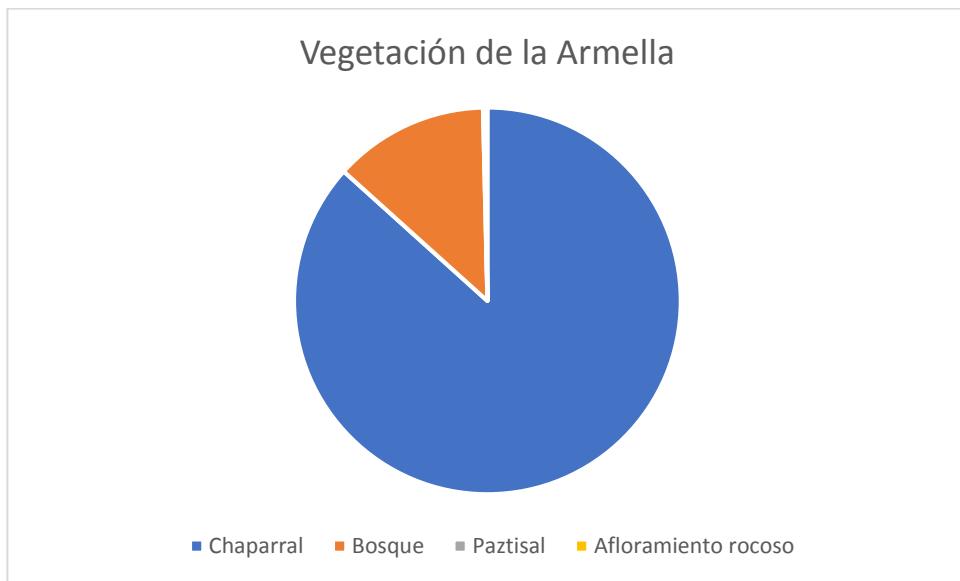
tolerados, agaváceas, nolinas, nopales, pirules y eucalipto. El mapa ilustra algunas conclusiones; parece ser que las zonas que se encuentran en una etapa seral más elevada están alejadas por una distancia horizontal de 500 metros y hasta 150 metros en vertical, del tejido urbano. Salvo en un punto al norte (Lomas) y otro al este (Joya de nieves) que claramente son entradas principales que han sido trabajadas o conservadas, además de que esa vegetación dibuja bien el curso de las corrientes intermitentes arroyo Armella y Xochitla.

El cuadro 37 y figura 17 indica la proporción entre las zonas con dosel y las zonas sin dosel, además de pastizales y afloramientos rocosos. Debe resaltarse que se cumple aquél conocimiento de que por exposición la noroeste es más húmeda (cara este de la cuenca), cosa que se manifiesta en la vegetación vigorosa, desarrollada y heterogénea, mientras que toda la exposición suroeste (cara oeste de la cuenca) es más seca y dominada por el acahuil/chaparral, también el comportamiento del “efecto trinchera” en la zona, que indica, que la mayor biodiversidad tuvo que estar donde justamente ahora está el tejido urbano.

**Cuadro 35 Distribución de la vegetación de la Armella en la Sierra de Guadalupe, CDMX.**

Vegetación	Pi	Ha	%
Chaparral	76871	772.3203	86.6
Bosque	11495	115.4898	12.9
Pastizal	131	1.3161	0.14
Afloramiento rocoso	192	1.929	0.21

Utilizando este criterio y el mapa de orientaciones, junto con el reconocimiento en campo que se realizó es posible delimitar comunidades homogéneas en una sola orientación o con una orientación mayoritaria, gracias a esto se obtuvo una relación con más resolución acerca de cada rodal, cada rodal tiene una comunidad específica y una cobertura definida, como se muestra en la figura 17:



**Fig. 20 Distribución de la vegetación de la Armella en la Sierra de Guadalupe, CDMX**

**Cuadro 36 Claves nemotécnicas de los rodales**

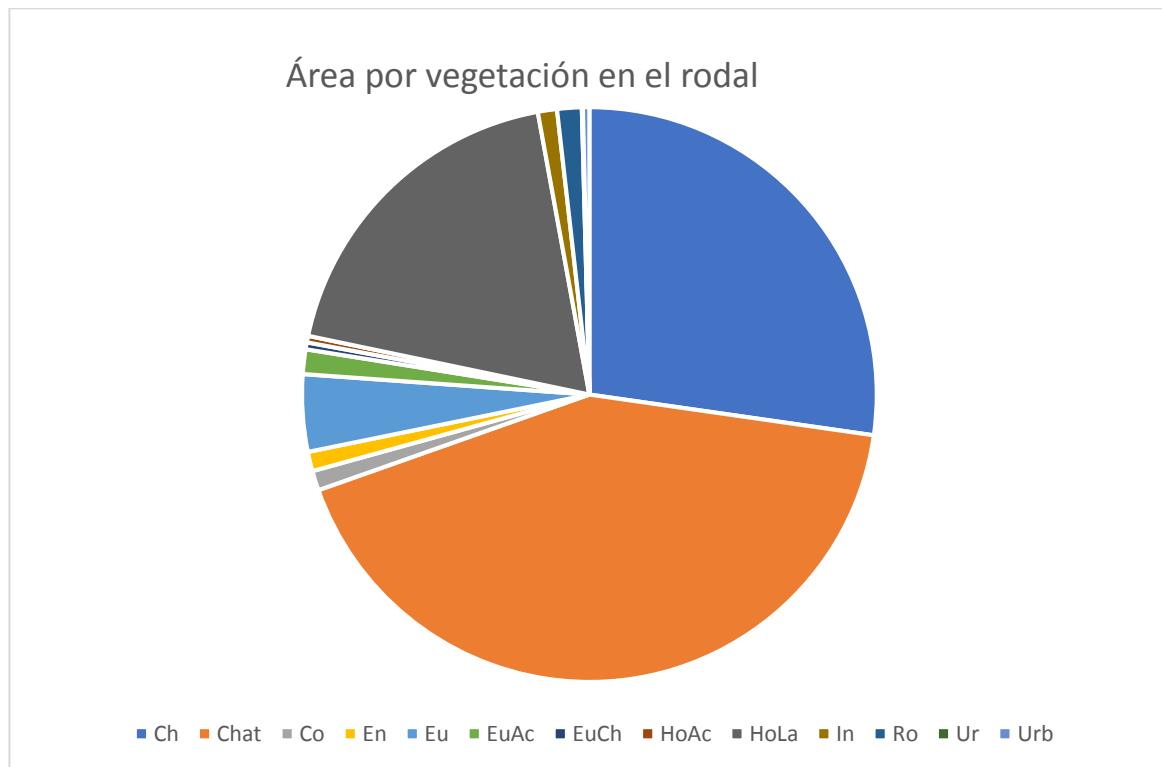
Comunidad	Vegetación	Clave
Chaparral	Matorral xerófilo subinerme (uña de gato), cardinales, acahuales, chaparral de compuestas, pastizal Muhlenbergia	Ch
Árboles tolerados	Agaváceas, nolinas, nopales, pirules y/o eucalipto	At
Coníferas	Bosque de coníferas y latifoliadas	La
Hojosas	Fanerófitas angiospermas incluyendo la casuarina y muy especialmente el eucalipto	Ho
Encinar	Bosque de encino, bosque relicto en la zona, descendiente de un bosque primario posiblemente	En
Acacia	Chaparral predominantemente de uña de gato	Ac
Afloramiento Roco	Sin vegetación	Ro
Urbano	Sin vegetación	Ur
Zona siniestrada	Rodal afectado por incendio	In

En lo siguiente, el sintético de las condiciones de cada rodal, nos da una idea de la extensión que tiene cada condición, con un nivel de precisión más elevado, un poco menos que la mitad de la zona es chaparral con árboles tolerados, casi un cuarto es chaparral en casi toda su totalidad, el bosque relicto apenas alcanza nueve hectáreas, el bosque mixto artificial unas 167 hectáreas, y las zonas afectadas por incendios se extienden por un solo 1% de toda la área. Recordemos que este cuadro está estimado por rodal, lo que quiere decir que no todo el

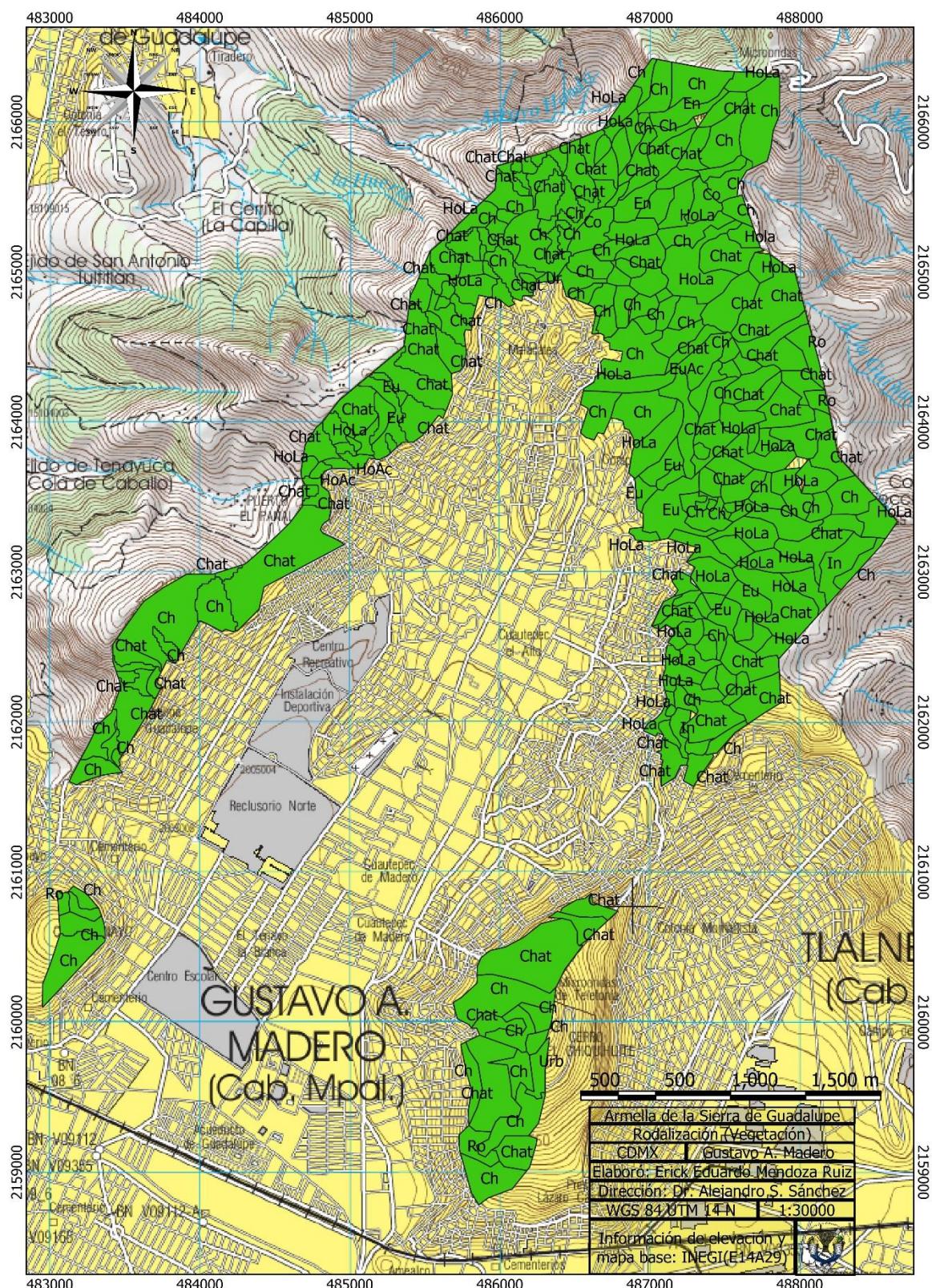
rodal se compone de esa vegetación si no que es la que domina y es representativa en la cara que se observa, que además conviene como unidad de operaciones.

**Cuadro 37 División de los rodales por comunidad vegetal**

Comunidad	Promedio de cobertura	Ha	%
Ch	2	242.96	27.26
Chat	20	377.19	42.33
La	80	9.88	1.1
En	80	9.73	1.09
Eu	70	38.64	4.33
EuAc	36	12.34	1.38
EuCh	20	3.43	0.38
HoAc	46	3.2	0.36
HoLa	63	167.91	18.84
In	10	9.58	1.07
Ro	6	12.33	1.38
Ur	0	.52	0.05
Urb	0	3.2	0.36



**Fig. 21 Área por vegetación en el rodal**



**Fig. 22 Rodalización**

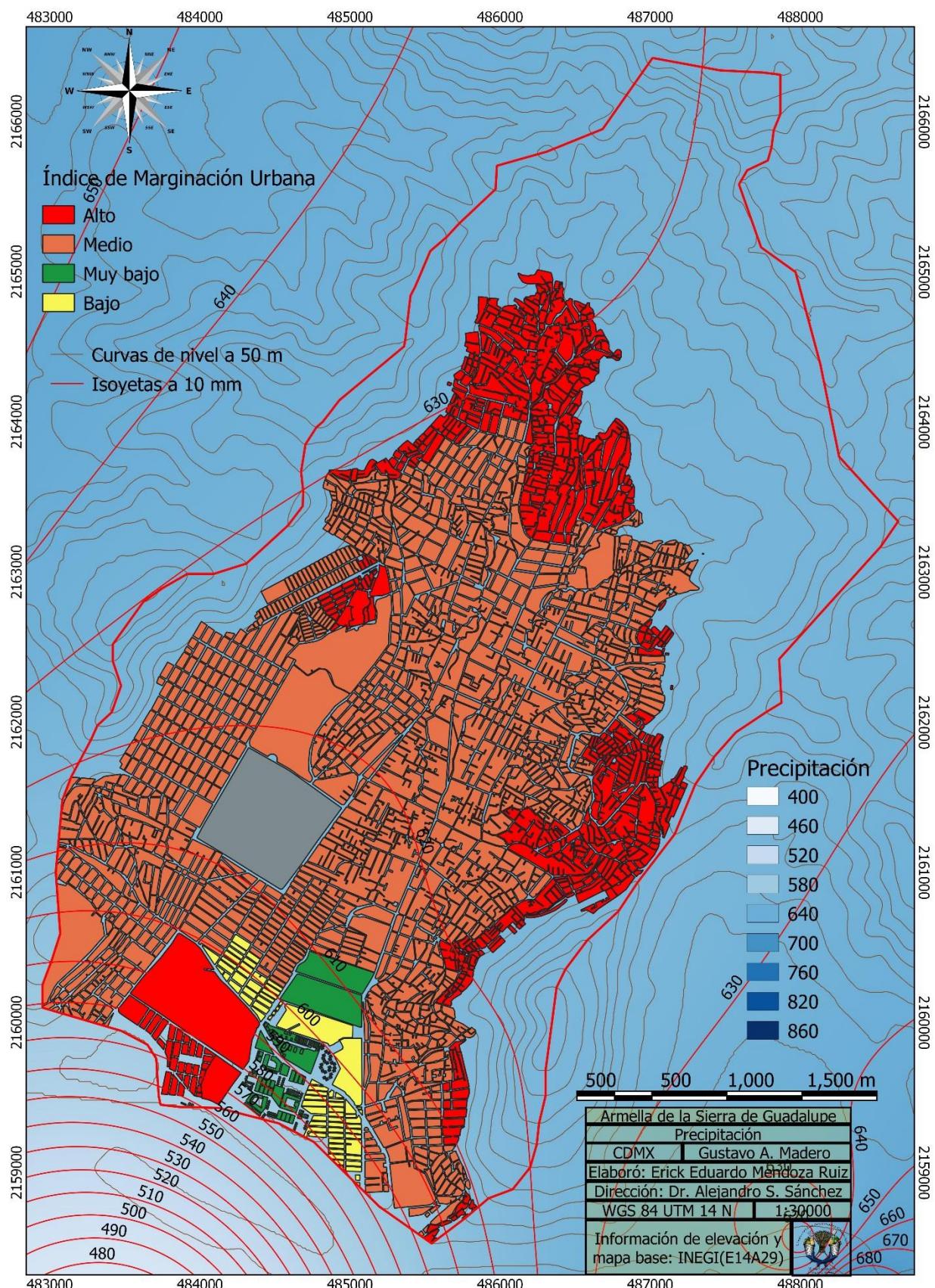
## **6.5. Balance hidrológico**

La proporción en la que la precipitación se distribuye en sus diferentes derroteros, es tal vez la información más contundente para la evaluación de la sostenibilidad de una comunidad humana, en la ciudad, esto se vuelve aún más esencial, desde ya se puede inferir que el balance resultará negativo, pero conviene saber en cuanto y de qué manera. El conocimiento de la dinámica de las aguas permite plantear estrategias de restauración pertinentes y efectivas, pues es uno de los elementos que determinan el éxito de los ecosistemas. En el caso particular de la zona de estudio que nos concierne, debemos agregar otra salida dentro del balance hidrológico: la lluvia que precipita sobre la zona urbana se pierde casi totalmente en escurrimiento superficial hacia el drenaje urbano, que se concentra en la laguna de Cuautepec, otra parte se evapora, otra se concentra en los jardines de manera similar que en el monte, sin embargo, vamos a considerar que toda entrada de lluvia sobre zona urbana se pierde en escurrimiento hacia el drenaje.

La proporción en la que el agua que precipita en toda la cuenca y la que se pierde en la zona urbana, es la misma que el área del monte y la cuenca, es decir, que de toda la lluvia que entra a la subcuenca específica, un 37% permanece cae en algún ecosistema, y el 63% en el tejido urbano, perdiéndose por completo, esta es la misma relación entre el área del tejido urbano y el área del monte. Esto se explica porque la distribución de la lluvia que fue generada por interpolación según lo escrito en la metodología, da como resultado una imagen muy homogénea para toda la cuenca, con un mínimo de 553 mm media anual, y 634 mm, con una media en la cuenca de 620 mm, mientras que en la zona del monte, tiene una mínima precipitación de 579 mm, y máxima de 634 mm, con una media de 636 mm, al tener medias tan cercanas (de 1.6 cm media anuales) casi se puede hablar de un valor constante para esa imagen. En la siguiente página se puede observar el mapa de precipitación para toda la cuenca.

### **6.2.1. Precipitación**

La única variable de entrada para la zona de estudio es la precipitación en forma de lluvia, en toda la cuenca se precipitan 620 mm promedio por año, lo que implica un volumen de 16,306,567.9 m<sup>3</sup>, en el monte la media de precipitación es 636 mm, o un volumen de 6,168,348.7 m<sup>3</sup>, en la relación que se escribe en el párrafo anterior.



**Fig. 23 Mapa de Precipitación de la Armella de la Sierra de Guadalupe, CDMX**

## **6.2.2. Intercepción**

En el dosel, es decir, en el fuste, ramas, hojas, tallos queda atrapada cierta proporción de la lluvia que precipita, según la metodología, se determinaron tres valores para cada tipo de vegetación en la zona, que son el coeficiente de intercepción (Arizmendi, 2017), un valor representa un dosel cerrado por fanerófitas (0.2045), otro los matorrales xerofitos subinermes, acahuales (0.178), y por último y muy reducido, pastizales (0.097). Cada coeficiente es multiplicado por la precipitación específica de su ubicación en un pixel de 10 m por lado, a continuación se muestra el mapa de intercepción, que sumado para el monte da un volumen de 1,350,880.6 m<sup>3</sup> y es un 21.9% de toda la precipitación que entra al monte de la Armella de la Sierra de Guadalupe. Puede observarse en la próxima cartografía (figura 21).

## **6.2.2. Escurrimiento**

La curva de nivel para la metodología, fue inferida bajo un algoritmo de álgebra de mapas que concluyó en nueve valores distintos, el grupo de suelo se eligió desde la categoría B, C y D, esto, los valores de la curva de nivel se distribuyen de la siguiente manera (cuadro 40):

**Cuadro 38 Curvas de nivel de escurrimiento**

Veg/Gpo de suelo	B	C	D
Pastizal	79	86	89
Bosque	60	70	77
Caminos	84	90	92

(Aparicio, 2005) (Becerra, 2005) (CONAFOR, 2014).

Cada píxel con un valor distinto, para calcular la retención máxima (S) cada valor de curva de nivel se sustituyó en la siguiente ecuación:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

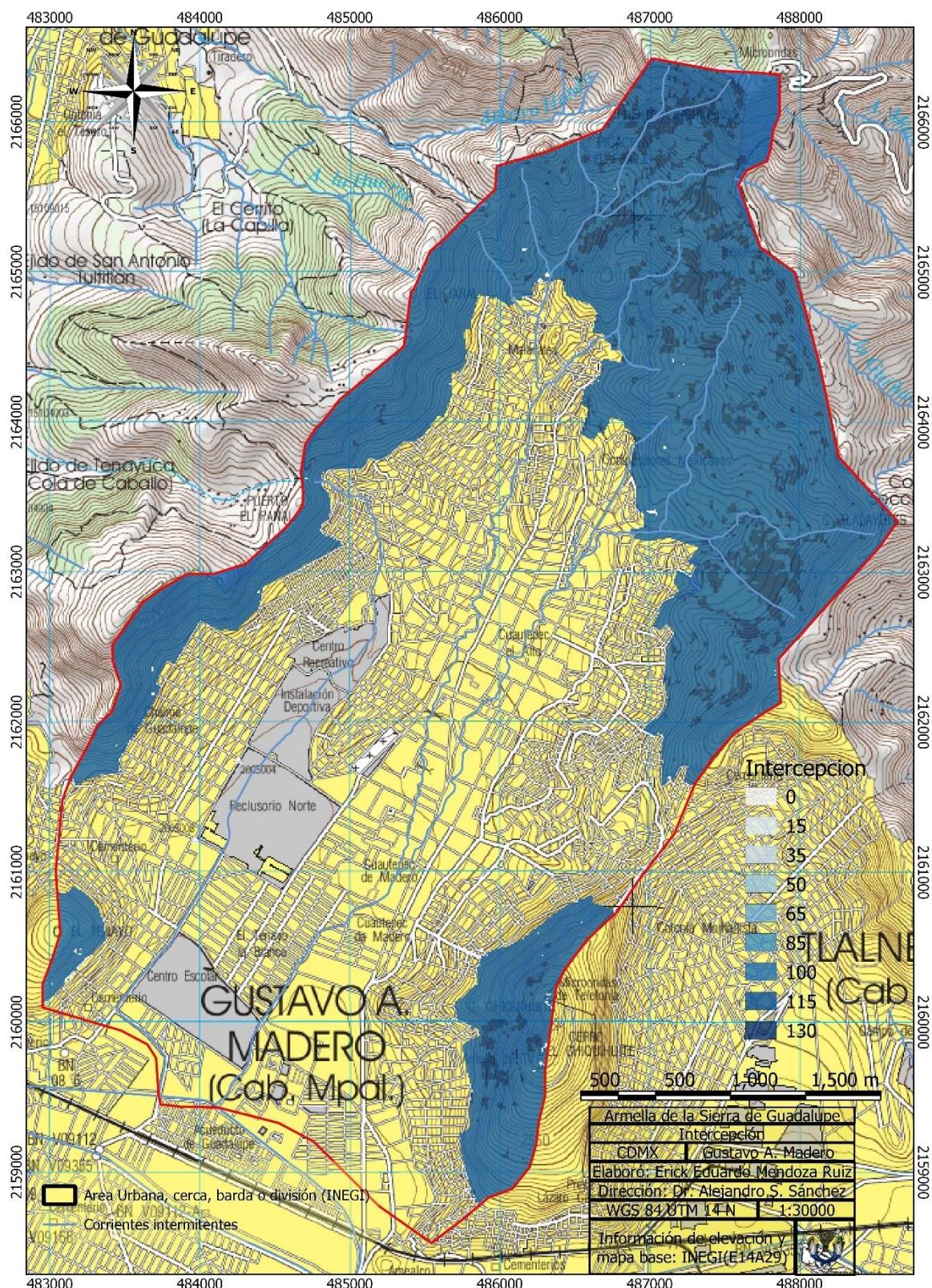
S= Retención máxima

CN= Curva de nivel

Al tener cada píxel un valor de retención máxima se calcula el gasto según la siguiente formula:

$$Q = \frac{(143.7 - 0.2S)^2}{143.7 - 0.8S}$$

Q= Gasto por infiltración



**Fig. 24 Intercepción**

Dónde 143.7 son los milímetros que llueve en promedio el mes de Julio, el más lluvioso en la zona. Cada píxel contiene un gasto distinto, la relación de este gasto con la media de precipitación del mes de Julio es la misma que se escurre de la precipitación media anual, es decir:

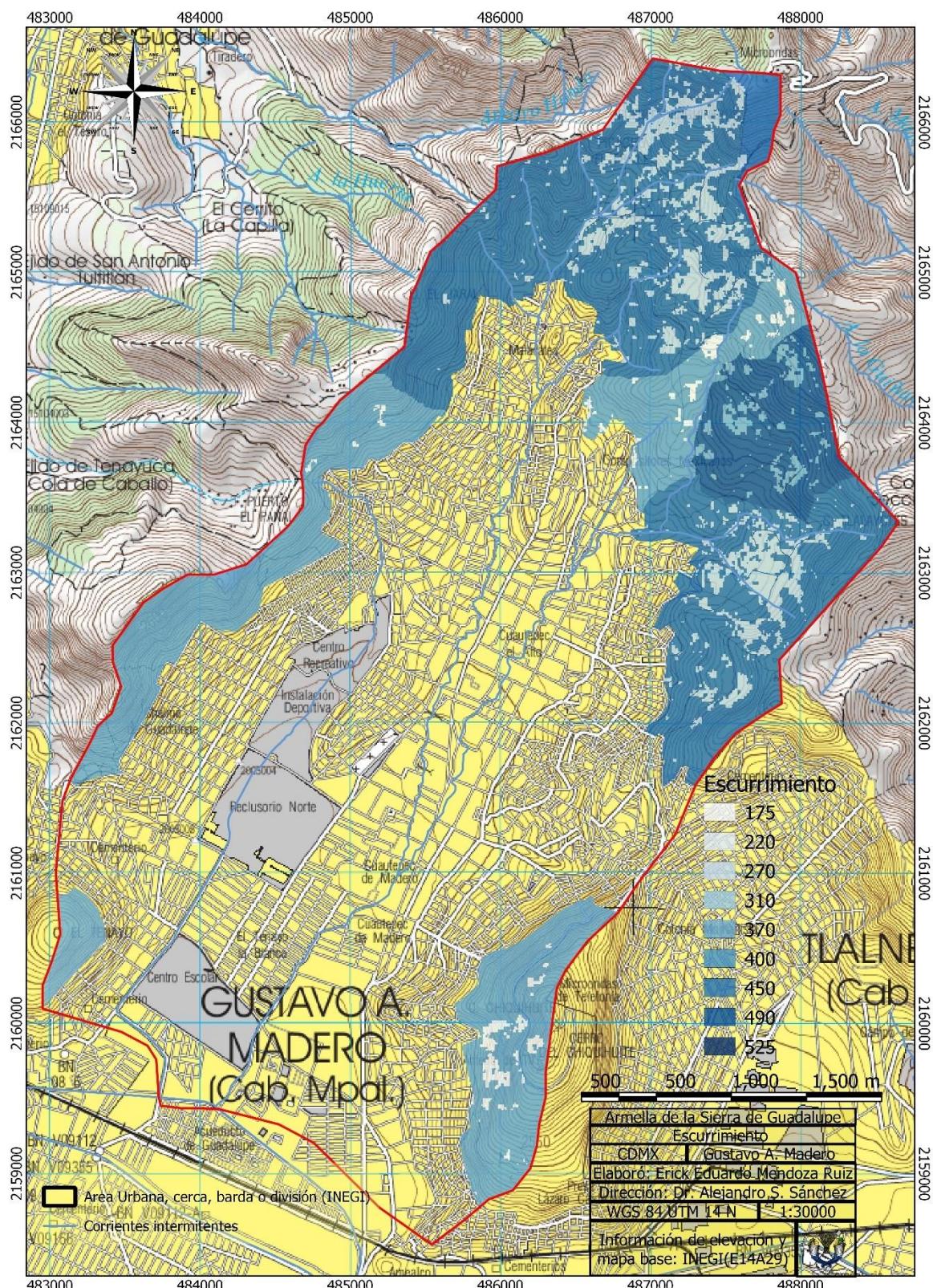
$$\frac{\text{Gasto escurrido anual}}{\text{Media de precipitación anual}} \cong \frac{\text{Gasto escurrido en Julio}}{\text{Media de precipitación en Julio}} = \text{Coeficiente de escurrimiento.}$$

Al tener cada píxel un coeficiente de escurrimiento, solamente hay que obtener el producto del coeficiente de escurrimiento por el valor del mismo píxel en la capa de precipitación media anual. Como resultado de la suma de cada uno de los gastos escurridos anuales de todos los pixeles, y multiplicados cada uno por su extensión en metros cuadrados, se obtiene un volumen de 3, 624, 216 m<sup>3</sup> de agua que se escurren y que irremediablemente cae en la zona urbana y también se pierde en el drenaje de la zona urbana, esta cantidad de agua representa el 58.75% de toda la precipitación que cae en la zona de monte de la Armella de la Sierra de Guadalupe. En el mapa siguiente se observará el escurrimiento, póngase especial atención en que los caminos aportan casi toda su recepción al escurrimiento. El mapa siguiente muestra esa condición (figura 22).

### 6.2.3. Infiltración

Esta definido como la proporción de agua que se retiene en la profundidad de la zona de aireación del suelo, donde el suelo aún acepta flujo por mantener aire en sus poros, y que es resultado de un cálculo complejo con datos piezométricos. Se parte de la relación que existe entre la velocidad de descarga y la velocidad de infiltración. Para objeto de este cálculo se utilizaron tres tipos de texturas distintas, del cuadro 22 presentado en la metodología: la textura franca, franca arcillosa arenosa, y arcilla arenosa.

La velocidad de descarga es igual al producto de conductividad hidráulica por el gradiente hidráulico. El gradiente hidráulico es un valor experimental determinado según textura, para la textura franca se conducen 3.4 mm cada hora, para la textura franca arcillosa arenosa 1.5 mm y para la textura de arcilla arenosa se infiltran 0.6 mm cada hora. En tanto al gradiente hidráulico (*i*) es igual al cociente de la diferencia del nivel estático de un pozo entre la distancia que los separa en la horizontal el brocal de cada uno. En la zona solamente existen dos pozos que registran y



**Fig. 25 Cartografía de escorrentimiento**

publican su piezometría en la zona, el pozo al oeste el nivel estático está a 2259 msnm, y el pozo del este se encuentra a 2487 msnm. A ambos los separa una distancia de 1217 metros.

$$\frac{2487 - 2259}{1217} = 0.18 = i$$

*i*= Gradiente hidráulico

En este caso, se trabajó con un archivo vectorial, se determinaron grandes polígonos según los tres tipos de textura, cada uno de ellos fue multiplicado por 0.18 para obtener la velocidad de descarga de cada categoría. Para estimar la velocidad de infiltración, se calcula el producto de la velocidad de descarga, y el número de veces que los poros podrían ocupar un volumen en una unidad determinada de área o volumen de suelo:

$$V_i = \left(1 + \frac{1}{e}\right) V$$

*V<sub>i</sub>*= Velocidad de infiltración

*V*= Velocidad de descarga

*e*= Coeficiente de porosidad

El cociente de la velocidad de recarga entre la velocidad de infiltración es la proporción en la que el grupo de suelo puede aceptar agua en la zona porosa, si se multiplica por un área (por ejemplo, en hectáreas) obtendremos la superficie en que esa hectárea acepta recarga de agua (Av o área porosa), ahora bien, se multiplicó esta relación (velocidad de descarga/velocidad de infiltración) por el área en hectáreas de cada grupo de suelo.

$$Av = \frac{(Velocidad\ de\ descarga)(\ Area\ de\ los\ grupos\ de\ suelo)}{Velocidad\ de\ infiltración}$$

Es posible estimar cuantos metros cúbicos de agua infiltra en una lluvia (gasto de infiltración o Q) cada grupo de suelo si se multiplica el área que acepta recarga hídrica, y la velocidad de descarga del mismo grupo, o lo que es lo mismo decir, cuánta agua infiltra en cada grupo de suelo por cada hora de lluvia, la relación se escribe de la siguiente forma:

$$Q = (Av) (Velocidad\ de\ descarga)$$

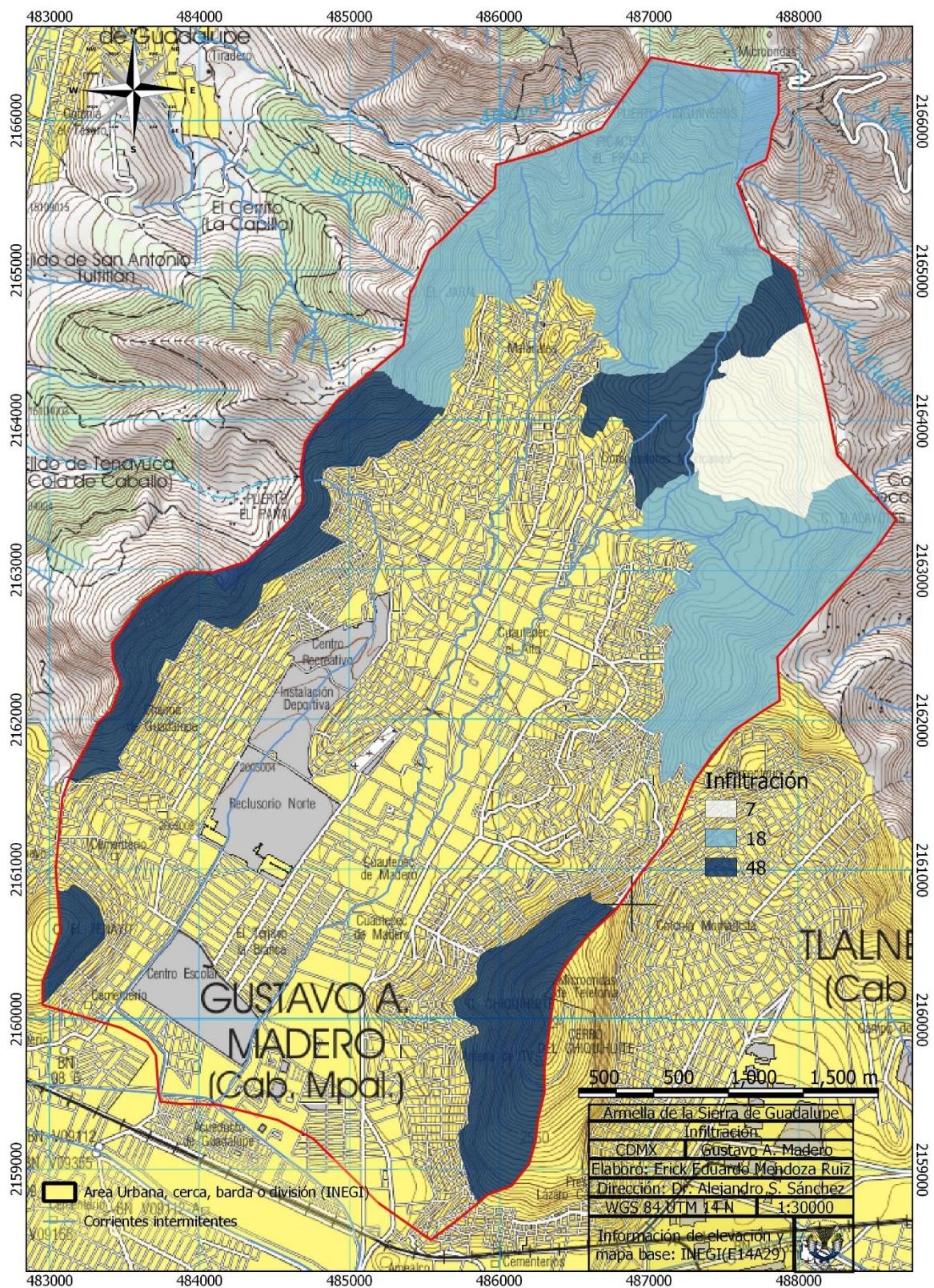
Para terminar de estimar este derrotero del balance hídrico, es menester conocer la dinámica de las lluvias según su intensidad, se tiene información de la normal climatológica de Cuautepec número 9017, que llueven en promedio 68 días, pero no se reportan las horas promedio de lluvia efectiva. Para determinarlo tomamos tres datos del día, 2, 4 y 5 de Julio

del mes de Julio 2020 de lluvia promedio de 2.47 mm/hr. También tenemos, por cortesía de la normal climatológica, el conocimiento de que en promedio en Julio se presentan 14.9 días, si dividimos entre ese número los mm precipitados ese mes (143.7 mm) encontraremos que cada día de julio precipitarían 9.6 mm, si lo dividimos entre la intensidad que estimamos encontramos que al día llueven efectivamente 3.9 horas, el producto de este tiempo por el número de días que llueve al año (68 días) serán todas las horas al año que recibe lluvia el monte, son 265 horas.

Si multiplicamos cada una de estas horas por el valor del gasto por infiltración de cada grupo de suelo obtendremos la infiltración que recibe cada año en volumen el monte, igual a 283,500 m<sup>3</sup> al año que es igual a 3.86% del precipitado. A pesar de ser un porcentaje muy pequeño, este factor es en realidad el único que se aprovecha por la sociedad, todos los demás elementos se desperdician sin tener ningún beneficio. Faltaría deducir cual es la altura de la columna de agua precipitada, que es igual al cociente de dividir el gasto anual de cada grupo de suelo entre su área en metros cuadrados, así obtendremos la altura en metros, después habrá que convertirlos en milímetros. El cuadro 41 marca tiene todos los valores de las variables que en los párrafos anteriores se abordaron, se presentan cinco grupos de suelo, se repiten dos texturas distintas, esto corresponde a que dos polígonos corresponden al cerro del Chiquihuite y el cerro del Tenayo, que son polígonos aislados:

**Cuadro 39. Infiltración por grupo de suelo**

Grupo de suelo	Franco (Tenayo)	Franco (Chiquihuite)	Franco arcilloso arenoso	Arcilla arcilloso arenoso	Arcilla arenosa
Conductividad hidráulica (K)	3.4	3.4	1.5	1.5	0.6
Porosidad efectiva (e)	0.412	0.412	0.33	0.33	0.321
Velocidad de descarga (V)	0.612	0.612	0.27	0.27	0.108
Velocidad de infiltración (Vi)	2.097	2.097	1.088	1.088	0.444
Área (ha)	71.611	228.64	180.792	321.776	88.307
Área porosa en ha (Av)	21	67	45	80	21
Gasto por infiltración por hora (Q/h)	129	410	122	216	23
Gasto por infiltración al año (Q en m <sup>3</sup> )	34185	108650	32330	57240	6095
Columna infiltrada	48	48	18	48	7



**Fig. 26 Infiltración**

#### **6.2.4. Evapotranspiración**

La evapotranspiración es la suma de la evaporación del suelo y la transpiración de las plantas, en la metodología se habla con más extensión del método de Thornthwaite & Mather (1955) para la evapotranspiración potencial y el método Blanney-Criddle & Criddle (1950). para la evapotranspiración real. Para la evapotranspiración Real se obtuvo el cuadro 42:

**Cuadro 40 Factor de temperatura y luminosidad para la zona de estudio**

Mes	Pi	Ti	Fi
Enero	7.79	21	13.86
Febrero	7.28	23	13.62
Marzo	8.41	25.7	16.78
Abril	8.51	26.5	17.29
Mayo	9.11	27.3	18.84
Junio	8.97	25.6	17.85
Julio	9.2	24.2	17.24
Agosto	8.92	24.4	17.26
Septiembre	8.28	23.7	15.76
Octubre	8.19	23.1	15.36
Noviembre	7.63	22.2	14
Diciembre	7.71	21..2	13.79
F			192.18

Obteniendo un Factor de Temperatura y Luminosidad de 192.18 , a cada pixel se le confirió un factor de corrección global, para el bosque mixto un factor de 0.9 y todo lo demás en el monte 0.75, que, multiplicado por F, da un valor de Evapotranspiración Real de 172.9 mm para bosque y para pastizal, matorral, acáhuil de 144.1 mm. Para estimar la Evapotranspiración Potencial, utilizando el método de Thorntwaite, no fue necesaria la generación de una imagen, pues es un valor hipotético que depende de la temperatura media mensual y de la latitud de la zona en cuestión, por lo que se determinó el cuadro 43.

**Cuadro 41 Evapotranspiración potencial en la zona de estudio**

Mes	Ka	Tj	Ij	ETP
Enero	0.95	21	8.78	52.01
Febrero	0.9	23	10.07	62.06
Marzo	1.03	25.7	11.92	94.11
Abril	1.05	26.5	12.48	103.68
Mayo	1.13	27.3	13.06	120.32
Junio	1.11	25.6	11.85	100.41
Julio	1.14	24.2	10.88	89.42
Agosto	1.11	24.4	10.02	88.91
Septiembre	1.02	23.7	10.54	75.89
Octubre	1	23.1	10.14	69.72
Noviembre	0.93	22.2	9.55	58.62
Diciembre	0.91	21.2	8.91	51.03
I			129.25	966.23
A			2.53	

La evapotranspiración potencial es de 966.23 mm cada año, la sumatoria de índice de calor mensual (I) es igual a 129°C y el coeficiente a es igual a 2.53 °C. El cociente entre la Evapotranspiración Real entre la Evapotranspiración potencial es la proporción en la que la precipitación que cae se evapotranspira realmente:

$$\frac{ETR}{ETP} = \frac{\text{Evapotranspiración efectiva}}{\text{Entrada de lluvia}} = K$$

Esto tiene sentido en tanto que se puede evaporar potencialmente toda la lluvia precipitada, pero solo se evapotranspira en la proporción que estimamos (K o coeficiente ponderado de evapotranspiración). Para determinar cuántos milímetros de altura de la columna de precipitación de cada píxel se evapotranspiran efectivamente, se multiplica K por la precipitación que entra cada año al pixel en cuestión, esta condición se representa en el mapa siguiente, para determinar la lámina, se multiplica esta altura en metros por el número de metros cuadrados en el que se extiende en cada pixel. De esta operación resultó un volumen de 845,544.9 m<sup>3</sup> lo que representa un 13.7% del flujo que entra al sistema.

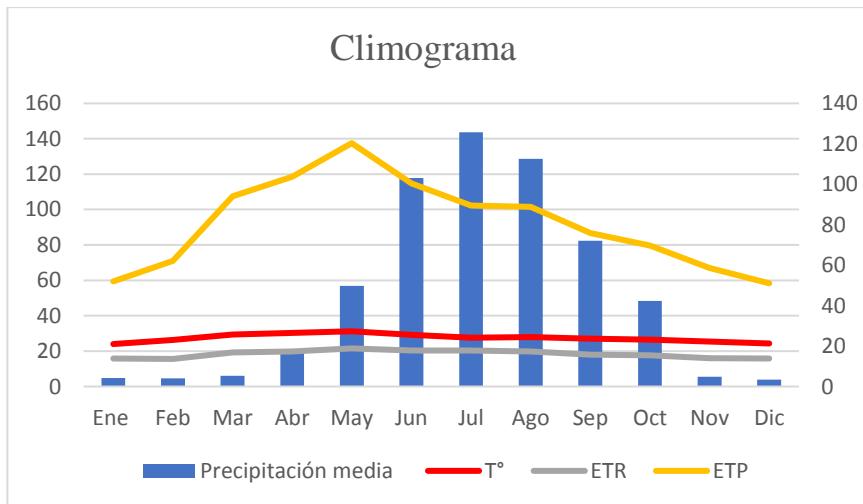
#### 6.2.4.1. Ventana de reforestación

Para determinar la ventana de reforestación vamos a tomar el climograma que ya exhibimos, pero ahora con la línea correspondiente a la ETR y ETP, el resultado es el cuadro 44:

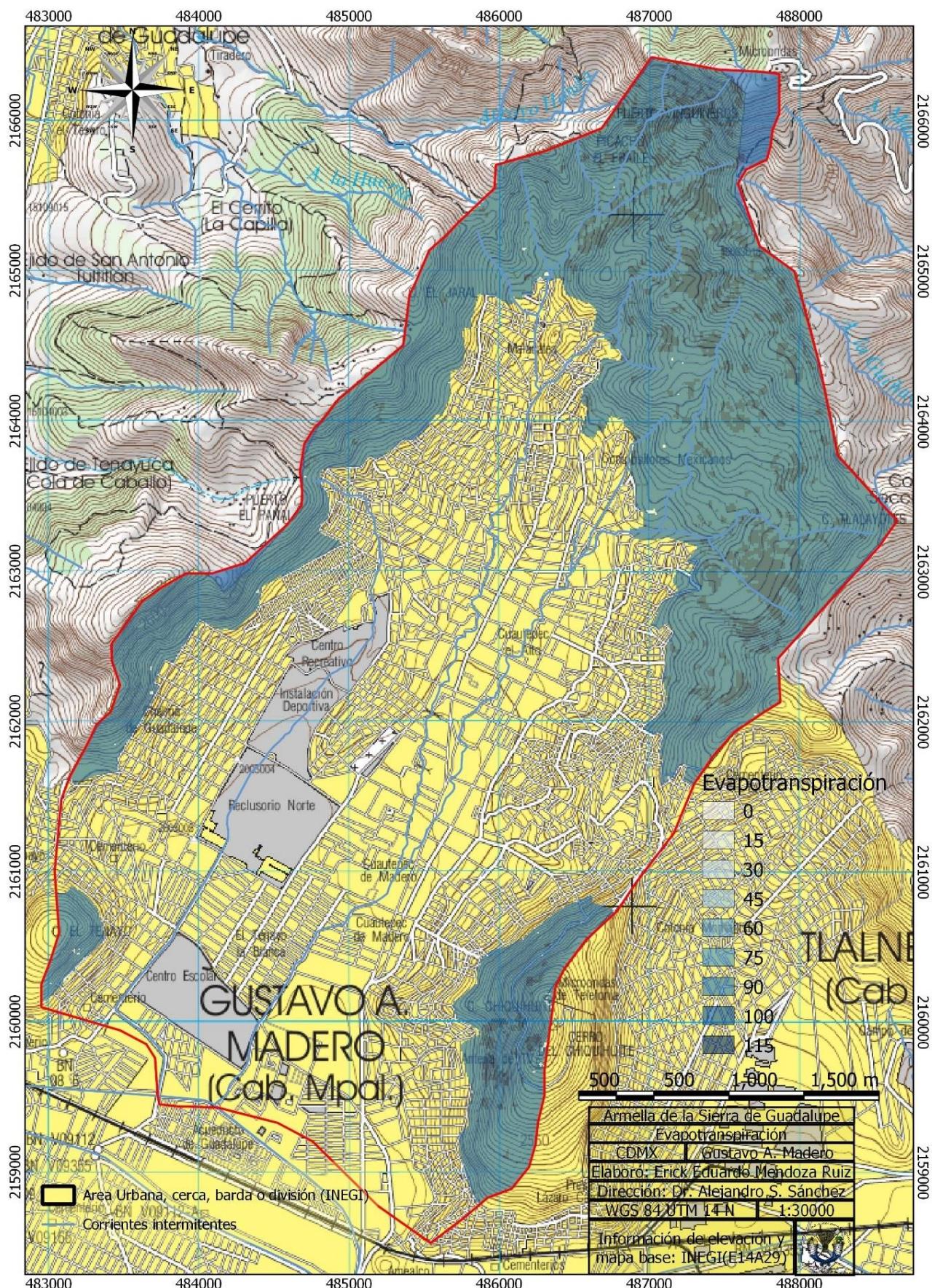
**Cuadro 42 Climograma completo**

Mes	Pp media	T°	ETR	ETP
Ene	4.7	21	13.86	52.02
Feb	4.6	23	13.62	62.06
Mar	6.1	25.7	16.78	94.11
Abr	19	26.5	17.29	103.69
May	56.8	27.3	18.86	120.33
Jun	117.8	25.6	17.86	100.42
Jul	143.7	24.2	17.72	89.43
Ago	128.6	24.4	17.27	88.91
Sep	82.3	23.7	15.76	75.89
Oct	48.3	23.1	15.37	69.72
Nov	5.5	22.2	14.00	58.63
Dic	3.8	21.2	13.79	51.04

Como puede leerse, la ventana de reforestación esta entre el inicio de Junio y finales de Agosto. La siguiente gráfica ilustra bien esta condición. En el mapa siguiente, la evapotranspiración en mm.



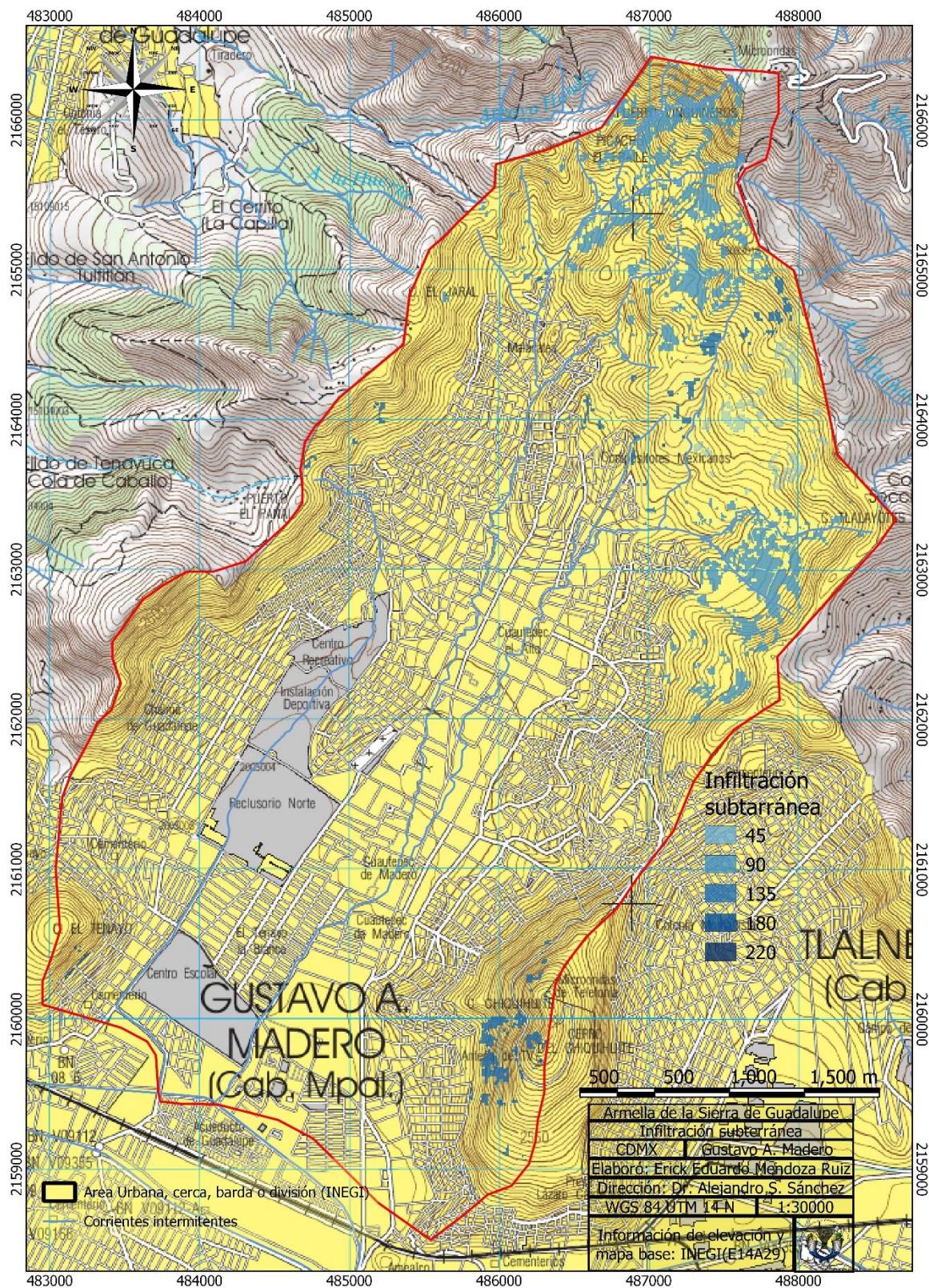
**Fig. 27 Ventana de reforestación**



**Fig. 28 Evapotranspiración**

### **6.2.5. Infiltración Subterránea**

Por método de eliminación, se infiere que todo flujo que no se evapotranspira, ni se infiltra, ni se escurre, ni se detiene en el dosel irremediablemente se percola hasta la zona de saturación y se deriva a acuíferos insospechados, dentro o fuera de la subcuenca específica. El resultado de la diferencia que se describe en la metodología, resulta en una columna de agua infiltrada en lo subterráneo para cada pixel, multiplicando esta altura en metros por la dimensión del pixel en metros cuadrados obtendremos la lámina que se percola en el pixel, si se suman todos los pixeles obtendremos la lámina que se percola en el monte de la Armella de la Sierra de Guadalupe en un año. Esto da un resultado de  $109,207 \text{ m}^3$  que es apenas el 1.7% de la precipitación que entra en el sistema, el siguiente mapa después de este párrafo es la columna de agua percolada de cada píxel representado en un mapa.



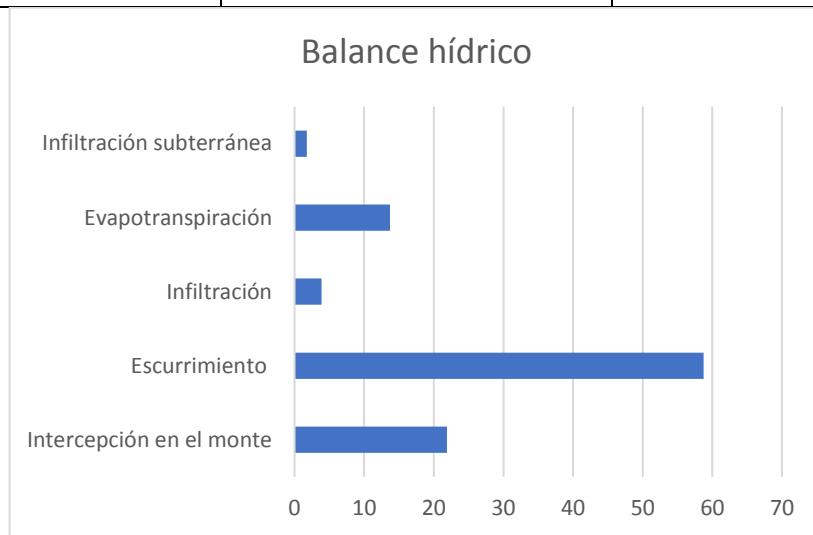
**Fig. 29 Infiltración subterránea**

## 6.2.6. Balance

Para esta sección vamos a analizar en dos niveles distintos la información, la primera se presenta en el contexto del monte de la Sierra de Guadalupe, en la subcuenca específica de la Armella, tal como se observa en el cuadro 45 y figura 27:

**Cuadro 43 Balance hídrico**

Distribución	Volumen	%
Precipitación	6168348	100
Intercepción en el monte	1350880	22
Escurrimiento	3624216	58
Infiltración	238500	4
Evapotranspiración	845545	14
Infiltración subterránea	109207	2



**Fig. 30 Balance hídrico**

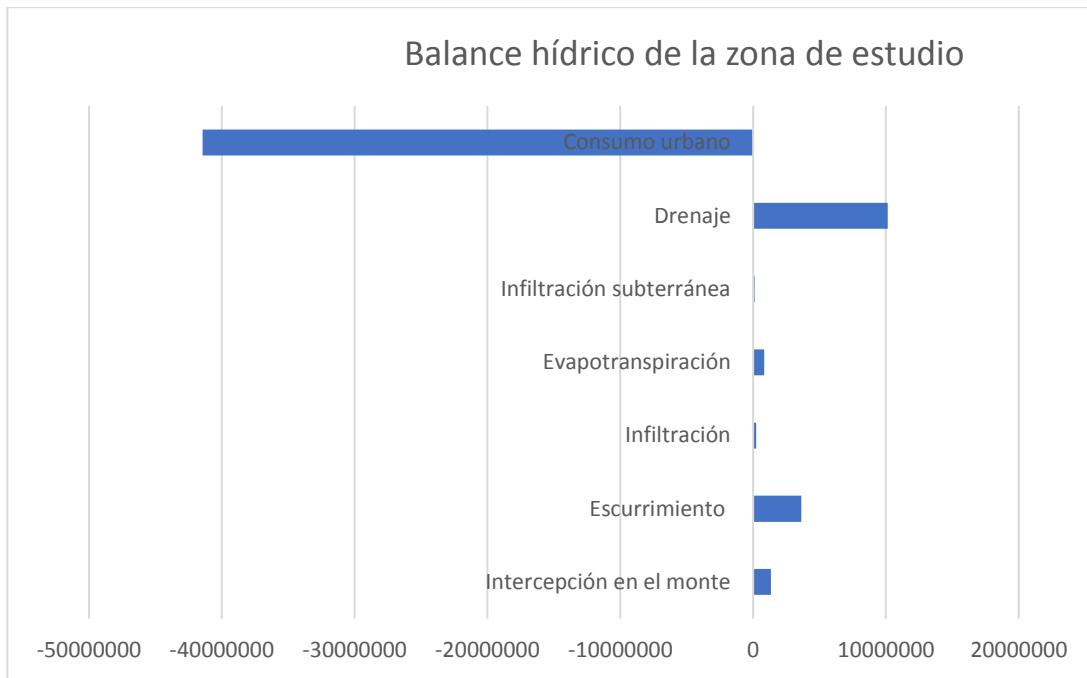
Debido a la degradación del dosel, y del ecosistema en general, así como de la excesiva densidad de caminos, casi el 60% de la precipitación se escurre teniendo un derrotero sin aprovechamiento humano, sigue la intercepción con 21% y representa un alivio y amortiguación a las inundaciones urbanas y erosión hídrica que termina en azolores de tuberías con todo lo que implica. La evapotranspiración queda con un 13% de la lluvia que precipita, y un cercano a 5% se agrupa la infiltración hacia zona de aireación y hacia zona de saturación. El otro panorama, es el que integra las condiciones urbanas, y que marca clara diferencia con un balance en zonas rurales. Serán tres variables que integremos al balance, la primera es la entrada de lluvia que cae en la zona urbana, la segunda es la pérdida de esta

misma entrada de lluvia en el drenaje y por último la demanda de agua consuntiva del tejido urbano.

En la cuenca caen 2.4 veces más agua que en el monte según la imagen de precipitación elaborado, con una lámina de 16,306,567.9 m<sup>3</sup>, pero todo lo que cae sobre la zona urbana es conducida al drenaje, representando un 63% de pérdida con una lámina de 10,138,219.2 m<sup>3</sup>. En cuanto al agua consuntiva, hay razones para pensar que en Cuatepec se consume agua en grandes cantidades, debido a que en muchas colonias no se cobra este servicio y no se tienen restricciones de horario en la disponibilidad del mismo, sin embargo, esa misma situación hace imposible que existan datos precisos sobre el consumo per cápita de agua, por estas razones consideramos que el consumo es de 317 litros diarios por persona (Nuria Font, 2020) que multiplicado por 358,138 habitantes resulta en 113,529,746 litros diarios, o bien, 113 529.75 m<sup>3</sup> al día o 41,438,357.29 m<sup>3</sup> es decir 2.5 veces más de lo que llueve en la zona. Aún más preocupante la proporción entre lo que se aprovecha (infiltración en zona porosa y zona de saturación) y la demanda consuntiva, se infiltran 347,707.09 m<sup>3</sup>, que es el .8% de lo que se consume, o bien lo que se consume es 119.17 veces lo que se recarga en el manto freático, por lo que de algún lugar se deben trasvasar 41,090,650.2 m<sup>3</sup>. El cuadro 46 muestra la comparación:

**Cuadro 44 Balance hídrico**

Distribución	Volumen	%
Intercepción	1350880	8
Escurrimiento	3624216	22
Infiltración	238500	1
Evapotranspiración	845544	5
Infiltración subterránea	109207	1
Drenaje	10138219	63
Consumo Urbano	41438357	-254



**Fig. 31 Balance hídrico de la zona de estudio**

## 6.6. Zonas Potenciales de Recarga Hídrica

Adicional al balance hídrico presentamos otra metodología que complementa la información sobre los elementos infiltración e infiltración subterránea, aun siendo una aportación minúscula en comparación de los demás elementos, es el único que realmente es aprovechado por la sociedad y conviene conocer cada vez más acerca de la dinámica de infiltración. La metodología de Matus, tiene ventajas al método aplicado en el balance hídrico en tanto a la localización de las zonas de mayor infiltración, que incorpora más variables para determinar dichas zonas, empero tiene desventaja por ser un resultado cualitativo, resultado de varios check list y que tiene utilidad solamente en predecir mayor o menor posibilidad, mientras que la metodología del balance hidrológico permite estimar la altura de la columna y lámina que precipita.

Por otro lado, el problema del método de determinación de infiltración presentado en el Balance hídrico también reside en que el factor pendiente solamente se valora por medio del gradiente hidráulico, y de esto, solamente se tiene un dato de referencia, de dos pozos, no se considera la geología, y la vegetación cuenta con pocos coeficientes, en contraste Matus propone valores cualitativos para pendiente, geología y para valorar la vegetación se utiliza el NDVI. Luego, lo más útil sería trabajar en mediciones que permitan cuantificar las ponderaciones de Matus e integrarlo a la metodología de Darcy y Green-Ampt, para producir datos más contundentes de infiltración. Por ahora vamos hacer lo inverso, vamos a cualificar una cantidad; los mm de altura de la columna de infiltración se calificarán en cinco unidades tal como en la metodología de Matus y se valor se sustituirá por el tipo de suelo, que integrará la relación de la capacidad del suelo para aceptar agua y la precipitación específica de cada pixel.

De esta manera, otro resultado de esta tesis es proponer el *Método de Matus Modificado* para las Zonas Potenciales de Recarga Hídrica.

**Pendiente.** El factor pendiente es fundamental para explicar el gasto en escurrimiento, en virtud del diferencial que participa en la ecuación de Darcy, por esta razón no es suficiente un solo dato, es aún mejor utilizar el Modelo de Elevación con sus inconvenientes, al someterlo a la reclasificación no se distingue el bandeadío que se precisa en la metodología.

**Infiltración.** Se sumaron las capas de la columna de altura de infiltración e infiltración subterránea y se reclasificaron según el cuadro 47:

**Cuadro 45 Calificación de la capa de infiltración más infiltración subterránea**

Milímetros	Calificación
51	1
102	2
153	3
204	4
255	5

**Tipo de Roca.** Utilizando la información de geología de la que se habla en la caracterización de la zona, y las referencias bibliográficas de las que hacemos mención en la metodología, se determinaron dos únicos valores, la brecha volcánica y volcanoclastos (30% de porosidad) con calificación 2 y andesita con calificación 1 (10-15% porosidad).

**Cobertura vegetal.** Para determinar la calificación de este aspecto se calculó el NDVI de la zona de monte de la Armella de la Sierra de Guadalupe (que se muestra en la siguiente página) y se reclasificó en según el cuadro 48:

**Cuadro 46 Calificación del factor cobertura vegetal**

NDVI	Calificación
0.174	1
0.298	2
0.422	3
0.546	4
0.67	5

**Uso de Suelo.** Para calificar el uso de suelo se utilizó la imagen resultado de la clasificación no supervisada que utilizamos para la rodalización, que solamente distingue entre el dosel cerrado y el dosel abierto, para la primera condición, la de los acahuales, matorrales xerófitos subinermes, árboles tolerados y pastizales, se calificó con 4 unidades, y para las zonas de bosque mixto, coníferas, eculiptares, se ponderó con 5 unidades. Por último, se descartaron los caminos, pues estos son zonas de descarga y escurrimiento del flujo.

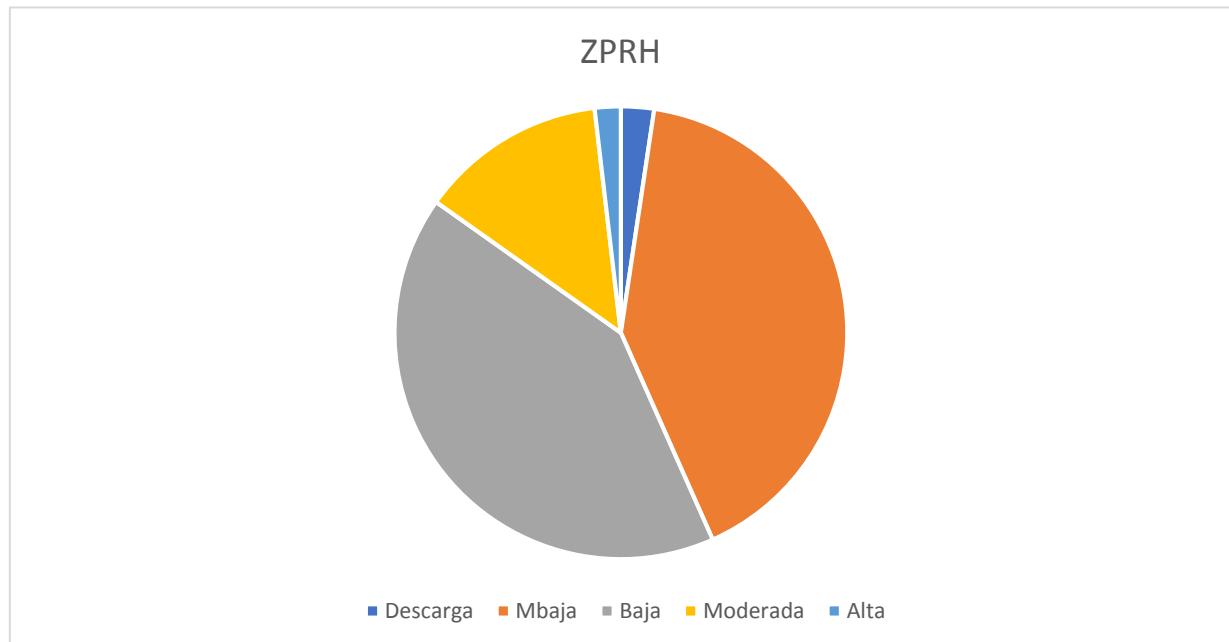
**Zonas Potenciales de Recarga Hídrica.** El resultado es muy ilustrativo para entender la degradación de la zona, según la reclasificación de Matus, la condición de falta de dosel y alto grado de pendiente no permite que existan zonas de muy alta posibilidad de recarga, al contrario, predomina baja y muy baja posibilidad de infiltración. Las condiciones

desfavorables para la recarga ocupan más del 80% de toda la zona, las condiciones favorables, apenas alcanzan las 16 ha. El cuadro 49 muestra la distribución de la posibilidad por extensión.

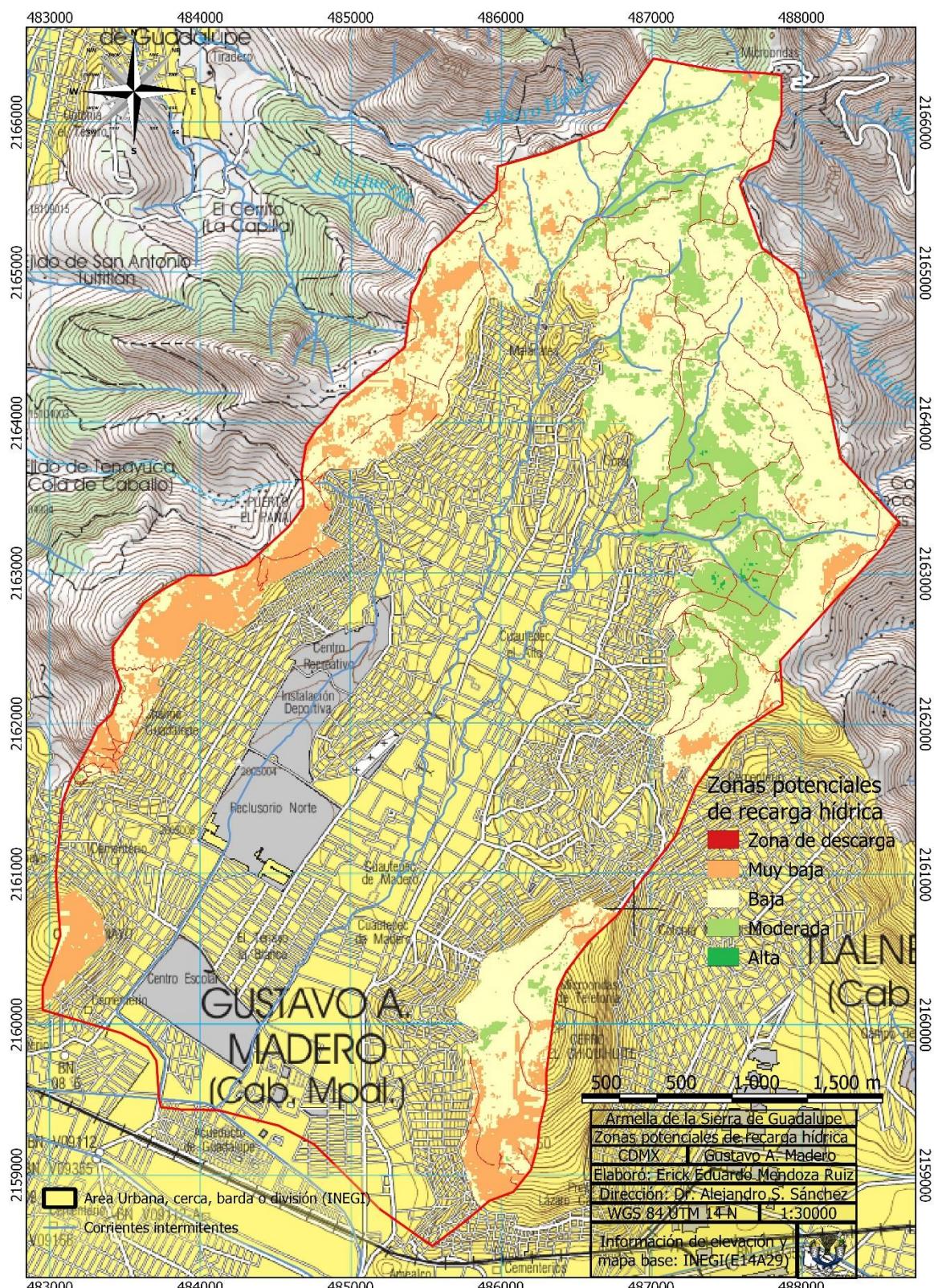
**Cuadro 47 Zonas Potenciales de Recarga Hídrica por categoría**

Posibilidad de recarga	% en la zona de monte	Ha
Zona de descarga	2	21.0686
Muy baja	41	365.1906
Baja	42	369.4155
Moderada	13	118.7922
Alta	2	16.5883

La figura 29 muestra la distribución de las zonas potenciales de recarga hídrica, y al final de este título encontrarán el mapa correspondiente.



**Fig. 32 Distribución de las categorías de las ZPRH**



**Fig. 33 Zonas potenciales de recarga hídrica**

#### **6.4. Pérdida de Suelo (Erosión Hídrica)**

En noviembre del 2018 el autor tuvo la oportunidad de ensayar la ecuación universal de pérdida de suelo, aún con más limitaciones pudimos determinar que se pierden 77,000 ton al año de suelo, el método que utilizamos en esta ocasión es más preciso y fundamentado. No se consideró la parte urbana porque la erosión en esta zona pertenecería más a la erosión de los concretos antes que a la del suelo, pues en general, no existe suelo en las zonas urbanas continuas, y si lo existiera en jardines y parques, requeriría de un estudio más intenso en campo, además para esta tesis el objeto fundamental de estudio es el ordenamiento forestal de bosques marginales o enclavados.

**Erosividad.** La cuenca se encuentra en la Región 1 de las ecuaciones de erosividad, es decir,  $1.2078p + 0.02276p^2 = R$ , cada pixel de la capa de precipitación es sustituido por la p de la ecuación, generando una imagen resultado con extremos de máximo 1683 (MJ)(mm)(ha<sup>-1</sup>)(h<sup>-1</sup>) y mínimo de 1464, con una media de 1651 (MJ)(mm)(ha<sup>-1</sup>)(h<sup>-1</sup>).

**Cobertura.** Para determinar la cobertura, se utilizó la imagen que resultado de la clasificación supervisada sobre imágenes Sentinel, según el cuadro 32 de la metodología, el Bosque Mixto, eucaliptar, y cualquier otro conjunto de fanerófitas que constituyan un dosel cerrado se calificaron coeficiente 0.041, el Acahuil fue valorado con el coeficiente 0.153 y por último, los caminos se representaron en el algebra con el coeficiente igual a 1.

**Erodabilidad.** Para determinar la erodabilidad, se utilizó la capa vectorial de grupos de suelo que producimos en el balance hídrico y se geoprocесaron sus intersecciones con la capa de edafología de INEGI, de tal suerte que los órdenes de suelo terminan con los siguientes coeficientes de erodabilidad (cuadro 50).

**Cuadro 48 Factor K para la zona de estudio**

Orden edáfico	Textura	K
Molisol	1	0.013
	2	0.02
	3	0.007
Andisol	1	0.007
	2	0.02
	3	0.007

**Factor Longitud y Grado de la pendiente.** Fue estimado con el modelo de elevación digital que provee el INEGI, aún con todas sus desventajas, es necesario hacer énfasis en que la zona que se analiza en este proceso es de topografía accidentada, con un gradiente que incrementa hacia el Noreste.

**Factor protección del suelo.** Solamente se incluyeron las zanjas trinchera que encontramos en nuestro recorrido en campo con valor de 0.5, pero es casi seguro que se han trabajado otras zonas, por lo que este factor está subestimado.

Toda capa correspondiente a una de las anteriores variables fue multiplicada utilizando álgebra de mapas, obteniendo una imagen con Ton/ Ha por píxel, esta misma fue reclasificada bajo los siguientes criterios:

**Cuadro 49 Categorías de erosión potencial hídrica de suelo**

Categoría	Ton/ha
Baja	<50
Media	50-100
Considerable	100-150
Alta	150-200
Muy alta	200-250
Extrema	>250

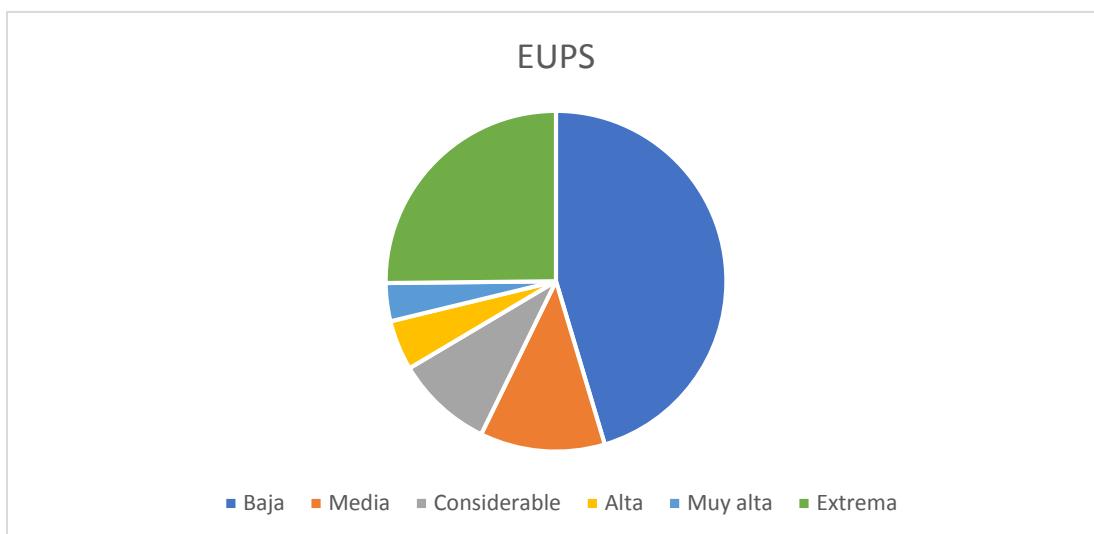
(Montes,2011)

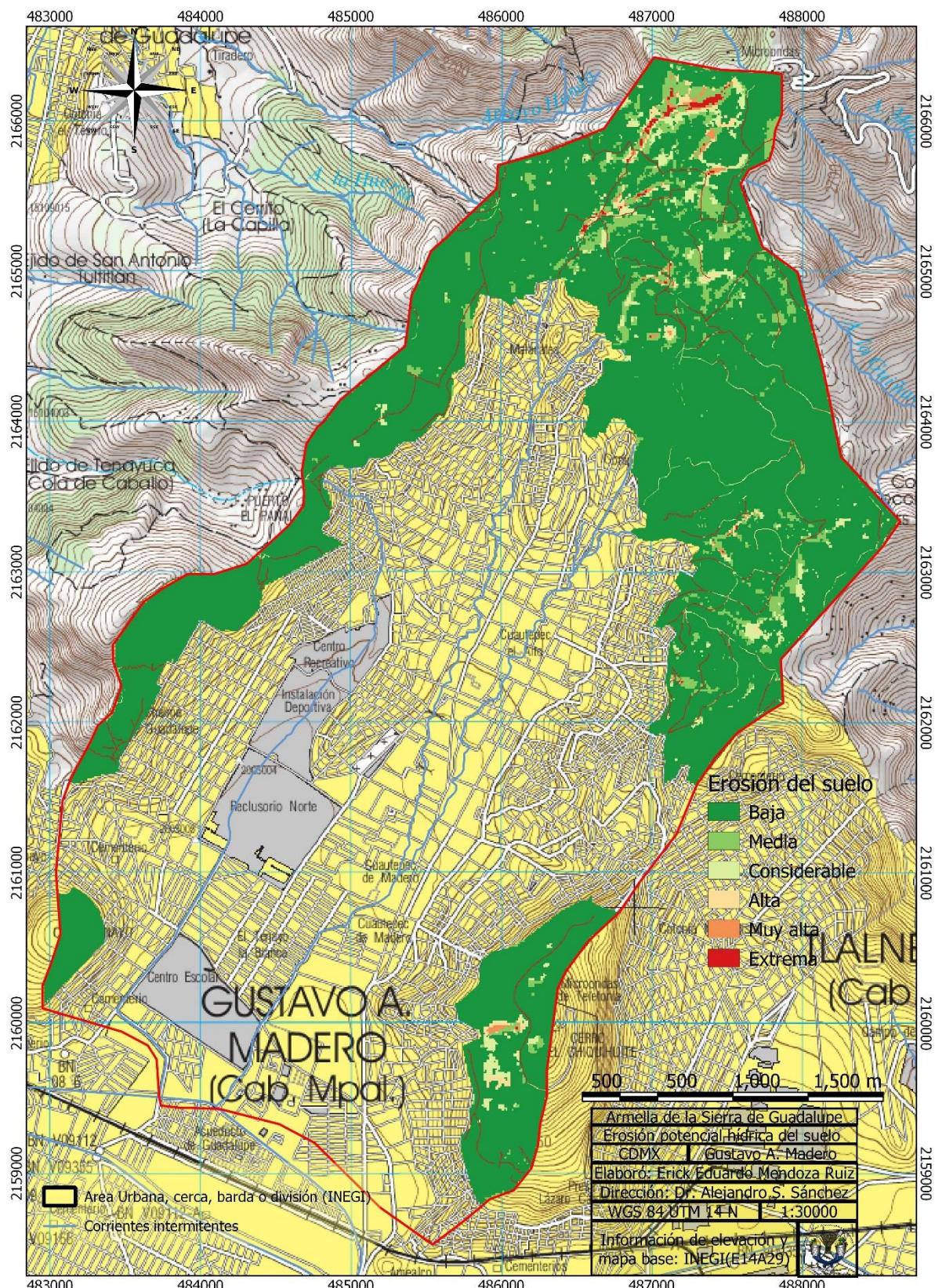
Resultado análisis del de datos de la imagen resultado en bruto y la reclasificada, se obtuvo el cuadro 52:

**Cuadro 50 Pérdida de suelo**

Categoría	% del área	Ha	Pérdida anual	% de la pérdida	Ton/ha promedio	Volumen	m <sup>3</sup> /ha	Altura cm
Baja	88	783	14445	45	18.46	11111	14.2	0.14
Media	6	55	3777	12	69.21	2905	53.24	0.53
Considerable	3	24	2941	9	120.67	2261	92.82	0.92
Alta	1	9	1510	5	169.3	1162	130.23	1.3
Muy alta	0.5	5	1150	4	219.62	884	168.94	1.68
Extrema	1.5	15	8012	25	514.34	6163	395.64	3.95
Total		891	31835			24,486		

Las zonas con baja erosión pierden el 45% del suelo que se erosiona al año, con un total de 11,111.5 m<sup>3</sup> (considerando una densidad de 1.3 g cm<sup>-3</sup>) aunque la extensión de estas zonas alcanza el 87% en hectáreas. Seguido a esta categoría se encuentran las zonas de erosión extrema, donde hacen figura los caminos y se manifiesta el impacto de la alta densidad de los mismos en la zona, en este sistema vial se pierden 8012 toneladas de suelo al año y representa un cuarto de todo lo que se pierde al año aunque solamente se extienda por 15 ha, poco menos del 2% del total de la zona de monte de la Armella de la Sierra de Guadalupe, la altura en estos caminos de la lámina que se pierde alcanza en promedio los 3.9 cm, mientras que la primer categoría apenas pierde 1.5 mm de columna, en resumen, en la zona de estudio para este proceso se pierden 35.7 ton de suelo o 27 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año. En la siguiente hoja se muestra el mapa reclasificado de erosión potencial hídrica en la zona de monte de la Armella de la Sierra de Guadalupe.

**Fig. 34 Distribución de la pérdida de suelo por categoría**



## **7.Conclusiones**

Para terminar este trabajo de tesis se presentan en dos partes las conclusiones, la primera son aquellos aportes o propuestas que resultaron de los trabajos de investigación y la segunda es una orientación sobre lo que debería seguir a esta tesis cuando exista interés del estado o que la sociedad civil realice un esfuerzo financiero, al primero llamaremos conclusiones de esencia y al segundo, de forma. Por lo demás, se cumplieron los objetivos planteados y aún se alcanzaron secundarios.

### **7.1. De esencia**

Se propone someramente una estructura de Plan de Manejo: Integrada por una parte de valoración de bienes y servicios forestal incluyendo operaciones silvícolas y la otra como un análisis financiero de las operaciones, presentado cada tiempo de paso y elaborando por año subprogramas específicos.

-El concepto de clase social como eje fundamental del ordenamiento forestal urbano, en contraposición a la línea de sustentabilidad.

-Breve semblanza del desarrollo de las doctrinas de silvicultura urbana en la Ciudad de México.

-Se integra la teoría del valor al problema de la valorización de los servicios ambientales y se rescata la propuesta del IRU en Baltimore sobre el costo de las operaciones silvícolas urbanas.

-Se propone la categoría de monte enclavado, monte marginal y late baldío.

-La zona fue caracterizada con la formula climática C(w0)(w)gi, así como en edafología, geología, tipo de vegetación y socioeconómicamente.

-Resultado de estos trabajos se cuenta ahora con una rodalización de 250 unidades mínimas de manejo.

-Cartografía de las zonas potenciales de recarga hídrica.

-Los demás datos producidos, se muestran en el condensado del cuadro 53 y 54.

## **7.2. De forma**

El propósito de esta tesis no es llevar a cabo el plan de ordenamiento forestal-urbano, pero si establecer los estudios ambientales pertinentes para empezar a elaborar ese plan de ordenamiento; el movimiento del suelo, agua y rodalización. Para concluir se presentan siguientes orientaciones que consideramos pertinentes:

- Es necesario rediseñar los caminos y disminuir la densidad de caminos.
- Iniciar la reforestación en las zonas de potencial medio y alto de recarga cercana a los ríos.
- Se requieren al menos \$13,790,898 pesos para la restauración de la Sierra de Guadalupe.
- Las extensiones más pobladas de acahuil, matorral xerófito deben ser incendiadas por prescripción, aclareadas las zonas de montebajo de ecualipto y todas las densidades altas, así como el acomodo de materiales combustibles, para evitar incendios.
- Es perentorio el plan de ordenamiento forestal-urbano de la zona.

**Cuadro 51 Parámetros morfométricos de la cuenca y de la red hídrica**

<b>Parámetros morfométricos de la cuenca</b>	
Superficie (km <sup>2</sup> )	23.5131
Perímetro de la cuenca (km)	21.861
Elevación media (msnm)	2625
Cota máxima (msnm)	2250
Cota mínima(msnm)	3000
Pendiente media (grados)	13.6
Pendiente media (porciento)	24.3
Índice de compacidad	1.27
Relación de alargamiento	0.7
Relación hipsométrica de CN media	0.04
X centroide (m)	485795
Y centroide (m)	2162386
Z centroide (m)	2300
<b>De la red hídrica</b>	
Densidad de las corrientes intermitentes (corriente/km <sup>2</sup> )	0.59
Densidad de drenaje (m ha <sup>-1</sup> )	1.23
Orden de la red hídrica	4
Longitud de la red hídrica (km)	28.91
Pendiente promedio de la red hídrica (%)	6.77
Longitud del eje del río principal (km)	8450
Longitud directa del río principal (km)	7619
Coeficiente de sinuosidad hidráulico	1.11
Altitud inicial de Arroyo La Armella	2199
Altitud final de Arroyo La Armella	2789
Pendiente promedio del río principal (%)	6.98
Tiempo de concentración (h)	0.28

**Cuadro 52 Balance hídrico y de suelo**

<b>Balance hídrico y de suelo</b>	
Intercepción en el monte (m <sup>3</sup> )	1350880
Escurrimiento	3624216
Infiltración	238500
Evapotranspiración	845544
Infiltración subterránea	109207
Pérdida en drenaje urbano	10138219
Consumo urbano de agua en la subcuenca	41438357
Pérdida de suelo ton en la subcuenca.	31835

## **8.Bibliografía citada**

- APARICIO., M.F. (2005). **Fundamentos de hidrología de superficie.** Ed.Limus, Ciudad de México. 291 p.
- ARIZMENDI., E. (2017). **Análisis y evaluación de los servicios ambientales hidrológicos en la microcuenca lagunas de Zempoala.** Universidad Autónoma Chapingo. México. pp 10-120.
- BECERRA., M. (2005). **Escorrentía, erosión y conservación de los suelos.** Universidad Autónoma Chapingo. Universidad Autónoma Chapingo. México. pp 122-128.
- BLANEY., H. & CRIDDLE., W. (1950). **Determinating water requirements in irrigated areas from climatological an irrigation data.** USDA. Washington, D.C.
- BURCH., W.R. & GROVE., J.M. (1993). **Los árboles y la participación popular en la frontera urbana.** Unasylva: silvicultura urbana y periurbana. 44 (147): <http://www.fao.org/3/u9300s/u9300s05.htm>
- CABALLERO D., M. 1993. **Silvicultura Urbana en la Ciudad de México.** Unasylva: silvicultura urbana y periurbana. 44 (173): <http://www.fao.org/3/u9300s/u9300s06.htm#silvicultura%20urbana%20en%20la%20ciudad%20de%20m%C3%A9xico>
- CALVIJERO. 1985. **Historia Antigua de México.** Imprenta de Juan R. Navarro. México. pp 89.
- CHALLENGER., A. 2000. **Introducción a los Servicios Ambientales.** CONAFOR, JALISCO.37 p.
- CONAFOR. 2014. **Programa Nacional Hídrico 2014-2018.** SEDEMA.Ciudad de México. Pp 10-95
- CONAGUA .2018. **Red de Estaciones Climatológicas.** [Base de datos]. México. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica> (14 /11 /2020).
- CONAPO. 2015. **Anexo C: Metodología de estimación del Índice de Marginación Urbana.** [Base de datos]. México. [http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Indice\\_de\\_marginacion\\_urbana\\_2010](http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Indice_de_marginacion_urbana_2010) (07/11/2020).
- CONEVAL. 2020. **Grado de Rezago Social por AGEBS urbana, GAM 2010.**[Base de datos].[https://www.coneval.org.mx/Medicion/IRS/Paginas/Rezago\\_social\\_AGEBS\\_2010.aspx.](https://www.coneval.org.mx/Medicion/IRS/Paginas/Rezago_social_AGEBS_2010.aspx) (07/11/20)
- CONEVAL. 2015. **Pobreza a nivel municipio 2015.** [Base de datos]. [https://www.coneval.org.mx/coordinacion/entidades/DistritoFederal/Paginas/pobreza\\_municipal2015.aspx](https://www.coneval.org.mx/coordinacion/entidades/DistritoFederal/Paginas/pobreza_municipal2015.aspx) . (07/11/2020).
- CUSTODIO., E. & LLAMAS., M.R. 1983. **Hidrología subterránea.** Omega. Barcelona. Pp 160-180.
- DGAM. 2016. **Programa de Desarrollo de Gustavo A. Madero 2016-2018.**DGAM. Ciudad de México. Pp 18-32.
- GODF. 2006. **Decreto Expropiatorio De Cuatro Inmuebles Considerados De “Alto Riesgo Estructural” Decreto Por El Cual Se Modifica El Polígono Del Área**

- Natural Protegida, Con Carácter De Zona Sujeta A Conservación Ecológica, La Región Denominada “Sierra De Guadalupe”.** Distrito Federal. GODE. pp 95-98.
- HEYDEN,. 2002. **Jardines Botánicos Prehispánicos.** Arqueología Mexicana 57:18-23
- INEGI. 2014. **Cuautitlán.** Carta topográfica . E14A29.
- INEGI. 2020. **Mapa Digital de México.** [Base de datos]. México. <https://gaia.inegi.org.mx/desastres/?v=bGF0OjE5LjU0OTE4LGxvbjotOTkuMTUxNjMsejoxMA==>.(07/11/2020)
- INEGI. 2020. **Tabulado Básico.** [Base de datos]. México. <https://www.inegi.org.mx/app/tabulados/>.(07/11/2020).
- INGENIERÍA, I. D. 2014. **Revisión y evaluación en geotécnica y estructuras para resolver la problemática del transporte aéreo en el centro del País.** México. UNAM. 46 p
- JACOBO A., 1985. **Estudio petrogenético de las rocas de la porción central del Eje Neovolcánico.** México. Instituto Mexicano Minero. pp 85–115.
- MATUS., O. (2009). **Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica: aplicación práctica en la subcuenca del Río Jucapa.** Nicaragua. CATIE.pp 1- 15.
- MONTES L., L.M.A. *et al.*(2011).**Mapa Nacional de Erosión Potencial. Tecnología y Ciencia del Agua.** Agrosemex. México. pp 5-17.
- NANIA S., L. 2002. **Apuntes: La cuenca y procesos hidrológicos.** Estudios técnicos superiores de ingenieros de caminos, canales y puertos. Universidad de Granada. Granada. 42 p.
- RICHARD R., 1989. **Introduction to Rock Mechanics.** Wiley. New York. 58 p.
- ORTEGA F., N.M. 2020. **El agua en números.** En Casa del Tiempo UAM. México. 4 (41):39-40.  
[http://www.uam.mx/difusion/casadeltiempo/41\\_iv\\_mar\\_2011/casa\\_del\\_tiempo\\_eIV\\_num41\\_39\\_40.pdf](http://www.uam.mx/difusion/casadeltiempo/41_iv_mar_2011/casa_del_tiempo_eIV_num41_39_40.pdf)
- OLMSTED, F.L., **Notes on the Plan of Franklin Park and Related Matters,** City of Boston. Park Department, 1886, compilado en OLMSTED, F. L. (Editado por S.B. Sutton), Civilizing American Cities. Wrtting on City Landscapes. Da Capo Press. New York.1997.
- PACHECO H., *et al.*2014. SELPER. (2014). **Memorias del XVI simposio internacional. Sociedad Latinoamericana en percepción remota y sistemas de información espacial.** En Memorias del XVI simposio internacional de la conferencia de la Sociedad Latinoamericana en percepción remota y sistemas de información espacial. Medellín,Colombia. 1-6 Pp. <http://selper.org.co/papers-XVI-Simposio/Cartografia-Digital/CD5-Factor-C-de-la-USLE.pdf>
- PETTINATO. (1985). **Babilonia el centro del mundo.** Semiramide. Milán pp 133-136 .
- SCHROEDER, P., & DIXON., R. (1993). **Ordenación forestal y agrosilvicultura para reducir el dióxido de carbono atmosférico.** Unasylva: silvicultura urbana y periurbana. 44 (147): <http://www.fao.org/3/u9300S/u9300s0a.htm#TopOfPage>

SEDEMA. 2006. **Decreto que establece como área natural protegida el área conocida con el nombre de la Armella.** Distrito Federal. GODF. pp 8-12.

SEDEMA. 2016. **Aviso por el que se da a conocer el programa de manejo del área natural. Gaceta Oficial del Distrito Federal, con Categoría de Zona sujeta a Conservación Ecológica “Sierra de Guadalupe”.** Distrito Federal. GODF. pp 18-22.

THORNTHWAITE., C., & MATHER, R. (1955). **The water balance.** Publications in climatology, laboratory of climatology.Uppsala. pp 55-94.

VALERIO., V. C., & PALOMO., A.G. (2007). **Geología y procesos de remoción en masa asociados a un domo volcánico tipo coleé: cerro El Tenayo, Tlanepantla, Estado de México.** Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 59 (2): pp 183-201.

VALENZUELA A., A. 2015. **Bosque en la ciudad: la invención del urbanismo moderno en la Ciudad de México (1870-1930).** Les Cahiers ALHIM. 2015(29): pp 1-13.

QGIS Equipo de Desarrollo. 2020. Procesos. En: **Sistema de Información Geográfica QGIS 3.14.16.** Proyecto de Fundación Geoespacial de código abierto. (02/12/2020)