

8. Deforestación, erosión y crisis climática, Valles Centrales del Estado de Oaxaca, México



MIGUEL ALVARADO CARDONA*
J. AURELIO COLMENERO ROBLES**
OBED PARDO SANTOS***

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.251.09>

Resumen

Los Valles Centrales de Oaxaca se localizan en la zona central del Estado de Oaxaca, México. La crisis climática es una emergencia causada por calentamiento del planeta en las últimas décadas. La deforestación irracional ha originado que el suelo se erosione, reduciendo cantidad de carbono en el suelo, incrementándose la radiación solar y el CO₂, se planteó el objetivo proponer técnicas de la ingeniería naturalística y conservación de suelos para revertir la crisis climática. Se supone que la deforestación y la erosión del suelo contribuyen a la crisis climática. Para cumplir con el objetivo y probar la hipótesis, se aplicó un método integrado por la fase caracterización, diagnóstico y propuestas. La clase de erosión laminar muy fuerte es dominante 400 km² y 4.93% de la superficie, su erosión actual muy severa 243.60 ton/ha/año, la erosión severa y muy severa se observa en pastos y bosques, el 18.45% de los bosques se han talado. Se propone reforestación o forestación, cercas vivas, siembra al boleto, cultivos de cobertura, curvas

* Maestro en Ingeniería ambiental. Profesor-investigador del Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo del Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9747-260X> Correspondencia: maalvarado@ipn.mx

** Licenciado en Biología. Profesor del Instituto Politécnico Nacional Ciudad de México, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4959-7963>

*** Maestro en Administración y Políticas Públicas Educación. Profesor del Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo del Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4341-9368>

a nivel. Se concluye que los Valles Centrales de Oaxaca están severamente erosionado y talados, se cumple con el objetivo y se prueba la hipótesis.

Palabras clave: *Deforestación, Erosión de suelos, Crisis climática, Valles centrales, Oaxaca*

1. Introducción

Los Valles Centrales de Oaxaca se localizan en la porción central del estado, con una extensión de 330,495 hectáreas y 103 municipios. Se localizan entre el Nudo Mixteco, la Sierra de Juárez y la Sierra Madre del Sur. (WWF, Fundación Carlos Slim, s. f.)

1.1. Crisis climática

Es una situación actual de emergencia causada por el alarmante ritmo en el que se ha ido calentando el planeta en las últimas décadas. Un fenómeno que, según ha comprobado la ciencia, se debe principalmente a actividades humanas. (WWF, 2021)

Adicional al exceso de demanda de energía, el Gobierno Federal tiene el compromiso, a través de la *Ley de Transición Energética* (LTE) a incrementar la participación de energías limpias en la matriz eléctrica. Es decir, que, del total de la energía eléctrica generada, cada vez sea mayor la proporción que se genera de tecnologías verdes. Es decir, México no sólo tiene el reto de satisfacer una demanda creciente de energía, sino de hacerlo con medios limpios.

Para alcanzar niveles aceptables de CO₂ en la atmósfera es necesario la implementación articulada de acciones mitigantes; entre las que se encuentran; mejorar la eficiencia en la generación de energía; reemplazar fuentes de energía por otras con menores niveles de emisión de CO₂ y aplicar prácticas agrícolas que permitan almacenar CO₂ en el suelo.

En los suelos agrícolas, las pérdidas de carbono se deben principalmente a los procesos de erosión y de mineralización de la materia orgánica. Las

pérdidas de suelo por erosión van de 1 a 10 t/ha/año, y en casos extremos hasta 50 t/ha/año (Hernández 2014).

Cassamo et al. (2023) comenta que la agroforestales minimizan la incidencia de la radiación solar y regula la temperatura del aire, creando microclimas, mitiga el calor, mejora las propiedades físicas y químicas del suelo, secuestra carbono y materia orgánica.

Se ha considerado al suelo como un sumidero de carbono, debido a la capacidad que tienen para almacenar este elemento en forma orgánica (1500 Pg. a 1 m de profundidad y 2456 Pg. a 2 m de profundidad) e inorgánica (1700 Pg.), la cual sobrepasa considerablemente la que presentan la vegetación (650 Pg.) y la atmósfera (750 Pg.).

Acumular carbono orgánico en el suelo, significa mejorar las propiedades de los suelos y su capacidad para producir biomasa y paralelamente disminuir la contaminación de la atmósfera y la hidrósfera con compuestos de carbono (Pérez et al., 2021).

1.2. Problema

En los Valles Centrales de Oaxaca, al llevar acabo un cambio de uso del suelo de forestal a agrícola, ganadera o a un crecimiento irregular de la mancha urbana, en pendiente que van de ligera (-1% a muy fuerte más del 50%, la tala inmoderada de los bosques confines silvícolas o de leña para uso doméstico, sin aplicar técnicas de conservación de suelos, (Zabala, 2011), aunado esto la precipitación pluvial que fluctúan de moderadas a fuertes, lo anterior ha originado la reducción de la masa forestal, incremento el contenido de CO₂ en la atmósfera, erosión de suelos, aportando lo anterior a la crisis climática (Gaitán, 2017).

1.3. Hipótesis

La deforestación indiscriminada del bosque y la erosión del suelo alta o muy alta son factores que contribuyen a la crisis climática en los Valles Centrales del Estado de Oaxaca, México

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Proponer técnicas de la ingeniería naturalística y conservación de suelo para revertir la crisis climática.

1.4.2. Objetivos específicos

Mostrar las características de del clima, radiación solar, bosques y suelos y captura de carbono

1. Identificar el estado actual clima, radiación solar, bosques y suelo
2. Mostrar las propuestas para revertir la crisis climática

2. Metodología

La Crisis Climática está en función de seis variables clima, radiación solar, vegetación, suelo, uso del suelo, captura de carbono en el suelo.

2.1. Método

En esta investigación el método utilizado está integrado por las Fases Caracterización, Diagnóstico y Propuesta para revertir la Crisis Climática.

2.2. Fases Caracterización

Delimitación del área de estudio

Se empleó la cartografía de INEGI, (1988 y 2017), cartas TopográficaE14 D37, 47, 48, 57, 58, 59, 67 y 68, escala 1:50,000.

2.2.1. Clima

Se describió sus características considerando la cartografía de INEGI, (1987d). Carta de climas México escala 1:1000,000. INEGI, (1981d). Carta de precipitación total anual escala 1:1000,000. INEGI, (1981d). Carta de temperatura media anual escala 1:1000,000.

2.2.2. Radiación solar

Se redactó con base en la bibliografía.

2.2.3. Vegetación

Se describió utilizando la información del Proyecto Instituto Politécnico Nacional, (2019a). Diagnóstico de la erosión, base para la sustentabilidad del recurso suelo, estudio de caso Valles Centrales de Oaxaca, México, Clave SIP 20190072.

2.2.4. Suelo

Con la información de FAO, (2014b). Base Referencial Mundial del S2014. Actualización al 2015 y trabajo de campo.

2.2.5. Uso del suelo

Con bibliografía y trabajo de campo.

2.2.6. Captura de carbono en el suelo

Caracterizó con base a la bibliografía.

2.3. Diagnóstico

2.3.1. Radiación solar

Se caracterizó con base a la bibliografía.

2.3.2. Deforestación

Describió utilizando la información del Semarnat. (2021), (Torres, R, 2021). Periódico El imparcial, proyecto, (Proyecto Instituto Politécnico Nacional, 2019b). Diagnóstico de la erosión, base para la sustentabilidad del recurso suelo, estudio de caso Valles Centrales de Oaxaca, México, Clave SIP 20190072.

2.3.3. Erosión de suelos

Se determino con base a la información de SlidePlayer, (2018), Gaytán, (2017) Pedraza, (2015), Kirkby y Morgan (1984):

3. Desarrollo de la metodología

3.1. Fase de caracterización

3.1.1. Climas

En el área de estudio se observan los siguientes tipos de clima:

Cálido seco con lluvias en verano (BS1hw)

Clima donde las precipitaciones son escasas y erráticas con un período de lluvias en el verano y el resto del año es largo de marcada sequía; la temperatura media anual es de 20. 7°C y la precipitación media anual es de 746 mm. Este clima corresponde a la porción central y sureña del área de estudio, la precipitación total anual entre 600 a los 700 msnm, se localiza principalmente en los valles.

Semicálido subhúmedo con lluvias en verano A (C)(w0) (w)

En cuanto a su naturaleza térmica, se caracteriza por la existencia de una temperatura media anual entre 18 y 22°C. Dadas sus características de localiza entre las partes más bajas (valles), precipitación total anual de 700 a 800mm, se ubica en las sierras del entorno de los valles.

Templado subhúmedo C (w1) (w)

En general este clima se identifica por presentar una temperatura media en el mes más frío menor de 18 ° C precipitación del mes más húmedo en el verano mayor de diez veces la del mes más seco, precipitación del mes más seco menor de 40 mm, precipitación total anual de 800- 1200mm, se presenta en las sierras más alta contiguas a los valles, cartografía de INEGI, climas precipitaciones y temperaturas, Weather Spark (2024).

3.1.2. Radiación solar

La *radiación solar*. Según la *International Renewable Energy Agency* IRENA, (2015), México entre 15° y 35° de latitud, región considerada la más favorecida en recursos solares, donde se recibe diariamente en promedio, 5.5 Kwh/m² (la unidad de medición de radiación solar). Se observa que el Noroeste del país es la zona con mayor potencial, donde la radiación excede los 8 Kwh/m² en primavera y verano. Sin embargo, los puntos de demanda más altos son en el centro del país, lo que implica un reto/oportunidad para la infraestructura de transmisión de la CFE. IRENA, (2020).

De acuerdo con la *International Renewable Energy Agency*, México se localiza entre los 15° y 35° de latitud, esta región se encuentra entre las más favorecidas a nivel mundial con relación a los recursos solares. Aquí, en esta franja hay en promedio una radiación solar diaria de aproximadamente 5.5 kWh/m², unidad utilizada para medir el potencial solar (IRENA, 2015).

El noroeste del país presenta el mayor potencial solar con valores que superan los 8 kWh/m² durante las estaciones de primavera y verano. Sin embargo, los principales centros de demanda energética se concentran en el centro del país, esto representa un reto y a la vez una oportunidad para el desarrollo y fortalecimiento de la infraestructura de transmisión eléctrica de la Comisión Federal de Electricidad, CFE. (IRENA, 2020).

Diversas investigaciones señalan que este contexto favorece el aprovechamiento de la energía solar en México, siempre y cuando se acompañe de políticas públicas, planeación territorial e inversión en infraestructura adecuada (Limón, 2017). A escala regional, investigaciones como la de Acosta et al. (2017) destacan el potencial y el estado actual de la energía solar en Oaxaca, además de la viabilidad técnica del recurso y los desafíos asociados a su implementación.

Oaxaca no está considerado a nivel nacional como uno de los que aprovechan esta fuente de energía a pesar del potencial de radiación solar que tiene (mínima 4.4 kWh/m² en diciembre y máxima de 6 kWh/m² en mayo, (Global Solar Atlas, 2020), De los 570 municipios se identificaron 61 que de alguna manera tienen relación con la energía solar, hay 11 que tienen una radiación directa mayor a 6 kWh/m² por día, En la zona sur de los Valles Centrales la radiación solar varía de 4,5 a 6 KWh/m².

World Bank Group y Solargis (2020)

Como se ha mencionado, la *radiación solar* en el medio ambiente supone casi la totalidad de la captación, absorción y aprovechamiento de la energía del planeta entero. De tal manera, que uno de los ciclos sobre los cuales tienen más efecto este tipo de radiación, son los ciclos de nitrógeno y de fósforo. Un cambio en estos ciclos puede cambiar la productividad tanto en ecosistemas acuáticos, como en ecosistemas terrestres

CEUPE (s.f.). Cuáles son los efectos de la radiación solar en el medio ambiente.

3.1.3. Bosques y selvas

Bosques de pino

El bosque se caracteriza por la presencia del bosques y selvas, con rasgos en altitudes entre 1,500 y 2,500 msnm. El bosque de pino abierto es aquel cuya cobertura de copa oscila entre 10 y 40%. Las coberturas mayores del 40% constituyen el bosque de pino más conservado.

Bosques mixtos de pino-encino

En la región de los Valles Centrales de Oaxaca, el bosque mixto de pino-encino se caracteriza por una cobertura de copa que oscila entre 10 y 40%. Las especies más representativas de este tipo de vegetación corresponden principalmente a coníferas del género *Pinus*, como *Pinus oaxacana*, *Pinus pseudostrobus* y *Pinus patula*, asociadas con especies del género *Quercus*, entre ellas *Quercus laurina*, *Quercus rugosa* y *Quercus crassifolia*. Esta asociación vegetal se distribuye principalmente en las zonas montañosas de los municipios de Tlacolula y Teotitlán.

Bosque de encino

Esta comunidad vegetal se distribuye en zonas de baja a mediana altitud (800 a 1200 msnm), por lo general se presenta a manera de bosques abiertos compuestos por árboles de talla baja (menor a 15 m de altura). El estrato herbáceo presente no supera los 1.5 m de altura.

Selva tropical caducifolio

Se ubican en zonas muy frágiles y en condiciones climáticas que favorecen la desertificación. En el Bosque Tropical Caducifolio se han registrado alrededor de 6,000 especies de plantas. Casi el 40% de sus especies son endémicas, es decir solamente se encuentran en estos ecosistemas y están adaptadas a la sequía (Alvarado, 2024). Las Políticas Ambientales del Ordenamiento Ecológico, estudio de caso Municipio de Tequisquiapan, Estado de Querétaro, México Instituto Politécnico Nacional,

Pastizal inducido

Esta variante de pastizal puede ser el resultado del efecto de la alteración del Bosque Tropical Caducifolio, en particular en los Valles Centrales y de ciertas áreas con cultivos abandonadas donde el aspecto fisonómico del pastizal principalmente cespitoso.

3.1.4. Suelos

De acuerdo con la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo de la FAO (2014), actualizada al año 2015, de los 32 grupos de suelos de referencia

reconocidos a nivel global, en la región de los Valles Centrales de Oaxaca y su entorno se identifican 10 grupos de suelos que se describirán a continuación:

Acrisol

Suelo caracterizado por la presencia de un horizonte árgico que se desarrolla a una profundidad de hasta 100 cm, CIC (por NH_4OAc 1 M, pH 7), horizonte argico dentro de ≤ 50 cm, una saturación de bases efectiva, $(\text{Ca} + \text{Mg} + \text{K} + \text{Na})$ intercambiables/ $(\text{Ca} + \text{Mg} + \text{K} + \text{Na} + \text{Al})$ intercambiables; bases intercambiables por NH_4OAc 1 M (pH 7), Al intercambiable por KCl 1 M (sin buffer), de $< 50\%$: en la mitad o más de la parte entre 50 y 100 cm de la superficie del suelo mineral.

Cambisol

horizonte B cámbico que comienza a ≤ 50 cm de la superficie del suelo tiene su límite inferior a ≥ 25 cm de la superficie del suelo.

Fluvisol

Suelo con espesor mayor a 100 cm, compuesto por capas de espesor y color variable, de textura arenosa, contiene gravas, guijarros y piedras, horizonte Fluvico.

Kastañozem

Contiene un horizonte móllico y un horizonte cálcico o una capa con propiedades petrocálcicas que comienza a ≤ 50 cm debajo del límite inferior del horizonte móllico, y si estuviera presente, encima de una capa cementada o endurecida y una saturación de bases (por NH_4OAc 1 M, pH 7) de $\geq 50\%$ desde la superficie del suelo hasta el horizonte cálcico o la capa.

Leptosol

Tienen uno de los siguientes: a. roca continua o material duro técnico que comienza a ≤ 25 cm de la superficie del suelo, horizonte A Ocrico de color obscuro claro.

Luvisol

Otros suelos que tienen un horizonte A Ócrico de 29 cm de espesor color beige y B árgico que comienza a 29 cm hasta una profundidad de 150cm, de color rojo .

Phaeozem

Presenta horizonte A móllico de 35cm de espesor, una saturación de bases (por NH_4OAc 1 M, pH 7) de $\geq 50\%$ en todo el espesor hasta una profundidad de 100 cm de la superficie del suelo, material.

Regosol

Otros suelos con un horizonte A Ócrico que sobreyace a una capa dura o a una roca.

Umbrisol

Otros suelos que tienen un horizonte Úmbrico, Móllico u Hórtico, con una profundidad de 65 cm. una capa dura o a una roca.

Vertisol

Suelos que tienen un horizonte vértico que comienza a ≤ 100 cm de la superficie del suelo, más 30% de arcilla entre la superficie del suelo y el horizonte vértico en todo el espesor, grietas de expansión y contracción que comienzan en la superficie del suelo; una capa superficial de elementos estructurales granulares fuertes de ≤ 10 mm de tamaño (superficie self-mulching), costra superficial; y que se extienden hasta el horizonte vértico.

El relieve dominante es la sierra donde los suelos dominantes son los Luvisoles y Acrisoles en los valles se presentan los Vertisoles y Fluvisoles. Los bosques templados de pino y los matorrales cálidos también se ubican en las sierras

3.1.5. Uso del suelo y vegetación

Las actividades productivas que constituyen el sector rural son agricultura, ganadería en los valles, silvicultura y piscicultura en las montañas, las cuales, enfrentan importantes retos que, en términos generales por los procesos

productivos de baja productividad y rentabilidad, escasa comercialización, aprovechamiento no sustentable de los recursos naturales y conflictos sociales y agrarios.

En la Tabla 1, se observan el diferente tipo de uso del suelo, superficies y porcentajes:

Tabla 1. Usos del suelo y vegetación		
Uso del suelo	Superficie	Porcentaje
	(Km²)	
Agricultura	2 236.38	24
Áreas urbanas	125.57	1
Silvicultura bosque templado	513.97	5
Pastizal inducido	1 472.06	16
Silvicultura Bosque Tropical Caducifolio	726.81	8
Vegetación secundaria	4 366.74	46
	9 441.53	

Fuente: elaboración propia basada en López et al., 2017.

3.1.6. Captura de carbono en los suelos

El secuestro de carbono en el suelo es la remocion del carbono de la atmosfera mediante la fotosintesis de las plantas y su almacenamiento como formas de materia organica estable y de larga vida en el suelo. (López et al., 2017).

3.2. Fase de diagnóstico

3.2.1. Radiación

En la Tabla 2 se observa los valores de captación de radiación, absorción, disponibilidad, utilización y uso del suelo.

Tabla 2. Radiación solar

<i>Geoforma</i>	<i>Captación</i>	<i>Absorción %</i>	<i>Disponible</i> <i>Kwh/m²</i>	<i>Utilización</i>	<i>Uso del suelo</i> <i>vegetación</i>
Valles	5.5 Kwh/m ²	5	5.13	Vivienda 0,9 Paneles solare 0.5	Agricultura
Montañas bajas	4,6 Kwh/m ²	10	4.54	No	Bosque
Montanas altas	4,0 Kwh/m ²	15	3.4	No	bosque

Fuente: elaboración propia.

Acosta, L. et al. (2017b). Situación actual de la energía solar en Oaxaca, México.

3.3. Deforestación

En Oaxaca anualmente se deforestan entre 25 y 30 mil hectáreas de bosques principalmente en las regiones de la Sierra Sur y Mixteca, según datos de la delegación de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) (Torres, 2021).

Se reporta tala inmoderada de árboles en regiones de Oaxaca, las más afectadas son la Sierra Sur, los Valles Centrales y la Mixteca, asegura la Conafor.

El mapa del estado reporta zonas críticas en 24 municipios ubicados de la zona de los Chimalapas, en la Sierra Sur, Valles Centrales y la Mixteca, por tala ilegal de en bosques de Oaxaca.

La zona más deforestada se localiza al Sur del área de estudio, los puntos rojos donde la deforestación es más severa son los siguientes:

1. Sur este de Guadalupe Hidalgo
2. Oeste de Santa María Atzapa
3. Jalapa del Valle
4. Este de San Miguel Valle
5. Oeste de Zaachila
6. Santa Cruz Mixtepec
7. Norte de san miguel Tilquilapan

8. Oeste de santa cruz
9. San Jerónimo Taviche
10. Yaxe

3.3.1. Suelos

3.3.2. Erosión actual

En la Tabla 3, se tiene las clases de erosión actual, los valores de la pendiente, y pérdida de horizontes.

Tabla 3. Clases de erosión actual y pérdida de horizontes

<i>Clases de erosión Actual</i>	<i>Pendiente</i>	<i>Pérdida de horizonte</i>	<i>Superficie km²</i>
A Erosión no manifiesta.	1 y 3 %,	No se ha perdido ningún horizonte.	
A/B Erosión leve	2 a 40 %,	ha perdido parte del horizonte A, pero admite un 10% de su superficie total con clase A/B, cobertura más del 85%.	1284.00
B Erosión moderada.	8 a 80%,	Ha perdido hasta un 50 del horizonte A, pero tiene un 10ª un 25% de su superficie total con clase de erosión A o B, cobertura más del 75%.	1289.00
B/C Erosión severa	84 y 80%,	Este suelo ha perdido los horizontes A y B, quedando solamente el horizonte C, pero tiene de un 10 a un 25%de superficie total con clase de erosión A/B o B, cobertura más del 75%.	3150.00
Erosión muy severa C	80 a 100%	Se han perdido los horizontes A, B queda parte de C, o la roca o capa dura.	2020.00

Fuente: elaboración propia.

3.3.3. Formas de erosión del suelo

En la Tabla 4 contiene los 35 puntos estudiados, las formas de erosión, localización, superficies y porcentajes de cada uno de los puntos.

Tabla 4. Forma de erosión

<i>Punto núm.</i>	<i>Forma de erosión</i>	<i>Localización</i>	<i>Superficie km²</i>	<i>%</i>
1	Laminas ligera	Yaxe	167	2.06
2	Laminas moderada	Yaxe	200	2.46
3	Laminas fuerte	Yaxe	167	2.06
4	Laminas muy fuerte	Cerro Tultitlan del Valle	100	1.23
5	Láminas y cárcavas ligera	Este de Ajoqueso	134	2.06
6	Láminas y cárcavas moderada	Ayoquezco	167	2.06
7	Láminas y cárcavas fuerte	San Dionisio Ocotepec	234	2.06
8	Láminas y cárcavas muy fuerte	Oaxaca	400	4.93
9	Barrancos y cárcavas moderado	Buena vista	200	2.46
10	Barrancos y cárcavas laminas fuerte	San Andrés Etla	267	3.29
11	Barrancos cárcavas muy fuerte	San Andrés Etla	134	1.65
12	Barrancos cárcavas y láminas moderadas	Teotitlán del Valle	267	3.29
13	Barrancos cárcavas y láminas fuerte	San Andrés las Juntas	234	2.88
14	Barrancos cárcavas y láminas muy fuerte	San Miguel del Valle	334	4.12
15	Cárcavas y barrancos ligero	San Baltazar Guelavila	267	3.29
16	Cárcavas y barrancos moderado	Ayoquezco	200	2.46
17	Laminas cárcavas y barrancos ligera	San Andrés Tabiche	167	2.06
18	Laminas cárcavas y barrancos moderado	Ayoquezco	334	4.12
19	Laminas cárcavas y barrancos fuerte	San Andrés las Juntas	167	2.06
20	Laminas cárcavas y barrancos muy fuerte	Jalapa del Valle	267	3.29
21	Laminas barrancos y láminas ligera	Norte de San Francisco Telixtlahuaca	200	2.46
22	Laminas barrancos y cárcavas moderado	Oeste de San Miguel del Valle	267	3.29
23	Laminas barrancos y cárcavas fuerte	San Pablo Guila	300	3.7
24	Laminas barrancos y cárcavas muy fuerte	San Baltazar	334	4.12
25	Cárcavas barrancos muy fuerte	Sur de Santo Tomas Mazatepec	200	2.46
26	Cárcavas y barrancos fuerte	Teotitlán del Valle	167	2.06
27	Cárcavas y láminas moderadas	Santa María Azompa	134	1.65
28	Cárcavas fuertes	Santa Ana	200	2.46
29	Zona agrícola y cárcavas ligera	San Pablo Huixtepec	300	3.7
30	Zona agrícola y cárcavas moderada	Santiago Etla	367	4.53
31	Zona agrícola y cárcavas fuerte	Ayoquezco	200	2.46
32	Zona agrícola y cárcavas muy fuerte	Sn Martín Ticaljete	200	2.46

<i>Punto núm.</i>	<i>Forma de erosión</i>	<i>Localización</i>	<i>Superficie km²</i>	<i>%</i>
33	Barrancos y laminas moderado	San Dionisio Ocotepec	267	3.29
34	Cárcavas y láminas muy fuerte	Santo Tomas Mazatepec	300	3.7
35	Cárcavas y Barrancos moderadas	San Dionisio Ocotepec	200	2.46
Total				100

Fuente: Elaborado propia.

3.3.4. Velocidad y clases de erosión actual

Al aplicar los elementos de la formula se tienen la velocidad en Ton/ha/año (on que rapidez se están perdiendo los suelo) y la clase de Erosión (Tabla 5)

Tabla 5. Velocidad y clases de erosión actual

<i>Punto</i>	<i>R</i>	<i>K</i>	<i>LS</i>	<i>C</i>	<i>P</i>	<i>Velocidad Ton/ha/año</i>	<i>Clase de erosión</i>
1	800	0.27	3.54	0.001	1	114.70	Muy severa
2	700	0.47	0.63	0.001	1	31.91	Moderada
3	750	0.47	0.76	0.01	1	80.34	Severa
4	850	0.47	0.78	0.001	1	93.48	Severa
5	700	0.27	113.34	0.01	1	21.42	Moderada
6	800	0.27	12.03	0.01	1	25.98	Moderada
7	700	0.47	22.81	0.001	1	7.50	Ligera
8	750	0.47	3.28	0.01	1	11.28	Moderada
9	800	0.47	112.69	0.001	1	42.37	Moderada
10	700	0.37	73.32	0.001	1	18.98	Moderada
11	1000	0.27	112.69	0.001	1	30.42	Moderada
12	1000	0.27	112.69	0.001	1	30.42	Moderada
13	2400	0.27	22.81	0.001	1	14.78	Moderada
14	1700	0.37	73.32	0.001	1	46.11	Moderada
15	1000	0.37	112.69	0.001	1	41.69	Moderada
16	1600	0.37	73.32	0.001	1	43.40	Moderada
17	1000	0.37	112.69	0.001	1	41.69	Moderada
18	800	0.27	22.81	0.001	1	4.92	Ligera
19	700	0.27	22.81	0.001	1	4.31	Ligera
20	850	0.37	112.69	0.001	1	35.44	Moderada
21	800	0.37	112.69	0.001	1	33.35	Moderada

22	950	0.37	49.11	0.001	1	17.26	Ligera
23	800	0.27	1.49	0.01	1	0.32	Ligera
24	1000	0.27	22.81	0.001	1	6.15	Ligera
25	700	0.27	49.11	0.001	1	9.28	Ligera
26	800	0.37	9.30	0.01	1	27.52	Moderada
27	750	0.27	22.81	0.001	1	4.61	Ligera
28	700	0.27	12.03	0.10	1	227.36	Muy severa
29	1400	0.27	0.47	0.10	1	88.83	Severa
30	700	0.25	1.86	0.10	1	162.75	Muy severa
31	750	0.27	12.03	0.10	1	243.60	Muy severa
32	700	0.27	12.03	0.10	1	227.73	Muy severa
33	800	0.25	13.03	0.001	1	92.40	Severa
34	800	0.37	91.87	0.001	1	27.19	Moderada
35	1700	0.36	58.90	0.001	1	36.04	Moderada

Fuente: elaborado por los autores de la investigación.

3.3.5. Valores de profundidad y materia orgánica de los suelos

En la Tabla 6 se observa valores de profundidad, materia orgánica de los suelos y horizontes

Tabla 6. Valores de profundidad y materia orgánica de los suelos

<i>Suelo</i>	<i>Profundidad</i> <i>cm</i>	<i>Materia</i> <i>orgánica %</i>	<i>Perdida de horizonte</i>	<i>Uso del</i> <i>suelo</i>	<i>Contenido de carbono</i> <i>en los suelos</i> <i>%</i>
Acrisol	100	1.1		Bosque	0,63
Cambisol	100	1.05		Bosque	0.6
Fluvisol	100	2.19	No se ha perdido horizonte	Agricultura	1.68
Kastañozem	100	mar-50		Bosque	2,03
Leptosol	45	1,70		Pastoreo	0.98
Luvisol	100	1.23		Bosque	0.71
Phaeozem	100	2.5		Bosque	1.45
Regosol	42	0,75		Pastoreo	0.43
Umbrisol	100	1,90		Pastoreo	1.1
Vertisol	100	2,14	No se ha perdido horizonte	Agricultura	1.72

Fuente: elaboración propia.

4. Resultados

4.1. Uso del suelo

En la Tabla 1 se observa que el uso del suelo dominante es la agricultura con una superficie de 2 236.38 Km² equivalente a un 24 %, los bosques y selvas ocupan una superficie de 1240.78 Km² (13%).

4.2. Radiación solar

En la Tabla 2 se observa que las zonas de mayor radiación solar es los valles 5.5 Kwh/m² y las montañas alta de más absorción 15%, , la disponibilidad es alta en los valles 5,27, así como el uso en calentar el agua y paneles solares, en general el uso de la radiación sol es mínima comparada con Francia que es más chica, al reflejas la radiación a la atmosfera en los valles la temperatura se incrementa, modificando el micro clima.

4.3. Deforestación

La tasa de deforestación a nivel nacional es 1.98 millones de hectáreas por año, en el estado 25 y 30 mil hectáreas por año y en los valles centrales 35,000 a 40,000 hectáreas por año, en los valles se tiene 20 zonas deforestadas principalmente al Sur de la Ciudad de Oaxaca, sobre todo en bosque de encino y pino.

4.3.1. Erosión actual, pérdida de horizontes

A) Erosión no manifiesta. Pendiente 1 y 3 %, No se ha perdido ningún horizonte.

A/B) Erosión leve, Pendiente 2 a 40 %, se ha perdido parte del horizonte A, pero admite un 10% de su superficie total con clase A/B, cobertura más del 85%, superficie 1284,00, Km².

B) Erosión moderada, Pendiente 8 a 80%, Ha perdido hasta un 50 del horizonte A, pero tiene un 10% a 25% de su superficie total con clase de erosión A o B, cobertura más del 75%, superficie 1289.00 Km².

B/C) Erosión severa, Pendiente 84 y 80%, Este suelo ha perdido los horizontes A y B, quedando solamente el horizonte C, pero tiene de un 10 a un 25% de superficie total con clase de erosión A/B o B, cobertura más del 75%, superficie 3150.00 Km².

C) Erosión muy severa, se ubica en pendiente de más del 100%, ha perdido los horizontes A, B, puede quedar parte de C, la roca o capa dura ocupa una superficie de 2020.00 Km².

4.4. Clases de Erosión actual y formas de erosión

La clase erosión severa es la que predomina 3150.00 Km² esta clase ha perdido los horizontes A y B, solamente queda el C y la muy severa ocupa una superficie de 2020 Km² lo único que tiene es parte del horizonte C, la roca o una capa dura. (Tabla 3).

4.4.1. Clases de erosión actual

De los 35 puntos seleccionados la erosión moderada es la dominante ya que tiene el 51.43% y una velocidad de 46.11 ton/ha/año, la ligera a le corresponde a un segundo lugar con un porcentaje de 22,85%, con velocidad 9.28 / ha/año, el tercer lugar la muy severa 14,29%, su velocidad es de 93.48/ha/año y el último lugar severa 11.42%, con una velocidad de pérdida de suelo de 243.60 (Tabla 4).

4.5. Velocidad y clases de erosión actual

El valor de la velocidad máxima es de 243.60 ton/ha/año corresponde a una clase muy severa, precipitación total anual mayor 700 mm, la velocidad mínima es de 0,32 ton/ha/año, su clase es ligera la precipitación mayor a 800 mm (Tabla 5).

4.6. Captura de carbono

En el caso de México, se estima que durante el periodo 2003 a 2006, las emisiones promedio nacionales de bióxido de carbono (CO_2) asociadas al cambio de uso del suelo forestal ascendieron a 7 189 Giga gramos (Gg) CO_2 por año. Los suelos dominantes son los Luvisoles y Acrisoles, en los valles se presentan los Vertisoles y Fluvisoles. Los bosques templados de pino y los matorrales cálidos también se ubican en las sierras.

Los suelos que contienen más materia orgánica son lo Kastañozem y los Phaeozem, a una profundidad de un metro tiene 3,5% (2.03% de carbono), los Regosoles y Leptosoles contiene 0,75% de materia orgánica y (0,43% de carbono) (Tabla 6).

Con la deforestación se reduce la absorción del CO_2 , por lo tanto este compuesto permanece en la atmósfera, si el suelo se erosiona ya no existe captura de carbono se pierde materia orgánica y se sigue acumulando CO_2 en la atmósfera esto a la crisis climática.

5. Propuestas

Para recuperar el área erosionada y la deforestación y contribuir a revertir la crisis clima, se proponen las siguientes técnicas de la Ingeniería Naturalística y Conservación de suelos.

5.1. Deforestación

5.1.1. Reforestación

Con vegetación nativa de la zona: cortinas rompeviento, siembras al boleó, entramado sencillo o de doble pared, emparrillado sencillo o doble.

5.1.2. Forestación

Principalmente con vegetación que se adapte a las condiciones actuales de clima y suelo:

Con vegetación nativa de la zona o inducida: cortinas rompeviento, siembras al boleó, entramado de doble pared, emparrillado doble.

5.2. Erosión de suelos

5.2.1. Material vegetal:

Cercas vivas, revegetación en los taludes, cultivos de cobertura, rotación de cultivos, franjas en contorno, entramados, siembras al boleó.

5.2.2. Otro tipo de material:

Terrazas, presas de gavión, labranza mínima. Trincheras, tabla estacada de metal, cercas muertas de piedra o metal.

Al proponer la forestación y revegetación en el furo habrá mayor absorción de CO₂ y con la aplicación de las técnicas de conservación de suelos se recuperará este recurso y la captura de carbono será mayor, así mismo se reducirá CO₂ en la atmósfera contribuyendo esto a revertir la crisis climática.

6. Conclusiones

En los Valles Centrales de Oaxaca la erosión y deforestación son significativa.

En el área de estudio deforestación indiscriminada y la erosión del suelo alta o muy alta contribuyen a la crisis climática en los Valles Centrales del Estado de Oaxaca, México, por lo tanto, prueba la hipótesis y se cumplen con los objetivos.

En los resultados se observa que al quitar la vegetación y no llevar a cabo un manejo adecuado del suelo, se incrementa la erosión potencial.

Actualmente se están perdiendo los suelos con una velocidad de 875.77 ton/ha/año.

En lo futuro si se pierde la vegetación y no se aplican técnicas de conservación de suelos la erosión será más del doble de 4165 ton/ha/año.

Es necesario revertir la erosión del suelo, aplicando políticas de restauración a este recurso natural.

7. Recomendaciones

En valles centrales de Oaxaca es necesario realizar investigación con mayor profundidad sobre radiación, captura de carbono, contenidos de materia orgánica en los suelos y relacionarlo con la deforestación y erosión de suelos.

8. Referencias

- Acosta, L., et. al, (2017). *Situación actual de la energía solar en Oaxaca*, México. <https://ru.iiec.unam.mx/5946/1/4.%20088-Acosta-Garc%C3%ADa-Fern%C3%A1ndez.pdf>
- Acosta, L. D., García, I. A., y Fernández, J. L. (2022). Situación actual de la energía solar en Oaxaca, México. En J. F. Sarmiento y M. C. Valles (Coords.), *Escenarios regionales de la dicotomía entre sustentabilidad ambiental y aprovechamiento de los recursos naturales* (pp. 557–570). UNAM-AMECIDER.
- Cassamo, et. al, (2023), Impact of climate changes in the suitable areas for *Coffea arabica* L. production in Mozambique: Agroforestry as an alternative management system to strengthen crop sustainability. (Vol. 346, p. 2). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016788092200490X>

- FAO. (2015). *World Reference Base for Soil Resources 2014: International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps* (Update 2015).
- Gaitán, (2017). Global Solar Atlas, (2020) "Solar Gis", <https://globalsolaratlas.info/map?c=17.205082,-96.740112,9&m=site&s=16.751948,-96.447601> Fecha de consulta 20.10. XX.
- INEGI, (2020). Censo de población y vivienda 2020, entidad Oaxaca, Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=20#tabMCcollapseIndicadores> Fecha de consulta 08.05.XXI
- INEGI. (1988). *Cartas topográficas, escala 1:50 000: E14-D37, E14-D47, E14-D48, E14-D57, E14-D58, E14-D59, E14-D67 y E14-D68*.
- INEGI. (1988 y 2017). *Cartas E14 D37, 47, 48, 57, 58, 59, 67 y 68, escala 1:50,000*
- INEGI. (2002). *Marco Geoestadística Municipal, versión 3. 1*, Clave geoestadística 20565, *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Villa de Zaachila, Oaxaca*,
- INEGI. (2017). *Cartas topográficas, escala 1:50 000: E14-D37, E14-D47, E14-D48, E14-D57, E14-D58, E14-D59, E14-D67 y E14-D68*.
- Instituto Politécnico Nacional (IPN). (2019a). *Diagnóstico de la erosión, base para la sustentabilidad del recurso suelo: Estudio de caso Valles Centrales de Oaxaca, México*. [Proyecto de investigación, Clave SIP 20190072]. Instituto Politécnico Nacional.
- IRENA, (2020) Post-Covid recovery: An agenda for resilience, development, and equality. International Renewable Energy Agency: Abu Dhabi, 2020, junio, <https://www.irena.org/publications/2020/Jun/Post-COVID-Recovery>
- Kirkby y Morgan, (1984). *Erosión de suelos* (pp. 375), Editorial Limusa.
- Limón, A. (2017, 2 de junio). *Energía solar en México: su potencial y aprovechamiento*. Centro de Investigación Económica y Presupuestaria (CIEP). <https://ciep.mx/energia-solar-en-mexico-su-potencial-y-aprovechamiento/> CIEP
- López, M., Sánchez García, R. B., Contreras Hinojosa, J. R., Armenta Bojórquez, A. D., y Félix Herrán, J. A. (2017). Captación de carbono en suelos asociados a *Pinus greggii* Engelm. y *Pinus oaxacana* Mirov. en la Mixteca Alta, Oaxaca. *Ecología Aplicada*, 16(2), 127–133. <https://doi.org/10.21704/REA.V16I2.1016>
- Pérez et al. (2021) Secuestro de carbono por el suelo y sus fracciones en agroecosistemas tropicales de la región costa ecuatoriana, 2(13). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202021000200141#:~:text=El%20secuestro%20de%20carbono%20en,larga%20vida%20en%20el%20suelo.
- Pedraza, (2015). Estimación de la erosión hídrica mediante dos métodos, Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo en la Cuenca del Río Chapingo Texcoco. [https://www.google.com/search?q=Pedraza%2C+\(2015\).+Estimaci%C3%B3n+de+la+erosi%C3%B3n+h%C3%ADdrica+mediante+dos+m%C3%A9todos%2C+Ecuaci%C3%B3n+Universal+de+la+P%C3%A9rdida+de+Suelo+en+la+Cuenca+del+R%C3%ADo+Chapingo+Texcoco&oq=Pedraza%2C+\(2015\).+Estimaci%C3%B3n+de+la+erosi%C3%B3n+h%C3%ADdrica+mediante+dos+m%C3%A9todos%2C+Ecuaci%C3%B3n+Universal+de+la+P%C3%A9rdida+de+Sue](https://www.google.com/search?q=Pedraza%2C+(2015).+Estimaci%C3%B3n+de+la+erosi%C3%B3n+h%C3%ADdrica+mediante+dos+m%C3%A9todos%2C+Ecuaci%C3%B3n+Universal+de+la+P%C3%A9rdida+de+Suelo+en+la+Cuenca+del+R%C3%ADo+Chapingo+Texcoco&oq=Pedraza%2C+(2015).+Estimaci%C3%B3n+de+la+erosi%C3%B3n+h%C3%ADdrica+mediante+dos+m%C3%A9todos%2C+Ecuaci%C3%B3n+Universal+de+la+P%C3%A9rdida+de+Sue)

- lo+en+la+Cuenca+del+R%C3%ADo+Chapingo+Texcoco&gs_lcrp=EgZjaHJvbWU-yBggAEEUYOdIBCTQwNTRqMGoxNagCCLACAQ&sourceid=chrome&ie=UTF-8
- SICS, ISRIC y FAO, (2016). Base Referencial Mundial Recurso Suelo, Roma Base referencial mundial. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/dea292cb-370d-46c7-a44d-59a617953c3b/content>
- Torres (2021). Periódico El imparcial [https://imparcialoaxaca.mx/oaxaca/570777/tala-ilegal-arrasa-con-bosques-de-oaxaca/#:~:text=En%20Oaxaca%20anualmente%20se%20deforestan,%2C%20Recursos%20Naturales%20\(Semarnat\)](https://imparcialoaxaca.mx/oaxaca/570777/tala-ilegal-arrasa-con-bosques-de-oaxaca/#:~:text=En%20Oaxaca%20anualmente%20se%20deforestan,%2C%20Recursos%20Naturales%20(Semarnat)).
- World Bank Group y Solargis. (2020). *Global Solar Atlas*. World Bank Group. <https://globalsolaratlas.info>
- Zabala, (2011). Degradación y Conservación de suelo, en la Cuenca del Río Grijalva, Tabasco https://www.researchgate.net/publication/293944208_Degradacion_y_Conservacion_de_Suelos_en_la_Cuenca_del_Rio_Grijalva_Tabasco
- WWF, Fundación Carlos Slim, (s, f.). Valles Centrales. https://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/fs09_oaxaca_valles.pdf
- WWF, (2021), La crisis climática: ¿Cómo avanza y qué ha hecho el mundo para enfrentar el cambio climático. <https://www.wwf.org.mx/?371230/Lo-que-debes-saber-de-la-COP26-la-conferencia-global-mas-importante-para-enfrentar-el-cambio-climatico>