



# ALTOZANO

LA NUEVA MORELIA

## DTU

MODALIDAD A

## CAPÍTULO XIII.

SERVICIOS AMBIENTALES QUE SERÁN AFECTADOS  
POR EL CAMBIO DE USO DE SUELO PROPUESTO.

## PROYECTO:

CAMBIO DE USO DE SUELO EN  
TERRENOS FORESTALES PARA  
EL FRACCIONAMIENTO  
BOSQUE MONARCA.

SEGA

PLANEACIÓN Y DESARROLLO



## ÍNDICE

<b>XIII. SERVICIOS AMBIENTALES QUE SERÁN AFECTADOS POR EL CAMBIO DE USO DE SUELO PROPUESTO .....</b>	<b>8</b>
XIII.1 PROVISIÓN DE AGUA EN CANTIDAD Y CALIDAD .....	9
XIII.1.1 PROVISIÓN DE AGUA EN CALIDAD.....	11
XIII.1.2 Provisión de agua en cantidad.....	11
XIII.2 CAPTURA DE CARBONO Y COMPONENTES NATURALES .....	33
XIII.2.1 Captura de carbono en la CHF .....	33
XIII.2.2 Captura de carbono en el CUSTF.....	36
XIII.3 COMPONENTES NATURALES .....	39
XIII.4 GENERACIÓN DE OXIGENO .....	41
XIII.4.1 Generación de oxígeno en la CHF.....	43
XIII.4.2 Generación de oxígeno en el CUSTF .....	43
XIII.5 AMORTIGUAMIENTO DEL IMPACTO DE LOS FENÓMENOS NATURALES ..	45
XIII.6 MODULACIÓN O TERMORREGULACIÓN CLIMÁTICA .....	46
XIII.7 PROTECCIÓN DE LA BIODIVERSIDAD, DE LOS ECOSISTEMAS Y FORMAS DE VIDA .....	47
XIII.8 EROSIÓN HÍDRICA .....	49
XIII.8.1 Determinación de pérdida de suelo en la CHF mediante USLE .....	50
XIII.8.2 Determinación de pérdida de suelo en el área sujeta a cambio de uso de suelo .....	52
XIII.8.3 Pérdida de suelo potencial al ejecutar el CUSTF.....	53
XIII.8.4 Pérdida de suelo potencial al ejecutar el custf y aplicar las medidas de compensación.....	55
XIII.9 IDENTIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES AMBIENTALES CRÍTICOS DEL SISTEMA DE FUNCIONAMIENTO DE LA CUENCA HIDROLOGICO FORESTAL.....	57

XIII.10	DIAGNÓSTICO AMBIENTAL.....	60
---------	----------------------------	----

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla XIII—1. Volumen de agua precipitado en la CHF .....	14
Tabla XIII—2. Valores del parámetro K Factor K de acuerdo con el tipo de uso de suelo y vegetación. ....	16
Tabla XIII—3. Uso de suelo y vegetación, superficie y valor de K para cada una de ellas.	17
Tabla XIII—4. Balance hídrico de la CHF.....	19
Tabla XIII—5. valor de la precipitación.....	20
Tabla XIII—6. Balance hidrológico en condiciones actuales en el área propuesta para el CUSTF.....	23
Tabla XIII—7. Evapotranspiración según cubierta vegetal. ....	25
Tabla XIII—8. Balance hidrológico al ejecutar el CUSTF .....	28
Tabla XIII—9. Balance hidrológico aplicando la medida de mitigación.....	31
Tabla XIII—10. Balance hidrológico en tres escenarios actual, al ejecutar el CUSTF y al aplicar la medida de mitigación. ....	32
Tabla XIII—11. Carbono almacenado en los diferentes tipos de vegetación en México....	33
Tabla XIII—12. Carbono almacenado en diferentes tipos de cultivo .....	34
Tabla XIII—13. Estimación de captura de carbono por uso de suelo y vegetación en la CHF. ....	35
Tabla XIII—14. Cálculo de captura de carbono actual del área sujeta a CUST.....	36
Tabla XIII—15. Cálculo de captura de carbono al ejecutar el CUSTF .....	37
Tabla XIII—16. Cálculo de captura de carbono al ejecutar las medidas de compensación en el CUSTF.....	37
Tabla XIII—17. Potencial de captura de carbono en los tres escenarios del área sujeta a CUSTF .....	38
Tabla XIII—18. Cálculo del potencial de generación de Oxígeno en la CHF.....	43
Tabla XIII—19. Generación actual de O2 en el área sujeta a CUSTF.....	44

---

Tabla XIII–20. Generación de O <sub>2</sub> al ejecutar el CUSTF con medidas de mitigación.....	44
Tabla XIII–21. Pérdida de suelo actual en la CHF. ....	51
Tabla XIII–22. Clasificación de los rangos de erosión hídrica, aplicando la ecuación RUSLE, para la interpretación de los mapas* .....	51
Tabla XIII–23. Pérdida de suelo actual en la superficie sujeta a cambio uso de suelo.....	53
Tabla XIII–24. Pérdida de suelo al ejecutar el cambio uso de suelo. ....	54
Tabla XIII–25. Diferencia entre erosión potencial y erosión actual en la superficie sujeta a cambio uso de suelo. ....	54
Tabla XIII–26. Valor del Factor R, K y LS para el área sujeta a cambio uso de suelo.....	55
Tabla XIII–27. Pérdida de suelo por erosión hídrica al contemplar la reforestación de especies nativas en una superficie similar a la sujeta a CUSTF. ....	56

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura XIII–1. Balance hidrológico según el tipo de cubierta vegetal (%).....	26
-------------------------------------------------------------------------------	----

## FUNDAMENTO JURÍDICO

La integración de este capítulo tiene por objeto dar cumplimiento a lo dispuesto por el “ACUERDO por el que se expiden los lineamientos y procedimientos para solicitar en un trámite único ante la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales las autorizaciones en materia de impacto ambiental y en materia forestal que se indican y se asignan las atribuciones correspondientes en los servidores públicos que se señalan”, en cuyo artículo Primero establece lo siguiente:

**Primero.** *Se establecen los trámites unificados de aprovechamiento forestal y de cambio de uso de suelo forestal, este último en sus modalidades A y B ...*

El presente trámite único se presenta en su modalidad A con fundamento en lo dispuesto por la fracción IV del Artículo Segundo y conteniendo la información señalada por el Artículo Sexto del Acuerdo en cuestión, los cuales a letra dicen:

**Segundo.** *Para los efectos del presente Acuerdo se entenderá por:*

...

**IV.** *Trámite unificado de cambio de uso de suelo forestal, modalidad A: es el que integra en un solo procedimiento administrativo el trámite relativo a la autorización en materia de impacto ambiental para las obras o actividades descritas sólo en la fracción VII del artículo 28 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y el correspondiente a la autorización de cambio de uso de suelo forestal previsto en el artículo 117 de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable.*

...

**Sexto.** *El documento técnico unificado correspondiente al trámite unificado de cambio de uso de suelo forestal modalidad A, contendrá la información indicada en los artículos 117 de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (actualmente Artículo 93 de Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 5 de junio de 2018).y 121 de su Reglamento (actualmente Artículo 141 del Nuevo reglamento de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable publicado en el Diario Oficial de la Federación el 9 de diciembre de 2020), así como la señalada en el artículo 12, fracciones I, III, V y VIII, del Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Evaluación del Impacto Ambiental”.*

Con base en lo anterior el presente capítulo se centrará en dar cumplimiento a lo dispuesto por la Fracción XI del Artículo 141 del Nuevo Reglamento de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, que determina lo siguiente:

**XI.** Servicios ambientales que serán afectados por el cambio de uso de suelo propuesto

...

De conformidad con lo anterior, en este apartado se cuantifican los servicios ambientales de la Cuenca Hidrológico Forestal (CHF), y se realizan los análisis a través de los cuales se demuestra que de autorizarse el CUSTF en una superficie de 17.16 hectáreas, no se afectará la provisión o calidad de los servicios ambientales de la CHF en la cual se localiza el Fraccionamiento Bosque Monarca.

### XIII. SERVICIOS AMBIENTALES QUE SERÁN AFECTADOS POR EL CAMBIO DE USO DE SUELO PROPUESTO

Los procesos ecológicos que ocurren en los ecosistemas permiten que estos ofrezcan servicios de los cuales, a su vez, dependen interacciones, sistemas, individuos y comunidades. Estos servicios fueron considerados inagotables, lo cual dista de ser cierto, por lo que actualmente las sociedades y los estados han considerado imperante la conservación y uso sustentable de los ecosistemas a efecto de que éstos mantengan la posibilidad de proveerlos. Ante la complejidad de valorar todos los servicios existentes, la fracción XXXIX del Artículo 7 de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable define y acota su alcance jurídico de la siguiente manera:

*“XXXIX. Servicios Ambientales: Los que brindan los ecosistemas forestales de manera natural o por medio del manejo sustentable de los recursos forestales, tales como: la provisión del agua en calidad y cantidad; la captura de carbono, de contaminantes y componentes naturales; la generación de oxígeno; el amortiguamiento del impacto de los fenómenos naturales; la modulación o regulación climática; la protección de la biodiversidad, de los ecosistemas y formas de vida; la protección y recuperación de suelos; el paisaje y la recreación, entre otros.”*

En continuidad con lo anteriormente expuesto y de acuerdo con las disposiciones de Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, se identifican ocho categorías de servicios ambientales, donde se resalta la importancia de éstos para el funcionamiento macroecosistémico y su relación con el bienestar social y económico. En estas ocho categorías se identificaron los siguientes servicios ambientales:

- Provisión de agua en calidad y cantidad;
- Captura de carbono, contaminantes y componentes naturales;
- Generación de oxígeno;
- Amortiguamiento del impacto de los fenómenos naturales;
- Modulación o termorregulación climática;
- Protección de la biodiversidad, de los ecosistemas y formas de vida;
- Protección y recuperación de suelos;
- El paisaje y la recreación

El proyecto de *Cambio de Uso de Suelo en Terrenos Forestales para el Fraccionamiento Bosque Monarca* contempla una serie de medidas preventivas, de mitigación, compensación y restauración, para disminuir cualquier riesgo que pudiera provocarse en los servicios ambientales.

Los ecosistemas de una cuenca brindan numerosos servicios ambientales, no sólo a la zona en la que se encuentran, sino también a regiones cercanas y, de manera indirecta, al resto del país. Entre estos servicios se cuentan la regulación de los ciclos biogeoquímicos (captura de carbono y generación de oxígeno), el mantenimiento de los flujos hidrológicos, la recarga de los acuíferos, el mantenimiento de la productividad biológica y la biodiversidad, la regulación climática, la oferta de agua dulce, la protección y recuperación de suelos, el amortiguamiento del impacto de los fenómenos naturales, el reciclaje de nutrientes y la generación de espacios habitables para las poblaciones humanas

### **XIII.1 PROVISIÓN DE AGUA EN CANTIDAD Y CALIDAD**

Es uno de los servicios ambientales más importantes, ya que el agua es un elemento esencial en todo ser vivo, y de su calidad y cantidad, dependerá la

abundancia y salud de la flora y fauna del lugar y la disponibilidad para uso del ser humano.

Este servicio ambiental está relacionado con la función de la vegetación como reguladora del agua y su calidad. Muchos de los patrones hídricos observados en la región forestal analizada, al igual que la cantidad y calidad del agua que en ella circula, dependen de su relieve, tamaño, ubicación geográfica, tipo de suelo y, por supuesto, del conjunto de los ecosistemas que la conforman (FAO, 2011).

Los múltiples estratos de la vegetación captan el agua de la lluvia y la canalizan lentamente por hojas, ramas y troncos hacia el suelo, de manera que regulan el escurrimiento pluvial y evitan que el suelo se sature. A su vez, la escasa hojarasca y suelos altamente permeables permiten la filtración rápida hacia el subsuelo generando un reservorio de agua en el freático somero. Chow, *et al* (1994), mencionan que el coeficiente de escurrimiento está en función del tipo de suelo y cubierta vegetal presente, de tal manera que una zona con suelo de textura arenosa y vegetación en abundancia tendrá menor capacidad de escurrimiento (mayor filtración) que una zona carente de vegetación donde no existen horizontes edáficos.

El retiro de la vegetación potencializa el escurrimiento de agua en la Cuenca Hidrológica Forestal (CHF), proceso que incide en el balance hídrico de la misma al variar el suministro gradual de agua al acuífero. Sin embargo, tomando en cuenta las dimensiones del proyecto, con respecto a la de la unidad hidrológico-forestal que se analiza, se entiende que el CUSTF en las superficies propuestas no podrá alterar el flujo ni cantidad disponible de agua de acuerdo con lo siguiente:

### **XIII.1.1 Provisión de agua en calidad**

El proyecto propone medidas importantes para disminuir los posibles riesgos en cuanto a la disminución de la calidad de este servicio ambiental, las cuales se enlistan a continuación: Mantenimiento a los vehículos y equipo utilizados en las actividades de desmonte y despalme, para evitar posibles riesgos de vertidos de hidrocarburos; instalación y uso de letrinas portátiles en proporción de una por cada 15 trabajadores, para evitar el fecalismo al aire libre, y la prohibición durante la ejecución de las actividades de CUSTF, de realizar cualquier vertido de aguas residuales o residuos sólidos al suelo. Adicionalmente, se propone llevar a cabo la reforestación de 17.34 ha bosque de encino para favorecer la calidad del agua y la infiltración en la CHF, todas estas medidas se pueden consultar a detalle en el Capítulo XI del presente DTU-A.

### **XIII.1.2 Provisión de agua en cantidad**

Para la provisión de agua en cantidad como servicio ambiental, es la cuenca hidrológica forestal (CHF) la que conforma la unidad de elementos bióticos y abióticos que forman un ecosistema, y los procesos generados por la interacción de todos ellos es lo que hace posible el poder tener este servicio. Por ello la estructura, el funcionamiento y la conservación son determinantes para lograr satisfacer las demandas del servicio, tal como la disponibilidad de agua potable para consumo humano, o para actividades productivas como la agropecuaria.

Es de suma importancia mencionar que existen algunas variables que inciden en la provisión de agua en cantidad en una unidad ambiental, estas son:

- ✓ Precipitación del área.
- ✓ Formas del relieve (geomorfología).
- ✓ Tipo de vegetación (cobertura).
- ✓ Uso de suelo (si se altera, remueve o disminuye la vegetación, la evapotranspiración cambia).

De acuerdo con la variación de estas variables, cambia la cantidad de agua que se evapotranspira, así como la cantidad de agua que escurre y el volumen que se infiltra.

A continuación, se presenta la estimación de la Infiltración y el coeficiente de escurrimiento de acuerdo con las variables descritas anteriormente, para la superficie de CUSTF que se solicita mediante el presente DTU-A.

### **XIII.1.2.1 Balance hídrico actual en la cuenca hidrológica forestal (CHF)**

Para la estimación del Balance Hídrico en la superficie de la Cuenca Hidrológica Forestal (CHF) se siguió la metodología que se describe a continuación:

El polígono que conforma la CHF tiene una superficie de 6,979.08 ha, las cuales, según la Serie VII de la carta temática de Uso de Suelo y Vegetación obtenida de la página de INEGI (escala, 1:250,000) y con algunas correcciones de acuerdo con los datos tomados en campo, en esta se encuentran ocho tipos de vegetación y/o usos de suelo, mismos que se incluyen en la siguiente tabla.

Tabla 1. Tipos de vegetación y/o usos de suelo presentes en la CHF

N o	Uso de Suelo y Vegetación	Clave	Presencia de fase sucesional	Superficie		
				m <sup>2</sup>	ha	%
1	Agricultura de riego anual	ARA	N/A	615,036.00	61.50	0.88
2	Agricultura de temporal anual	ATA	N/A	8,963,440.00	896.34	12.84
3	Asentamientos humanos	AH	N/A	16,126,800.00	1,612.68	23.11
4	Bosque cultivado	BC	N/A	982,270.00	98.23	1.41
5	Bosque de encino	BE	Secundaria Arbustiva	19,036,800.00	1,903.68	27.28
6	Bosque de encino-pino	BEP	Sin presencia	19,083,700.00	1,908.37	27.34
7	Pastizal cultivado	PC	N/A	1,170,740.00	117.07	1.68
8	Pastizal inducido	PI	N/A	3,812,030.00	381.20	5.46
<b>Total</b>				<b>69,790,816.00</b>	<b>6,979.08</b>	<b>100.00</b>

Para determinar la precipitación media anual (dato que se utiliza para el cálculo del balance hidrológico), se llevó a cabo un análisis de la información generada por las estaciones climatológicas más próximas al Área del Proyecto, dichas estaciones se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 2. Estaciones meteorológicas que se encuentran en el municipio de Morelia, Michoacán, aledañas a la CHF y al área de CUSTF del proyecto fraccionamiento Monarca

Clave	Estación	Coordenadas		Altitud (msnm)	Precipitación
		Latitud	Longitud		
16080	Morelia (OBS)	19.7000	-101.1833	1,913	796.5
16081	Morelia	19.6886	-101.1761	1,908	770.55
16055	Jesús de Monte	19.6517	-101.1514	2,180	1,085.7
16114	San Miguel de Monte	19.6203	-101.1342	1,965	882.2
<b>Promedio</b>					<b>883.74</b>

De acuerdo con de las cuatro estaciones meteorológicas registradas, el promedio de la precipitación media anual para la CHF es de 883.74 mm.

La fórmula que se utilizó para desarrollar el cálculo del balance hídrico de la CHF es la siguiente:

$$BH = P - (Eva + Esc + Inf)$$

Donde:

BH = Balance Hídrico de la CHF

P = Precipitación (volumen precipitado) de la CHF

Eva = Evapotranspiración de la CHF

Esc = Escurrimiento superficial de la CHF

#### XIII.1.2.1.1 Volumen de agua precipitado (P) en la CHF

El volumen de agua que precipita en la CHF (sin realizar el CUSTF), se estima teniendo en cuenta la superficie de la propia CHF y los valores de la precipitación

media anual. En la siguiente tabla se muestran los resultados del cálculo de la precipitación para la cuenca delimitada.

Tabla XIII—1. Volumen de agua precipitado en la CHF

Precipitación (mm)	Precipitación (m)	Área (Ha)	Área (m <sup>2</sup> )	Precipitación (m <sup>3</sup> )
883.74	0.884	6,979.08	69,790,816.00	61,676,935.73

#### XIII.1.2.1.2 Evapotranspiración (Eva) en la CHF.

Para estimar la evapotranspiración, se consideró la temperatura media normal anual de 17.75 °C y la precipitación media anual de 883.74 mm. A partir de ello se utilizaron fórmulas para estimar la evapotranspiración real, las fórmulas de Turc, modificadas por Cruz-Falcón (2007):

$$Et = P / (1.5 + (P/L)^2)^{0.5}$$

Dónde:

P= precipitación en mm.

L= 300+25T+0.05T<sup>2</sup> (condición válida para P> 0.31L; si P< 0.31L, entonces ET=P)

T= temperatura en °C.

Para la validación de la formula calculamos primeramente L, mediante la fórmula:

$$L = 300 + 25T + 0.05 T^2$$

$$L = 300 + 25(17.75) + 0.05(17.75)^2$$

$$L = 759.50$$

Condición válida para P> 0.31L

Sustituyendo  $883.74 > 0.31(759.50)$

Resultado  $883.74 > 235.45$

Toda vez que la precipitación es mayor que 0.31 por L, la condición es válida para el uso de esta fórmula.

$$Et = P / (1.5 + (P/L)^2)^{0.5}$$

Sustituyendo  $Et = (883.74) / (1.5 + (883.74/759.50)^2)^{0.5}$

Resultado  $Et = 523.12 \text{ mm} = 0.52 \text{ m}$

$$Et \text{ CHF} = Et \text{ calculado} * Sup \text{ CHF}$$

$$Et \text{ en Cuenca Hidrológica Forestal} = 36,509,226.23 \text{ m}^3$$

#### XIII.1.2.1.3 Ecurrimiento (Esc) en la CHF

En el numeral A.1.2.1 de la NOM-011-CONAGUA-2015 se especifica que el método indirecto para determinar el volumen medio anual de escurrimiento es a través de la siguiente expresión:

$$Vm = (A) (C) (Pm)$$

Dónde:

Vm = Volumen anual de escurrimiento natural de la cuenca (m<sup>3</sup>)

A = Área de la cuenca (m<sup>2</sup>)

C = Coeficiente de escurrimiento (adimensional)

Pm = Precipitación anual de la cuenca (m)

Para aplicar esta fórmula, es indispensable determinar cada uno de los factores que en ella intervienen y para lograrlo deben seguirse los pasos siguientes:

Para obtener el Ce se utilizó la expresión empírica de la NOM-011-CNA-2000 (DOF 2002), con las modificaciones realizadas por Cruz-Falcón (2007) al parámetro K:

$$C_e = K (P - 250 / 2000) + (K - 0.15 / 1.5) \text{ para } K > 0.15$$

$$C_e = K (P - 250 / 2000) \text{ para } K \leq 0.15$$

Dónde:

$C_e$  = coeficiente de escurrimiento anual (adimensional).

$K$  = parámetro que depende del uso y tipo de suelo.

$P$  = precipitación

Para el cálculo del coeficiente de escurrimiento se utiliza un parámetro  $K$  que depende del tipo y uso de suelo, así como de la precipitación. Para este proceso se utilizó la información vectorial de las cartas temáticas de edafología y de uso de suelo y vegetación de la Serie VII del INEGI.

Tabla XIII—2. Valores del parámetro  $K$  de acuerdo con el tipo de uso de suelo y vegetación

Uso y Tipo de Suelo	Muy permeable	Medianamente permeable	Poco permeable
Área agrícola	0.24	0.27	0.3
Pastizal	0.2	0.24	0.3
Mezquital	0.12	0.22	0.26
Edificaciones	0.28	0.29	0.32
Vegetación halófito	0.28	0.29	0.32
Matorral	0.16	0.23	0.28
Selvas/bosques	0.14	0.22	0.27
Áreas desnudas	0.26	0.28	0.3

Como se observa en la tabla anterior, en la Cuenca Hidrológica Forestal existen diferentes tipos de vegetación con superficie y valor de  $K$  diferente.

Para estimar el valor de K de la Cuenca Hidrológica Forestal se calcula una media ponderada de sus valores, de acuerdo con el tipo de vegetación y la superficie que ocupa, mediante la siguiente formula:

$$K_p = ((K_{v1} * Sup_1) + (K_{v2} * Sup_2) + (K_{v3} * Sup_3) + \dots + (K_{vn} * Sup_n)) / Sup_t$$

Dónde:

K<sub>p</sub>= Valor de K ponderado.

K<sub>v1</sub> = Valor de K en la vegetación 1

Sup<sub>1</sub> = Superficie de la vegetación 1 en la CHF

K<sub>v2</sub> = Valor de K en la vegetación 2

Sup<sub>2</sub> = Superficie de la vegetación 2 en la CHF

K<sub>vn</sub> = Valor de K en la vegetación n

Sup<sub>n</sub> = Superficie de la vegetación n en la CHF

Sup<sub>t</sub> = Superficie total de la CHF

Los resultados obtenidos del valor de K ponderado se presentan en la tabla siguiente:

Tabla XIII—3. Uso de suelo y vegetación, superficie y valor de K para cada una de ellas

Uso de suelo y vegetación CHF	Superficie	Porcentaje	Valores de K	K ponderado
Agricultura de riego anual (ARA)	615,036.00	0.88%	0.3	184510.80
Agricultura de temporal anual (ATA)	8,963,440.00	12.84%	0.3	2689032.00
Asentamientos humanos (AH)	16,126,800.00	23.11%	0.32	5160576.00
Bosque cultivado (BC)	982,270.00	1.41%	0.28	275035.60
Bosque de encino (BE)	19,036,800.00	27.28%	0.28	5330304.00
Bosque de encino-pino (BPE)	19,083,700.00	27.34%	0.28	5343436.00
Pastizal cultivado (PC)	1,170,740.00	1.68%	0.3	351222.00
Pastizal inducido (PI)	3,812,030.00	5.46%	0.30	1143609.00
	<b>69,790,816.00</b>	<b>100.00%</b>		<b>0.29</b>

Toda vez que, en todos los usos de suelo y vegetación se obtuvieron valores de K ponderada superiores a 0.15 (para  $K < 0.15$ ), se utilizó la siguiente fórmula:

$$Ce = k (P - 250 / 2000) + (K - 0.15 / 1.5) \text{ Para } K > 0.15$$

$$Ce = 0.29 ((883.74 - 250) / 2000) + ((0.29 - 0.15) / 1.5)$$

$$Ce = 0.059$$

Para determinar el volumen medio anual de escurrimiento se emplea la siguiente expresión:

$$Vm = (A) (C) (Pm)$$

Sustituyendo:

$$Vm = (69,790,816.00 \text{ m}^2) (0.059) (0.884 \text{ m})$$

$$Vm = 3,642,836.51 \text{ m}^3$$

#### XIII.1.2.1.4 Infiltración (Inf) en la CHF.

Para el cálculo de la infiltración se empleó la siguiente expresión  $I = P - Et - Es$  (Castany 1971), es decir a la precipitación se le restan los valores de evapotranspiración y escurrimiento y se obtiene como resultado el volumen que se infiltra.

$$I = P - Et - Es$$

Dónde:

I = Volumen de Infiltración de la Cuenca Hidrológica Forestal  $\text{m}^3$

P = Volumen de Precipitación de la Cuenca Hidrológica Forestal  $\text{m}^3$

Et = Volumen de Evapotranspiración de la Cuenca Hidrológica Forestal  $\text{m}^3$

Es = Volumen medio anual de Escurrimiento de la Cuenca Hidrológica Forestal  $\text{m}^3$

$$I = 61,676,935.73 - 36,509,226.23 - 3,642,836.51$$

$$I = 21,524,873.00 \text{ m}^3$$

En la siguiente tabla se presentan los valores de precipitación, escurrimiento, evapotranspiración e infiltración, además del valor resultante del cálculo del balance hidrológico:

Tabla XIII—4. Balance hídrico de la CHF

Variable	Volumen en m <sup>3</sup>	%
Precipitación CHF	61,676,935.73	100.00%
Evotranspiración (Et)	36,509,226.23	59.19%
Escurrecimiento (Es)	3,642,836.51	5.91%
Infiltración (I)	21,524,873.00	34.90%
BH CHF	0.00	0.00

### **XIII.1.2.2 Balance hídrico actual en el área sujeta a CUSTF.**

Los polígonos sujetos a cambio de uso de suelo tienen una superficie de **17.16 ha**, y presentan vegetación de bosque de encino. Siguiendo la misma metodología utilizada para la CHF, se calculó el Balance Hidrológico del área sujeta a CUSTF suponiendo que ya se hubiera realizado la remoción de la vegetación forestal. La fórmula que se utilizó para desarrollar el cálculo del balance hídrico del proyecto es la siguiente:

$$BH = P - (Eva + Esc + Inf)$$

Donde:

BH = Balance Hídrico en la superficie de CUSTF

P = Precipitación (volumen precipitado) en la superficie de CUSTF

Eva = Evapotranspiración en la superficie de CUSTF

Esc = Escurrecimiento superficial en la superficie de CUSTF

Inf = Infiltración en la superficie de CUSTF

### XIII.1.2.2.1 Volumen de agua precipitado (P) en la superficie de CUSTF

El volumen de agua que precipita a nivel del área de CUSTF se estimó con base en la precipitación media anual y con base en la superficie solicitada para el cambio de uso de suelo, para lo cual se determinó que el valor de la precipitación corresponde a lo siguiente:

Tabla XIII—5. valor de la precipitación

Precipitación (mm)	Precipitación (m)	Área (Ha)	Área (m <sup>2</sup> )	Precipitación (m <sup>3</sup> )
883.74	0.884	17.16	171,582.73	151,634.52

### XIII.1.2.2.2 Evapotranspiración (Eva) en el CUSTF

Para estimar la evapotranspiración, se consideró la temperatura media normal anual de 17.16 °C y la precipitación media anual de 883.74 mm. A partir de ello se utilizaron fórmulas para estimar la evapotranspiración real, las fórmulas de Turc, modificadas por Cruz-Falcón (2007):

$$Et = P / (1.5 + (P/L)^2)^{0.5}$$

Dónde:

P= precipitación en mm.

L= 300+25T+0.05T<sup>2</sup> (condición válida para P> 0.31L; si P< 0.31L, entonces ET=P)

T= temperatura en °C.

Para la validación de la formula calculamos primeramente L mediante la fórmula:

$$L = 300 + 25T + 0.05 T^2$$

$$L = 1,058.81$$

Condición válida para  $P < 0.31L$

Sustituyendo  $883.74 < 0.31(1,058.81)$

Resultado  $883.74 < 328.23$

Toda vez que la precipitación es mayor que 0.31 por L, la condición es válida para el uso de esta fórmula.

$$Et = P / (1.5 + (P/L)^2)^{0.5}$$

Resultado  $Et = 596 \text{ mm} = 0.60 \text{ m}$

$$Et \text{ CUSTF} = Et \text{ calculado} * Sup \text{ CUSTF}$$

$$Et \text{ en el área de CUSTF} = 102,310.04 \text{ m}^3$$

### XIII.1.2.2.3 Ecurrimiento (*Esc*) en el CUSTF

En el numeral A.1.2.1 de la NOM-011-CONAGUA-2015 se especifica que el método indirecto para determinar el volumen medio anual de escurrimiento es a través de la siguiente expresión:

$$Vm = (A) (C) (Pm)$$

Dónde:

$Vm$  = Volumen anual de escurrimiento natural del área de CUSTF ( $\text{m}^3$ ).

$A$  = Área de CUSTF ( $\text{m}^2$ ).

$C$  = Coeficiente de escurrimiento (adimensional).

$Pm$  = Precipitación anual del área de CUSTF (m).

Para aplicar esta fórmula, es indispensable determinar cada uno de los factores que en ella intervienen y para lograrlo deben seguirse los pasos siguientes:

Para obtener el  $C_e$  se utilizó la expresión empírica de la NOM-011-CNA-2000 (DOF 2002), con las modificaciones realizadas por Cruz-Falcón (2007) para el parámetro  $K$ :

$$Ce = K (P - 250 / 2000) + (K - 0.15 / 1.5) \text{ para } K > 0.15$$

$$Ce = K (P - 250 / 2000) \text{ para } K \leq 0.15$$

Dónde:

Ce = coeficiente de escurrimiento anual (adimensional).

K = parámetro que depende del uso y tipo de suelo.

P = precipitación.

Para el cálculo del coeficiente de escurrimiento se utiliza un parámetro K que depende del tipo y uso de suelo, así como de la precipitación. Para este proceso se utilizó la información vectorial de las cartas temáticas de edafología y de uso de suelo y vegetación de la Serie VII del INEGI.

Toda vez que el valor de K en los usos de suelo y vegetación, el valor de K ponderada es mayor a 0.15 (para  $K < 0.15$ ), se utiliza la fórmula:

$$Ce = k (P - 250 / 2000) + (K - 0.15 / 1.5) \text{ Para } K > 0.15$$

$$Ce = 0.28 ((883.74 - 250) / 2000) + ((0.28 - 0.15) / 1.5)$$

$$Ce = 0.052$$

Para determinar el volumen medio anual de escurrimiento se empleó la siguiente expresión:

$$Vm = (A) (C) (Pm)$$

Sustituyendo:

$$Vm = (171,582.73 \text{ m}^2) (0.052) (0.884 \text{ m})$$

$$Vm = 7,853.211 \text{ m}^3$$

#### XIII.1.2.2.4 Infiltración en el área de CUSTF

Para el cálculo de la infiltración mediante la siguiente expresión  $I=P-Et-Es$  (Castany 1971), es decir, a la precipitación se le restan los valores de evapotranspiración y escurrimiento y se obtiene como resultado el volumen que se infiltra.

$$I = P - Et - Es$$

Dónde:

I= Volumen de Infiltración del del área de CUSTF m<sup>3</sup>

P=Volumen de Precipitación del área de CUSTF m<sup>3</sup>

Et=Volumen de Evapotranspiración del área de CUSTF m<sup>3</sup>

Es=Volumen medio anual de Escurrimiento del área de CUSTF m<sup>3</sup>

$$I = P - Et - Es$$

$$I = 151,634.52 - 102,310.04 - 7,853.211$$

$$I = 41,471.27m^3$$

En la siguiente Tabla se presentan los valores actuales de precipitación, escurrimiento, evapotranspiración e infiltración, como también el valor resultante del cálculo del balance.

Tabla XIII—6. Balance hidrológico en condiciones actuales en el área propuesta para el CUSTF

Variable	Volumen en m <sup>3</sup>	%
Precipitación CUSTF	151,634.52	100.00%
Evotranspiración (Et)	102,310.04	67.47%
Escurrimiento (Es)	7,853.21	5.18%
Infiltración (I)	41,471.27	27.35%
BH CUSTF	0.00	0.00%

### **XIII.1.2.3 Balance hídrico al ejecutar el CUSTF.**

La fórmula que se utilizó para desarrollar el cálculo del balance hídrico de la superficie de CUSTF es la siguiente:

$$BH = P - (Eva + Esc + Inf)$$

Donde:

BH = Balance Hídrico al ejecutar el CUSTF

P = Precipitación (volumen precipitado) al ejecutar CUSTF

Eva = Evapotranspiración al ejecutar CUSTF

Esc = Escurrimiento superficial al ejecutar CUSTF

Inf = Infiltración al ejecutar CUSTF

#### *XIII.1.2.3.1 Volumen de Agua Precipitado (P) al ejecutar el CUSTF*

Para la estimación del volumen que precipita, se empleó el mismo valor obtenido anteriormente, ya que no se verá modificado por el cambio uso de suelo:

$$P = 151,634.52 \text{ m}^3$$

#### *XIII.1.2.3.2 Evapotranspiración (Eva) al ejecutar el CUSTF*

Para la estimación del volumen que evapotranspira se empleó el mismo valor obtenido anteriormente, ya que no se verá modificado por el cambio uso de suelo:

$$Eva = 102,310.04 \text{ m}^3$$

#### *XIII.1.2.3.3 Escurrimiento (Esc) al ejecutar el CUSTF*

Toda vez que para estimar el escurrimiento del área del proyecto una vez ejecutado el CUSTF, no se tienen estudios de referencia a nivel local y regional en condiciones similares —en cuanto a la precipitación, la vegetación y la estructura del suelo que presenta el área del proyecto— que nos permitan determinar si habrá un aumento o disminución de la evapotranspiración una vez removida la vegetación, utilizaremos la información disponible de otros estudios realizados.

En el estudio de Impactos Hidrológicos realizado por la Universidad de Barcelona y el Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREF), se realizó

la modelación del escurrimiento para diferentes tipos de cubierta vegetal, mediante el modelo GOTILWA+, Balance hidrológico. A continuación, se muestran los valores de escurrimiento obtenidos en dicho estudio:

Tabla XIII—7. Evapotranspiración según cubierta vegetal

<b>Evapotranspiración según cubierta vegetal</b>	
<b>Cubierta vegetal</b>	<b>Escurrecimiento (%)</b>
Pinar con sotobosque arbustivo	0.41
Pinar con herbazal	0.84
Matorral	0.61
Pasto	5.29
Espartal	51.63
<b><u>Suelo desnudo</u></b>	<b><u>8.33</u></b>

Figura 4. Reparto y flujo del agua según el tipo de cobertura en Ventós (Alicante) (Joan Bellot [et al.], Universidad de Alicante).

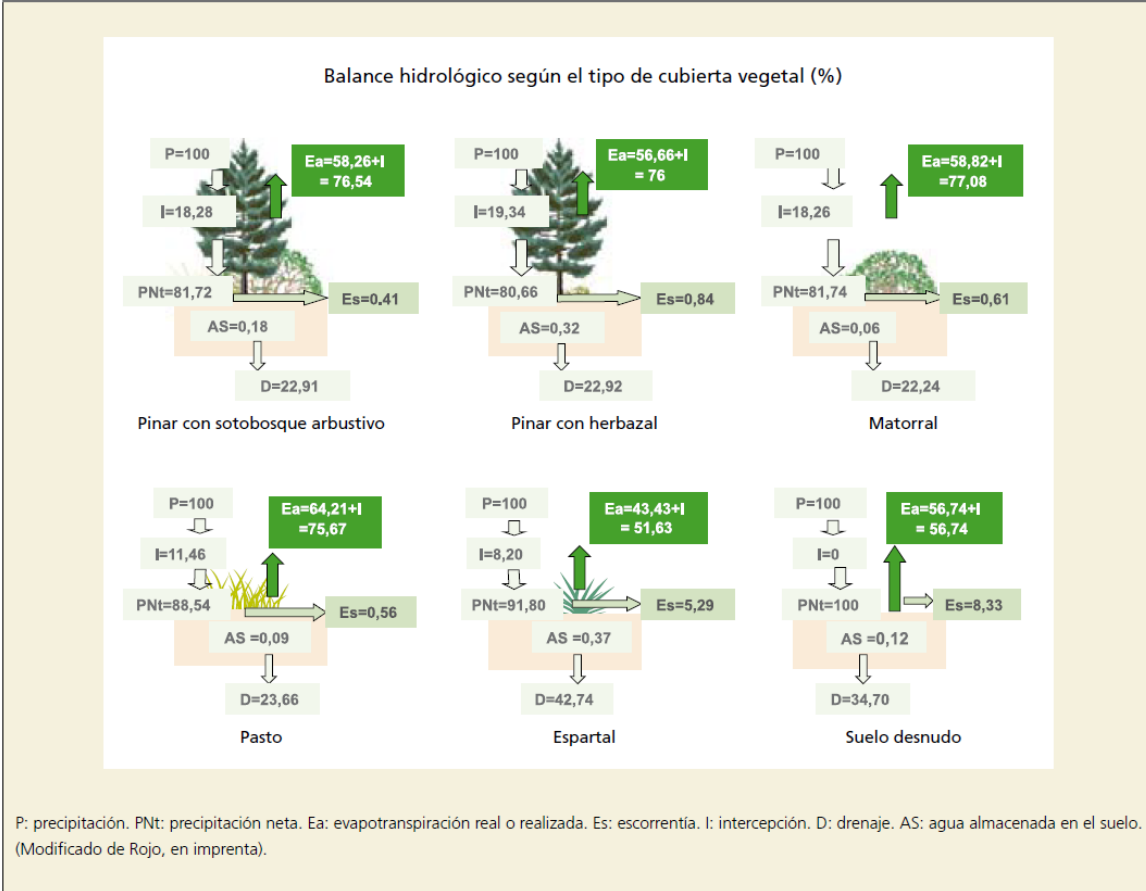


Figura XIII–1. Balance hidrológico según el tipo de cubierta vegetal (%)

Para determinar el volumen medio anual de escurrimiento se utilizó la siguiente expresión (NOM-011-CONAGUA-2015):

$$Vm = (A) (C) (Pm)$$

Dónde:

$Vm$  = Volumen anual de escurrimiento natural ( $m^3$ )

$A$  = Área de CUSTF ( $m^2$ )

$C$  = Coeficiente de escurrimiento (adimensional)

$Pm$  = Precipitación anual (m)

Al ejecutar la remoción de la vegetación forestal en la superficie propuesta para cambio uso de suelo de terrenos forestales, la nueva condición del área será la de suelo desnudo.

El coeficiente de escurrimiento para el área del proyecto una vez ejecutado el CUSTF será de 0.0833 (8.33%); este valor fue tomado del estudio de Impactos Hidrológicos realizado por la Universidad de Barcelona y el Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREF), previamente citado.

$$Vm = (A) (C) (Pm)$$

$$Vm = (171,582.73) * (0.083) * (0.884)$$

$$Vm = 12,631.156 \text{ m}^3$$

#### XIII.1.2.3.4 Infiltración (I) al ejecutar el CUSTF

La infiltración puede ser calculada por métodos indirectos usando la información conocida del balance hidrológico, esto a partir de la diferencia resultante entre la precipitación total menos el volumen medio de evapotranspiración, menos el escurrimiento.

$$\text{Infiltración} = P - ETR - Vm$$

Dónde:

P = Precipitación total (m<sup>3</sup>)

ETR = Evapotranspiración (m<sup>3</sup>)

Vm = Volumen de escurrimiento (m<sup>3</sup>).

Empleando la fórmula anterior, la infiltración en el área sujeta a CUSTF es la siguiente:

$$\text{Infiltración} = (151,634.52) - (102,310.04) - (12,631.156) \text{ m}^3$$

$$\text{Infiltración} = 36,693.33 \text{ m}^3$$

En la siguiente tabla se presentan los valores de precipitación, escurrimiento, evapotranspiración e infiltración previstos una vez que sea ejecutado el cambio de uso de suelo de terrenos forestales, así como también, el valor resultante del cálculo del balance.

Tabla XIII—8. Balance hidrológico al ejecutar el CUSTF

Variable	Volumen en m <sup>3</sup>	%
Precipitación al ejecutar CUSTF	151,634.52	100.00%
Evotranspiración (Et)	102,310.04	67.47%
Escurrimiento (Es)	12,631.16	8.33%
Infiltración (I)	36,693.33	24.20%

#### **XIII.1.2.4 Balance hídrico con la aplicación de medidas de mitigación (reforestación de 17.34 has) en el CUSTF**

Se propone como medida de mitigación la reforestación de 17.34 de bosque de encino, superficie mayor a la que se pretende afectar por el CUSTF (17.16 ha). La reforestación se llevará a cabo dentro de la CHF donde se pretende realizar el cambio uso de suelo, y también, en la Zona de Restauración y Protección Ambiental Loma de Santa Maria. Considerando que se tendrá una ganancia de 0.18 ha (1,817 m<sup>2</sup>) de superficie forestal adicional una vez realizada la reforestación, los cálculos del balance hidrológico que se muestran a continuación se efectuaran restando a la superficie de afectación por CUSTF, la superficie excedente (17.16 ha menos 0.18 ha); teniendo ello en cuenta, la superficie para llevar a cabo los cálculos será de 169,765.46 m<sup>2</sup> (16.98 ha).

#### XIII.1.2.4.1 *Volumen de Agua Precipitado (P) con medidas de mitigación*

Para la estimación del volumen que precipita la superficie de CUSTF se empleó el mismo valor obtenido anteriormente, ya que no se verá modificado por el cambio uso de suelo y efectuando las medidas de mitigación.

$$P = 151,634.52 \text{ m}^3$$

#### XIII.1.2.4.2 *Evapotranspiración (Eva) con medidas de mitigación*

Para la estimación del volumen que evapotranspira la superficie de CUSTF se empleó el mismo valor obtenido anteriormente, ya que no se verá modificado por el cambio uso de suelo:

$$Eva = 102,310.04 \text{ m}^3$$

#### XIII.1.2.4.3 *Escurrimiento (Esc) con medidas de mitigación (reforestación de especies nativas)*

En el numeral A.1.2.1 de la NOM-011-CONAGUA-2015 se especifica que el método indirecto para determinar el volumen medio anual de escurrimiento es mediante la siguiente expresión:

$$Vm = (A) (C) (Pm)$$

Dónde:

Vm = Volumen anual de escurrimiento natural de la reforestación (m<sup>3</sup>)

A = Área de la reforestación (m<sup>2</sup>)

C = Coeficiente de escurrimiento (adimensional)

Pm = Precipitación anual del área de la reforestación (m)

Para aplicar esta fórmula, es indispensable determinar cada uno de los factores que en ella intervienen y para lograrlo deben seguirse los pasos siguientes:

Para obtener el  $C_e$  se utilizó la expresión empírica de la NOM-011-CNA-2000 (DOF 2002), con las modificaciones realizadas por Cruz-Falcón (2007) al parámetro  $K$ :

$$C_e = K (P - 250 / 2000) + (K - 0.15 / 1.5) \text{ para } K > 0.15$$

$$C_e = K (P - 250 / 2000) \text{ para } K \leq 0.15$$

Dónde:

$C_e$  = coeficiente de escurrimiento anual (adimensional).

$K$  = parámetro que depende del uso y tipo de suelo.

$P$  = precipitación

Para el cálculo del coeficiente de escurrimiento se utiliza un parámetro  $K$  que depende del tipo y uso de suelo, así como de la precipitación. Para este proceso se utilizó la información de la vegetación que se quiere establecer (bosque de encino) y de los datos levantados en campo para el tipo de suelo

Toda vez que el valor de  $K$  es mayor a 0.15 (para  $K < 0.15$ ), se utiliza la fórmula:

$$C_e = k (P - 250 / 2000) + (K - 0.15 / 1.5) \text{ Para } K > 0.15$$

$$C_e = 0.28 ((883.74 - 250) / 2000) + ((0.28 - 0.15) / 1.5)$$

$$C_e = 0.052$$

Para determinar el volumen medio anual de escurrimiento es mediante la siguiente expresión:

$$V_m = (A) (C) (P_m)$$

Sustituyendo:

$$V_m = (169,765.48) (0.052) (0.884 \text{ m})$$

$$V_m = 7,770.04 \text{ m}^3$$

#### XIII.1.2.4.4 Infiltración (Inf) con medidas de mitigación (reforestación con especies nativas)

La infiltración puede ser calculada por métodos indirectos usando la información conocida del balance hidrológico, esto a partir de la diferencia resultante entre la precipitación total menos el volumen medio de evapotranspiración, menos el escurrimiento.

$$\text{Infiltración} = P - ETR - Vm$$

Dónde:

P = Precipitación total (m<sup>3</sup>)

ETR = Evapotranspiración (m<sup>3</sup>)

Vm = Volumen de escurrimiento (m<sup>3</sup>).

Empleando la fórmula anterior, la infiltración al aplicar la medida de mitigación es la siguiente:

$$\text{Infiltración} = (151,634.52 \text{ m}^3) - (101,226.45 \text{ m}^3) - (7,770.04 \text{ m}^3)$$

$$\text{Infiltración anual} = 42,638.04 \text{ m}^3 \text{ al aplicar la reforestación con especies nativas}$$

En la siguiente Tabla se presentan los valores de precipitación, escurrimiento, evapotranspiración e infiltración al aplicar la medida de mitigación como también el valor resultante del cálculo del balance.

Tabla XIII—9. Balance hidrológico aplicando la medida de mitigación.

Variable	Volumen en m <sup>3</sup>	%
Precipitación CUSTF	151,634.52	100.00%
Evotranspiración (Et)	101,226.45	66.76%
Escurrecimiento (Es)	7,770.04	5.12%
Infiltración (I)	42,638.04	28.12%
BH	0.00	0.00

El cálculo del balance hídrico para cada uno de los escenarios fue calculado con base a la temperatura media normal anual de 17.75 °C y una precipitación media anual de 883.74 mm, contemplando un escenario actual, en donde se cuenta con cobertura vegetal de vegetación de bosque de encino igualmente en un escenario donde se remueve esa cobertura vegetal por la ejecución del CUSTF, por lo que resultaría una superficie sin vegetación, y un escenario donde se realiza la reforestación de especies nativas como medida de mitigación.

Tabla XIII—10. Balance hidrológico en tres escenarios actual, al ejecutar el CUSTF y al aplicar la medida de mitigación

Variable	Actual		Al ejecutar el CUSTF		Con medidas de mitigación	
	Volumen en m <sup>3</sup>	%	Volumen en m <sup>3</sup>	%	Volumen en m <sup>3</sup>	%
Precipitación	151,634.52	100.00%	151,634.52	100.00%	151,634.52	100.00%
Evo- transpiración	102,310.04	67.47%	102,310.04	67.47%	101,226.45	66.76%
Escurrimiento	7,853.21	5.18%	12,631.16	8.33%	7,770.04	5.12%
Infiltración	41,471.27	27.35%	36,693.33	24.20%	42,638.04	28.12%
BH	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%

Con base en las medidas de compensación establecidas para reforestar 17.34 ha dentro de la CHF y en la Zona de Restauración y Protección Ambiental Loma de Santa Maria, se logrará incrementar la infiltración en 1,166.77 m<sup>3</sup>; de acuerdo con lo anteriormente expuesto **se considera que no se compromete la prestación del servicio ambiental de la provisión de agua en cantidad y calidad de la Cuenca Hidrológica Forestal ni a nivel de la superficie de CUSTF.**

## XIII.2 CAPTURA DE CARBONO Y COMPONENTES NATURALES

### XIII.2.1 Captura de carbono en la CHF

Las plantas verdes absorben el carbono de la atmósfera a través de la fotosíntesis, separando el átomo de carbono del átomo del oxígeno. El oxígeno es devuelto a la atmósfera y el carbono es empleado para producir la biomasa en forma de raíces, tallos y follaje (Tipper, 1996; Brown, 1989; IPCC, 1995).

Actualmente la quema de combustibles fósiles provoca el 80% de las emisiones totales de CO<sub>2</sub> a la atmósfera y el 20% se debe a los procesos de deforestación. Estas son las causas principales del aumento en la concentración atmosférica del CO<sub>2</sub> de 280 ppm a 360 ppm en los últimos 200 años, con una tasa de incremento de 1.8 ppm año<sup>-1</sup> (Brown, 1996).

La cantidad de carbono almacenado en los diferentes tipos de vegetación presentes se tomó de los datos contenidos en la publicación de la CONANP (Creel, 2009). El Valor de los Bienes y Servicios que las Áreas Naturales Protegidas proveen a los mexicanos. (*The Nature Conservancy Programa México-Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. México*).

Tabla XIII—11. Carbono almacenado en los diferentes tipos de vegetación en México

Carbono almacenado en los diferentes tipos de vegetación en México (TCO <sub>2</sub> e/Ha)	Vegetación aérea	Suelo	Raíces	Total
Bosque de coníferas	118	120	19	257
Bosque de encino	105	126	5	236
Bosque mesófilo de montaña	189	205	36	430
Selva perennifolia	186	115	4	305
Selva tropical caducifolia, subcaducifolia y bosque espinoso	54	100	0	154
Matorral xerófilo y vegetación semiárida	19	60	1	80
Pastizal natural, halófilo y gipsófilo	16	81	0	97
Vegetación acuática y subacuática	223	59	0	282

Tabla XIII–12. Carbono almacenado en diferentes tipos de cultivo

<b>Cultivo/Carbono</b>	<b>Toneladas/Ha promedio 2000/2007</b>	<b>Precio promedio en Mx por tonelada cultivos 2000/2007 TCO<sub>2</sub>e 2005/2007</b>	<b>Valor total de la producción/servicio por hectárea</b>
Aguacate	9.9	6,574.6	65,089
CO <sub>2</sub> (Precio ponderado 2007)	161	191.6	30,848
Caña de azúcar	73.8	325.4	24,015
Arroz	4.5	1,744.0	7,848
Maíz	2.8	1,723.3	4,825
Frijol	0.7	6,024.2	4,217
Soya	1.6	2,493.1	3,989
CO <sub>2</sub> (Precio ponderado 2007)	161.3	19.2	3,091

Se estima que la captura de carbono total en la CHF es de aproximadamente 9,738,402,142.8 toneladas de CO<sub>2</sub>. En la tabla siguiente se puede ver el volumen de carbono capturado por cada tipo de vegetación presente en la CHF.

Tabla XIII–13. Estimación de captura de carbono por uso de suelo y vegetación en la CHF

Uso de suelo y vegetación CHF	Superficie	Porcentaje	Factores de captura de CO <sub>2</sub> por componente (Ton/ha)			Toneladas de CO <sub>2</sub> /Ha			Total de Toneladas de CO <sub>2</sub>
			Vegetación aérea	Suelo	Raíces	Vegetación aérea	Suelo	Raíces	
Agricultura de riego anual (ARA)	615,036.0	0.88%	2.8	0.0	0.0	1,722,100.8	0.0	0.0	1,722,100.8
Agricultura de temporal anual (ATA)	8,963,440.0	12.84%	2.8	0.0	0.0	25,097,632.0	0.0	0.0	25,097,632.0
Asentamientos humanos (AH)	16,126,800.0	23.11%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Bosque cultivado (BC)	982,270.0	1.41%	105.0	126.0	5.0	103,138,350.0	123,766,020.0	4,911,350.0	231,815,720.0
Bosque de encino (BE)	19,036,800.0	27.28%	105.0	126.0	5.0	1,998,864,000.0	2,398,636,800.0	95,184,000.0	4,492,684,800.0
Bosque de encino-pino (BPE)	19,083,700.0	27.34%	105.0	126.0	5.0	2,003,788,500.0	2,404,546,200.0	95,418,500.0	4,503,753,200.0
Pastizal cultivado (PC)	1,170,740.0	1.68%	16.0	81.0	0.0	18,731,840.0	94,829,940.0	0.0	113,561,780.0
Pastizal inducido (PI)	3,812,030.0	5.46%	16.0	81.0	0.0	60,992,480.0	308,774,430.0	0.0	369,766,910.0
Total	69,790,816.0	100.00%				4,212,334,902.8	5,330,553,390.0	195,513,850.0	9,738,402,142.8

### XIII.2.2 Captura de carbono en el CUSTF

Para el cálculo del potencial de captura de carbono por tipo de vegetación actual en el área sujeta al CUSTF, se tomaron los valores de las tablas XIII–11 y XIII–12 correspondientes a la asociación vegetal Bosque de Encino; los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla XIII–14. Cálculo de captura de carbono actual del área sujeta a CUST

Tipo de vegetación en el CUSTF		Bosque de encino
Superficie (ha)		17.16
Factores de captura de CO <sub>2</sub> por componente (ton/ha)	Vegetación aérea	105.00
	Suelo	126.00
	Raíces	5.00
Toneladas de CO <sub>2</sub> /ha	Vegetación aérea	1801.80
	Suelo	2162.16
	Raíces	85.80
<b>Total de CO<sub>2</sub> capturados (Toneladas)</b>		<b>4049.76</b>

Para el cálculo de la potencial captura de carbono en las superficies de CUSTF sin implementar las medidas de compensación, se tomaron valores de 0 al suponer que al remover la vegetación se perdería la captura de carbono de la vegetación aérea, del suelo y de las raíces por la ausencia de estos componentes y a consecuencia de las actividades de desmonte y despalme que ocasionarían la remoción total de la cubierta vegetal y por ende la nula captura de carbono; los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla XIII–15. Cálculo de captura de carbono al ejecutar el CUSTF

Tipo de vegetación en el CUSTF		Bosque de encino
Superficie (ha)		17.16
Factores de captura de CO <sub>2</sub> por componente (ton/ha)	Vegetación aérea	0.00
	Suelo	0.00
	Raíces	0.00
Toneladas de CO <sub>2</sub> /ha	Vegetación aérea	0.00
	Suelo	0.00
	Raíces	0.00
<b>Total de CO<sub>2</sub> capturados (Toneladas)</b>		<b>0.00</b>

Para el cálculo del potencial de captura de carbono por tipo de vegetación en el área ejecutando el CUSTF con medidas de mitigación se tomaron los valores de la tabla XIII–11 que al llevar a cabo la ejecución de una superficie de reforestación de 17.34 ha de bosque de encino, los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla XIII–16. Cálculo de captura de carbono al ejecutar las medidas de compensación en el CUSTF

Tipo de vegetación en el CUSTF		Bosque de encino
Superficie (ha)		17.34
Factores de captura de CO <sub>2</sub> por componente (ton/ha)	Vegetación aérea	105.00
	Suelo	126.00
	Raíces	5.00
Toneladas de CO <sub>2</sub> /ha	Vegetación aérea	1820.7
	Suelo	2,184.84
	Raíces	86.70
<b>Total de CO<sub>2</sub> capturados (Toneladas)</b>		<b>4,092.24</b>

Para el cálculo del potencial de captura de carbono en cada uno de los escenarios del área sujeta a CUSTF se tomaron los valores de la Tabla XIII–14, Tabla XIII–15, Tabla XIII–16 y los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla XIII–17. Potencial de captura de carbono en los tres escenarios del área sujeta a CUSTF

Escenarios	CHF	Actual en CUSTF	Con CUSTF	Realizando las medidas de mitigación
Total, CUSTF (tCO <sub>2</sub> e/CUSTF)	9,738,402,142.8	4,049.76	0.00	4,092.24

## Conclusiones

El valor de captura de carbono en la CHF por los tipos de vegetación presentes es de 9,738,402,142.8 toneladas de carbono, en la superficie del CUSTF tenemos una captura de 4,049.76, lo que representa el 0.00004% a nivel de la CHF. Una vez ejecutado el cambio de uso de suelo esta captura equivale al 0.0 toneladas capturadas, pero la pérdida se disminuye en un 100% a nivel del área del proyecto al implementar la reforestación con especies nativas en 17.34 ha e incluso hay una ganancia de 42.48 toneladas de captura de CO<sub>2</sub> por el excedente en la superficie de reforestación; por lo anterior, con las medidas de mitigación (reforestación de 17.34 ha de bosque de encino) se recupera e incrementa la captura de carbono en la zona, **por lo que se considera que no se pone en riesgo la prestación de este servicio en la cuenca hidrológica forestal ni a nivel local de la superficie por la ejecución del CUSTF.**

### XIII.3 COMPONENTES NATURALES

Los componentes naturales son aquellos que se refieren a la naturaleza y entre los cuales tenemos relieve, atmósfera, clima, corrientes de aire, cuerpos de agua, suelo, flora y fauna.

**Relieve:** Durante la ejecución del proyecto se realizará la remoción de la vegetación y el despalme, además se realizarán cortes y taludes que modificaran la actual conformación del relieve; sin embargo, dada las dimensiones del proyecto y las superficies que se requieren su efecto será poco significativo a escala de la CHF que se analiza.

**Atmósfera:** Con el proyecto no se alterará significativamente la conformación de los gases de la atmosfera, ya que se respetarán la normatividad de los niveles de las emisiones de los vehículos, maquinaria y equipo que se utilice de manera temporal y puntual durante las actividades de cambio de uso de suelo.

**Clima:** Este componente natural está conformado entre otros, por la temperatura, humedad, presión, viento y precipitación. Teniendo en cuenta la superficie que representan las áreas de CUSTF solicitadas con respecto a la superficie de la CHF, y a que se implementarán las medidas de mitigación propuestas, se prevé que estos atributos del ambiente no serán alterados de manera significativa en la CHF; la temperatura ambiente, el cambio de estaciones del año, es decir, el clima, seguirá siendo el de una región templada con los rangos de precipitación promedio similares a los que se han presentado históricamente.

**Corrientes de aire:** Las corrientes de aire son grandes masas de aire en movimiento, causadas por la rotación de la tierra, el material de la superficie terrestre, la radiación solar, la perdida de calor en la superficie terrestre y el relieve de la superficie. Dos de los elementos son inalterables por actividades antrópicas, dos de ellos no serán modificados y el único elemento que sufrirá modificación es el relieve, pero este será mínimo en el contexto de la CHF en la que se localiza el

proyecto, es decir, la velocidad y la dirección de los vientos predominantes continuarán siendo los mismos que se tienen actualmente.

**Cuerpos de agua:** Regulan el clima y modifican la vegetación, dentro de las superficies de CUSTF no se encontraron cuerpos de agua perennes ni corrientes superficiales. Existen escorrentías naturales por las que discurren las precipitaciones pluviales, pero estas continuarán su curso, y una vez que lleve a cabo la urbanización del fraccionamiento, se deberán construir las obras hidráulicas adecuadas para garantizar tanto la protección y seguridad de la infraestructura urbana que se construya, como el patrón de drenaje superficial.

**Suelo:** La creación de los suelos es debido principalmente a los siguientes factores: la deposición eólica, sedimentación en cursos de agua, meteorización, y deposición de materia orgánica. para la primera (deposición eólica) estamos proponiendo como medida de compensación la reforestación de 17.34 ha —dentro de la CHF y en la Zona de Restauración y Protección Ambiental Loma de Santa Maria— con especies nativas para estabilizar el suelo, y captar partículas suspendidas en el viento, para mitigar el segundo de los factores sirve la misma reforestación de especies nativas, el tercer de los factores se presenta por acción de la temperatura, precipitación y acción del viento y se da principalmente en la roca expuestas, donde nuestro proyecto no tendrá afectaciones significativas, en cuanto a la deposición de materia orgánica se está proponiendo que toda la vegetación que sea removida en el área ejecutando el CUSTF y que no sea utilizada para la construcción de obras de retención del suelo y del agua como las presas de ramas, sea picada y esparcida sobre el suelo orgánico para enriquecer el mismo y aumentar su fertilidad.

**Flora:** Se considera a todas las especies registradas dentro de la CHF y específicamente a aquellas que se distribuyen en el CUSTF, mismas que para su conservación y permanencia se considera previo a la remoción de la vegetación, la ejecución de un “Programa de rescate y reubicación de flora silvestre” teniendo como objetivo principalmente a aquellas especies que puedan presentarse bajo

algún estatus de protección de acuerdo a la NOM-059-SEMARNAT-2010 y aquellas especies que por su lento desarrollo tengan menos oportunidades de desarrollo en la zona, esas serán las principales características que se proponen para realizar las actividades de rescate y reubicación.

**Fauna:** Al igual que en el caso de flora silvestre en este componente natural se considera a todas las especies de fauna silvestre registradas dentro de la CHF y específicamente a aquellas que se distribuyen o tienen como área de paso al la zona donde se pretende ejecutar el CUSTF, mismas que para su conservación y permanencia se considera previo a la remoción de la vegetación, la ejecución de un “Programa de rescate y reubicación de fauna silvestre” teniendo como objetivo principalmente a aquellas especies que puedan presentarse bajo algún estatus de protección de acuerdo a la NOM-059-SEMARNAT-2010 y aquellas especies que por su lento desplazamiento, hábitat restringido y tamaños pequeño tengan menos oportunidades de desarrollo y supervivencia en la zona, esas serán las principales características que se proponen para realizar las actividades de rescate y reubicación de fauna silvestre.

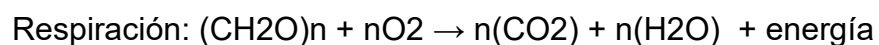
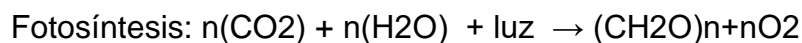
#### XIII.4 GENERACIÓN DE OXIGENO

La generación de oxígeno tiene relevancia porque es una sustancia que comprende una importante parte de la atmósfera y resulta necesario para sostener la vida terrestre, es el elemento más abundante en la corteza terrestre formando prácticamente la mitad de su masa, pero debido a su reactividad química, el oxígeno no puede permanecer en la atmósfera terrestre como elemento libre sin ser reabastecido constantemente por la acción fotosintética de los organismos que utilizan la energía solar elemental a partir del agua y dado que constituye la mayor parte de la masa del agua, es también el componente mayoritario de la masa de los seres vivos.

Los ecosistemas nos proporcionan varios servicios ambientales de acuerdo con sus elementos bióticos y abióticos, entre los primeros son de gran importancia los que prestan los diferentes tipos de vegetación, ya que el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) presente en la atmosfera es absorbido por las plantas, a través del proceso de la fotosíntesis. Por este medio convierten la energía solar en energía química la cual es aprovechada por los organismos vivos (Gayoso, 2005).

El oxígeno generado por las plantas se obtiene en diferentes cantidades ya que depende de la especie y tamaño de los árboles, pero sobre todo de la velocidad de crecimiento. El O<sub>2</sub> es proporcional a la tasa de crecimiento e incremento de biomasa (Norwak et al. 2007).

La producción de oxígeno de un árbol durante un año, está directamente relacionada con la cantidad de carbono almacenado, mismo que se encuentra almacenado en la biomasa de los árboles y si la captación de Dióxido de Carbono durante la fotosíntesis excede la liberación de Dióxido de Carbono por la respiración durante el año, el árbol acumulara carbono (Norwak et al. 2007). De este modo, un árbol que tiene una acumulación neta de carbono durante un año (crecimiento de los árboles) también tiene una producción neta de oxígeno (Yolasigmaz y Keles, 2009). De acuerdo con lo mencionado por Salisbury y Ross (1978) la producción neta de Oxígeno de los árboles se basa en la cantidad de Oxígeno producido durante la fotosíntesis menos la cantidad de Oxígeno consumido durante la respiración de las plantas.



De este modo la cantidad de Oxígeno producido se estima a partir de la captura de Carbono en base a los pesos atómicos:

$$\text{Producción neta de O}_2 \text{ (Kg/año)} = \text{Carbono secuestrado en la biomasa} \\ \text{(ton/año)} * (32/12).$$

### XIII.4.1 Generación de oxígeno en la CHF

Para este proyecto, estimaremos la producción neta de O<sub>2</sub> (Kg/año) utilizando la fórmula anterior con los valores del carbono secuestrado en la biomasa de la cuenca hidrológica forestal, descritos en el rubro anterior

Para el cálculo del potencial de generación de O<sub>2</sub> por tipo de vegetación actual en la CHF se tomaron los valores obtenidos para la captura de carbono de este mismo estudio.

Tabla XIII—18. Cálculo del potencial de generación de Oxígeno en la CHF

Superficie		CHF
Toneladas de CO <sub>2</sub> capturadas	Vegetación aérea	4,212,334,902.80
	Suelo	5,330,553,390.00
	Raíces	195,513,850.00
Toneladas de O <sub>2</sub> generados	Vegetación aérea	11,232,893,074.13
	Suelo	14,214,809,040.00
	Raíces	521,370,266.67
Total de O <sub>2</sub> generadas		25,969,072,380.80

### XIII.4.2 Generación de oxígeno en el CUSTF

Asimismo, estimaremos la producción neta de O<sub>2</sub> (Kg/año) utilizando la fórmula anterior con los valores del carbono secuestrado en la biomasa del área sujeta a CUSTF, descritos en el subcapítulo anterior.

Para el cálculo del potencial de **generación de O<sub>2</sub> por tipo de vegetación actual en el área sujeta al CUSTF** se tomaron los valores de captura de carbono obtenidos previamente y los resultados se muestran en la Tabla siguiente.

Tabla XIII–19. Generación actual de O<sub>2</sub> en el área sujeta a CUSTF

Superficie		CUSTF
Toneladas de CO <sub>2</sub> capturadas al año	Vegetación aérea	1,801.80
	Suelo	2,162.16
	Raíces	85.80
Toneladas de O <sub>2</sub> generadas al año	Vegetación aérea	4,804.80
	Suelo	5,765.76
	Raíces	228.80
Total de O <sub>2</sub> generadas		10,799.36

Al ejecutar el desmonte y el despalme del terreno, la **generación de oxígeno se pierde totalmente en el área sujeta a CUSTF, su valor es cero.** Pero al ejecutar las medidas de compensación, es decir, la reforestación de 17.34 ha de bosque de encino con especies nativas, la generación de oxígeno se recupera paulatinamente hasta casi el 100% e incluso tienen un incremento de 113.28 toneladas de O<sub>2</sub> al año por el excedente en la superficie de reforestación en 0.18 ha, una vez establecida la vegetación en su máximo desarrollo.

Tabla XIII–20. Generación de O<sub>2</sub> al ejecutar el CUSTF con medidas de mitigación

Superficie		Con medidas
Toneladas de CO <sub>2</sub> capturadas	Vegetación aérea	1,820.7
	Suelo	2,184.84
	Raíces	86.7
Toneladas de O <sub>2</sub> generados	Vegetación aérea	4,855.20
	Suelo	5,826.24
	Raíces	231.20
Total de toneladas de O <sub>2</sub> generadas		10,912.64

## Conclusiones

El valor de generación de oxígeno en la CHF por los tipos de vegetación presentes es de 25,969,072,380.80 toneladas de oxígeno, y en la superficie del CUSTF tenemos una generación de 10,799.36 ton de oxígeno, lo que representa el 0.00004% de la CFH. Una vez ejecutado el cambio de uso de suelo, la pérdida se disminuye en un 100% a nivel de área solicitada para el CUSTF, pero con las medidas de mitigación (reforestación de 17.34 ha de bosque de encino) se recupera paulatinamente la generación de oxígeno en su totalidad y se tiene adicionalmente un incremento de 113.28 toneladas de O<sub>2</sub> al año, **por lo que se considera que no se pone en riesgo la prestación de este servicio en la cuenca hidrológica forestal ni a nivel local de la superficie por la ejecución del CUSTF.**

## XIII.5 AMORTIGUAMIENTO DEL IMPACTO DE LOS FENÓMENOS NATURALES

Siendo que parte de la cobertura vegetal existente en el área del proyecto (CUSTF) se encuentra en estado secundario, nos resulta difícil estimar la importancia para el amortiguamiento ante fenómenos naturales y modulación climática. Al respecto, la mayoría de los autores que tratan este tema estiman esta importancia de manera indirecta, basándose en los costos o daños que provoca la presencia de inundaciones o tempestades y su relación con la remoción de vegetación. Todo ello sustentado en el hecho de que la remoción de vegetación es uno de los factores que potencializa la pérdida de suelos y su capacidad de retención de agua y por ende inundaciones cuenca abajo.

Se infiere que la cubierta vegetal cumple con la función de reducir el potencial destructivo de fenómenos naturales como los huracanes, inundaciones, nortes, entre otros; sin embargo, no existe investigación que arroje resultados concluyentes al respecto. Lo que es un hecho, es que la vegetación arbórea sí mitiga el daño e impacto de rachas de vientos superiores a 180 km/hr, funcionando como barrera

rompe viento. Por otro lado, al retener el agua, la vegetación no solo ayuda a que las inundaciones cuenca abajo sean menores, también mantiene la calidad del agua de los ríos al actuar como filtro, ya que retiene sedimentos, nutrientes y contaminantes, impidiendo que lleguen a las corrientes de agua. Siendo que la vegetación de bosque de encino presentan parcialmente un estado secundario y con zonas con abundancias menores a las reportadas para vegetación primaria de especies de porte arbóreo, aunado a la superficie mínima de intervención (17.16 ha) dispersa a través de caminos (no es una perturbación continua en un solo bloque de afectación) este servicio difícilmente se verá mermado por la reducción del ensamble que ocurre en el área del proyecto, además por tratarse de una zona montañosa, los vientos los encuentran una barrera en estas formaciones que son más efectivas que el estrato arbóreo y los escurrimientos cuentan con varias opciones de salida dada la gran cantidad de cauces intermitentes que se forman por la sinuosidad del terreno.

### **XIII.6 MODULACIÓN O TERMORREGULACIÓN CLIMÁTICA**

Si bien es cierto que, a nivel local y puntual, la pérdida de cobertura puede generar un incremento local de temperatura (en áreas descubiertas), en el plano regional no es significativo ya que se mantienen amplias zonas con vegetación natural en la en la región, así como otros tipos de vegetación que contribuyen al proceso de regulación climática. Por las características del proyecto, no se considera que este servicio ambiental se ponga en riesgo o se afecte significativamente.

### **XIII.7 PROTECCIÓN DE LA BIODIVERSIDAD, DE LOS ECOSISTEMAS Y FORMAS DE VIDA**

La protección de la biodiversidad es importante porque asegura la salud y la seguridad humana. La biodiversidad no solo provee los beneficios directos de la comida, agua limpia, medicina y energía; también asegura que el ambiente funcione en una manera que apoya la vida. La biodiversidad es necesaria para limitar los efectos negativos causados por la contaminación para proteger las cuencas hidrográficas y para combatir los efectos de la erosión del suelo, al igual que para proveer una protección contra las fluctuaciones del tiempo y el clima.

La preocupación internacional por el mantenimiento y la protección de la biodiversidad continúa aumentando. La atención inadecuada de los problemas de biodiversidad puede generar la pérdida de especies localmente al igual que efectos adversos significativos sobre especies amenazadas o en peligro de extinción.

En el caso de este proyecto, no se afectan ecosistemas únicos o particularmente sensibles a las actividades humanas. Pero en el área del CUSTF se encontró solo una **especie de flora enlistada en la NOM-059-SEMARNAT-2010** en la categoría de “En Peligro de Extinción” (*Tilia americana* L. var. Mexicana) misma que es endémica para el país (Villaseñor, 2016). Con respecto al nivel de endemismos, en el área de CUSTF se registraron cinco especies endémicas al país (Villaseñor, 2016): *Bursera cuneata* (Schltdl.) Engl., *Garrya longifolia* Rose, *Opuntia tomentosa* Salm-Dyck, *Quercus deserticola* Trel. y *Tilia americana* L. var. Mexicana. Es importante destacar que todas las especies endémicas o bajo alguna categoría de protección de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010 que se registraron en el área de CUSTF se encuentran también representadas en la CHF. Además de la designación de un polígono de 2,000 m<sup>2</sup> de superficie para la protección *in situ* de *Tilia americana*, el proyecto contempla la implementación de un “Programa de rescate y reubicación de flora silvestre” con interés ecológico, medicinal o comercial.

Con base en estas acciones se mitigará la pérdida de especies y por ende se protegerá la biodiversidad.

Otra medida para proteger la biodiversidad es que la remoción de la vegetación se hará en forma selectiva y progresiva, para permitir que las especies animales que pudieran quedar entre las plantas huyan hacia otras áreas y se prevenga su afectación.

Con relación a las especies de fauna enlistadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010, que transiten dentro de la superficie de CUSTF, se aplicará un “Programa de ahuyentamiento, rescate y reubicación de fauna silvestre”, así mismo se prohibirá:

- La colecta de cualquier especie de fauna silvestre.
- La caza o captura de cualquier especie de fauna silvestre
- Delimitación de áreas de manejo ambiental.
- Rescate y reubicación de especies de flora y fauna de importancia ecológica.
- Remoción adecuada de la cobertura vegetal.
- Reforestación y recuperación de cobertura vegetal en la etapa de abandono o desmantelamiento de obras.

Los objetivos de estas medidas de manejo y protección de flora y fauna son:

- Proteger las especies nativas de flora y fauna silvestre.
- Proteger los hábitats, zonas de refugio y de alimentación de la fauna local.
- Evitar la erosión.
- Proteger el paisaje.
- Evitar el deterioro de la calidad visual.
- Facilitar la rehabilitación de las áreas intervenidas, una vez sean abandonadas.

Derivado de lo anterior, se puede resumir que durante la ejecución del CUSTF, por las características propias de la vegetación existente y la aplicación de las medidas de mitigación propuestas en el presente documento, se puede asegurar que, en ningún momento, se pondrá en riesgo la biodiversidad de la CHF ni de sus ecosistemas.

### **XIII.8 EROSIÓN HÍDRICA**

La erosión hídrica por lluvia comienza cuando el suelo es privado de su cobertura vegetal por deforestación, quema, sobrepastoreo y labranza. Las gotas de lluvia impactan en el suelo desnudo y rompen sus agregados, los cuales además de ser más fácilmente arrastrados por los escurrimientos, tapan los microporos del suelo, reduciendo con ello la infiltración del agua. El agua que no llega a infiltrarse escurre sobre la superficie y sigue la topografía arrastrando suelo superficial. La vulnerabilidad de los suelos a la erosión hídrica depende del tipo de cobertura vegetal (cultivo, pastizal, etc.); de las características de la lluvia (intensidad y frecuencia); de la topografía (inclinación, forma y longitud de pendientes); y del tipo de suelo (porosidad, porcentaje de materia orgánica, textura y profundidad) (Alonso *et al.*, 2011).

A continuación, se presenta el cálculo de la pérdida de suelo mediante la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo tanto en la cuenca hidrológica forestal como en el área propuesta para el cambio uso de suelo, la cual se realizó de manera espacial en el apartado IV.2.3.3.3 del presente estudio capítulo por lo que la metodología para su cálculo ya fue descrita y aquí solo se presentan los resultados.

### **XIII.8.1 Determinación de pérdida de suelo en la CHF mediante USLE**

Una vez obtenidos cada uno de los factores, se realizó el producto como lo establece la ecuación USLE para estimar la erosión hídrica.

#### **XIII.8.1.1 Factor R**

El factor R representa, para un área específica, la energía potencial de la lluvia y su escurrimiento asociado; es el factor de tipo climático que incide el potencial erosivo de las precipitaciones (Montes-León *et al.*, 2011). El valor de R obtenido para la CHF corresponde a 3,229.31 MJ mm/ha h.

#### **XIII.8.1.2 Factor K**

De acuerdo con la información edafológica de INEGI Serie II (Escala 1:250,000), dentro de la cuenca del proyecto se obtuvo un valor de K ponderado de 0.01.

#### **XIII.8.1.3 Factor LS**

El efecto de la topografía sobre la erosión está representado por los factores: longitud (L) y grado de pendiente (S).

Primeramente, se determinó el factor **L** y posteriormente el **S**, para luego obtener el producto de ambos el cual corresponde a **LS= 3.73**.

#### **XIII.8.1.4 Factor C**

Los valores de C son menores que la unidad y en promedio indican que a medida que aumenta la cobertura del suelo el valor de C se reduce y puede alcanzar valores similares a 0 (correspondiente a un terreno protegido) y a 1.0 (para terrenos sin ninguna protección) (Montes-León *et al.*, 2011). Finalmente, para el presente ejercicio se obtuvo un valor ponderado del **factor C de 0.14**

Al tener cada uno de los factores, se realizó el producto como lo establece la ecuación USLE para estimar la erosión hídrica actual en la CHF del proyecto.

Tabla XIII–21. Pérdida de suelo actual en la CHF.

Polígono	Factor R	Factor K	Factor LS	Factor C	Erosión actual (Ton/Ha año)	Superficie (Ha).	Erosión actual en la CHF (Ton/año)
CHF	3,229.31	0.007	3.73	0.14	11.39	6,979.08	79,514.49

Como se puede apreciar en la tabla anterior, actualmente en la CHF en condiciones normales se estima una pérdida de suelo por erosión hídrica de 11.39 toneladas por hectárea por año y proyectando esa cantidad en toda la superficie de la CHF se estima una pérdida de suelo de 79,514.49 toneladas por año. De acuerdo con la clasificación descrita por Montes-León *et al.* (2011), la erosión hídrica que se presenta en la CHF se considera como **baja**, puesto que las cantidades de pérdida de suelo entre 10 y 50 ton/ha son clasificadas bajo esa categoría.

Tabla XIII–22. Clasificación de los rangos de erosión hídrica, aplicando la ecuación USLE, para la interpretación de los mapas\*

Clasificación	Rango de pérdida de suelo (t ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )
Muy baja	El rango equivale a una pérdida de suelo de menos de 10.
Baja	El rango equivale a una pérdida de suelo entre 10 y 50.
Media	El rango equivale a una pérdida de suelo entre 50 y 100.
Considerable	El rango equivale a una pérdida de suelo entre 100 y 150.
Alta	El rango equivale a una pérdida de suelo entre 150 y 200.
Muy alta	El rango equivale a una pérdida de suelo entre las 200 y 250.
Extrema	El rango equivale a una pérdida de suelo mayor a las 250.

\* Clasificación de pérdida de suelo modificada de Montes-León *et al.* (2011).

**Nota:** Se adjunta al presente estudio la memoria de cálculo de las operaciones realizadas para obtener la pérdida de suelo por erosión hídrica de la CHF.

### **XIII.8.2 Determinación de pérdida de suelo en el área sujeta a cambio de uso de suelo**

#### **XIII.8.2.1 Factor R**

Cabe mencionar que para la estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la superficie sujeta a CUSTF se tomó el mismo valor del factor R utilizado para estimar la pérdida de suelo en la CHF, que corresponde al valor de **3229.31 MJ mm/ha h.**

#### **XIII.8.2.2 Factor K**

De acuerdo con la información edafológica de INEGI Serie II (Escala 1:250,000), dentro de las poligonales solicitadas para CUSTF se presentó un solo tipo de suelo, el Luvisol, **cuyos valor de K equivalentes a 0.007.**

#### **XIII.8.2.3 Factor LS**

Se determinó el factor L y posteriormente el S en el área sujeta para el cambio de uso de suelo en terrenos forestales, para luego obtener el producto de ambos el cual corresponde a **LS= 0.89.**

#### **XIII.8.2.4 Factor C**

Actualmente, dentro del área del proyecto en la que se propone el CUSTF se registró un solo tipo de vegetación, el bosque de encino. De acuerdo con los valores del Factor C descritos por Montes-León *et al.* (2011), le corresponde un valor del **Factor C ponderado de 0.01.**

---

Al tener cada uno de los factores, se realizó el producto como lo establece la ecuación USLE para estimar la erosión hídrica actual en la superficie sujeta a cambio uso de suelo:

Tabla XIII—23. Pérdida de suelo actual en la superficie sujeta a cambio uso de suelo.

Polígono	Factor R	Factor K	Factor LS	Factor C	Erosión actual (Ton/Ha año)	Superficie (Ha).	Erosión actual en la CHF (Ton/año)
CUSTF	3,229.31	0.07	0.89	0.1	2.01	17.16	34.54

Actualmente en la superficie en donde se propone realizar el cambio uso de suelo, es decir, manteniendo la cobertura vegetal del polígono se tiene una pérdida de suelo por erosión hídrica de 2.01 ton/ha año, al proyectar esa cantidad en toda la superficie destinada para CUSFT (17.16 ha) se estima una pérdida de suelo de 34.54 ton/año. Cabe mencionar que la cantidad de pérdida de suelo actual expresadas en **ton/ha** (2.01 ton/ha) se clasifica como **muy baja** de acuerdo con la clasificación propuesta por Montes-León et al. (2011), ya que cantidades menores de 10 ton/ha se clasifican bajo esta categoría.

### XIII.8.3 Pérdida de suelo potencial al ejecutar el CUSTF.

El producto de los primeros factores (R, K, L y S) representa el potencial erosivo; eso es, la pérdida del suelo que ocurrirá con la ejecución del cambio uso de suelo, considerando el valor del Factor C con un valor de 1, ya que el valor 1 representa a terrenos sin ninguna protección, es decir, sin cobertura vegetal.

En la siguiente tabla se muestra la cantidad de pérdida de suelo por erosión hídrica al llevar a cabo el cambio uso de suelo.

Tabla XIII—24. Pérdida de suelo al ejecutar el cambio uso de suelo.

Polígono	Factor R	Factor K	Factor LS	Factor C	Erosión actual (Ton/Ha año)	Superficie (Ha).	Erosión actual en la CHF (Ton/año)
CUSTF	3,229.31	0.07	0.89	1	20.13	17.16	345.41

Al ejecutar el cambio uso de suelo en la superficie solicitada, se aumentaría la pérdida de suelo a 310.87 ton/año. Dicha cifra resulta por la diferencia entre la pérdida potencial de suelo (345.41 ton/año) menos la pérdida actual de suelo (34.54 ton/año), dando como resultado el volumen de suelo que se incrementa por la ejecución del cambio uso de suelo.

Tabla XIII—25. Diferencia entre erosión potencial y erosión actual en la superficie sujeta a cambio uso de suelo.

Erosión actual (Ton/año)	Erosión potencial al ejecutar CUSTF (Ton/año)	Incremento en la pérdida de suelo (Ton/año)
34.54	345.41	310.87

Cabe señalar que a pesar de que la erosión hídrica podría incrementarse de 2.01 ton/ha año a 20.13 ton/ha año, esta continuaría clasificándose como una erosión hídrica **baja** de acuerdo con la clasificación propuesta por Montes-León *et al.* (2011), ya que la cantidad de pérdida de suelo que se incrementa (18.02 ton/ha año) se transfiere a un valor entre 10 a 50 ton/ha.

**Nota:** Se adjunta al presente estudio la memoria de cálculo de las operaciones realizadas para obtener la pérdida de suelo por erosión hídrica del área sujeta a cambio uso de suelo.

### **XIII.8.4 Pérdida de suelo potencial al ejecutar el CUSTF y aplicar las medidas de compensación.**

Como medida de compensación se está proponiendo la reforestación de un total de 17.34 ha con vegetación característica de bosque de encino (misma vegetación que se vería afectado por las actividades de cambio de uso de suelo) dentro de la superficie delimitada para la CHF, debido a que se está contemplando la reforestación con especies nativas en un área ligeramente mayor a la superficie sujeta a cambio uso de suelo. Así que al ejecutar esta reforestación dentro de la CHF se volvería a recuperar paulatinamente una cobertura vegetal similar a la afectada y por tanto se estaría atenuando la erosión hídrica.

#### ***XIII.8.4.1 Reforestación con especies nativas de 17.34 ha.***

Para la estimación de la pérdida de suelo contemplando la medida de mitigación, se usaron los mismos valores del Factor R, Factor K, Factor LS y C estimados anteriormente, ya que no se verán modificados estos factores por el cambio uso de suelo, los cuales corresponden a:

Tabla XIII—26. Valor del Factor R, K y LS para el área sujeta a cambio uso de suelo.

<b>Factor R</b>	<b>Factor K</b>	<b>Factor LS</b>	<b>Factor C</b>
3,229.31	0.07	12.64	0.1

Considerando que se tendrá una ganancia de 0.18 ha (1,817 m<sup>2</sup>) de superficie forestal adicional una vez realizada la reforestación, los cálculos que se muestran a continuación se efectuará restando esta superficie excedente a la superficie de CUSTF (17.16 ha menos 0.18 ha); dado que esto supone una ganancia en superficie al disminuir la afectación espacial por el CUSTF, la superficie empleada para llevar a cabo los cálculos será de 169,765.46 m<sup>2</sup> (16.98 ha). En la siguiente tabla se presenta la disminución de las tasas de erosión que habría, al cubrir con

vegetación nativa una superficie de 17.34 ha a través de a la reforestación con especies nativas:

Tabla XIII—27. Pérdida de suelo por erosión hídrica al contemplar la reforestación de especies nativas en una superficie mayor a la sujeta a CUSTF.

Polígono	Factor R	Factor K	Factor LS	Factor C	Erosión (Ton/Ha año)	Superficie (Ha)	Erosión en área sujeta a CUSTF (Ton/año)
CUSTF	3,229.31	0.07	12.64	0.1	2.01	17.34	34.18

## Conclusiones

A nivel de la CHF actualmente existe una pérdida de suelo por erosión hídrica de 79,514.49 ton/año, pero en la superficie de cambio uso de suelo propuesta se tiene una pérdida de suelo de 34.54 ton/año, representando una pérdida de 0.04%. Sin embargo, una vez ejecutado el CUSTF, la erosión incrementará a 345.41 ton/año, representando un valor del 0.43%, lo que significa que este incremento es poco significativo en el contexto de la CHF.

Al implementar la medida de compensación, es decir, la reforestación de 17.34 ha con especies nativas de vegetación característica de bosque de encino, se estaría mitigando a nivel de la CHF a su condición actual de retención de suelo, e incluso se estaría disminuyendo esta tasa en 0.36 ton/año, lo que significa que a nivel de la superficie de CUSTF la erosión será incluso menor a la actual, debido a la implementación de la medida de compensación.

### **XIII.9 IDENTIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES AMBIENTALES CRÍTICOS DEL SISTEMA DE FUNCIONAMIENTO DE LA CUENCA HIDROLOGICO FORESTAL**

Como parte del trabajo realizado para la caracterización de los componentes ambientales que dan soporte a este documento técnico unificado, no solamente se realizó el inventario ambiental sobre los principales componentes que integran los ecosistemas y ensambles naturales presentes en una CHF delimitada para el proyecto, sino que también se estuvo en posibilidad de identificar algunos de los principales procesos ecológicos o interacciones existentes que confieren un estado de expresión particular al territorio o cualidad de conservación.

Esta identificación no sólo es relevante para conocer el funcionamiento de los ecosistemas y valorar su importancia al momento de identificar y evaluar los impactos ambientales, sino que también proporciona a la autoridad el sustento jurídico ambiental para evaluar la viabilidad ambiental de un proyecto. Y, considerando que este DTU-A debe contener la información suficiente para que la autoridad pueda evaluar el impacto ambiental potencial a generarse por su desarrollo, es importante que la información brindada permita dar cumplimiento a lo dispuesto en el artículo 44 del Reglamento de la LGEEPA en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental, el cual dispone lo siguiente:

**Artículo 44.-** *Al evaluar las manifestaciones de impacto ambiental la Secretaría deberá considerar:*

*I. Los posibles efectos de las obras o actividades a desarrollarse en el o los ecosistemas de que se trate, tomando en cuenta el conjunto de elementos que los conforman, y no únicamente los recursos que fuesen objeto de aprovechamiento o afectación;*

*II. La utilización de los recursos naturales en forma que se respete la integridad funcional y las capacidades de carga de los ecosistemas de los que forman parte dichos recursos, por periodos indefinidos, y*

*III. En su caso, la Secretaría podrá considerar las medidas preventivas, de mitigación y las demás que sean propuestas de manera voluntaria por el solicitante, para evitar o reducir al mínimo los efectos negativos sobre el ambiente.*

Respecto del contenido de la disposición transcrita, resulta notable destacar para efecto del proyecto que nos ocupa, que se realizó un diagnóstico ambiental relativo a la descripción y análisis de las condiciones actuales de los principales componentes ambientales. Dentro de esta caracterización y análisis se incluyeron componentes ambientales críticos para la funcionalidad de los ecosistemas, como es la vegetación y usos de suelo predominantes, la fauna silvestre, hidrografía y fisiografía. Esta relación, permitió conocer los principales procesos ecológicos que definen la integridad funcional de los ecosistemas presentes, en el contexto del análisis de la CHF delimitada, considerando esta integridad funcional, bajo la siguiente definición conceptual:

*“El estado de expresión de los componentes del ambiente resultado de las interdependencias de procesos físicos y químicos que permiten el sostenimiento actual y evolutivo de los ecosistemas”.*

Partiendo de la anterior definición, los ecosistemas presentes en la CHF delimitada para este proyecto muestran un mosaico heterogéneo en cuanto al tipo y estado de conservación de la vegetación, en el que hoy día predominan grandes áreas que ya fueron sometidas al cambio de uso de suelo y otras que muestran cierto grado de conservación resistiendo la implementación de actividades productivas generalizadas en la zona.

La fragmentación del espacio, definida principalmente por las áreas agropecuarias y los asentamientos humanos, en conjunto conforman un paisaje con una fuerte influencia antrópica, que día a día se aleja de la integralidad natural esto es muy evidente en el norte de la CHF. Derivado de que dentro de la CHF definida para el proyecto una de las principales actividades económicas que se llevan a cabo es la

producción agropecuaria, los principales problemas ambientales están asociados con la remoción de la vegetación para llevar a cabo las actividades productivas, el aprovechamiento de agua en las zonas de riego y el uso de pesticidas. A estos impactos ambientales ocasionados por la actividad agropecuaria se les adicionan los impactos ambientales ocasionados por los asentamientos humanos dispersos en toda la cuenca.

Estos procesos que han ocurrido, y que seguirán ocurriendo producto de la intervención humana, han modificado la estructura y funcionamiento ecosistémico de la región, restándole naturalidad al territorio a cambio de la rentabilidad económica y, en muchos casos, sin consideración ambiental alguna. A corto plazo se espera que la transformación de la CHF continúe, promovida por la apertura de nuevas parcelas agropecuarias sobre superficies que actualmente cuentan con vegetación nativa, así como la reconversión de las tierras productivas en áreas destinadas para asentamientos humanos, no necesariamente sobre áreas urbanas o urbanizables de acuerdo con lo que establece el Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Morelia y en los que no necesariamente habrá un estricto apego al cumplimiento de la normatividad federal, estatal y municipal, y cuya derrama económica será considerablemente menor a la que el Fraccionamiento Bosque Monarca presupone para el municipio de Morelia.

Estos cambios de uso de suelo generan transformaciones que constituyen procesos de deterioro que afectan la integridad ecológica de la cuenca en general, teniendo consecuencias negativas, incluyendo la pérdida de sus características funcionales. Estas afectaciones son claramente atribuibles e inherentes al crecimiento poblacional como parte de las necesidades de desarrollar infraestructura y actividades productivas para satisfacer las demandas de la sociedad.

Sin embargo, debido al grado de conservación del área y de la superficie a someterse al cambio de uso del suelo por el desarrollo del presente proyecto, no existe una relación directa que indique un aumento significativo en la magnitud de

estos procesos de deterioro con el desarrollo del proyecto. Aun incluso con el CUSTF de bosque de encino, ya que éste solo implica un 0.45 % de la superficie forestal de la CHF. Por otro lado, aunado a las actividades de CUSTF se contempla una serie de medidas de prevención, mitigación y compensación de los impactos ambientales que se generarían por el desarrollo del proyecto, como se plasma en el capítulo XI de este DTU-A, con los que se espera atenuar e incluso revertir procesos de degradación de los ecosistemas en lo que tendrá influencia directa por la implementación del proyecto.

### **XIII.10 DIAGNÓSTICO AMBIENTAL**

Con la finalidad de referenciar la CHF definida para el desarrollo del proyecto dentro de una regionalización global estatal, ésta se puede referir con el último sistema de regionalización que considera elementos de carácter administrativo y de asignación de recursos en relación con la situación que se presenta en una determinada región (Acevedo, 2002). De acuerdo con la regionalización antes mencionada, se tiene que el estado de Michoacán se constituye por 10 regiones, siendo éstas: 1) Morelia Centro; 2) Zacapu; 3) Pátzcuaro-Zirahuén; 4) Bajío; 5) Oriente; 6) Tierra Caliente; 7) Costa; 8) Meseta Purépecha; 9) Apatzingán y, 10) Chapala. El municipio de Morelia, donde se ubica la CHF del proyecto, se encuentra constituyendo la región número 1, junto con los municipios Álvaro Obregón, Copándaro, Cuitzeo, Charo, Chucándiro, Huandacareo, Indaparapeo, Queréndaro, Santa Ana Maya, Tarímbaro y Zinapécuaro.

De acuerdo con lo mencionado por Acevedo (2002), en esta región económica el municipio de Morelia es uno de los municipios que ha mostrado un mayor dinamismo económico (crecimiento y su concentración poblacional) ya que se considera como una urbe de vital importancia pues, no solo al interior de ellos ha habido dinamismo, sino que, existe a su alrededor un área de influencia inmediata

(municipios colindantes) que han venido recibiendo los beneficios de este comportamiento. Este tipo de actividades económicas llevan a clasificar la vocación productiva del municipio como industrial y de comercio más que como agropecuario. Vocación que se espera se vea reforzada por el impulso que le están dando los gobiernos federal y estatal, los que han realizado una importante inversión en infraestructura de servicios convirtiéndolo en un municipio que ha mostrado un rápido crecimiento urbano.

Una parte de la CHF definida forma parte de la mancha urbana de la ciudad de Morelia, por lo que, se espera que ésta reciba un impulso económico derivado de la urbanización y lotificación del Fraccionamiento Bosque Monarca para la construcción de vivienda unifamiliar. Y, de manera indirecta, todo este impulso económico regional tendría influencia en el resto de las actividades económicas que tienen lugar en el municipio dada la demanda de bienes y servicios que la población demanda, entre ellas la actividad agropecuaria que se desarrolla en las áreas aledañas y, en gran parte de la superficie de la CHF delimitada para el proyecto.

El relieve dentro de la CHF está caracterizado por una zona de baja pendiente, con grandes áreas planas cercanas a la zona urbana de Morelia, y, a partir de las afueras de la zona urbana, la topografía empieza a ser más irregular, particularmente al sur de ésta se presentan fuertes pendientes que están delimitados por un parteaguas en una zona de cumbres. Aún y con esta variación topográfica, las actividades agropecuarias son las que predominan particularmente en ciertos sectores de la CHF que favorecen estas actividades, sin embargo, el relieve es quien determina la actividad agropecuaria que tiene lugar y el manejo que se le da por parte de los productores.

En las áreas más planas y con disponibilidad de riego, se tiene una actividad agrícola con cultivos anuales y producción de bovinos en pastoreo en asociación con la producción agrícola. La producción de maíz y diversos granos son los principales productos comerciales que se producen en las zonas con baja

pendientes y con posibilidades de riego y con mayores vías de comunicación. En estas áreas también se llegan a producir hortalizas, muchas veces en asociación con los huertos frutícolas, y ganado en pastoreo, principalmente bovinos. En los últimos años la producción de maíz para grano tanto de temporal como de riego ha venido a ocupar una mayor superficie, desplazando la producción de otros productos, trayendo como consecuencia un mayor uso de pesticidas (herbicidas, plaguicidas, fungicidas y fertilizantes) por superficie anualmente, cabe destacar que estas actividades agropecuarias se presentan a baja escala, por lo que tiene un impacto poco significativo a nivel de la CHF; Sin embargo están presente dentro de la misma.

En la parte alta de la CHF, donde se tienen las mayores pendientes y la falta de disponibilidad de agua de riego, se desarrolla principalmente la producción de bovinos bajo pastoreo extensivo y la producción agrícola de temporal. Sin embargo, es importante establecer que esta zona es la que mayor superficie forestal presenta, caracterizada por grandes macizos forestales de bosque de encino bosque de encino-pino, en el que espacialmente se observa una matriz compleja con los usos agropecuarios mencionados inmersos y dispersos por toda la zona forestal.

Otra problemática detectada en la CHF y que parece ser de mayor relevancia es el desarrollo de más asentamientos humanos, la gran mayoría de ellos, a diferencia del planteado en el presente proyecto, no están contemplados ni regulados dentro del PDU de Morelia y, por tanto, no se contempla su urbanización formal, ni el abastecimiento en la prestación de servicios básicos, como el agua, alcantarillado y energía eléctrica.

Con el desarrollo del proyecto, se tendría una mayor derrama económica en la región que impactaría en el poder adquisitivo de la población asentada dentro de la CHF y localidades aledañas, población que demandaría mayores productos de primera necesidad involucrando los alimentos que se producen en la región. Esto llevaría a intensificar la producción agropecuaria. Sin embargo, en las áreas de riego

y temporal, no se tiene mucho potencial de expansión territorial, por lo que se prevería un uso más intenso de las áreas de riego. Por otro lado, en la superficie de temporal, donde hay mayor superficie de expansión con pero inmersa en la zona boscosa, se tendría como alternativa una expansión territorial para destinarse a la producción agropecuaria, claro de manera regulada.

Estos posibles escenarios traerían como consecuencia diferentes tipos de impactos ambientales. Por un lado, una intensificación de la producción agropecuaria en el área de riego podría traer mayor uso de agua para riego y de pesticidas, con todo lo que ello implica al medio ambiente. Y, por otro lado, la producción agrícola de temporal y la ganadería extensiva traerían consigo la pérdida de áreas que están en proceso de recuperar su funcionalidad ecosistémica. Sin embargo, es también importante resaltar que la población urbana del municipio Morelia, considerando sus tenencias, no dependen de la producción regional para satisfacer su demanda de alimentos, ya que muchos de ellos se importan de otras regiones.