



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS VERACRUZ

POSTGRADO EN AGROECOSISTEMAS TROPICALES

**SUSTENTABILIDAD AGRÍCOLA A NIVEL DE MICROCUENCA EN
LA ZONA CENTRO DEL ESTADO DE VERACRUZ, MÉXICO**

VICTOR DANIEL CUERVO OSORIO

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS

TEPETATES, MANLIO FABIO ALTAMIRANO, VERACRUZ, MÉXICO


2017

La presente tesis, titulada: **Sustentabilidad agrícola a nivel de microcuenca en la zona centro del estado de Veracruz, México**; realizada por el alumno: **Victor Daniel Cuervo Osorio**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS
AGROECOSISTEMAS TROPICALES
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO: 
DR. OCTAVIO RUÍZ ROSADO

ASESOR: 
DR. PABLO DÍAZ RIVERA

ASESOR: 
DR. FELIPE GALLARDO LÓPEZ

ASESOR: 
DR. ELISEO GARCÍA PÉREZ

ASESOR: 
DR. LUIS MANUEL VARGAS VILLAMIL

Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, 11 de diciembre de 2017

SUSTENTABILIDAD AGRÍCOLA A NIVEL DE MICROCUENCA EN LA ZONA CENTRO DEL ESTADO DE VERACRUZ, MÉXICO.

Victor Daniel Cuervo Osorio, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2017.

El objetivo de la investigación fue evaluar la sustentabilidad agrícola de la microcuenca del Río Paso Moral, en la zona centro del estado de Veracruz, México. Se desarrolló una metodología desde una perspectiva agroecológica y se propone el concepto de agricultura sustentable a nivel de cuenca, como el conjunto de manejos agrícolas de los recursos naturales de una cuenca (agua, suelo, biodiversidad), que permiten su conservación a través del tiempo, así como la producción y comercialización de alimentos y bienes agropecuarios para satisfacer las necesidades (educación, salud, alimentación y vivienda) de los productores y sus familias. Se caracterizó la microcuenca y se determinaron sus propiedades emergentes; así como, las dimensiones de sustentabilidad y sus valores mediante una consulta con informantes clave. De acuerdo al concepto de agricultura sustentable propuesto, se seleccionaron indicadores acordes a condiciones locales y se generó un modelo de simulación. Se entrevistó a una muestra de 68 responsables de agroecosistemas. Los indicadores se estandarizaron y ponderaron de acuerdo a una consulta con expertos. Los valores ponderados de cada indicador fueron utilizados en el modelo para obtener el valor de la sustentabilidad agrícola. El grado de sustentabilidad agrícola de la microcuenca Paso Moral, de acuerdo a las condiciones locales, es bajo (50.4). La dimensión que menos contribuye es la ecológica, seguida de la económica y social. El conjunto de los manejos agrícolas no conservan los recursos naturales; además la producción y comercialización se ven en riesgo por la dependencia de insumos externos, subsidios, el poco interés por parte de algún heredero de continuar, la poca participación de la mujer, el intermediario como único punto de venta y la nula organización de productores, asimismo no se satisfacen de manera suficiente las necesidades básicas de educación, salud y alimentación de los productores; por lo cual, si estas condiciones continúan, la agricultura de la microcuenca no se mantendrá en el tiempo. Para contrarrestar los puntos críticos, se proponen prácticas basadas en un enfoque agroecológico, que deberán ser implementadas paulatinamente y de acuerdo a la disposición de los productores, mediante un programa o proyecto de manejo integrado de cuenca. La metodología desarrollada cumple con su objetivo al ser una herramienta útil en la evaluación de la sustentabilidad agrícola, lo que significa un avance importante en hacer operativo y medible el concepto, determinar los puntos críticos y generar propuestas para los productores y tomadores de decisión, en busca de la transición a la agricultura sustentable.

Palabras Clave: Agroecología, Indicadores de sustentabilidad, SIG, Modelos de simulación.

AGRICULTURAL SUSTAINABILITY AT THE MICRO-WATERSHED LEVEL IN THE CENTRAL
ZONE OF THE STATE OF VERACRUZ, MEXICO.

Victor Daniel Cuervo Osorio, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2017.

The aim of the research was to evaluate the agricultural sustainability of the Paso Moral River micro-watershed, in the central zone of the state of Veracruz, Mexico. A methodology from an agroecological perspective was developed. The concept of sustainable agriculture at the micro-watershed level is proposed as the set of agricultural management of the natural resources of a micro-watershed (water, soil, biodiversity), which allows its conservation over time, as well as the production and merchandising of food and agricultural goods to meet the needs (education, health, food and housing) of producers and their families. The micro-watershed and its emergent properties were characterized; the dimensions of sustainability and their values by a consultation with key informants were identified as well. According to the proposed concept of sustainable agriculture, indicators for local conditions were select and was generated an *ad hoc* simulation model. There were interviewed a sample of 68 managers of agroecosystems. The indicators were standardized and weighted according to a consultation with experts. The weighted values of each indicator were use in the model to obtain the value of agricultural sustainability. The degree of agricultural sustainability of the Paso Moral micro-watershed was low (50.4). The ecological dimension showed lower contribution than the economic and social dimensions. The set of agricultural management practices do not conserve natural resources. Besides, the production and merchandising are at risk due to the dependence on external inputs, subsidies, the little interest of some heir to continue, the low participation of women, the intermediary as the only point of sale and the null organization of producers, likewise, the basic needs of education, health and food of the producers are not satisfied enough. Therefore, if these conditions are likely to continue, the micro-watershed agriculture is at risk over time. To counteract the critical points, practices based on an agroecological approach are proposed to gradually implement and according to the disposition of the producers, by a program or integrated watershed management program. The developed methodology fulfills its objective by being a useful tool in the evaluation of agricultural sustainability, which means an important advance in making the concept operational and measurable, determining the critical points and generating proposals for producers and decision makers, in seeking the transition to sustainable agriculture.

Keywords: Agroecology, Sustainability indicators, GIS, Simulation models.

Dedicatoria

A DIOS, por brindarme otra bendición más en mi vida.

A mis padres José Victor Cuervo Cruz y Noemí Osorio Pelayo, por su amor, apoyo y respaldo incondicional, por ser las bases que me impulsaron a conseguir esta meta.

A mi hermano José Javier por su apoyo y por recordarme en cada momento la felicidad en esta vida.

A mi abue Gregorio, por todos sus consejos, su ejemplo de trabajo y superación.

A la memoria de mis abuelitas Rita (Q.E.P.D.) y Tere (Q.E.P.D.), por su amor y su ejemplo de entereza que me fortaleció para continuar y alcanzar esta meta.

A la memoria de mi compadre Rene (Q.E.P.D.), con la esperanza de que en México prevalezca la justicia y la paz.

A mis amigos y compañeros estudiantes del Campus Veracruz: Emmanuel, Adán, Salvador, Yolanda, Lorena, Gabycarmen, Natalie, Citlalli, Luling, Juan Manuel, Nelson, Jorge, Francisco, Joheli y Alejandro; por las vivencias compartidas.

A toda mi Familia y a mis amigos de siempre.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el financiamiento otorgado para realizar mis estudios de Doctorado y estancia académica.

Al Colegio de Postgraduados, por brindarme la oportunidad de pertenecer a dicha institución, especialmente al personal académico del Campus Veracruz, por su valiosa aportación a mi formación personal y académica; así como al resto del personal del Campus por facilitar mis actividades.

A mi consejo particular, Dr. Octavio Ruiz Rosado, Dr. Pablo Díaz Rivera, Dr. Felipe Gallardo López, Dr. Eliseo García Pérez y Dr. Luis Manuel Vargas Villamil, mi respeto, admiración y agradecimiento por su disposición, motivación, sugerencias, consejos y contribución a mi formación académica, y por su valiosa amistad.

A la Universidad Nacional de La Planta, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales y al Ing. Santiago J. Sarandón, por darme la oportunidad de realizar una estancia académica y por sus comentarios, experiencias y sugerencias en la construcción de la metodología de evaluación de la sustentabilidad agrícola.

Al Dr. José Hipólito Rodolfo Mendoza Hernández, por sus valiosas asesorías y comentarios que contribuyeron a mejorar este trabajo.

Contenido

INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1. Planteamiento del problema.....	3
2. Objetivos.....	4
3. Hipótesis.....	4
4. Planteamiento metodológico.....	6
5. Literatura citada.....	7
CAPITULO I EL PARADIGMA AGROECOLÓGICO PARA LOGRAR UNA AGRICULTURA SUSTENTABLE.....	10
1.1 Introducción.....	10
1.1.1 La agroecología como ciencia.....	11
1.1.2 La agroecología como un conjunto de prácticas.....	14
1.1.3 La agroecología como movimiento social.....	15
1.2 Conclusiones.....	16
1.3 Literatura citada.....	17
CAPITULO II LA CUENCA HIDROGRÁFICA COMO SISTEMA PARA EL MANEJO SUSTENTABLE DE LOS RECURSOS NATURALES.....	20
2.1 Introducción.....	20
2.1.1 El concepto de Cuenca hidrográfica.....	22
2.1.2 El enfoque sistémico aplicado a las cuencas hidrográficas.....	23
2.1.3 El manejo integrado de cuencas.....	26
2.2 Conclusiones.....	29
2.3 Literatura citada.....	29
CAPITULO III CONCEPTUALIZACIÓN DE LA AGRICULTURA SUSTENTABLE A NIVEL DE CUENCA HIDROGRAFICA.....	34
3.1 Introducción.....	34
3.1.1 Origen del término sustentabilidad.....	35
3.1.2 El concepto de sustentabilidad en la agricultura.....	37
3.1.3 Criterios, principios y definiciones de agricultura sustentable.....	39
3.1.4 Definición de agricultura sustentable a nivel de cuenca hidrográfica.....	45
3.2 Conclusiones.....	47
3.3 Literatura citada.....	47

CAPITULO IV MARCOS METODOLÓGICOS PARA LA SELECCIÓN DE INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD AGRÍCOLA EN CUENCAS HIDROGRÁFICAS¹. 53

4.1 Introducción. 54

 4.1.1 Definición de indicador. 55

 4.1.2 Selección de indicadores. 56

 4.1.3 Marcos metodológicos en la selección de indicadores. 57

 4.1.4 Marcos metodológicos de indicadores de sustentabilidad agrícola en cuencas. 59

 4.1.5 Consideraciones para la selección de indicadores de sustentabilidad agrícola en cuencas. 62

4.2 Conclusiones. 65

4.3 Literatura citada. 65

CAPITULO V DESCRIPCIÓN MORFOMÉTRICA, AMBIENTAL Y SOCIOECONÓMICA DE LA MICROCUENCA DEL RÍO PASO MORAL, VERACRUZ. 69

5.1 Introducción. 70

5.2 Materiales y Métodos. 71

 5.2.1 Área de estudio. 71

 5.2.2 Parámetros morfométricos. 73

 5.2.3 Mapas temáticos. 77

 5.2.4 Erosión hídrica potencial y actual. 79

 5.2.5 Parámetros socioeconómicos. 83

5.3 Resultados y Discusión. 84

 5.3.1 Parámetros Morfométricos. 84

 5.3.2 Climatología. 86

 5.3.3 Edafología. 89

 5.3.4 Erosión hídrica potencial y actual en la microcuenca Paso Moral. 91

 5.3.5 Uso de Suelo en la microcuenca Paso Moral. 94

 5.3.6 Parámetros socioeconómicos. 94

5.4 Conclusiones. 98

5.5 Literatura Citada. 99

CAPITULO VI EVALUACIÓN DE LA SUSTENTABILIDAD AGRÍCOLA DE LA MICROCUENCA DEL RÍO PASO MORAL, EN EL CENTRO DE VERACRUZ. 104

6.1 Introducción. 105

6.2 Materiales y métodos. 107

6.3 Resultados y discusión. 119

6.4 Conclusiones.	133
6.5 Literatura citada.....	134
CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS.	140
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES.....	142
1. Conclusiones generales.	142
2. Recomendaciones generales.....	144

Lista de cuadros

Cuadro 1. Propuestas de criterios o principios para lograr la agricultura sustentable.	40
Cuadro 2. Definiciones de agricultura sustentable propuestas por diversos investigadores.	43
Cuadro 3. Coeficiente de compacidad de Gravelius para la evaluación de la forma.	74
Cuadro 4. Valores interpretativos de la pendiente media de la cuenca.	76
Cuadro 5. Valores interpretativos de la Densidad de drenaje.....	77
Cuadro 6. Valores del Factor K, en función de la unidad del suelo y su textura superficial.....	81
Cuadro 7. Valores de Factor C para estimar pérdida de suelo.	82
Cuadro 8. Niveles de Erosión hídrica.....	83
Cuadro 9. Parámetros morfométricos de la microcuenca Paso Moral.	84
Cuadro 10. Censo INEGI 2010.	97
Cuadro 11. Localidades de la microcuenca Paso Moral.....	107
Cuadro 12. Propiedades emergentes, interacciones e indicadores de sustentabilidad agrícola de la microcuenca Paso Moral.	111
Cuadro 13. Indicadores de sustentabilidad agrícola para la microcuenca Paso Moral.....	113
Cuadro 14. Valores ponderados utilizados en el modelo.	115
Cuadro 15. Valor promedio de la escala utilizado como el valor de entrada del modelo de simulación. .	117

Lista de figuras

Figura 1. Marco metodológico para la evaluación de la sustentabilidad agrícola a nivel de cuenca hidrográfica.	6
Figura 2. Ubicación de la microcuenca Paso Moral en el contexto estatal y nacional.	72
Figura 3. Localidades de la microcuenca Paso Moral.	72
Figura 4. Ubicación hidrológica de la microcuenca Paso Moral.	73
Figura 5. Curva A: refleja una cuenca con gran potencial erosivo (fase de juventud), Curva B: es una cuenca en equilibrio (fase de madurez), Curva C: es una cuenca sedimentaria (fase de vejez), Microcuenca.	85
Figura 6. Tipos de clima en la microcuenca Paso Moral.	87
Figura 7. Precipitación anual de la microcuenca Paso Moral.	88
Figura 8. Temperatura media anual de la microcuenca Paso Moral.	88
Figura 9. Climograma de la microcuenca Paso Moral.	89
Figura 10. Tipo de suelos y texturas en la microcuenca Paso Moral.	90
Figura 11. Erosión Potencial en la microcuenca Paso Moral.	92
Figura 12. Erosión Actual de la microcuenca Paso Moral.	92
Figura 13. Uso actual del suelo en la microcuenca Paso Moral.	96
Figura 14. Grado de rezago social por localidad en la microcuenca Paso Moral.	96
Figura 15. Proceso metodológico para la evaluación de la sustentabilidad agrícola de la microcuenca. ...	108
Figura 16. Modelo simplificado de agroecosistema.	109
Figura 17. Modelo de simulación en Vensim®.	118
Figura 18. Dimensiones de sustentabilidad agrícola de la microcuenca Paso Moral.	119
Figura 19. Indicadores de sustentabilidad agrícola de la microcuenca Paso Moral.	120

INTRODUCCIÓN GENERAL.

A finales del siglo XX, a partir de la preocupación global por la degradación ambiental, surge el concepto de Desarrollo Sustentable como una propuesta que se opone al modelo de desarrollo basado en la racionalidad económica y el aumento del consumo de los recursos naturales. Definido como "el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades" (CMMAD, 1987), el desarrollo sustentable se ha convertido en el principal objetivo de la investigación científica y de las agendas políticas (López-Ridaura *et al.*, 2002).

La agricultura es parte importante del desarrollo sustentable por dos razones importantes: 1) es fundamental para la sociedad porque a través ella se obtiene alimentos, materias primas (fibras textiles, papel, aceites y grasas, colorantes, entre otros) y energía renovables (biomasa y combustibles), y 2) incide de forma negativa sobre los recursos naturales, ya que, ocupa y transforma el suelo, aporta compuestos agroquímicos diversos generando contaminación, contribuye a la eutrofización de ríos y lagos, afecta a la biodiversidad, contribuye en la emisión de gases de efecto invernadero y es una fuente generadora de residuos.

En este sentido, se debe buscar una agricultura que a través del tiempo asegure una producción estable de alimentos, asegure un uso racional de los recursos naturales y cubra las necesidades básicas de los productores y los consumidores; es decir, una transición hacia una agricultura sustentable es necesaria.

Lograr la transición a la agricultura sustentable es posible mediante la agroecología (Altieri y Nicholls, 2000; Gliessman *et al.*, 2007; Cisneros-Sanguilán *et al.*, 2015); esta transdisciplina, aborda la agricultura desde una perspectiva integradora de las dimensiones económica, ecológica, social y toma en cuenta los conocimientos locales, para resolver la problemática agrícola y promover la sustentabilidad en la agricultura (Ruiz-Rosado, 2006; Caporali, 2011). Otro fundamento importante en la agroecología, es su enfoque de sistemas derivado de la teoría general de sistemas, el cual reconoce como unidad de estudio al agroecosistema, el cual puede ser un país, cuenca, región, finca, parcela o planta (Sarandón y Flores, 2014).

De modo que, estudiar y evaluar la sustentabilidad agrícola a nivel de cuenca hidrográfica es importante; ya que, la cuenca hidrográfica es un territorio delimitado por límites naturales, constituye el espacio geográfico

1 donde existe una interrelación e interdependencia espacial y temporal entre la sociedad y su ambiente;
2 debido a que la sociedad tiene una identidad cultural y socioeconómica originada por la forma de acceso y
3 apropiación de los recursos naturales (Caire, 2004; Aguirre, 2011); además, la conservación, uso y
4 aprovechamiento de los recursos naturales de la cuenca tiene la finalidad de satisfacer las demandas de la
5 población (FAO, 2007), y también, en la cuenca se presenta la interconexión entre poblaciones por la misma
6 gestión del territorio, dependencia común a un sistema hídrico compartido, a los caminos y vías de acceso
7 y al hecho de que deben enfrentar peligros comunes (García, 2002). Por estas características, la cuenca
8 hidrográfica se considera una alternativa idónea para diseñar e instrumentar políticas orientadas al manejo
9 sustentable de los recursos naturales (López, 2014).

10 Para evaluar el desempeño de los agroecosistemas y guiar las acciones políticas hacia la agricultura
11 sustentable se han utilizado indicadores, ya que por medio de ellos se puede reducir e interpretar información
12 sobre diversos tópicos, observar tendencias y valorar el cumplimiento de objetivos y metas (Singh *et al.*,
13 2009). El empleo de indicadores en la evaluación de la sustentabilidad agrícola de una cuenca permitirá
14 contar con una base de información confiable y comprensible sobre los impactos a corto, mediano y largo
15 plazo del manejo en la agricultura, que servirá en la toma de decisiones sobre los puntos críticos y provocar
16 cambios que tiendan hacia la agricultura sustentable en beneficio de los productores y consumidores.

17 Para esta investigación se propone el concepto operacional de la agricultura sustentable a nivel de cuenca
18 como el conjunto de manejos agrícolas de los recursos naturales de una cuenca (agua, suelo, biodiversidad),
19 que permiten su conservación a través del tiempo, así como la producción y comercialización de alimentos
20 y bienes agropecuarios para satisfacer las necesidades (educación, salud, alimentación y vivienda) de los
21 productores y sus familias.

22

1 1. Planteamiento del problema.

2 La cuencas hidrográficas presentan graves deterioros ecológicos, debido principalmente al manejo
3 deficiente de los recursos naturales y a que no se entienden las interrelaciones no solo fisco-biológicas, sino
4 también las sociales y económicas que se desarrollan en la cuenca (López *et al.*, 2008).

5 La agricultura sustentable, como parte del desarrollo sustentable, es un concepto complejo y dinámico que
6 debe cumplir, en forma simultánea, con varios objetivos: ecológicos, sociales, económicos, temporales y
7 espaciales. Por lo tanto, su evaluación debe ser abordada con un enfoque transdisciplinario y sistémico, que
8 se propone como alternativa a la visión reduccionista que aún hoy prevalece.

9 Para evaluar la sustentabilidad agrícola, se han utilizado indicadores y se coincide en que no existe un
10 conjunto de indicadores universales que puedan ser utilizados para cualquier situación. Por esta razón, se
11 han sugerido marcos metodológicos para el desarrollo o construcción de indicadores. En este sentido,
12 aunque existen diversas metodologías para evaluar la sustentabilidad agrícola desde distintos niveles
13 jerárquicos, las propuestas a nivel de cuenca no integran al menos las tres dimensiones básicas de la
14 sustentabilidad (ecológica, económica y social) o son parciales (Ruiz-Rosado, 2001; Forouzani y Karami,
15 2011; Ramírez *et al.*, 2008; Candelaria-Martínez *et al.*, 2014).

16 En la microcuenca del Río Paso Moral, en el centro del estado de Veracruz, se presentan diversas
17 limitaciones en los aspectos ecológicos, económicos y sociales que, *A priori*, hacen suponer que la
18 sustentabilidad agrícola de esta microcuenca es baja, pero esto aún no ha sido confirmado. En el aspecto
19 económico, las redes productivas están fragmentadas y desarticuladas, no existen estándares de calidad,
20 escalas de producción, abastecimiento permanente y costos óptimos, no existen programas de difusión de
21 los atractivos naturales y edificaciones arqueológicas de la zona (Vilaboa-Arroniz *et al.*, 2014). Desde el
22 punto de vista social, la mayoría de las localidades son de alto grado de marginación (CONAPO, 2010), la
23 edad de los productores es elevada con bajo nivel educativo, nula capacitación y desorganización,
24 migración, actitud de incredulidad hacia programas externos, así como alta dependencia a programas de
25 asistencia social (Candelaria-Martínez, 2011; Vilaboa-Arroniz *et al.*, 2014). Por último, en el ámbito

1 ecológico se presenta tala inmoderada de la vegetación, la contaminación y erosión del suelo, estacionalidad
2 de lluvias (4 meses), abatimiento y contaminación de los mantos acuíferos y en general un manejo deficiente
3 de los recursos naturales (Candelaria-Martínez *et al.*, 2014; Vilaboa-Arroniz *et al.*, 2014). Por lo cual, es
4 necesario generar y aplicar metodologías y criterios de evaluación locales e innovadores, que se traduzcan
5 en un análisis objetivo y cuantificable, que permita detectar los aspectos críticos que impiden el logro de la
6 sustentabilidad agrícola, y, además, sugerir medidas correctivas para superar dichos puntos críticos.

7

8 2. Objetivos.

9 Evaluar la sustentabilidad agrícola de la microcuenca del Río Paso Moral que pertenece a la región
10 hidrológica 28 del centro del estado de Veracruz.

11

12 2.1 Objetivos específicos.

13 Determinar si el conjunto de manejos agrícolas de la microcuenca del Río Paso Moral permite la
14 conservación del agua, suelo y biodiversidad.

15

16 Determinar si el conjunto de manejos agrícolas de la microcuenca del Río Paso Moral permite la producción
17 y comercialización de alimentos y bienes agropecuarios.

18

19 Determinar si el conjunto de manejos agrícolas de la microcuenca del Río Paso Moral permite satisfacer las
20 necesidades (educación, salud, alimentación y vivienda) de los productores y sus familias.

21

22 3. Hipótesis.

23 La sustentabilidad agrícola de la microcuenca del Río Paso Moral es baja, debido a que el conjunto de
24 manejos agrícolas de los recursos naturales (agua, suelo, biodiversidad) no permite su conservación a través

1 del tiempo, así como la producción y comercialización de alimentos y bienes agropecuarios para satisfacer
2 las necesidades (educación, salud, alimentación y vivienda) de los productores y sus familias.

3

4 3.1 Hipótesis específicas.

5 El conjunto de manejos agrícolas en la microcuenca del Río Paso Moral no permite la conservación del
6 agua, suelo y biodiversidad.

7

8 El conjunto de manejos agrícolas en la microcuenca del Río Paso Moral no permite la producción y
9 comercialización de alimentos y bienes agropecuarios.

10

11 El conjunto de manejos agrícolas en la microcuenca del Río Paso Moral no permite satisfacer las
12 necesidades (educación, salud, alimentación y vivienda) de los productores y sus familias a través del
13 tiempo.

14

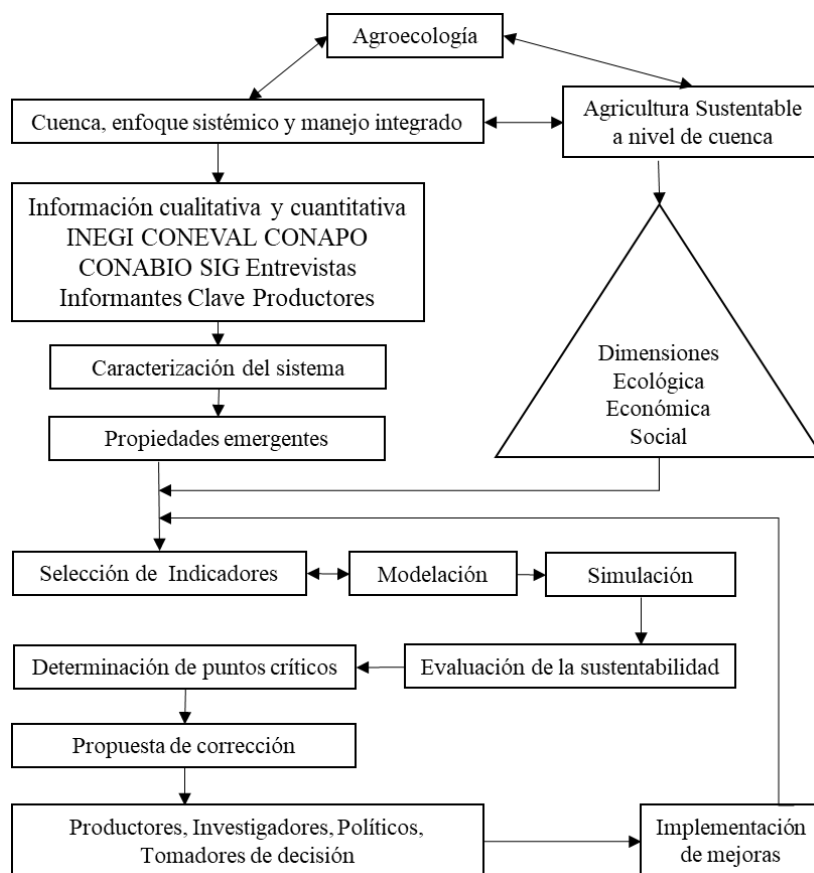
15 Esta tesis se estructura bajo la modalidad de manuscritos de artículos científicos. En principio se presenta
16 la introducción general, el planteamiento del problema que da origen a la investigación, los objetivos e
17 hipótesis y el planteamiento metodológico utilizado. A continuación, se expone el análisis de los temas que
18 dieron el soporte teórico y conceptual a la investigación, que comprende el Capítulo I sobre la agroecología
19 como el paradigma para lograr la agricultura sustentable, el Capítulo II que propone a la cuenca como
20 sistema para el manejo sustentable de los recursos naturales y el Capítulo III la conceptualización de la
21 agricultura sustentable a nivel de cuenca. Posteriormente, se desarrolla el marco de referencia, que incluye
22 el Capítulo IV un análisis de los marcos metodológicos e indicadores frecuentemente utilizados para evaluar
23 la sustentabilidad agrícola a nivel general y en específico a nivel de cuenca hidrográfica. Además, como
24 resultado de esta investigación, se presenta en el Capítulo V la caracterización de la microcuenca del Río
25 Paso Moral, ubicada en la región central del estado de Veracruz e integrada por porciones de los municipios

1 de Paso de Ovejas, Manlio Fabio Altamirano y Soledad de Doblado. En el Capítulo VI se exponen los
 2 resultados de la propuesta metodológica para la evaluación de la sustentabilidad agrícola aplicada en la
 3 microcuenca. Finalmente, se contrastan las hipótesis, y se presentan las conclusiones y recomendaciones
 4 generales de este trabajo de investigación.

5

6 4. Planteamiento metodológico.

7 A partir de un enfoque agroecológico, considerado el camino para lograr la agricultura sustentable y
 8 entendiendo a la cuenca hidrográfica como unidad territorial idónea para la implementación de programas
 9 dirigidos al manejo sustentable de los recursos naturales, así como la definición de la agricultura sustentable
 10 a nivel de cuenca hidrográfica; se genera una propuesta metodológica para evaluar la sustentabilidad
 11 agrícola a nivel de cuenca hidrográfica (Figura 1).



12
 13
 14

Figura 1. Marco metodológico para la evaluación de la sustentabilidad agrícola a nivel de cuenca hidrográfica.

1 Utilizando información cualitativa y cuantitativa proveniente de dependencias gubernamentales, centros de
2 investigación, sistemas de información geográfica (SIG) e información de productores e informantes clave,
3 se caracteriza el agroecosistema cuenca, para conocer los componentes e interrelaciones relevantes.
4 Posteriormente se determinan sus propiedades emergentes y el valor de las dimensiones de la sustentabilidad
5 de acuerdo a las condiciones locales (mediante informantes clave).
6 Se selecciona un conjunto de indicadores y se obtienen sus valores mediante entrevistas a productores, SIG
7 y dependencias gubernamentales. Una vez estandarizados los valores de los indicadores por medio de una
8 escala, se genera un modelo de simulación. El valor ponderado de los indicadores en el modelo, surgen de
9 una consulta con expertos. Los valores estandarizados de los indicadores se ingresan al modelo.
10 Finalmente se realiza la evaluación de la sustentabilidad, que da como resultado el valor del modelo y
11 además se determinan puntos críticos; en base a ellos se proponen cambios en el manejo que ayuden a los
12 tomadores de decisiones, productores y consumidores para realizar una transición a la agricultura
13 sustentable.

14

15 5. Literatura citada.

16 Aguirre, M. 2011. La cuenca hidrográfica en la gestión integrada de los recursos hídricos. Revista Virtual
17 REDESMA. 5(1):9-20.

18 Altieri, M. y Nicholls, C. 2000. Teoría y práctica para una agricultura sustentable. Serie textos básicos para
19 la formación ambiental. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Primera edición.
20 México, D.F. 257 p.

21 Caire, G. 2004. Implicaciones del marco institucional y de la organización gubernamental para la gestión
22 ambiental por cuencas. El caso de la cuenca Lerma-Chapala. Gaceta Ecológica. 71:55-78.

23 Candelaria-Martínez, B. 2011. Diseño participativo para mejorar la sustentabilidad de los agroecosistemas
24 de la microcuenca Paso de Ovejas 1 en el estado de Veracruz, México. Tesis Doctorado. Colegio de
25 Postgraduados. Programa Agroecosistemas Tropicales. Tepetates, Manlio F. Altamirano, Veracruz. 135 p.

1 Candelaria-Martínez, B.; Ruiz-Rosado, O.; Pérez-Hernández, P.; Gallardo-López, F.; Vargas-Villamil, L.;
2 Martínez-Becerra, Á. y Flota-Bañuelos, C. 2014. Sustentabilidad de los agroecosistemas de la microcuenca
3 Paso de Ovejas 1, Veracruz, México. Cuadernos de Desarrollo Rural. 11(73):87-104.

4 Caporali, F. 2011. Agroecology as a transdisciplinary science for a sustainable agriculture. *In: Biodiversity,*
5 *Biofuels, Agroforestry and Conservation Agriculture. Sustainable Agriculture Reviews 5.* Lichtfouse, E.
6 (Ed.). First edition. Springer Netherlands. 1-71 pp.

7 Cisneros-Saguilán, P.; Gallardo-López, F.; López-Ortíz, S.; Ruiz-Rosado, O.; Herrera-Haro, J. and
8 Hernández-Castro, E. 2015. Current epistemological perceptions of sustainability and its application in the
9 study and practice of cattle production: a review. *Agroecology and Sustainable Food Systems.* 39:885-906.

10 CMMAD. 1987. Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo. Nuestro futuro común. Madrid.
11 Alianza Editorial.

12 CONAPO. 2010. Índice de marginación 2010, México. Consultado julio 2015. Disponible en:
13 http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Indice_de_Marginacion_por_Localidad_2010

14 FAO. 2007. Food and Agriculture Organization. La nueva generación de programas y proyectos de gestión
15 de cuencas hidrográficas. Cuadernos técnicos de la FAO. Roma. 153 p.

16 Forouzani, M. and Karami, E. 2010. Agricultural water poverty index and sustainability. *Agronomy for*
17 *Sustainable Development.* 31:415-432.

18 García, W. 2002. Planificación de cuencas hidrográficas bajo la perspectiva de los sistemas complejos. Tesis
19 Posgrado (Especialista en Gestión Agroambiental). Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.
20 Facultad de Ciencias Humanas. Medellín, Colombia. 170 p.

21 Gliessman, S. R.; Rosado-May, F. J.; Guadarrama-Zugasti, C.; Jedlicka, J.; Cohn, A.; Méndez, V. E. y Jaffe,
22 R. 2007. Agroecología: promoviendo una transición hacia la sostenibilidad. *Revista Ecosistemas.* 16:13-23.

23 López, W. 2014. Análisis del manejo de cuencas como herramienta para el aprovechamiento sustentable de
24 recursos naturales. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas.* 13(2): 39-45.

- 1 López, W; Villar, B; López, J. y Faustino, J. 2008. El manejo de cuencas hidrográficas en el estado de
2 Chiapas: diagnóstico y propuesta de un modelo alternativo de gestión. *In*: Seminario Internacional sobre
3 Co-gestión de Cuencas Hidrográficas: Experiencias y Desafíos. Venegas, L. y Faustino, J. (Comps.). Red
4 Internacional de Organismos de Cuencas (RIOCI). La Organización de la Red Internacional de Organismos
5 de Cuencas. Bases de Organización y Funcionamiento. Paris, Francia. 21-26 pp.
- 6 López-Ridaura, S.; Masera, O. and Astier, M. 2002. Evaluating the sustainability of complex socio-
7 environmental systems. The MESMIS framework. *Ecological Indicators*. 2:135-148.
- 8 Ramírez, L.; Alvarado, A.; Pujol, R.; Mchugh, A. y Brenes, L. 2008. Indicadores para estimar la
9 sostenibilidad agrícola de la cuenca media del Río Reventado, Cartago, Costa Rica. *Agronomía
10 Costarricense*. 32(2): 93-118.
- 11 Ruiz-Rosado, O. 2001. Agroecological sustainability in Kent, England: the systems theory approach at
12 catchment and parish group levels. Tesis Doctorado. Imperial College at Wye University of London. 322 p.
- 13 Ruiz-Rosado, O. 2006. Agroecología: una disciplina que tiende a la transdisciplina. *Interciencia*. 31:140-
14 145.
- 15 Sarandón, S. y Flores, C. 2014. Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas
16 sustentables. Universidad Nacional de La Plata. Primera edición. La Plata, Argentina. 467 p.
- 17 Singh, R. K.; Murty, H. R.; Gupta, S. K. and Dikshit, A. K. 2009. An overview of sustainability assessment
18 methodologies. *Ecological Indicators*. 9:189-212.
- 19 Vilaboa-Arroniz, J.; Olguín-Palacios, C.; Reta-Mendiola, J.; López-Ortiz, S.; López-Romero, G. y Álvarez-
20 Ávila, M. C. 2014. Angostillo: microrregión de atención prioritaria en Paso de Ovejas, México.
21 *Agroproductividad*. 7:3-9.

22

23

24

CAPITULO I EL PARADIGMA AGROECOLÓGICO PARA LOGRAR UNA AGRICULTURA SUSTENTABLE.

Resumen.

El objetivo de este trabajo fue describir a la agroecología desde tres perspectivas para reforzar la propuesta del paradigma agroecológico como modelo para lograr una agricultura sustentable. Primero se expone como se concibe a la agroecología como una transdisciplina; posteriormente se plantean las características de las practicas agroecológicas y como se considera a la agroecología como movimiento social. La triple perspectiva de la agroecología la vuelve no solamente una transdisciplina, sino también una práctica en franca oposición al quehacer de la agricultura convencional y finalmente en un movimiento social ligado con la reivindicación de los productores y consumidores. La agroecología como ciencia, práctica y movimiento social se conjuga para transformar las normas y valores para lograr una agricultura sustentable.

Palabras clave: Agroecología, Practicas agroecológicas, Movimiento social.

1.1 Introducción.

Como parte del desarrollo sustentable, la agricultura sustentable es una respuesta a la contaminación de aguas y suelos, erosión, pérdida de biodiversidad, acaparamiento de semillas e incluso a la pobreza rural; es decir, un conjunto de problemas asociados a la agricultura moderna, derivada de la “revolución verde” (León, 2012). El concepto de sustentabilidad, aunque debatido y complejo debido a la existencia de definiciones e interpretaciones diversas, es útil debido a que captura el conjunto de preocupaciones acerca de la agricultura.

A pesar de que han tenido lugar proyectos orientados a crear sistemas agrícolas y tecnologías más ecológicas, la tendencia es aun altamente reduccionista; es decir, prevalece la percepción de que las plagas, las deficiencias de nutrientes u otros factores son la causa de la baja productividad de manera parcial, en

1 una visión opuesta a la que considera que las plagas o los nutrientes sólo se transforman en una limitante, si
2 el agroecosistema no está en equilibrio (Carrol *et al.*, 1990). Esta visión reduccionista impide darse cuenta
3 de que los factores limitantes sólo representan desbalances dentro del agroecosistema y ha provocado una
4 apreciación que subestima las principales causas de las limitaciones (Altieri, 2001). La agroecología surge
5 como un cambio de paradigma con diferentes implicaciones científicas, prácticas y sociales (Martínez,
6 2002); que delinean un enfoque transdisciplinario, al abordar los conceptos y principios ecológicos, sociales,
7 económicos y tomando en cuenta los conocimientos locales, para resolver la problemática agrícola y
8 promover la agricultura sustentable (Ruiz-Rosado, 2006; Caporali, 2011). La idea de la agroecología es ir
9 más allá del uso de prácticas alternativas y desarrollar agroecosistemas con una dependencia mínima de
10 insumos externos, sino que busca la optimización del agroecosistema en su conjunto a través de potenciar
11 las interrelaciones y los sinergismos entre sus elementos (Zhen y Routray, 2003). El objetivo de este trabajo
12 fue describir a la agroecología desde tres perspectivas para reforzar la propuesta del paradigma
13 agroecológico como modelo para lograr una agricultura sustentable.

14

15 1.1.1 La agroecología como ciencia.

16 El enfoque reduccionista que explica los fenómenos a través del análisis de sus elementos o partes
17 componentes y con el que se ha desarrollado el saber científico hasta nuestra época, ha dado resultados
18 importantes pero insuficientes; pero sobre todo consecuencias importantes por sus externalidades (Alvares-
19 Salas *et al.*, 2014). También, la realidad agrícola se ha explicado desde dicho paradigma científico sin tener
20 los resultados esperados, un ejemplo es la “revolución verde”, un modelo de agricultura que trato de resolver
21 el problema de la producción de alimentos mediante la modificación del ambiente para permitir expresar el
22 alto potencial de rendimiento de pocas variedades, este tipo de agricultura incremento la producción de los
23 cultivos, pero también provoco problemas ecológicos y sociales (Sarandón y Flores, 2014; León, 2012).

24 De esta forma los cambios de paisaje y la disminución de la calidad de los recursos naturales, el círculo
25 vicioso del uso de plaguicidas, su efecto en la salud humana y pérdidas de la biodiversidad, así como la

1 resistencia a la pérdida del conocimiento tradicional y la crítica al paradigma científico convencional, fueron
2 las bases para la construcción del paradigma agroecológico (Ruiz-Rosado, 2006).

3 De acuerdo con Brunett *et al.* (2006) y Cisneros-Saguilán *et al.* (2015), la agroecología se encuentra dentro
4 de la perspectiva teórica técnico-biológica, la cual establece la importancia de la biodiversidad y las
5 interacciones dentro de los agroecosistemas, promoviendo un enfoque multidisciplinario e interdisciplinario
6 de la investigación, su concepción parte de la posibilidad de maximizar la eficiencia de los sistemas de
7 producción y obtener mayores beneficios con el uso de técnicas ecológicas, reconoce la importancia de un
8 verdadero conocimiento del potencial ecológico para impulsar alternativas productivas propias para cada
9 región.

10 Otra base teórica de la agroecología es el marco teórico conceptual que surge de la teoría general de sistemas
11 que deriva en el enfoque de sistemas y después en el pensamiento complejo (Casanova-Pérez *et al.*, 2015).

12 De acuerdo con Caporali (2011), se pueden identificar cuatro pilares epistemológicos: 1) el concepto de
13 agroecosistema; 2) la jerarquía del agroecosistema; 3) el agroecosistema como la unidad de toma de decisión
14 y 4) la representación de la agricultura como un sistema de actividad humana; estas cuatro herramientas son
15 modelos de organización agrícola que permiten entender, proyectar y gestionarlos como un proceso.

16 La agroecología se caracteriza por la convergencia de procesos ambientales, económicos, sociales y los que
17 se derivan de ellos (tecnológicos, culturales y políticos), cuya sinergia rebasa a las unidades de producción,
18 antes consideradas como los límites del agroecosistema (Casanova-Pérez *et al.*, 2015). En este sentido, en
19 la actualidad las definiciones de agroecología dadas por Francis *et al.* (2003) y Gliessman (2007) van más
20 allá del agroecosistema, dejando la escala espacial concreta y entrando en la dimensión del sistema
21 alimentario. Esta dimensión incluye la escala geográfica local, regional, nacional y mundial, así como los
22 sistemas de producción de alimentos, la sociedad, la economía y la política, que no se pueden atribuir
23 directamente a una escala específica, sino que están conectados y entrelazados de diferentes maneras (Wezel
24 y Jauneau, 2011).

1 En este sentido, la agroecología emerge como ciencia para estudiar las relaciones puramente ecológicas en
2 los agroecosistemas, considerando ocasionalmente el papel que tiene el productor en el manejo (Ruiz-
3 Rosado, 2006); sin embargo, esta ha evolucionado hasta convertirse en una matriz disciplinar sistémica que
4 aplica conocimientos que se generan en diversas disciplinas científicas y se nutre de los saberes,
5 conocimientos y experiencias de productores y demás actores sociales involucrados, por lo que abandona
6 su *status* de disciplina para convertirse en una transdisciplina (Ruiz-Rosado, 2006; Schaller, 2013; Nieto *et*
7 *al.*, 2013).

8 Otro aspecto importante es que la agroecología no niega la especialización del conocimiento porque
9 entiende su función en comprender a escala celular y molecular como en el ámbito del comportamiento de
10 los distintos componentes del agroecosistema, integrando estos conocimientos en visiones holísticas que
11 den cuenta de la totalidad y no de la parcialidad del agroecosistema (León, 2009). A partir de su enfoque
12 teórico y metodológico pretende estudiar la actividad agrícola desde una perspectiva integradora de las
13 dimensiones económica, ecológica y social (Flores y Sarandón, 2015). Para su estudio, se deben comprender
14 las interacciones que se establecen entre sus componentes, con el fin de explicar los fenómenos que se
15 presentan dentro del sistema; lo anterior implica ubicarse en un nivel transdisciplinario, que permita
16 entender la naturaleza material del objeto de estudio, los tipos y las complejidades de los fenómenos del
17 agroecosistema (Alvares-Salas *et al.*, 2014).

18 La agroecología se define como una transdisciplina que proporciona los principios ecológicos básicos y se
19 ayuda de otras disciplinas científicas para estudiar, diseñar y manejar agroecosistemas, mediante un enfoque
20 sistémico que permite identificar los componentes, su complejidad y su jerarquización; donde se asume que
21 las partes no pueden entenderse fuera de su totalidad; así como una acción participativa, donde los
22 productores son sujetos y no sólo objetos del proceso de investigación (Altieri, 1995; Ruiz-Rosado, 2006;
23 Brunett *et al.*, 2006).

24

1 1.1.2 La agroecología como un conjunto de prácticas.

2 La agroecología desde la perspectiva práctica hace posible diseñar agroecosistemas que aprovechan las
3 funcionalidades que proporcionan los ecosistemas, reducen la presión sobre el ambiente y protegen los
4 recursos naturales (Wezel *et al.*, 2009; Schaller, 2013). Además, el papel de las actividades agrícolas se basa
5 en las prácticas locales de manejo, que conducen a la conservación y regeneración de los recursos naturales
6 (Angeon *et al.*, 2014). De acuerdo con Schaller (2013), mediante las prácticas agroecológicas es posible
7 aumentar la cantidad de la producción agrícola y mejorar su calidad, regulando las poblaciones de plagas
8 de manera más eficiente y reducir la dependencia de insumos externos, mediante el aumento de la diversidad
9 biológica y la optimización de las interacciones biológicas en los agroecosistemas.

10 Diversos autores (Edwards *et al.*, 1993; Altieri y Nicholls, 2000; Brunett *et al.*, 2006) consideran que, en un
11 agroecosistema son básicas las estrategias agroecológicas siguientes: a) reducir el uso de energía y regular
12 la inversión total de energía para obtener una alta relación de producción/inversión. b) reducir las pérdidas
13 de nutrientes y mejorar los procesos de reciclado. c) estimular la producción local de cultivos y animales,
14 adaptados al entorno socioeconómico y ambiental. d) mantener la producción con la preservación de los
15 recursos naturales. Reducir costos y aumentar la eficiencia y viabilidad económica de los sistemas.

16 En este sentido, Altieri y Nicholls (2000), proponen que las prácticas agroecológicas deben promover
17 acciones como: 1) Diversificación vegetal y animal a nivel de especies o genética, en tiempo y espacio,
18 dentro del agroecosistema; 2) Reciclaje de nutrientes y materia orgánica, optimización de la disponibilidad
19 de nutrientes y balance del flujo de nutrientes; 3) Provisión de condiciones edáficas óptimas para el
20 crecimiento de cultivos manejando la materia orgánica y estimulando la biología del suelo; 4) Minimización
21 de pérdidas del suelo y agua, manteniendo la cobertura del suelo, controlando la erosión y manejando el
22 microclima; 5) Medidas preventivas para el control de insectos, patógenos y malezas, lo cual puede lograrse
23 mediante el favorecimiento de organismos benéficos, alelopatía, y una serie de técnicas desarrolladas por
24 los pueblos durante milenios; 6) Explotación de sinergias que emergen de interacciones de ambiente-
25 plantas-animales.

1 Siguiendo las consideraciones anteriores, de acuerdo a Labrador y Altieri (1995), las prácticas básicas a
2 realizar en el agroecosistema desde el punto de vista del manejo, incluyen entre otras: a) Cubierta vegetal
3 como medida efectiva de conservación del suelo y el agua, mediante el uso de prácticas de cero-labranza,
4 uso de cultivos de cobertura, asociación de cultivos, entre otros; b) Suplementación regular de materia
5 orgánica mediante la incorporación continua de abono orgánico y composta y promoción de la actividad
6 biótica del suelo; c) Mecanismos de reciclado de nutrientes mediante el uso de rotaciones de cultivos,
7 sistemas agrosilvopastoriles, sistemas agroforestales, entre otros; d) Regulación de plagas mediante la
8 actividad de los agentes de control biológico, la manipulación de la biodiversidad y la introducción y/o
9 conservación de los enemigos naturales.

10 Las prácticas agroecológicas se basan en promover procesos de interacciones entre los diferentes elementos
11 del sistema, además de considerar los conocimientos del productor y sus aspiraciones como factores que
12 influyen en la dinámica del agroecosistema (Brunett *et al.*, 2006).

13

14 1.1.3 La agroecología como movimiento social.

15 Como movimiento social, la agroecología corresponde con las aspiraciones sociales que cuestionan la
16 intensificación y la estandarización de los sistemas de producción y consumo actual. Este movimiento aboga
17 por los valores éticos, el desarrollo sustentable, la soberanía alimentaria y plantea a la agroecología como
18 un tema constante que debe ser debatido en la academia y grupos de interés, ya sean agricultores, tomadores
19 de decisiones o de la sociedad civil (Schaller, 2013; Angeon, *et al.*, 2014).

20 De acuerdo con Gliessman (2011), también es una poderosa herramienta para lograr el cambio en el sistema
21 alimentario, en otras palabras, un rediseño masivo de las estructuras económicas que lo rigen.

22 En este sentido, de acuerdo con Wezel *et al.* (2009), un movimiento agroecológico puede ser un grupo de
23 agricultores que trabajan por la seguridad alimentaria, la soberanía y la autonomía; un movimiento político
24 de la población local para el desarrollo rural; un movimiento de grupos de agricultores para extender la
25 agroecología a través de asociaciones sociales para responder mejor a los desafíos ecológicos dentro de

1 sistemas de producción agrícola relativamente especializados. Estos movimientos están claramente
2 orientados a la acción, y en general suceden en respuesta a objetivos comunes más elevados, como el
3 desarrollo y la agricultura sustentable. Sin embargo, los agricultores por sí solos no pueden transformar todo
4 el sistema alimentario; sin un cambio profundo en el marco institucional en vigor, no será posible que las
5 experiencias agroecológicas exitosas se extiendan y que la crisis ecológica en el campo se combata de
6 manera efectiva (González, 2012). Por lo que se necesita de la participación de la gente en el otro extremo
7 de la cadena alimentaria, los consumidores.

8 Acorde con Gliessman (2011) después de décadas de políticas del sistema alimentario y desarrollo enfocado
9 en altos rendimientos, los productores y los consumidores se han vuelto tan aislados y separados, que los
10 productores no saben quién está consumiendo sus productos y los consumidores no tienen idea de quién
11 cultiva su comida, cómo se cultiva o dónde se cultiva; al volver a conectar estas dos partes importantes, la
12 agroecología mostrará el proceso de transformación necesario para conducirnos a la agricultura sustentable.

13

14 1.2 Conclusiones.

15 La agroecología se concibe como una transdisciplina que proporciona los principios ecológicos y de otras
16 disciplinas científicas, así como el conocimiento local, para analizar, diseñar y manejar agroecosistemas,
17 mediante un enfoque sistémico que permite identificar los componentes, su complejidad y su jerarquización;
18 donde se asume que las partes no pueden entenderse fuera de su totalidad; así como una acción participativa,
19 donde los productores son sujetos y no sólo objetos del proceso de investigación. También se considera el
20 fundamento científico de la agricultura sustentable. La agroecología como un conjunto de prácticas busca
21 potenciar las interrelaciones de los componentes del agroecosistema, además de considerar los
22 conocimientos del productor. La agroecología como movimiento social, promueve las prácticas
23 agroecológicas y busca transformar el sistema alimentario.

24 La triple perspectiva de la agroecología la vuelve no solamente una transdisciplina, sino también un conjunto
25 de prácticas en franca oposición al quehacer de la agricultura convencional y finalmente en un movimiento

1 social ligado con la reivindicación de los productores y consumidores. La agroecología como ciencia,
2 práctica y movimiento social se conjuga para transformar las normas y valores para lograr una agricultura
3 sustentable.

4

5 1.3 Literatura citada.

6 Altieri, M. 1995. *Agroecology: the science of sustainable agriculture*. Westview Press. Primera edición.
7 Boulder, Colorado, EUA. 433 p.

8 Altieri, M. 2001. *Agroecología: el camino hacia una agricultura sustentable*. Ediciones Científicas
9 Americanas. Primera edición. Argentina. 557 p.

10 Altieri, M. y Nicholls, C. 2000. *Teoría y práctica para una agricultura sustentable*. Serie textos básicos para
11 la formación ambiental. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Primera edición.
12 México, D.F. 257 p.

13 Álvarez-Salas, L.; Polanco-Echeverry, D. y Ríos-Osorio, L. 2014. Reflexiones acerca de los aspectos
14 epistemológicos de la agroecología. *Cuadernos de Desarrollo Rural*. 11:55-74.

15 Angeon, V.; Ozier-Lafontaine, H.; Lesueur-Jannoyer, M. and Larade, A. 2014. Agroecology theory,
16 controversy and governance. *In: Sustainable Agriculture Reviews 14, Agroecology and Global Change*.
17 Ozier-Lafontaine, H. and Lesueur-Jannoyer, M. (Eds.). Springer. 14:1-22 pp.

18 Brunett, L.; García, L.; González, C.; González, F. y Climent, J. 2006. La Agroecología como paradigma
19 para el diseño de la agricultura sustentable y metodologías para su evaluación. *Sociedades Rurales,*
20 *Producción y Medio Ambiente*. 6:83-109.

21 Caporali, F. 2011. Agroecology as a transdisciplinary science for a sustainable agriculture. *In: Biodiversity,*
22 *Biofuels, Agroforestry and Conservation Agriculture*. Sustainable Agriculture Reviews 5. Lichtfouse, E.
23 (Ed.). First edition. Springer. Netherlands. 1-71 pp.

24 Carrol, C.; Vandermeer, J. and Rosset, P. 1990. *Agroecology*. McGraw Hill Publishing Company. First
25 edition. New York, EUA. 641 p.

1 Casanova-Pérez, L.; Martínez-Dávila, J.; López-Ortiz, S.; Landeros-Sánchez, C.; López-Romero, G. y
2 Peña-Olvera, B. 2015. Enfoques del pensamiento complejo en el Agroecosistema. *Interciencia*. 40:210-216.
3 Cisneros-Saguilán, P.; Gallardo-López, F.; López-Ortíz, S.; Ruiz-Rosado, O.; Herrera-Haro, J. and
4 Hernández-Castro, E. 2015. Current epistemological perceptions of sustainability and its application in the
5 study and practice of cattle production: a review. *Agroecology and Sustainable Food Systems*. 39:885-906.
6 Edwards, C.; Grove, T.; Harwood, R. and Colfer, C. 1993. The role of agroecology and integrated farming
7 systems in agricultural sustainability. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 46:99-121.
8 Flores, C. y Sarandón, S. 2015. Evaluación de la sustentabilidad de un proceso de transición agroecológica
9 en sistemas de producción hortícolas familiares del Partido de La Plata, Buenos Aires, Argentina. *Revista*
10 *Facultad Agronomía La Plata. Núm. Esp.1 Agricultura Familiar, Agroecología y Territorio*. 114:52-66.
11 Francis, C.; Lieblein, G.; Gliessman, S.; Breland, T.; Creamer, N.; Harwood, R.; Salomonsson, L.; Helenius,
12 J.; Rickerl, D.; Salvador, R.; Wiedenhoef, M.; Simmons, S.; Allen, P.; Altieri, M.; Flora, C. and Poincelot,
13 R. 2003. *Agroecology: the ecology of food systems*. *Journal of Sustainable Agriculture*. 22:99-118.
14 Gliessman S. 2007. *Agroecology: the ecology of sustainable food systems*. CRC Press, Taylor & Francis.
15 First edition. New York, USA. 384 p.
16 Gliessman, S. 2011. Transforming food systems to sustainability with agroecology. *Journal of Sustainable*
17 *Agriculture*. 35:823-825.
18 Gonzalez, M. 2013. Agroecology and politics. How to get sustainability? About the necessity for a political
19 agroecology. *Agroecology and Sustainable Food Systems*. 37:45-59.
20 Labrador, J. y Altieri, M. 1995. Manejo y diseño de sistemas agrícolas sustentables. Ministerio de
21 Agricultura, Pesca y Alimentación, Secretaría General de Estructuras Agrarias. Hojas divulgadores Núm.
22 6-7/94 HD. 52 p.
23 León, T. 2009. Agroecología: desafíos de una ciencia ambiental en construcción. *Agroecología*. 4:7-17.
24 León, T. 2012. *Agroecología: la ciencia de los agroecosistemas - La perspectiva ambiental*. Tesis Doctorado.
25 Universidad Nacional de Colombia - Instituto de Estudios Ambientales. Colombia. 261 p.

1 Martínez, C. R. 2002. Agroecología: atributos de sustentabilidad. *InterSedes, Revista de las Sedes*
2 *Regionales*. 3(5):25-45.

3 Nieto, E.; Valencia F. and Giraldo, R. 2013. Pluri-epistemological bases of studies in agroecology.
4 *Entramado*. 91:204-211.

5 Ruiz-Rosado, O. 2006. Agroecología: una disciplina que tiende a la transdisciplina. *Interciencia*. 31:140-
6 145.

7 Sarandón, S. y Flores, C. 2014. *Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas*
8 *sustentables*. Universidad Nacional de La Plata. Primera edición. La Plata, Argentina. 467 p.

9 Schaller, N. 2013. Agroecology: different definitions, common principles. *Division of statistics and strategic*
10 *foresight - Center for studies and strategic foresight. Analysis*. 59:1-4.

11 Wezel, A. and Jauneau, J. 2011. Agroecology - interpretations, approaches and their links to nature
12 conservation, rural development and ecotourism. *In: Integrating Agriculture, Conservation and Ecotourism:*
13 *Examples from the Field, Issues in Agroecology - Present Status and Future Prospectus 1*. Campbell, B. and
14 López, S. (Eds.). Springer. 1-25 pp.

15 Wezel, A.; Bellon, S.; Doré, T.; Francis, C.; Vallod, D. and David, C. 2009. Agroecology as a science, a
16 movement and a practice. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 29:503-515.

17 Zhen, L. and Routray, J. 2003. Operational indicators for measuring agricultural sustainability in developing
18 countries. *Environmental Management*. 32:34-46.

19
20
21
22
23
24

CAPITULO II LA CUENCA HIDROGRÁFICA COMO SISTEMA PARA EL MANEJO SUSTENTABLE DE LOS RECURSOS NATURALES.

Resumen.

El objetivo de este trabajo fue analizar el concepto de cuenca hidrográfica desde el enfoque sistémico y de manejo integrado, para entender a la cuenca como un espacio territorial idóneo para el manejo sustentable de los recursos naturales. Primero se describe y define el concepto de cuenca hidrográfica y se analiza desde la teoría de sistemas; posteriormente se describen los retos y consideraciones para la implementación del manejo integrado de cuencas. Finalmente, se entiende a la cuenca hidrográfica, no solo desde su perspectiva hidrológica tradicional, sino como un territorio, donde existen interrelaciones e interdependencias entre los recursos naturales y la población establecida. En este sentido, el enfoque sistémico facilita el conocimiento de la estructura y función de la cuenca en términos de definir sus elementos y las relaciones entre éstos; permitiendo analizar y evaluar fenómenos dentro del contexto ecológico, económico y social. Así mismo, el manejo integrado se presenta como un proceso que, a través del conocimiento, voluntad, capacidad de gestión y participación de los actores que intervienen en la cuenca, permite planear y actuar sobre el conjunto de sus componentes, para buscar la mejora de sus funciones y alcanzar el uso sustentable de los recursos naturales. A través del enfoque sistémico y del manejo integrado se puede entender a la cuenca hidrográfica como el espacio territorial idóneo para el manejo sustentable de los recursos naturales.

Palabras clave. Cuenca hidrográfica, Manejo integrado, Teoría general de sistemas, Territorio.

2.1 Introducción.

Asegurar el desarrollo sustentable exige en la actualidad un manejo racional y equilibrado de los recursos naturales, particularmente del agua, suelo y biodiversidad. Sin embargo, su creciente deterioro evidenciado por el cambio climático, contaminación y destrucción de ecosistemas, ha puesto de manifiesto la gravedad

1 de la situación; estos problemas ambientales terminan afectando las actividades económicas, a las
2 sociedades que dependen de esas actividades y a los seres humanos que conforman esas sociedades
3 (Barrientos, 2006).

4 Atender este desafío es complejo, ya que el camino a seguir debe permitir atender de manera simultánea, al
5 menos las siguientes condiciones: luchar contra la erosión del suelo, deforestación, desastres por inundación
6 o sequía, satisfacer las necesidades de agua en calidad y cantidad, asegurar la suficiencia alimentaria con un
7 manejo sustentable de los agroecosistemas, desarrollar de forma armoniosa la industria y producción
8 energética, entre otros (López, 2014).

9 En este contexto, la cuenca hidrográfica es un territorio delimitado por límites naturales, constituye el
10 espacio geográfico donde existe una interrelación e interdependencia espacial y temporal entre la sociedad
11 y su ambiente; debido a que la sociedad tiene una identidad cultural y socioeconómica originada por la
12 forma de acceso y apropiación de los recursos naturales (Caire, 2004; Aguirre, 2011); además, la
13 conservación, uso y aprovechamiento de los recursos naturales de la cuenca tiene la finalidad de satisfacer
14 las demandas de la población (FAO, 2007) y también, en la cuenca se presenta la interconexión entre
15 poblaciones por la misma gestión del territorio, dependencia común a un sistema hídrico compartido, a los
16 caminos y vías de acceso y al hecho de que deben enfrentar peligros comunes (García, 2002). Por estas
17 características, la cuenca hidrográfica ha sido planteada como una vía idónea para el aprovechamiento
18 sustentable de los recursos naturales, disminuir la vulnerabilidad ante los desastres y generar una verdadera
19 oportunidad de gobernabilidad (Jiménez, 2005; FAO, 2007; Ruiz-Rosado, 2010; López, 2014).

20 Sin embargo, a pesar de sus ventajas como unidad de planificación, las cuencas presentan graves deterioros
21 debido principalmente al poco conocimiento de los conceptos y principios del enfoque de sistemas y el
22 manejo integrado, que ayuden a entender las interrelaciones no solo físico-biológicas, sino también las
23 sociales y económicas que se desarrollan en la cuenca (López *et al.*, 2008). Por lo cual, el objetivo de este
24 trabajo es analizar el concepto de cuenca hidrográfica desde el enfoque sistémico y de manejo integrado,

1 para entender a la cuenca como un espacio territorial idóneo para el manejo sustentable de los recursos
2 naturales.

3

4 2.1.1 El concepto de Cuenca hidrográfica.

5 La cuenca hidrográfica es un territorio drenado por un único sistema de drenaje natural, es decir, que sus
6 aguas llegan al mar a través de un único río, o que vierte sus aguas a un único lago endorreico, una cuenca
7 hidrográfica está delimitada por la línea de las cumbres, también llamada parteaguas y se puede considerar
8 como una unidad de planificación de los recursos naturales (Ramírez *et al.*, 2015). La cuenca se divide en
9 subcuencas, las que a su vez se dividen en microcuencas. En la práctica, las microcuencas se inician en la
10 nacimiento de los pequeños cursos de agua, uniéndose a las otras corrientes hasta constituirse en la cuenca
11 hidrográfica de un río de gran tamaño (Anaya, 2012).

12 La cuenca hidrográfica es considerada como la unidad fisiográfica conformada por el conjunto de los
13 sistemas de cursos de agua definidos por el relieve, los límites de la cuenca o divisoria de aguas se definen
14 naturalmente y corresponden a las partes más altas del área que encierra un río (Ramakrishna, 1997). Como
15 lo describe Maas (2005), una cuenca es una especie de embudo natural, cuyos bordes son los vértices de las
16 montañas y la boca es la salida del río o arroyo; puede ser tan pequeña como la palma de la mano, o tan
17 grande como un continente completo.

18 En este sentido, aunque es un territorio delimitado naturalmente, la cuenca hidrográfica posee connotaciones
19 amplias dependiendo de los objetivos que se persiga, estos determinan su definición y caracterización, y por
20 consiguiente la ordenación de su territorio y el manejo de sus recursos naturales (García, 2002).

21 Además, de acuerdo con Cotler (2013), en la cuenca hay una interrelación e interdependencia espacial y
22 temporal entre el medio biofísico (estructura geomorfológica y geológica; ecosistemas acuáticos y terrestres;
23 suelo, cultivos, agua, biodiversidad), los modos de apropiación (tecnología y mercados) y las instituciones
24 (organización social, cultura, reglas y leyes). Es decir, en la cuenca hidrográfica se encuentran los recursos
25 naturales y la sociedad, y es donde desarrollan sus actividades económicas y sociales generando diferentes

1 efectos, positivos o negativos, a los recursos naturales (Word visión, 2004). Además, el territorio de la
2 cuenca facilita la relación entre sus habitantes, independientemente de si éstos se agrupan allí en
3 comunidades delimitadas por razones político-administrativas, debido a su dependencia común a un sistema
4 hídrico compartido, a los caminos y vías de acceso y al hecho de que deben enfrentar peligros comunes
5 (García, 2002).

6 De acuerdo con López (2014), hay tres aspectos fundamentales implícitos en el concepto de cuenca que
7 poco son tomados en cuenta: 1) Cualquier lugar de la tierra pertenece a una cuenca hidrográfica; 2) Donde
8 quiera que hay un río (permanente o no) existe una cuenca, y 3) La superficie terrestre continental ya está
9 dividida en cuencas, solo hay que delimitar.

10 En sentido general, la cuenca hidrográfica puede considerarse como: a) Un área que es fuente de recursos
11 naturales, en la cual debe haber un manejo planificado y de preservación del ecosistema (Helweg, 1992;
12 Nadal, 1993), b) Un espacio ocupado por un grupo humano, que genera una demanda sobre la oferta de los
13 recursos naturales y realiza transformaciones del medio (Varela, 1992; Dourojeanni 1994);. c) Un sistema
14 organizado de relaciones complejas tanto internas como externas (García, 2002).

15 La consideración fundamental es que la cuenca hidrográfica funciona como una unidad geográfica, en la
16 cual todos los elementos que la integran (población, infraestructura, ambiente) son interdependientes, y que
17 a su vez puede interrelacionar con otras cuencas.

18

19 2.1.2 El enfoque sistémico aplicado a las cuencas hidrográficas.

20 La Teoría General de Sistemas, es el enfoque de investigación bajo el cual el investigador asume que se
21 debe buscar el entendimiento mirando la relación entre los componentes y el desempeño del fenómeno. Es
22 decir, busca el conocimiento y la explicación de la realidad o de una parte de ella (sistemas), en relación al
23 medio que la rodea y sobre la base de esos conocimientos, poder predecir el comportamiento de esa realidad,
24 dadas ciertas variaciones del medio o entorno en el cual se encuentra inserta (Johansen, 1993). Por medio
25 del enfoque de sistemas, no solo se investigan problemas particulares de contenido y sustancia e intenta

1 asignar causas específicas, sino que se interesa en las preguntas relacionadas con la estructura, proceso,
2 conducta, interacción y función de los sistemas (Van Gigch, 2011). El sistema total no puede ser explicado
3 a través del estudio y análisis de cada una de sus partes en forma interdependiente, en otras palabras, el todo
4 es mayor que la suma de las partes (Johansen, 1993).

5 Por lo tanto, en el estudio de una cuenca se debe tener en cuenta que todos los recursos que esta posee son
6 interdependientes y han de ser considerados en su conjunto, nunca uno independiente del otro (García,
7 2002). En este sentido, este enfoque facilita el conocimiento de la estructura y función de la cuenca
8 hidrográfica en términos de definir sus elementos y las relaciones entre ellos. Además, permite analizar y
9 evaluar factores involucrados dentro de contextos mayores o menores desde diversos escenarios
10 (ecológicos, económicos y sociales).

11 De acuerdo con Ruiz-Rosado (2001), la cuenca hidrográfica, considerada como un sistema posee una
12 estructura, función y objetivos; la estructura puede ser conformada por el paisaje agrícola, el paisaje no-
13 agrícola y la infraestructura; la interacción de los elementos de la estructura da como resultado la función
14 de la cuenca y así lograr que se cumplan los objetivos.

15 Además, como todo sistema, la cuenca tiene entradas, subsistemas, interacciones e interrelaciones y salidas
16 (García, 2002; World Vision, 2004; López, 2014), tales como: a) entradas, que son los insumos o flujos que
17 ingresan para ser procesados, tales como: precipitación, radiación solar, productos agroquímicos, mano de
18 obra, semillas agrícolas, tecnologías e información, entre otros; b) subsistemas, como el ecológico
19 (características específicas de clima, suelos, bosques, red hidrográfica, usos del suelo, etc.), económico (una
20 disponibilidad de recursos que se combinan con técnicas diversas para producir bienes y servicios; es decir,
21 en toda cuenca hidrográfica existe alguna o algunas posibilidades de explotación o transformación de
22 recursos) y social (involucra a las comunidades humanas asentadas en su área, sus valores culturales y
23 tradicionales, normas de conducta y creencias, demografía, acceso a servicios básicos, formas de
24 organización, actividades, entre otros, que necesariamente causan impactos sobre los recursos naturales); c)
25 interacciones entre sus componentes, por ejemplo, si se deforesta en la parte alta, es posible que las lluvias

1 produzcan inundaciones aguas abajo; si el ganado consume todo el rastrojo del maíz es posible que el suelo
2 se erosione y se compacte más; d) interrelaciones, por ejemplo, la degradación ambiental se relaciona con
3 la falta de educación, organización y participación comunitaria deficientes y tecnologías inapropiadas, entre
4 otros; e) salidas, las positivas, agua para varios fines (consumo humano, riego agrícola, hidroelectricidad,
5 producción de alimentos, producción de madera y carbón, recreación y servicios ambientales, entre otros);
6 las negativas, contaminación de aguas, inundaciones por los escurrimientos y pérdida de biodiversidad,
7 entre otros.

8 De acuerdo a Barrientos (2006), en la cuenca se integran subsistemas ecológico y socioeconómico; la
9 interacción entre ellos se da fundamentalmente bajo tres aspectos: el subsistema ecológico como soporte de
10 actividades del subsistema socioeconómico, fuente de recursos naturales, y receptor de residuos y efluentes;
11 lo que da lugar a un conjunto complejo de procesos.

12 Los subsistemas social y económico no son ajenos a las condiciones del sistema ecológico y están expuestos
13 a la influencia de ese entorno; las interrelaciones, que se dan entre los subsistemas, tienen una doble
14 dirección: del ecológico sobre el socioeconómico, y de este sobre el ecológico (García, 2002). Es decir, los
15 efectos del ambiente sobre un grupo social se dan por influencia ambiental, en tanto que los efectos del
16 grupo humano sobre el ambiente se dan como capacidad de manejo y/o transformación del ambiente.

17 Entendida de este modo, parece claro que la cuenca hidrográfica define bien a nivel espacial el ordenamiento
18 de un territorio, no sólo desde el punto de vista geográfico natural, sino también humano, porque en ella se
19 llevan a cabo una complejidad de procesos que tienen que ver con las relaciones hombre–naturaleza (Arias
20 y Duque, 1992).

21 La cuenca hidrográfica como unidad territorial, tomada en forma independiente, o interconectada con otras,
22 por sus condiciones naturales particulares, crea una relación entre sus habitantes debido a su dependencia
23 común; por estas razones se convierte en un espacio natural (un conjunto de sistemas entrelazados) idóneo
24 para llevar a cabo la labor del manejo de los recursos naturales (García, 2002; Dourojeanni *et al.*, 2002).

25

1 2.1.3 El manejo integrado de cuencas.

2 El manejo integrado de cuencas fue precursor del desarrollo sustentable; ambos enfoques comparten una
3 perspectiva sistémica e interés en los efectos del cambio que se producen en el territorio y fuera de éste, a
4 corto y a largo plazo; también, tienen como objetivo generar beneficios para la población y el ambiente
5 (FAO, 2007).

6 Por lo que, es difícil distinguir entre el manejo integrado de las cuencas y el desarrollo sustentable en ellas;
7 de hecho, el postulado que sirve de fondo para el desarrollo sustentable es el que plantea la necesidad de
8 garantizar, para las futuras generaciones, el mismo acceso a los bienes y servicios que proporcionan las
9 cuencas hidrográficas en el presente (Sepúlveda, 2002).

10 Un manejo integrado de cuencas involucra dos grupos de acciones principales. Por un lado, las orientadas
11 al aprovechamiento de los recursos naturales presentes en la cuenca (usarlos, transformarlos y consumirlos)
12 para contribuir al crecimiento económico; por otro, las orientadas a manejarlos (conservarlos, recuperarlos
13 y protegerlos) con la finalidad de asegurar la sustentabilidad (Ferrer y Torrero, 2015).

14 En las cuencas hidrográficas, el manejo se entiende como un proceso de planeación, implementación y
15 evaluación de acciones mediante la participación organizada e informada de la población (Cotler *et al.*,
16 2013). En este sentido, de acuerdo con Sabatier *et al.* (2005), dicho proceso busca la resolución de un
17 complejo conjunto de problemas interrelacionados y debe ser adaptativo; es decir, que se va construyendo
18 y aprendiendo de las experiencias, sustentado en información científica y local. Este proceso busca resolver
19 problemas comunes en un mismo territorio, por lo que requiere de la coordinación intergubernamental
20 articulada y la acción social de diversos actores e instituciones con una visión común (Cotler y Caire, 2009;
21 Burgos 2015).

22 Sin embargo, el manejo integrado ha sido poco apreciado tanto desde las políticas públicas como desde el
23 sector académico y de acuerdo a diversos autores (Caire, 2004; Dourojeanni, 2007; Cotler *et al.*, 2013;
24 López, 2014; Burgos, 2015) algunos aspectos que frenan su implementación son: a) si bien se menciona a
25 la cuenca como unidad de manejo, su concepción se basó en una división hidrológica-administrativa, no

1 como un territorio con interrelaciones implícitas, por lo cual no se consideraron las condiciones ambientales
2 y sociales donde se genera el recurso hídrico, dejando en claro que abordar exclusivamente la gestión del
3 agua, no incluye ni asegura el manejo de la cuenca como territorio; b) la línea divisoria de las aguas en la
4 mayoría de los casos no coincide con los límites político-administrativos creados por el hombre, hay un
5 aparente conflicto entre los límites que orientan el quehacer de las instituciones y los límites que orientan
6 los fenómenos naturales; la lógica indica que debemos ir de la mano de la naturaleza y no en contra de ella;
7 c) la escasa accesibilidad e influencia que tienen los tomadores de decisión de recursos naturales sobre las
8 políticas macro-económicas, las decisiones y el control sobre el agua se hicieron de manera centralizada sin
9 la participación de los usuarios y frente a la pasividad político-institucional de los gobiernos, las
10 priorizaciones en la asignación de recursos por parte del estado, un enfoque sectorial en el manejo de los
11 recursos naturales y la carencia de estrategias coherentes con los medios para ponerlas en práctica; d) la
12 población de una cuenca a veces no reacciona con suficiente fuerza frente a situaciones conflictivas tanto
13 de origen humano como natural, o a veces reacciona, pero con mucho retardo, sobre todo cuando hay
14 situaciones de contaminación; también, la carencia o el desconocimiento que tienen los actores más
15 afectados para encauzar sus legítimas quejas, reclamos o demandas originadas por conflictos por el uso de
16 los recursos naturales o desastres causados por fenómenos extremos.

17 Para lograr superar estos restos y conseguir nuevos avances en el manejo integrado de las cuencas, es
18 necesario alejarse del concepto tradicional del gobierno centralizado, para acercarse al de gobernanza, en el
19 que las autoridades (federales, estatales, municipales) se relacionan cotidiana, sistemática y
20 organizadamente con los ciudadanos (usuarios de diversa índole, sociedad organizada y la academia), para
21 definir los planes y sus contenidos, para darles seguimiento y evaluar periódicamente sus resultados
22 (Chávez, 2007; Ruiz-Rosado, 2010).

23 Es decir, se busca construir sistemas de gestión en los que, los gobiernos de los distintos niveles se coordinen
24 entre sí; los ciudadanos intervengan organizadamente en las decisiones que les competen y les afectan; las
25 decisiones se tomen lo más cercanamente posible a los lugares en que se generan los problemas; se disponga

1 de información completa y ésta se encuentre a disposición de todos los interesados; la planificación sea
2 ordenada, sistemática y participativa (Chávez, 2007).

3 La posibilidad de realizar un manejo integrado de cuenca se inicia cuando la población se reconoce como
4 habitante de la cuenca y, por tanto, como beneficiarios de sus servicios ecosistémicos, al mismo tiempo que
5 se visualizan como generadores de impactos que se expresan en forma acumulativa (Cotler *et al.*, 2013).

6 En este sentido, la participación social es un atributo esencial del manejo de las cuencas hidrográficas, al
7 respecto, la FAO (2007), plantea algunos aspectos pertinentes a considerar: 1) la gestión de los recursos
8 naturales no puede tener éxito sin el apoyo y la participación de los usuarios de los recursos naturales; 2)
9 los participantes deben tener capacidad de tomar decisiones y responsabilidad (empoderamiento); y 3) la
10 promoción de la participación en el manejo de cuencas es un proceso de larga duración para el cual es
11 necesario contar con los medios adecuados.

12 El manejo integrado de cuencas se puede realizar a escalas que van desde las microcuencas hasta las grandes
13 cuencas transfronterizas, aunque ha tenido mejores resultados en subcuencas; las ventajas de los programas
14 a escalas menores son que las actividades pueden ser intensivas y es más fácil la interacción directa con las
15 partes locales interesadas (FAO, 2007).

16 De acuerdo con Ruiz-Rosado (2012) y López (2014), algunas razones importantes por las cuales se debe
17 llevar a cabo un manejo integrado de cuencas son: en una cuenca se establece los límites reales de los
18 recursos naturales con que cuenta y usa la sociedad, se pueden tener similares condiciones edafoclimáticas,
19 se tiene una posible sociedad o cultura homogénea o bien diversidad cultural que usa de una forma diferente
20 los recursos, existe una real captación de agua y re-abastecimiento de mantos acuíferos, además, permite
21 describir, entender y valorar la importante función que tienen las partes altas como zona de recarga hídrica
22 y como sistema regulador de los riesgos por inundaciones aguas abajo.

23 De acuerdo con Burgos (2015), el interés en el manejo integrado de cuenca parte de tres premisas: 1) la
24 posibilidad de delimitar un espacio geográfico donde pueden entenderse las relaciones causales entre el
25 manejo y los recursos naturales; 2) el entendimiento de un territorio que se encuentra ocupado, organizado

1 y gestionado por la población, como reflejo de su historia y cultura; entendida como una entidad cultural y
2 socioeconómica originada por las formas de organización y apropiación del acceso de los recursos naturales
3 (Caire, 2004), donde sea posible la articulación de la acción gubernamental y la acción social, fortaleciendo
4 la gobernanza de los recursos naturales; y 3) la interconexión física de poblaciones, aunque sean distantes
5 entre ellas, a través de las externalidades generadas por la misma gestión del territorio, en forma de
6 contaminantes, nutrientes, sedimentos (Swallow *et al.*, 2001). En esta unidad territorial una organización
7 puede discutir y tomar eventualmente decisiones (Mollard y Vargas, 2005).

8

9 2.2 Conclusiones.

10 El concepto de cuenca, en principio está relacionado solamente con los aspectos hídricos; sin embargo, este
11 debe ser planteado como un espacio territorial, donde se generan interrelaciones e interdependencias entre
12 los recursos naturales y la sociedad que hace uso de ellos.

13 En este sentido, el enfoque sistémico facilita el conocimiento de la estructura y función de la cuenca en
14 términos de identificar sus elementos y las relaciones entre ellos; permitiendo estudiar y evaluar fenómenos
15 dentro de contextos ecológicos, económicos y sociales. Así mismo, el manejo integrado es un proceso que,
16 a través del conocimiento, voluntad, capacidad de gestión y participación de los actores que intervienen en
17 la cuenca, permite planear y actuar sobre el conjunto de sus componentes, para buscar la mejora de sus
18 funciones y alcanzar el uso sustentable de los recursos naturales. Por estas razones la cuenca hidrográfica
19 es un espacio idóneo para llevar a cabo el manejo sustentable de los recursos naturales.

20

21 2.3 Literatura citada.

22 Aguirre, M. 2011. La cuenca hidrográfica en la gestión integrada de los recursos hídricos. Revista Virtual
23 REDESMA. 5(1):9-20.

24 Anaya, O. 2012. Caracterización morfométrica de la cuenca hidrográfica Chinchao, Distrito de Chinchao,
25 Provincia Huanuco, Región Huanuco. Universidad nacional agraria de la selva. Perú. 79 p.

1 Arias, L. y Duque, M. 1992. La cuenca hidrográfica como una unidad de análisis y planificación territorial.
2 Tesis (Economista Agrícola). Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Facultad de Ciencias
3 Humanas. Colombia. 250 p.

4 Barrientos, F. 2006. Cuencas hidrográficas, descentralización y desarrollo regional participativo.
5 *InterSedes: Revista de las Sedes Regionales*. 7:113-125.

6 Burgos, A. y Bocco, G. 2015. La cuenca hidrográfica como espacio geográfico. *In: Dimensiones sociales*
7 *en el manejo de cuencas*. Burgos, A.; Bocco, G. y Sosa J. (Coords.). Primera edición. Universidad Nacional
8 Autónoma de México, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Fundación Río Arronte. México,
9 D.F. 11-30 pp.

10 Caire, G. 2004. Implicaciones del marco institucional y de la organización gubernamental para la gestión
11 ambiental por cuencas. El caso de la cuenca Lerma-Chapala. *Gaceta Ecológica*. 71:55-78.

12 Chávez, G. 2007. Del gobierno a la gobernabilidad de los recursos hídricos en México. *In: El manejo*
13 *integral de cuencas en México: estudios y reflexiones para orientar la política ambiental*. Cotler, H. (Comp.).
14 Segunda edición. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología.
15 México, DF. 185-194 pp.

16 Cotler, H. y Caire, G. 2009. Lecciones aprendidas del manejo de cuencas en México. Secretaría de Medio
17 Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología. Primera edición. México, D.F. 380 p.

18 Cotler, H.; Galindo, A.; González, I.; Pineda, R. y Ríos, E. 2013. Cuencas hidrográficas. Fundamentos y
19 perspectivas para su manejo y gestión. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Primera
20 edición. México, D.F. 36 p.

21 Dourojeanni, A. 1994. La gestión del agua y las cuencas en América Latina. *Revista de la CEPAL*. 53:111-
22 127.

23 Dourojeanni, A. 2007. Si sabemos tanto sobre qué hacer en materia de gestión integrada del agua y cuencas
24 ¿por qué no lo podemos hacer? *In: El manejo integral de cuencas en México: estudios y reflexiones para*

1 orientar la política ambiental. Cotler, H. (Comp.). Segunda edición. Secretaría del Medio Ambiente y
2 Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología. México, DF. 135-172 pp.

3 Dourojeanni, A.; Jouravlev, A. y Chávez, G. 2002. Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica.
4 CEPAL. Serie 47. Santiago de Chile. 79 p.

5 FAO. 2007. Food and Agriculture Organization. La nueva generación de programas y proyectos de gestión
6 de cuencas hidrográficas. Cuadernos técnicos de la FAO. Roma. 153 p.

7 Ferrer, V. y Torrero, M. 2015. Manejo integrado de cuencas hídricas: cuenca del río Gualjaina, Chubut,
8 Argentina. Boletín Mexicano de Derecho Comparado. 48:615-643.

9 García, W. 2002. Planificación de cuencas hidrográficas bajo la perspectiva de los sistemas complejos. Tesis
10 Posgrado (Especialista en Gestión Agroambiental). Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.
11 Facultad de Ciencias Humanas. Medellín, Colombia. 170 p.

12 Helweg, O. 1992. Recursos hidráulicos: planeación y administración. Editorial Limusa. Primera edición.
13 México. D.F. 121-174 pp.

14 Jiménez, F. 2005. Del manejo a la cogestión de cuencas hidrográficas. Taller nacional de co-gestión de
15 cuencas hidrográficas. CATIE. Honduras. 18 p.

16 Johansen, O. B. 1993. Introducción a la teoría general de sistemas. Editorial Limusa. Primera edición,
17 Octava reimpresión. 167 p.

18 López, W. 2014. Análisis del manejo de cuencas como herramienta para el aprovechamiento sustentable de
19 recursos naturales. Revista Chapingo Serie Zonas Áridas. 13(2): 39-45.

20 López, W; Villar, B; López, J. y Faustino, J. 2008. El manejo de cuencas hidrográficas en el estado de
21 Chiapas: diagnóstico y propuesta de un modelo alternativo de gestión. *In*: Seminario Internacional sobre
22 Co-gestión de Cuencas Hidrográficas: Experiencias y Desafíos. Venegas, L. y Faustino, J. (Comps.). Red
23 Internacional de Organismos de Cuencas (RIOC). La Organización de la Red Internacional de Organismos
24 de Cuencas. Bases de Organización y Funcionamiento. Paris, Francia. 21-26 pp.

1 Maas, M. 2005. Principios generales sobre manejo de ecosistemas. Centro de Investigaciones en
2 Ecosistemas, UNAM. Consultado enero 2016. Disponible en:
3 www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/395/maass.html?id_pub=395
4 Mollard; E. y Vargas, S. 2005. Problemas socioambientales y experiencias organizativas en las cuencas de
5 México. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Coordinación de Tecnología de Comunicación,
6 Participación e Información Subordinación de Editorial y Gráfica. Primera edición. México. 9-23 pp.
7 Nadal, E. 1993. Introducción al análisis de la Planificación Hidrológica. MOPT. Primera edición. Madrid.
8 142 p.
9 Ramakrishna, B. 1997. Estrategia de extensión para el manejo integrado de cuencas hidrográficas: conceptos
10 y experiencias. IICA, BMZ, GTZ. Primera edición. San José, Costa Rica. 319 p.
11 Ramírez, A.; Cruz, A.; Sánchez, P. y Monterroso, A. 2015. La caracterización morfométrica de la subcuenca
12 del Río Moctezuma, Sonora: ejemplo de aplicación de los sistemas de información geográfica. Revista de
13 Geografía Agrícola. 55:27-43.
14 Ruiz-Rosado, O. 2001. The systems approach for sustainable development at catchment and parish group
15 levels. The International Journal of Sustainable Development & World Ecology. 8:79-84.
16 Ruiz-Rosado, O. 2010. La cuenca hidrológica: una oportunidad para el fomento de la gobernanza ambiental.
17 Gobernanza ambiental para el manejo sustentable de los recursos: la experiencia de Canadá en México.
18 Congreso Internacional. Xalapa, Veracruz.
19 Ruiz-Rosado, O. 2012. La cuenca hidrológica como un sistema: Perspectivas de desarrollo. *In*: Memorias
20 IV Coloquio Jurídico Internacional del Agua. Reflexiones para mejorar el marco jurídico de la
21 administración del agua. México.
22 Sabatier A. P.; Focht, W.; Lubell, M.; Trachtenberg, Z.; Verdiltz, A. and Matlock, M. 2005. Swimming
23 upstream. Collaborative approaches to watershed management. MIT Press. First edition. Londres. 327 pp.
24 Sepúlveda, S. 2002. Desarrollo Sostenible Microregional. Métodos para planificación local. IICA-UNA.
25 Primera edición. San José, Costa Rica. 313 p.

1 Swallow, B.; Johnson, N. and Meinzen-Dick, R. 2001. Working with people for watershed management.
2 Water Policy. 3:449-455.

3 Van Gigch, J. P. 2011. Teoría general de sistemas. Editorial Trillas. Tercera edición. México. 607 p.

4 Varela, E. 1992. Planificación – Acción en cuencas hidrográficas: un enfoque empírico desestructurado o
5 estructurante. *In*: Seminario Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas. AINSA, Medellín, Colombia.

6 World Vision. 2004. Manual de Manejo de Cuencas. El Salvador. 154 p.

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

CAPITULO III CONCEPTUALIZACIÓN DE LA AGRICULTURA SUSTENTABLE A NIVEL DE CUENCA HIDROGRAFICA.

Resumen.

El objetivo del presente ensayo fue analizar las diversas concepciones de agricultura sustentable para determinar puntos en común que sirvan en la generación de una conceptualización a nivel de cuenca. En principio se describe al concepto de sustentabilidad en el contexto histórico de su uso. Además, se señala su relación con la agricultura y se mencionan los criterios, principios y definiciones que han surgido en base a diversas interpretaciones y perspectivas teóricas. Posteriormente, distintos conceptos propuestos en estudios, principalmente desde el enfoque agroecológico, son analizadas para determinar concordancias que sirvan como base para generar un concepto a nivel de cuenca. Finalmente, los aspectos concordantes, consideran que la agricultura sustentable es un concepto que debe ser definido dentro de un marco teórico, que aborde las dimensiones básicas de la sustentabilidad (ecológica, económica y social) y que contemplen una escala temporal y espacial; los cuales fueron utilizados para generar una definición a nivel de cuenca.

Palabras Clave: Sustentabilidad, Cuenca hidrográfica.

3.1 Introducción.

Las raíces etimológicas de la sustentabilidad provienen de *sustinere* que significa sostener, mantener, sustentar; aunque la influencia del vocablo inglés *sustainable* añade otros significados, como soportar y tolerar, de ahí que se haya impuesto sostenible, en lugar de sustentable (Toro-Mujica *et al.*, 2011). Esta dualidad de la palabra se presenta en el debate entre los científicos de habla hispana; es decir, si sostenibilidad (de sostener) o sustentabilidad (de sustentar) es la traducción más exacta. De acuerdo con Becker (1997), la traducción de sostener está más cerca de la connotación pasiva de “ser sostenido”, mientras que sustentar refleja más el aspecto activo de “sostener, mantener, sustentar”. Revisando las

1 definiciones en el diccionario de la Real Academia Española (2014) se encuentra que sustentar y sostener
2 son palabras sinónimas y pueden ser utilizadas indistintamente. Por lo cual, en el presente documento se
3 utilizarán las palabras sustentable y sustentabilidad.

4 El concepto de sustentabilidad surge en las agendas gubernamentales, al final de los años sesenta, como una
5 respuesta global ante la crisis ecológica; se deriva del concepto oficial y generalmente aceptado de desarrollo
6 sustentable, acuñado por la Comisión Brundtland (Sarandón y Flores, 2014). Asimismo, surge el concepto
7 de agricultura sustentable en respuesta a las preocupaciones sobre los impactos ambientales y económicos
8 adversos de la agricultura convencional (Kuramaswamy, 2012).

9 A partir de que se utiliza el concepto de sustentabilidad en la agricultura, se han presentado diversas
10 interpretaciones, se han sugerido criterios o principios y propuesto múltiples definiciones, desde diversas
11 perspectivas teóricas. Sin embargo, no se ha consolidado una definición de carácter general.

12 Si bien es un concepto debatido y complejo, existen puntos en común en las diversas definiciones, que
13 pueden ser utilizados como base para generar una definición que sea de utilidad para la investigación y el
14 desarrollo agrícola, a pesar de sus limitaciones. Por lo cual, el objetivo del presente ensayo es analizar las
15 diversas concepciones de agricultura sustentable para determinar puntos en común que sirvan en la
16 generación de una definición a nivel de cuenca.

17

18 3.1.1 Origen del término sustentabilidad.

19 Ideas sobre la sustentabilidad, tales como vivir en armonía con la naturaleza y en sociedad, se remontan a
20 los escritos antiguos de China, Grecia y Roma (Pretty 2008; Cisneros-Saguilán *et al.*, 2015). Así también el
21 término alemán, Nuchhdtigkeit (aunque no idéntico en significado y etimología), fue introducido por
22 primera vez por Carlowitz en el siglo XVIII, que desarrolló una teoría sobre la utilización óptima de los
23 bosques, fuente de energía para la industria de hierro y plata; planteó que el volumen de producción de la
24 industria no podía ser superior a la velocidad de reproducción de los bosques (Marquardt, 2006).

1 Sin embargo, el interés por la sustentabilidad puede atribuirse a las preocupaciones ambientales que
2 comenzaron a aparecer en los años cincuenta y sesenta (Pretty, 2008). En el año 1962 la bióloga Rachel
3 Carson escribió el libro "Primavera Silenciosa", en el cual se detalla un escenario de un futuro silencioso
4 sin los cantos de los pájaros y con otras terribles consecuencias si se continuaba con el proceso de
5 degradación producido por la contaminación ambiental. Pronto se unieron diferentes voces y se comenzaron
6 a formar asociaciones defendiendo los derechos por un ambiente sano y limpio; así nació el movimiento
7 ambientalista de los años sesenta (Calvente, 2007).

8 En 1968 en la "Conferencia de la Biosfera" organizada por la Organización de las Naciones Unidas para la
9 Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO); la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura
10 y la Alimentación (FAO) y la Unión Mundial para la Naturaleza (UICN), se concluyó que: "la utilización y
11 conservación de los recursos deben ir unidos" (Chiappe, 2008).

12 Posteriormente, en 1972 se dio lugar la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Ambiente Humano; en
13 donde no sólo se habló de la protección del ambiente, sino de algo mucho más amplio, la búsqueda de
14 relaciones comunes entre aspectos ambientales y temas económicos relacionados con el capital, el
15 crecimiento y el empleo (Calvente, 2007).

16 La introducción del término sustentabilidad como concepto político, se realizó en 1974 en la declaración de
17 Cocoyoc, con motivo de una reunión celebrada por Naciones Unidas en México y fue asumido en 1980 en
18 la publicación de la Estrategia Mundial de la Conservación de la Unión Internacional de la Conservación de
19 la Naturaleza (Luffiego y Rabadán, 2000).

20 En 1983, la ONU creó la Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo (CMMD), la cual en 1987
21 publicó el documento "Nuestro Futuro Común" o "Informe Brundtland". El cual hace referencia, por un
22 lado, a la tensión entre las aspiraciones de la humanidad hacia una vida mejor; y por otro a las limitaciones
23 impuestas por la naturaleza (Kulman y Farrington 2010). En dicho documento se define el concepto de
24 desarrollo sustentable como "el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la
25 capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades" (CMMD, 1987).

1 Desde esta perspectiva el desarrollo no sólo implica crecimiento sino también la necesidad de preservar los
2 recursos naturales y favorecer el desarrollo de los recursos humanos (Chiappe, 2008). El informe utiliza los
3 términos desarrollo sustentable y sustentabilidad de forma intercambiable, enfatizando las conexiones entre
4 la equidad social, la productividad económica y la calidad ambiental (Theis y Tomkin, 2012); sugiriendo
5 que la sustentabilidad normalmente implica al menos tres dimensiones independientes pero
6 interrelacionadas: la ecológica, económica y social (Tisdell, 1996).

7 Desde entonces, además de su impacto político, el término sustentabilidad se convirtió rápidamente en un
8 nuevo paradigma de investigación en una amplia gama de disciplinas, desde las ciencias sociales hasta la
9 biología (Becker, 1997). Por lo que la discusión, sobre el concepto de sustentabilidad y en general sobre
10 desarrollo sustentable ha sido muy amplia e incluye desde posiciones puramente retóricas hasta propuestas
11 concretas que buscan hacer operativo este concepto a partir de una crítica fundamentada del modelo de
12 desarrollo actual (Galván-Miyoshi *et al.*, 2008). Sin embargo, la utilización y aprobación del concepto de
13 sustentabilidad, implica el haber comprendido que el mundo y sus recursos no son ilimitados (Toro-Mujica
14 *et al.*, 2011).

15

16 3.1.2 El concepto de sustentabilidad en la agricultura.

17 El concepto de sustentabilidad ha cobrado cada vez mayor importancia, colocándose en el centro de las
18 agendas de instituciones gubernamentales, de investigación y organizaciones no gubernamentales,
19 convirtiéndose en uno de los elementos clave para el manejo de los recursos naturales (Galván-Miyoshi *et*
20 *al.*, 2008). La agricultura no está exenta de esto, por dos razones importantes: los agroecosistemas tienen
21 impactos significativos sobre los recursos naturales, y la agricultura se considera fundamental para la
22 sociedad porque a través de ella obtiene el alimento (Margate, 2011).

23 En este sentido, a partir de que se utiliza el concepto de sustentabilidad en la agricultura, se han presentado
24 diversas interpretaciones. La sustentabilidad ha sido considerada una propiedad de la agricultura; es decir,
25 la capacidad del agroecosistema para cumplir un conjunto diverso de metas, tales como el mantenimiento

1 de la productividad sin daño ecológico o social, independientemente de las prácticas particulares utilizadas
2 (Van Pham y Smith, 2014). De esta forma lo propone Conway (1985) en el contexto de la productividad,
3 como rasgo descriptivo de los agroecosistemas, "la sustentabilidad es la capacidad de un sistema para
4 mantener la productividad a pesar de una perturbación mayor (estrés intensivo)", o como lo platean
5 Plucknett y Smith (1986), simplemente refiriéndose a una producción óptima constante de los cultivos
6 agrícolas.

7 Por otro lado, Douglass (1984) identificó tres puntos de vista diferentes sobre la sustentabilidad en la
8 agricultura: La primera visión la denominó "sustentabilidad como suficiencia alimentaria", que busca
9 maximizar la producción de alimentos dentro de las limitaciones de la rentabilidad. La segunda visión es
10 "sustentabilidad como administración", definida en términos de controlar el daño ambiental. El tercer punto
11 de vista se refiere a "sustentabilidad como comunidad", definido en términos de mantener o reconstruir
12 sistemas rurales económicamente y socialmente viables.

13 Yunlong y Smit (1994) también distinguen tres percepciones principales de la sustentabilidad; la primera es
14 la definición ecológica de la sustentabilidad, que se centra en los procesos biofísicos y la productividad
15 continua de los ecosistemas funcionales; la segunda es la definición económica de sustentabilidad, que se
16 refiere principalmente al mantenimiento a largo plazo de los beneficios de la agricultura para los productores
17 agrícolas; la tercera es la definición social, que responde a la continua satisfacción de las necesidades
18 humanas básicas de alimentación y vivienda, así como de seguridad, equidad, libertad, educación, empleo
19 y recreación.

20 Las opiniones de Douglass (1984) y Yunlong y Smit (1994) reflejan la diversidad en la comprensión de la
21 sustentabilidad en lo que se refiere a la agricultura, sin dejar de lado las tres dimensiones de la
22 sustentabilidad.

23 Otra interpretación es la que percibe a la sustentabilidad como un enfoque para el desarrollo de la agricultura
24 en respuesta a las preocupaciones sobre sus impactos, promoviendo prácticas sustentables como su objetivo
25 (Qiu *et al.*, 2007). En este sentido, Pretty (2008) menciona que la sustentabilidad se centra en la necesidad

1 de desarrollar tecnologías y prácticas agrícolas que no tengan efectos adversos sobre el ambiente, sean
2 accesibles y eficaces para los agricultores y conduzcan a mejoras en la productividad de los alimentos con
3 efectos secundarios positivos en los bienes y servicios ambientales. De igual forma Tilman *et al.* (2002) se
4 refiere a prácticas que satisfacen las necesidades actuales y futuras de la sociedad en materia de alimentos
5 y fibras, servicios ecosistémicos y vidas sanas, y que lo hacen maximizando el beneficio neto para la
6 sociedad cuando se consideran todos los costos y beneficios de las prácticas.

7 Por otro lado, de acuerdo con Brunett *et al.* (2006) y Cisneros-Saguilán *et al.* (2015), el concepto de
8 sustentabilidad en la agricultura adquiere una variedad de significados atribuidos a diferentes posturas
9 teóricas (neo-economista, ecológico-ambiental, socio-antropológico y técnico-biológico). Sin embargo,
10 ambos autores concluyen que la perspectiva que contribuye de mejor forma a resolver la problemática
11 agrícola y promover la sustentabilidad en la agricultura, es la teoría técnico-biológica, ya que establece la
12 importancia de la biodiversidad y las interacciones dentro de los ecosistemas, promoviendo un enfoque
13 multidisciplinario e interdisciplinario de la investigación y donde se destaca la agroecología, entendida
14 como una transdisciplina que proporciona los principios ecológicos básicos para estudiar, diseñar y manejar
15 agroecosistemas, mediante un enfoque sistémico que permite la identificación de los componentes, su
16 complejidad y su jerarquización; un acercamiento holístico, donde se asume que las partes no pueden
17 entenderse fuera de su totalidad, la cual es distinto a la suma de las partes; así como una acción participativa,
18 donde los productores son sujetos y no sólo objetos del proceso de investigación (Altieri, 1995; Ruiz-
19 Rosado, 2006; Brunett *et al.*, 2006).

20
21 3.1.3 Criterios, principios y definiciones de agricultura sustentable.

22 Para el concepto de agricultura sustentable se han propuesto múltiples definiciones y planteado criterios o
23 principios para alcanzarla, todos abordando al menos las tres dimensiones básicas de la sustentabilidad
24 (Cuadro 1). Aunque este tipo de definiciones han sido rechazadas por algunos científicos como demasiado

1 vagas, reflejan la preocupación de no separar a la sociedad y el ambiente, la economía y la ética (Spendjian,
2 1991).

3 **Cuadro 1. Propuestas de criterios o principios para lograr la agricultura sustentable.**

Autor	Dimensiones		
	Ecológica	Económica	Social
Ikerd (1990)	Conservación y sana	Competitividad	Solidaria
Spendjian (1991)	Sana	Viabilidad	Justa y culturalmente apropiada
Pesek (1994)	Calidad y solidez	Productividad	Viabilidad
Yunlong y Smit (1994)	Integridad	Viabilidad	Aceptabilidad
Waltner-Toews (1996)	Administración	Viabilidad	Bienestar humano
Smith y McDonald (1998)	Administración	Viabilidad	Suficiencia alimentaria y equidad
Smit (2000).	Calidad	Viabilidad	Necesidades o demandas
Rasul y Thapa (2003)	Mantener calidad	Productividad estable	Aceptabilidad
Kuramaswamy (2012)	Mantenimiento de la calidad	Interacción sinérgica de la productividad	Aceptabilidad con beneficios económicos
Dale (2013)	Sana	Rentable	Justas

4
5 Por otro lado, Brunett *et al.* (2006) no solo propone cuatro criterios sino también los interpreta. 1)
6 Ecológicamente válida: lo que es entendido como el mantenimiento y la restauración de los recursos
7 naturales, implica que las acciones sean dirigidas a que los recursos se usen de manera que se reduzca la
8 contaminación y minimicen las pérdidas de nutrimentos y energía. 2) Económicamente viable: Se refiere a
9 que los ingresos garanticen retornos suficientes que cubran los costos, asegurando una fuente permanente

1 de ingresos, con altos niveles de productividad, a fin de darle viabilidad y continuidad al sistema. 3)
2 Socialmente justa: Esto es, que el poder y los recursos sean distribuidos de forma equitativa, que se
3 promueva la autogestión y que la participación garantice el control de los medios de producción y de los
4 recursos naturales. 4) Ser adaptable: Que el sistema sea capaz de adaptarse a los cambios externos, es decir,
5 a las distintas políticas agropecuarias implementadas, así como a las condiciones de mercado y a los
6 procesos sociales y productivos que se presenten.

7 En este sentido, Sarandón y Flores (2014) también interpretan criterios, pero además añaden la escala
8 temporal, mencionan que para cumplir con la sustentabilidad y satisfacer las necesidades de las actuales y
9 futuras generaciones, la agricultura debe poder mantenerse en el tiempo y cumplir con los siguientes
10 requisitos: 1) Suficientemente productiva, dependiendo del nivel de análisis, 2) Económicamente viable, a
11 largo plazo y contabilizando todos los costos, 3) Ecológicamente adecuada que conserve la base de recursos
12 naturales y que preserve la integridad del ambiente en el ámbito local, regional y global y 4) Cultural y
13 socialmente aceptable. La falta de cumplimiento de los mismos pone en duda, en el corto o largo plazo, la
14 sustentabilidad.

15 De este modo, los principios claves para potenciar la sustentabilidad agrícola están basados en la teoría
16 técnico-biológico con un enfoque agroecológico, que buscan la conservación de las energías renovables, la
17 adaptación del cultivo al ambiente y el mantenimiento de un nivel moderado, pero sostenible de
18 productividad, han de enfocarse en el desarrollo de tecnologías y prácticas que, como señala Pretty (2008):
19 1) Integren procesos biológicos y ecológicos, como ciclos de nutrientes, la fijación de nitrógeno, la
20 regeneración del suelo, la alelopatía, la competencia, la depredación y el parasitismo entre otros, en los
21 procesos de producción de alimentos, 2) Reduzcan al mínimo el uso de insumos no renovables o que causen
22 daño al ambiente o a la salud de productores y consumidores, 3) Hagan un uso productivo de los
23 conocimientos y aptitudes de los productores, mejorando así su autosuficiencia y sustituyendo por capital
24 humano costosos insumos externos y 4) Hagan un uso productivo de la capacidad colectiva de las personas
25 de trabajar juntos para resolver problemas comunes de los recursos naturales, tales como: plagas,

1 enfermedades, explotación de cuencas hidrográficas, el riego, aprovechamiento de los bosques, la gestión
2 de crédito, entre otros.

3 De esto se deduce, que la agricultura sustentable es un concepto multidimensional y complejo porque
4 implica cumplir simultáneamente con varios objetivos o dimensiones (ecológicos, económicos y sociales);
5 estos objetivos son igualmente importantes y no son reemplazables los unos con los otros (Sarandón y
6 Flores, 2014). Además, es un concepto dinámico, específico del tiempo y del espacio, no es una situación
7 de momento o una condición estática, sino que corresponde a un proceso que a medida que se alcanzan
8 objetivos otros nuevos surgen y que es verificable sólo con el transcurrir del tiempo (Ruiz-Rosado, 2001;
9 Zhen y Routray, 2003; López y Mantilla, 2006).

10 De acuerdo a Galván-Miyoshi *et al.* (2008) existe una amplia gama de perspectivas válidas para su
11 definición y análisis, por este motivo, la sustentabilidad debe definirse localmente, prestando atención a la
12 diversidad sociocultural y ambiental; ya que lo que se considera sustentable en un lugar y momento dado
13 puede no serlo en otras condiciones temporales y espaciales.

14 Para clarificar y encontrar puntos comunes en el concepto de agricultura sustentable, se recurre a diferentes
15 definiciones propuestas por diversos investigadores, en su mayoría derivadas desde la perspectiva
16 agroecológica (Cuadro 2).

17

1 **Cuadro 2. Definiciones de agricultura sustentable propuestas por diversos investigadores.**

Autor	Manejo	Dimensión			Temporal	Espacial
		Ecológica	Económica	Social		
Weil (1990).		Mejora la calidad del medio ambiente y de los recursos	Económicamente viable	Satisfacer las necesidades humanas básicas, mejora la calidad de vida de agricultores y de la sociedad	A largo plazo	
De Camino y Müeller (1993).	Manejo	Mejora la base de los recursos y se evita la degradación ambiental	Productivo y equitativo	Satisfacer las necesidades cambiantes de la humanidad	A largo plazo	
FAO (1992) citado en Von der Weid (1994).	Manejo	Conservación de los recursos naturales		Satisfacción de las necesidades humanas	En forma continuada para la presente y futuras generaciones	
Stockle <i>et al.</i> (1994).		Calidad del ambiente y de los recursos naturales base	Económicamente viable	Elevar la calidad de vida de los productores y de la sociedad	A través del tiempo	
Ikerd y Traiyongwanich (1996).	Prácticas de producción	Integrar a la producción de los ciclos biológicos	Viabilidad económica	Satisface las necesidades humanas de alimentos y fibras y elevar la calidad de vida del productor y la sociedad	A través del tiempo	Unidad de producción

Altieri y Nichols (2000).	Modo de agricultura y prácticas	Mejorar la eficiencia biológica	Rendimientos sostenidos		A largo plazo	
Zinck <i>et al.</i> (2005).		Conservación de los sistemas naturales	Producción óptima con reducidos costos de producción, adecuado nivel de ingreso y beneficio	Satisfacción de las necesidades alimentarias básicas y suficiente abastecimiento para cubrir las demandas y necesidades de las familias y comunidades rurales	A largo plazo	Unidad de producción
Sarandón <i>et al.</i> (2006).		Límites biofísicos que establece el correcto funcionamiento de los sistemas naturales	Flujo de bienes y servicios	Satisfagan las necesidades socioeconómicas y culturales de la población	Mantener en el tiempo	
Astier (2007).	Conjunto de prácticas	Conservar y mejorar los recursos naturales	Obtener alimentos, fibras y demás productos	Satisfagan las necesidades alimentarias de la población	En el tiempo	
Toro-Mujica <i>et al.</i> (2011).	Modo de agricultura	Gestión de tecnologías ecológicamente racionales	Rendimiento sostenido		A largo plazo	
Candelaria <i>et al.</i> (2014).	Proceso, conjunto de prácticas agrícolas	Conservar y mejorar la cantidad y calidad de los recursos naturales	Obtención de productos agropecuarios desarrollo económico	Satisfagan necesidades de la población desarrollo humano y social de las familias que las realizan	En el tiempo	

1 En las diversas definiciones propuestas, existen algunas nociones comunes a todas; la mayoría de los
2 conceptos de agricultura sustentable promueven la integración ecológica, económica y social para cumplir
3 con las tres dimensiones que contempla la sustentabilidad (Zinck *et al.*, 2005). Es decir, un sistema debe ser
4 ecológicamente sostenible o no puede persistir a largo plazo, y por lo tanto no puede ser productivo y
5 rentable; de la misma manera, un sistema debe ser productivo y rentable a largo plazo o no puede sostenerse
6 económicamente, no importa cuánto sea sólido ecológicamente (Zhen y Routray, 2003).

7 Respecto a la dimensión ecológica, la mayoría de los autores menciona que se deben conservar los recursos
8 naturales; esto es, hacer un uso racional, el cual provoque pocos efectos adversos o una degradación mínima
9 (Gitau *et al.*, 2008; Pretty 2008). En la dimensión económica, lo más referido es su viabilidad mediante la
10 producción constante de alimentos y fibras. Mientras que en la dimensión social se menciona satisfacer las
11 necesidades básicas y mejorar la calidad de vida de los productores.

12 Un aspecto importante, es que en las definiciones proponen que la agricultura sustentable es un proceso, un
13 modo o conjunto de prácticas para realizar la actividad agrícola; generalmente basados en un enfoque
14 agroecológico, buscando la optimización del agroecosistema en su conjunto a través de potenciar las
15 interrelaciones entre sus elementos (Altieri, 1992; Zhen y Routray, 2003). Asimismo, la escala temporal se
16 hace presente en todas las definiciones, ya que se hace mención a las frases “a largo plazo” o “a través del
17 tiempo”. Sin embargo; ninguna definición menciona explícitamente la escala espacial, dejando la
18 implementación del concepto a diferente nivel jerárquico.

19

20 3.1.4 Definición de agricultura sustentable a nivel de cuenca hidrográfica.

21 Acorde a las secciones anteriores, circunscribir el concepto de agricultura sustentable a una definición única
22 y de carácter universal es difícil; no obstante, es necesario plantear un concepto para la investigación y el
23 desarrollo agrícola, a pesar de sus limitaciones (Zhen y Routray, 2003). Por lo cual, más adelante se propone
24 un concepto y definición de agricultura sustentable a nivel de cuenca hidrográfica.

1 De acuerdo con Goode y Hatt (2002) los conceptos son abstracciones de la realidad y tienen significados
2 solamente ubicados en un marco de referencia dentro de algún sistema teórico. En este sentido, basado en
3 la perspectiva teórica técnico-biológica, (Brunett *et al.*, 2006; Cisneros-Saguilán *et al.*, 2015), y dentro de
4 la cual se encuentra la agroecología como transdisciplina (Ruiz-Rosado, 2006), se entiende a la agricultura
5 sustentable como un modelo de producción que busca el desarrollo de tecnologías de uso eficiente de energía
6 y de conservación de los recursos naturales (Altieri y Nicholls, 2000).

7 Asimismo, considerando los puntos en común de las diversas definiciones descritas en la sección anterior,
8 así como la multidimensionalidad de la sustentabilidad; la agricultura será ecológicamente sustentable si
9 conserva los recursos naturales (suelo, agua, biodiversidad); económicamente sustentable si los productores
10 cumplen con sus objetivos de producción y comercialización, con la disminución de los riesgos derivados
11 de la dependencia de los mercados e insumos externos, y socialmente sustentable si los productores y sus
12 familias logran cubrir sus necesidades básicas (salud, educación, alimentación, vivienda).

13 Por otro lado, se entiende que el concepto de agricultura sustentable es dinámico, no solo específico del
14 tiempo sino también del espacio. En este aspecto, de acuerdo con Smit y Smithers (1993), la mayoría de las
15 investigaciones sobre sustentabilidad deben adoptar una escala espacial y una dimensión particular de la
16 agricultura; por lo cual es necesario un concepto adecuado a cada nivel. De igual forma Ruiz-Rosado (2006)
17 menciona que el concepto debe ser definido a diferentes escalas espaciales: mundial, nacional, cuenca,
18 región, localidad, finca y parcela. Además, se debe considerar que las distintas escalas se anidan entre sí,
19 formando una jerarquía conceptual, por lo cual la sustentabilidad de un nivel específico en la jerarquía está
20 directamente relacionada con el estado funcional de los subniveles dentro de él (Gitau *et al.*, 2008; Sánchez,
21 2012). De modo que, las actividades a pequeñas escalas espaciales (por ejemplo, el control de plagas en las
22 parcelas) tienen efectos acumulativos que se expresan a niveles más altos (por ejemplo, en cuencas
23 hidrográficas), con consecuencias graves, por ejemplo, pérdida de infraestructura biológica (Waltner-
24 Toews, 1996).

1 Basándonos en los puntos anteriores, se deriva un concepto operacional para las condiciones específicas del
2 caso. La agricultura sustentable a nivel de cuenca es el conjunto de manejos agrícolas de los recursos
3 naturales de una cuenca (agua, suelo, biodiversidad), que permiten su conservación a través del tiempo, así
4 como la producción y comercialización de alimentos y bienes agropecuarios para satisfacer las necesidades
5 (educación, salud, alimentación y vivienda) de los productores y sus familias.

6

7 3.2 Conclusiones.

8 La agricultura sustentable es un concepto que ha sido interpretado como una propiedad y como un enfoque
9 para el desarrollo de la agricultura; se ha abordado desde diversas perspectivas teóricas y se han propuesto
10 criterios o principios para definirla. Por lo cual, han surgido una serie de definiciones sin llegar a una de
11 carácter universal. A pesar de la diversidad en la conceptualización de la agricultura sustentable, existen
12 ciertas consistencias entre los conceptos, que sirven como base para proponer una a nivel de cuenca.
13 Diversos autores concuerdan en que debe ser un concepto definido dentro de un marco teórico, donde
14 destaca la perspectiva técnico-biológica y la agroecología; también debe abordar las dimensiones básicas
15 de la sustentabilidad (ecológica, económica y social) y tener en cuenta no solo la escala temporal sino
16 también la espacial. Finalmente, apoyándose de estos aspectos, se propone una definición de agricultura
17 sustentable a nivel de cuenca hidrográfica.

18 En este trabajo se define a la agricultura sustentable a nivel de cuenca como el conjunto de manejos agrícolas
19 de los recursos naturales de una cuenca (agua, suelo, biodiversidad), que permiten su conservación a través
20 del tiempo, así como la producción y comercialización de alimentos y bienes agropecuarios para satisfacer
21 las necesidades (educación, salud, alimentación y vivienda) de los productores y sus familias.

22

23 3.3 Literatura citada.

24 Altieri, M. 1992. Sustainable agricultural development in Latin America: exploring the possibilities.
25 Agriculture, Ecosystems & Environment. 39:1-21.

1 Altieri, M. 1995. El estado del arte de la agroecología y su contribución al desarrollo rural en América
2 Latina. *In:* Agricultura y Desarrollo Sustentable. Cadenas, A. (Coord.). Primera edición. Ministerio de
3 Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid, España. 151-204 pp.

4 Altieri, M. y Nicholls, C. 2000. Teoría y práctica para una agricultura sustentable. Serie textos básicos para
5 la formación ambiental. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Primera edición.
6 México, D.F. 257 p.

7 Astier, M. 2007. Estado del arte sobre la evaluación de sustentabilidad y derivación de indicadores en el
8 contexto local. *In:* IX Simposio Internacional y IV Congreso Nacional de Agricultura Sostenible. Sociedad
9 Mexicana de Agricultura Sostenible A. C. Boca del Rio, Veracruz. 90-102 pp.

10 Becker, B. 1997. Sustainability assessment: a review of values, concepts and methodological approaches,
11 issues in agriculture 10. Consultative Group on International Agricultural Research/World Bank. First
12 edition. Washington, D.C, EUA. 68 p.

13 Brunett, L.; García, L.; González, C.; González, F. y Climent, J. 2006. La Agroecología como paradigma
14 para el diseño de la agricultura sustentable y metodologías para su evaluación. *Sociedades Rurales,*
15 *Producción y Medio Ambiente.* 6:83-109.

16 Calvente, A. 2007. El concepto moderno de sustentabilidad. Universidad Abierta Interamericana.
17 Consultado mayo 2015. Disponible en: [http://www.sustentabilidad.uai.edu.ar/pdf/sde/UAIS-SDS-100-](http://www.sustentabilidad.uai.edu.ar/pdf/sde/UAIS-SDS-100-002%20-%20Sustentabilidad.pdf)
18 [002%20-%20Sustentabilidad.pdf](http://www.sustentabilidad.uai.edu.ar/pdf/sde/UAIS-SDS-100-002%20-%20Sustentabilidad.pdf)

19 Candelaria-Martínez, B.; Ruiz-Rosado, O.; Pérez-Hernández, P.; Gallardo-López, F.; Vargas-Villamil, L.;
20 Martínez-Becerra, Á. y Flota-Bañuelos, C. 2014. Sustentabilidad de los agroecosistemas de la microcuenca
21 Paso de Ovejas 1, Veracruz, México. *Cuadernos de Desarrollo Rural.* 11(73):87-104.

22 Chiappe, M. 2008. Sustentabilidad de la agricultura: un enfoque integrador. *In:* Chiappe, M.; Carámbula,
23 M. y Fernández, R. E. (Comps.). *El campo uruguayo: una mirada desde la sociología rural.* Dpto.
24 *Publicaciones de Facultad de Agronomía, Universidad de la República.* Primera edición. Montevideo,
25 Uruguay. 25-45 pp.

1 Cisneros-Saguilán, P.; Gallardo-López, F.; López-Ortíz, S.; Ruiz-Rosado, O.; Herrera-Haro, J. and
2 Hernández-Castro, E. 2015. Current epistemological perceptions of sustainability and its application in the
3 study and practice of cattle production: a review. *Agroecology and Sustainable Food Systems*. 39:885-906.
4 CMMAD. 1987. Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo. Nuestro futuro común. Madrid.
5 Alianza Editorial.
6 Conway, G. R. 1985. Agroecosystem analysis. *Agricultural Administration*. 20:31-55.
7 Dale, V.; Kline, K.; Kaffka, S. and Langeveld, J. 2013. A landscape perspective on sustainability of
8 agricultural systems. *Landscape Ecology*. 28:1111-1123.
9 De Camino, R. y Müller, S. 1993. Sostenibilidad de la agricultura y los recursos naturales. Bases para
10 establecer indicadores. IICA/GTZ. Primera edición. San José, Costa Rica. 133 p.
11 Douglass, G. K. 1984. The meanings of agricultural sustainability. *In: Agricultural sustainability in a*
12 *changing world*. Douglass, G. K. (Eds.). First edition. Westview Press. Boulder, Colorado, EUA. 3-30 pp.
13 Galván-Miyoshi, Y.; Masera, O. y López-Ridaura, S. 2008. Las evaluaciones de sustentabilidad. *In:*
14 *Evaluación de sustentabilidad. Un enfoque dinámico y multidimensional*. Astier, M.; Masera, O. y Galván-
15 Miyoshi, Y. (Coords.). Primera Edición. SEAE / CIGA / ECOSUR / CIEco / UNAM / GIRA / Mundi-
16 Prensa / Fundación Instituto de Agricultura Ecológica y Sustentable. Benifaió. Valencia, España. 41-58 pp.
17 Gitau, T.; Gitau, M. W. and Waltner-Toews, D. 2009. Integrated assessment of health and sustainability of
18 agroecosystems. CRC Press/Taylor & Francis. First edition. Boca Raton, Florida, EUA. 236 p.
19 Goode, W. J. y Hatt P. K. 2002. Métodos de investigación social. Segunda edición, Sexta reimpresión.
20 Editorial Trillas. México. 469 p.
21 Ikerd, J. G. and Traiyongwanich, S. 1996. Evaluating the sustainability of alternative farming systems: a
22 case study. *American Journal of Alternative Agricultural*. 11:25-29.
23 Ikerd, J. E. 1990. Agriculture's search for sustainability and profitability. *Journal of Soil and Water*
24 *Conservation*. 45:18-23.
25 Kuhlman, T. and Farrington, J. 2010. What is Sustainability? *Sustainability*. 2:3436-3448.

1 Kumaraswamy, S. 2012. Sustainability issues in agro-ecology: socio-ecological perspective. *Agricultural*
2 *Sciences*. 3:153-169.

3 López, J. y Mantilla, E. 2006. Los indicadores y la medición de la sostenibilidad. *In: Medición de la*
4 *sostenibilidad ambiental*. Mantilla, E.; Vergel, C. y López, J. (Eds.). Primera edición. Editorial Universidad
5 Cooperativa de Colombia. Bogotá, Colombia 132 p.

6 Luffiego, M. y Rabadán, J. 2000. La evolución del concepto de sostenibilidad y su introducción en la
7 enseñanza. *Enseñanza Ciencias*. 18: 473-486.

8 Margate, D. E. 2011. Evaluating agricultural sustainability in tropical watersheds: an integrated
9 geographical approach. Tesis de Doctorado. Universidad de Western. Sídney, Australia. 182 p.

10 Marquardt, B. 2006. Historia de la sostenibilidad. Un concepto medioambiental en la historia de Europa
11 central (1000-2006). *Historia Crítica*. 32:172-197.

12 Pesek, J. 1994. Historical perspective. *In: Sustainable agriculture systems*. Hatfield J. L. and Karlen, D. L.
13 (Eds), Lewis Publishers. London. 1-19 pp.

14 Plucknett, D. L. and Smith, N. 1986. Sustaining agricultural yields. *BioScience*. 36:40-45.

15 Pretty, J. 2008. Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence. *Philosophical Transactions of*
16 *the Royal Society. Biological Sciences*. 363(1491): 447-465.

17 Qiu, H. J.; Zhu, W. B.; Wang, H. B. and Cheng, X. 2007. Analysis and design of agricultural sustainability
18 indicators system. *Agricultural Sciences in China*. 6:475-486.

19 Rasul, G. and Thapa, G. 2004. Sustainability of ecological and conventional agricultural systems in
20 Bangladesh: an assessment based on environmental, economic and social perspectives. *Agricultural System*.
21 79:327-351.

22 Real Academia Española. 2014. Diccionario de la lengua española. 23.^a edición. Consultado febrero 2015.
23 Disponible en: <http://www.rae.es/obras-academicas/diccionarios/diccionario-de-la-lengua-espanola>

24 Ruiz-Rosado, O. 2001. Agroecological sustainability in Kent, England: the systems theory approach at
25 catchment and parish group levels. Tesis Doctorado. Imperial College at Wye University of London. 322 p.

1 Ruiz-Rosado, O. 2006. Agroecología: una disciplina que tiende a la transdisciplina. *Interciencia*. 31:140-
2 145.

3 Sánchez, P. 2012. Evaluación de la sustentabilidad del agroecosistema maíz en la región de Huamantla,
4 Tlaxcala. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. Posgrado Estrategias para el Desarrollo Agrícola
5 Regional. Puebla, Puebla. 232 p.

6 Sarandón, S. y Flores, C. 2014. Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas
7 sustentables. Universidad Nacional de La Plata. Primera edición. La Plata, Argentina. 467 p.

8 Sarandón, S.; Zuluaga, M, S.; Cieza, R.; Gómez, C.; Janjetic, L. y Negrete, E. 2006. Evaluación de la
9 sustentabilidad de sistemas agrícolas de fincas en Misiones, Argentina, mediante el uso de indicadores.
10 *Agroecología*. 1:19-28.

11 Smit, B. 2000. Concepts of sustainability, agro-ecosystem health and applications to agricultural production.
12 *In: Agro-ecosystems, natural resources management and human health related research in East Africa:*
13 *Proceedings of an IDRC-ILRI International Workshop held at ILRI. Addis Ababa, Ethiopia. 198-206 pp.*

14 Smit, B. and Smithers, J. 1993. Sustainable agriculture: interpretations, analyses and prospects. *Canadian*
15 *Journal of Regional Science*. 16:499-524.

16 Smith, C. S. and McDonald, G. T. 1998. Assessing the sustainability of agriculture at the planning stage.
17 *Journal of Environmental Management*. 52:15-37.

18 Spendjian, G. 1991. Economic, Social, and Policy Aspects of Sustainable Land Use. *In: Evaluation for*
19 *Sustainable Land Management in the Developing World. Vol. 2. proceedings of the International Workshop*
20 *on Evaluation for Sustainable Land Management in the Developing World, International Board for Soil*
21 *Research and Management (IBSRAM). Technical Papers, Proceedings No. 12. Bangkok, Thailand. 415-*
22 *436 pp.*

23 Stockle, C. O.; Papendick, R. I.; Saxton, K. E.; Campbell, G. S.; and Van Evert, F. K. 1994. A framework
24 for evaluating the sustainability of agricultural production systems. *American Journal of Alternative*
25 *Agriculture*. 9:45-50.

- 1 Theis, T. and Tomkin, J. 2012. Sustainability: a comprehensive foundation. Connexions. First edition.
2 Houston, EUA. 643 p.
- 3 Tilman, D.; Cassman, K. G.; Matson, P. A.; Naylor, R. and Polasky, S. 2002. Agricultural sustainability and
4 intensive production practices. *Nature*. 418:671-677.
- 5 Tisdell, C. 1996. Economic indicators to assess the sustainability of conservation farming projects: an
6 evaluation. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 57:117-131.
- 7 Toro-Mújica, P.; García, A.; Gómez-Castro, A. G.; Acero, R.; Perea, J. y Rodríguez-Estévez, V. 2011.
8 Sustentabilidad de agroecosistemas. *Archivos de Zootecnia*. 60:15-39.
- 9 Van Pham, L. and Smith, C. 2014. Drivers of agricultural sustainability in developing countries: a review.
10 *Environment Systems and Decisions*. 34:326-341.
- 11 Von der Weid, J. 1994. Agroecología y agricultura sustentable. *Agroecología y Desarrollo*, 7:9-14.
- 12 Waltner-Toews, D. 1996. Ecosystem health: a framework for implementing sustainability in agriculture.
13 *Bioscience*. 46:686-689.
- 14 Weil, R. 1990. Defining and using the concept of sustainable agriculture. *Journal of Agronomic Education*.
15 19:126-130.
- 16 Yunlong, C. and Smit, B. 1994. Sustainability in agriculture: a general review. *Agriculture, Ecosystems &*
17 *Environment*. 49:299-307.
- 18 Zhen, L. and Routray, J. 2003. Operational indicators for measuring agricultural sustainability in developing
19 countries. *Environmental Management*. 32:34-46.
- 20 Zinck, J. A.; Berroterán, J. L.; Farshad, A.; Moameni, A.; Wokabi, S. y Van Ranst, E. 2005. La
21 sustentabilidad agrícola: un análisis jerárquico. *Gaceta Ecológica*. 76:53-72.

1 **CAPITULO IV MARCOS METODOLÓGICOS PARA LA SELECCIÓN DE INDICADORES DE**
2 **SUSTENTABILIDAD AGRÍCOLA EN CUENCAS HIDROGRÁFICAS¹.**

3 Victor Daniel Cuervo Osorio, Octavio Ruiz Rosado, Luis Manuel Vargas-Villamil, Eliseo García Pérez,
4 Felipe Gallardo López, Pablo Díaz Rivera.

5
6 Resumen.
7 En el presente ensayo se aborda el tema de la selección de indicadores y su empleo en la evaluación de la
8 sustentabilidad agrícola a nivel de cuencas hidrográficas, con la intención de discutir y dar a conocer la
9 importancia de su utilización, las diversas opciones de marcos metodológicos existentes y cómo se han
10 empleado. En principio, se revisa el concepto de indicador y sus características; posteriormente se describen
11 los principales marcos metodológicos utilizados en la selección de indicadores, concentrando la atención en
12 los propuestos para la evaluación de la sustentabilidad agrícola en cuencas y se mencionan algunas
13 consideraciones para la selección de indicadores. Por último, en la evaluación de la sustentabilidad agrícola
14 a nivel de cuenca se destaca la importancia de seleccionar indicadores basándose en un marco metodológico,
15 así como de integrar las tres dimensiones básicas de la sustentabilidad (social, ecológica y económica),
16 tomando en cuenta las interacciones de los agroecosistemas y su manejo en relación a otros sistemas
17 externos e internos a la cuenca, con el potencial de seleccionar indicadores de forma participativa con los
18 principales involucrados, así como el uso de análisis multifactorial. Se confirma la utilidad de los marcos
19 metodológicos en la selección de los indicadores.

20

21 Palabras clave: Indicadores, Agroecosistema, Análisis multifactorial.

¹Enviado a la Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.

1 4.1 Introducción.

2 Una cuenca hidrográfica es el territorio delimitado por la línea divisoria de las aguas, conformado por un
3 sistema hídrico que conducen sus aguas a un afluente principal, lago y/o mar (Word visión, 2004), en ella
4 se encuentran recursos naturales y asentamientos humanos; es decir, ecosistemas, agroecosistemas y la
5 infraestructura creada por el hombre. Dichos sistemas biofísicos y socioeconómicos, se encuentran
6 integrados, son interdependientes, y a su vez se interrelacionan con otras cuencas.

7 La dinámica social histórica suele determinar los diversos usos dados a los recursos naturales de una cuenca
8 hidrográfica, así como la forma en que se organiza la población para su aprovechamiento y su impacto
9 (Rodríguez, 2006). En este sentido, los agroecosistemas de una cuenca comparten recursos naturales,
10 condiciones climáticas y contextos socioeconómicos similares, pero son manejados por diferentes intereses
11 y objetivos de producción, por parte de los agricultores (Ruiz-Rosado, 2001).

12 Por tal motivo, en diversas ocasiones el manejo de los recursos naturales en la agricultura no ha sido el
13 adecuado; un ejemplo claro es la revolución verde, este tipo de agricultura incrementó la producción y
14 productividad, pero también provocó problemas ecológicos y sociales (León, 2012). Para evitar el continuo
15 deterioro de los recursos naturales una transición hacia una agricultura sustentable no es solo necesario, sino
16 urgente.

17 La cuenca hidrográfica se considera una alternativa idónea para diseñar e instrumentar políticas orientadas
18 al desarrollo rural, al manejo integral, participativo y sustentable de los recursos naturales (López, 2014).
19 ya que, es un territorio delimitado por límites naturales, constituye el espacio geográfico donde existe una
20 interrelación e interdependencia espacial y temporal entre la sociedad y su ambiente; debido a que la
21 sociedad tiene una identidad cultural y socioeconómica originada por la forma de acceso y apropiación de
22 los recursos naturales (Caire, 2004; Aguirre, 2011); además, la conservación, uso y aprovechamiento de los
23 recursos naturales de la cuenca tiene la finalidad de satisfacer las demandas de la población (FAO, 2007), y
24 también, en la cuenca se presenta la interconexión entre poblaciones por la misma gestión del territorio,

1 dependencia común a un sistema hídrico compartido, a los caminos y vías de acceso y al hecho de que deben
2 enfrentar peligros comunes (García, 2002).

3 Los programas, proyectos o esquemas de manejo deben sustentarse en datos y conocimientos que permitan
4 observar tendencias, prever efectos y externalidades e inferir escenarios futuros (Cotler, 2010). Una
5 herramienta viable en la toma de decisiones son los indicadores, ya que por medio de ellos se puede reducir
6 e interpretar información sobre diversos tópicos (económicos, sociales y ecológicos), observar tendencias y
7 valorar el cumplimiento de objetivos y metas (Singh *et al.*, 2009).

8 El empleo de indicadores en la evaluación de la sustentabilidad agrícola de una cuenca permitirá contar con
9 una base de información confiable y comprensible sobre los impactos a corto, mediano y largo plazo del
10 manejo en la agricultura, que servirá en la toma de decisiones sobre los puntos críticos y provocar cambios
11 que tiendan hacia la agricultura sustentable en beneficio de los productores y consumidores. Con base en lo
12 anterior, surgen las preguntas ¿Cómo se deben seleccionar los indicadores?, ¿qué marcos metodológicos
13 existen? y ¿cuál es el más adecuado para evaluar la sustentabilidad agrícola en cuencas hidrográficas? o ¿se
14 requiere un marco metodológico para cada situación dada?

15

16 4.1.1 Definición de indicador.

17 De acuerdo con Gallopin (2006), un indicador es una variable o representación operativa de un atributo
18 (calidad, característica o propiedad); que se diferencia de un valor, ya que tiene un significado que va más
19 allá de lo que se obtiene directamente de las observaciones; es decir, en función del valor que asume en
20 determinado momento, despliega significados que los usuarios interpretarían más allá de lo que muestran
21 directamente, ya que existe un constructo cultural y de significado social que se asocia al mismo (Quiroga,
22 2001).

23 En este sentido, Díaz-Ambrona (2013) menciona que un indicador es una medida del estado de un sistema
24 que puede ser empleado en la evaluación del efecto que tienen nuestras acciones sobre un determinado
25 recurso y que permite ajustarlas para conseguir un determinado objetivo; ya que esquematizan los datos

1 disponibles e informan a los usuarios sobre el estado actual o evolución que ha experimentado el sistema
2 bajo unas determinadas prácticas de manejo.

3 De acuerdo a diversos autores (Ruiz-Rosado 2001, Gallopin 2006, Böhringer y Jochem 2007, Sarandón y
4 Flores 2009, Díaz-Ambrona, 2013) un indicador debe cumplir con las siguientes características: ser
5 adecuado al objetivo, brindar la posibilidad de determinar valores umbrales, tener características universales
6 pero adaptado a cada condición en particular, tener escala cualitativa y/o cuantitativa, posible dependiendo
7 de la disponibilidad de datos y costos, no tener sesgos (ser independiente del observador o recolector),
8 permitir una percepción holística, ser relevante para el tomador de decisiones, estar expresado en unidades
9 equivalentes por medio de transformaciones apropiadas, ser robusto (brindar y sintetizar información
10 pertinente), tener habilidad predictiva y sensibilidad a los cambios en el tiempo.

11 El principal aspecto de los indicadores en comparación con otras formas de información es su relevancia
12 para la toma de decisiones (políticas, empresarias, personales), por lo que los atributos representados por
13 los indicadores deben ser considerados importantes por los tomadores de decisión y/o por el usuario
14 (Gallopin, 2006).

15

16 4.1.2 Selección de indicadores.

17 Una forma de seleccionar indicadores está basada en propuestas que conciben a la evaluación de un modo
18 lineal, sin un sustento teórico sólido, simplemente utilizando listas *ad hoc* y en muchos casos un solo
19 indicador para tratar de describir múltiples factores que interactúan en tiempo y espacio. Ejemplos de estos
20 indicadores son los utilizados para evaluar la calidad del agua, la protección del recurso y su escasez
21 (Chávez-Jiménez *et al.*, 2013), el balance hídrico (Sharma y Thakur, 2007), así como hidrológicos y
22 geomórficos relacionados con la impermeabilidad de la cuenca (Wong *et al.*, 2008), la erosión del suelo en
23 una cuenca (Okoba *et al.*, 2006) y aspectos biofísicos naturales de una cuenca (Antonio *et al.*, 2013), entre
24 otros.

1 Si bien, los indicadores utilizados de forma individual sirven en el análisis de sus respectivas variables, un
2 proceso dinámico no puede ser evaluado de esta forma, ya que el análisis no será coherente con respecto a
3 lo que se plantea evaluar, dando resultados que aportan pocos elementos para la toma de decisiones (Galván-
4 Miyoshi *et al.*, 2008).

5 Otra forma de selección de indicadores es la que se lleva a cabo mediante marcos metodológicos, estos
6 guían el proceso a través de etapas definidas, asociados a conceptos y/o teorías. De esta forma, se crea una
7 estrecha relación entre lo que se desea evaluar y el conjunto de indicadores; los cuales pueden agregarse, o
8 no, en índices que sintetizan la información en un solo valor numérico. Existen diversas propuestas de marco
9 metodológico para la selección de indicadores e índices de sustentabilidad, estos se han utilizado con
10 distintos enfoques y niveles jerárquicos; este tema se abordará con mayor profundidad posteriormente.

11 Un aspecto importante a considerar durante el proceso de selección de los indicadores es el número
12 adecuado a elegir, en muchas ocasiones este tiende a incrementar, dificultando el proceso de recopilación
13 de datos y su posterior interpretación. Un número adecuado debería estar entre el rango de 10 a 25
14 dependiendo la escala de análisis, tomando en cuenta que en muchas ocasiones un mismo indicador se
15 relaciona a diversas variables y que la motivación por el uso de los indicadores es un análisis simplificado,
16 basado en un número pequeño de indicadores, pero con una visión holística más que un análisis exhaustivo
17 (Gallopín, 2006).

18

19 4.1.3 Marcos metodológicos en la selección de indicadores.

20 Los diversos marcos metodológicos generalmente presentan una estructura descendente que va de lo general
21 (Conceptos o atributos) a lo particular (indicadores). Los conceptos están predefinidos, y cada marco
22 propone diferentes aspectos básicos a considerar; mientras que los indicadores son específicos acordes al
23 caso y se definen en función del contexto en particular, así como de los conceptos (Galván-Miyoshi *et al.*,
24 2008).

1 Como se mencionó anteriormente, el empleo de un marco conceptual determinado supone el
2 posicionamiento de una visión acerca de los componentes y las interacciones que se dan entre los recursos
3 naturales y la sociedad, cuanto más entendible y detallado sea el marco metodológico mejor será definido
4 el indicador, ya que se clarifican los vínculos entre las diversas variables que lo componen (Schuschny y
5 Soto, 2009).

6 Existen diversos marcos metodológicos, la adopción de alguno de ellos dependerá de los objetivos, la
7 disponibilidad de información y los conceptos asumidos para la evaluación. Además, pueden ser utilizados
8 como base para generar nuevas propuestas metodológicas o ser adaptados para cada situación en específico.
9 Uno de los primeros marcos desarrollados fue el de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo
10 Económico (OECD, 1993) denominado Presión-Estado-Respuesta (PER), permite la derivación de
11 indicadores de las presiones humanas sobre el ambiente, el estado de los ecosistemas y las respuestas
12 individuales e institucionales a los retos ambientales que se presentan; es uno de los marcos más utilizados
13 y ha sido base para generar nuevas metodologías.

14 Otro marco pionero, fue el formulado para el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura
15 (IICA) por De Camino y Müller (1993), que proponen una metodología sistémica para la derivación de
16 indicadores a partir de una extensa revisión bibliográfica sobre el concepto de sustentabilidad y sus
17 diferentes acepciones; sugieren cuatro categorías de análisis (la base de recursos del sistema; la operación
18 del sistema; otros recursos exógenos al sistema de entrada o salida y la operación de otros sistemas exógenos
19 de entrada o salida) sin presentar ninguna estrategia para el análisis y la integración de los resultados.

20 Smyth y Dumanski (1994), elaboraron el Marco de evaluación del manejo sustentable de tierras (FESLM
21 siglas en inglés) para la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO);
22 este marco busca un análisis integral del sistema de manejo, pero tiene un sesgo ambiental e incorpora
23 débilmente los aspectos económicos y sociales que determinan su comportamiento.

1 Una metodología para estimar el nivel de desarrollo sostenible en territorios rurales es la propuesta
2 denominada Biógrama (Sepúlveda, 2008), evalúa el desarrollo del territorio en periodos largos de tiempo y
3 cuenta con un programa de cómputo para manejar la información y graficar.

4 Diversos autores han evaluado la sustentabilidad agrícola mediante indicadores a través de múltiples
5 propuestas metodológicas, dejando en claro que las diferencias en la escala de análisis (predio, finca, región,
6 cuenca, estado, país), tipo de establecimiento, objetivos deseados, actividad productiva, características de
7 los agricultores, hacen imposible la generalización de indicadores (Candelaria-Martínez *et al.*, 2014). Dentro
8 de los marcos metodológicos que tienen como objetivo la valoración de la sustentabilidad agrícola se pueden
9 mencionar a los siguientes.

10 El marco para evaluación de sistemas de manejo de recursos naturales incorporando indicadores de
11 sustentabilidad (MESMIS) desarrollado por Masera *et al.* (1999), caracteriza los sistemas de producción y
12 los evalúa de acuerdo a indicadores de siete atributos dentro de cuatro dimensiones. El Modelo del
13 agroecosistema sostenible (SAM siglas en inglés) propuesto por Belcher *et al.* (2004), divide el
14 agroecosistema en sub-modelos económico y ambiental, selecciona indicadores y crea escenarios en base a
15 modelaje temporal y espacial. Van Cauwenbergh *et al.* (2007), plantean el marco de evaluación de la
16 sostenibilidad de la agricultura y el medio ambiente (SAFE siglas en inglés), es una metodología holística
17 y de estructura jerárquica se compone de principios, criterios, indicadores y valores de referencia; los
18 principios están relacionados con las múltiples funciones del agroecosistema. Por último, Sarandón y Flores
19 (2009) sugieren una metodología para diferentes situaciones o problemáticas, se basa en un enfoque
20 agroecológico y holístico, consiste en una serie de pasos que conducen a la obtención de un conjunto de
21 indicadores que determinan los puntos críticos de la sustentabilidad de los agroecosistemas.

22

23 4.1.4 Marcos metodológicos de indicadores de sustentabilidad agrícola en cuencas.

24 Uno de los primeros marcos fue el propuesto por Ruiz-Rosado (2001), que basándose de un fuerte bagaje
25 conceptual en la teoría de sistemas y del enfoque de co-evolución, así como de la agroecología como

1 disciplina holística, desarrolló una metodología para analizar y evaluar la sustentabilidad agroecológica a
2 nivel de cuenca. Esta metodología considera en relación a la estructura y función de la cuenca, vista como
3 un sistema, cambios que ocurren en el paisaje agrícola, paisaje no agrícola y la infraestructura, relacionados
4 a las dinámicas locales, políticas nacionales e internacionales, empleo, producción y precios de productos
5 agrícolas. Es decir, toma en cuenta las interacciones sociales, económicas y ecológicas entre estructura y
6 función del sistema cuenca que influyen en las actividades agrícolas en ese nivel. Mediante el enfoque de
7 co-evolución y la agroecología analiza información cualitativa y cuantitativa para posteriormente proponer
8 un conjunto de indicadores dentro del contexto local, así como valores umbrales para la sustentabilidad.
9 También menciona que, agrupando la información de indicadores de las tres dimensiones, en una sola
10 escala, se puede identificar el grado de sustentabilidad de los agroecosistemas, el cual se debe encontrar
11 entre los valores umbrales y si se encuentra fuera de ellos el agroecosistema sería insustentable.
12 En el caso de estudio de la cuenca Great Stour, en Kent, Inglaterra; se utilizan tres principales fuentes de
13 información: el uso de suelo mediante SIG, censos agrícolas y datos de calidad del agua (proporcionados
14 por agencias gubernamentales). Además de la opinión recabada mediante encuestas a académicos,
15 estudiantes del Wye College y productores de la cuenca para conocer su percepción sobre la agricultura
16 sustentable. La metodología considera la integración de las tres dimensiones de la sustentabilidad, pero para
17 este caso en particular la información económica no se encontró disponible, por lo cual, dicha integración
18 solo se dio en las dimensiones social y ecológica.
19 Dentro de los marcos presentes en la literatura, se encuentra el índice de pobreza del agua agrícola (AWPI
20 siglas en inglés), propuesto por Forouzani y Karami (2011). Es una herramienta interdisciplinaria que
21 integra temas clave relacionados al recurso agua en combinación con información agrícola, social,
22 económica y ambiental, asociada a la capacidad de los agricultores para obtener acceso al agua y el uso del
23 agua con fines productivos. Es útil para evaluar la situación del agua en la agricultura, sobre todo en lugares
24 donde el suministro de agua puede ser limitado; su aplicación está diseñada a nivel parcela y comunidad.

1 Los indicadores están divididos en cinco componentes los cuales son: recurso (cantidad de agua disponible);
2 acceso, dividido en dos secciones (acceso de los productores al agua, accesibilidad de la tierra al agua
3 disponible); capacidad (potencial actual de manejo de agua agrícola a nivel de finca); uso (es la
4 productividad estimada de la cantidad disponible de agua agrícola y ambiente) y factores ambientales que
5 influyen en la calidad y cantidad de agua en la agricultura. Sin embargo, no se explica cómo dichos
6 componentes se deben integrar dentro del índice y menciona que la disponibilidad de datos limita la
7 aplicación de indicadores sofisticados, ya que la problemática del agua se focaliza a nivel local y los datos
8 se encuentran a escalas mayores, generalmente a nivel nacional; por lo cual los indicadores deben ser
9 seleccionados cuidadosamente si se quiere que sean eficaces.

10 Por otro lado, se encuentra la investigación desarrollada por Ramírez *et al.* (2008), donde evaluaron la
11 sustentabilidad agrícola de la cuenca media del río Reventado en Cartago, Costa Rica. Utilizaron la
12 metodología MESMIS (Maserá *et al.*, 1999), en una muestra de las fincas que se enfocan en producir cebolla
13 y papa (10% de la superficie de la cuenca), recopilaron datos para los siguientes indicadores económicos:
14 producción, relación beneficio/costo, disponibilidad de riego, acceso al crédito; indicadores ambientales:
15 nivel de erosión severa, Fósforo disponible, parcelas en conflicto de uso, plaguicidas aplicados, y los
16 indicadores sociales fueron: tenencia de la tierra, toxicidad de plaguicidas aplicados, índice de desarrollo
17 social y nivel de escolaridad. Utilizan valores meta por indicador, estos son tomados mediante fuentes de
18 referencia y a través de talleres de discusión; aunque no menciona quienes son los involucrados en el taller,
19 si productores de las fincas o un grupo de expertos.

20 En este mismo sentido, Candelaria-Martínez *et al.* (2014) propone el Índice Agregado de Sustentabilidad
21 Agrícola (IASA), con el cual evaluó la sustentabilidad de los agroecosistemas más representativos en una
22 microcuenca; define claramente el concepto y establecen las dimensiones (Ambiental, Económica, Sociedad
23 y Humana); así como indicadores y valores de sustentabilidad acordes al nivel jerárquico, que son definidos
24 y ponderados con base en una consulta a expertos que conocen el área de estudio y con otros que cuentan
25 con experiencia en evaluación de sustentabilidad. En la valoración de los indicadores, la sustentabilidad se

1 encuentra entre valores umbrales, los cuales dependen del contexto local, para obtener el valor de cada una
2 de las dimensiones suma los valores obtenidos en cada indicador, para conocer el valor final del IASA se
3 suman los valores de cada una de las cuatro dimensiones. La participación de los productores es esencial en
4 esta metodología, ya que la valoración por medio de indicadores deriva en un modelo de simulación, donde
5 con la ayuda de los productores se plantean modificaciones a los agroecosistemas y puede observarse la
6 tendencia de su sustentabilidad a través del tiempo.

7 Las evaluaciones de sustentabilidad agrícola anteriores (Ruiz-Rosado, 2001; Forouzani y Karami, 2011;
8 Ramírez *et al.*, 2008; y Candelaria-Martínez *et al.*, 2014) tienen similitudes, se basan en marcos teóricos
9 metodológicos bien definidos, sus conceptos y objetivos permiten articular los indicadores, tienen en claro
10 su escala de análisis y en general, tienen una visión sistémica tratando de determinar los puntos críticos de
11 forma holística. Además, se toma en cuenta, al menos en dos de forma explícita, involucrar a los actores
12 principales tomadores de decisión (productores, académicos y sociedad) dentro de la evaluación. Sin
13 embargo, uno de ellos está dirigido solo al recurso agua, dos más a los agroecosistemas presentes en la
14 cuenca y otro, no logra integrar la dimensión económica en el análisis. Por lo que las evaluaciones resultan
15 incompletas al no considerar las interrelaciones de los agroecosistemas entre sí y con otros sistemas externos
16 e internos de la cuenca, así mismo al no integrar al menos las tres dimensiones básicas de la sustentabilidad
17 (ecológica, económica y social).

18

19 4.1.5 Consideraciones para la selección de indicadores de sustentabilidad agrícola en cuencas.

20 El principal obstáculo para evaluar la sustentabilidad en general y no solo la agrícola, es la ambigüedad del
21 concepto, que puede tener diversos significados a diferente nivel jerárquico y representa múltiples
22 interacciones entre estas las ecológicas, económicas y sociales. Estas interacciones dan como resultado una
23 dinámica que no trata de llegar a un estado ideal predefinido, sino de un proceso continuo de cambio. Es
24 por ello, que el concepto de sustentabilidad debe definirse localmente, prestando atención a la diversidad
25 sociocultural y ambiental (Galván-Miyoshi *et al.*, 2008).

1 En cuanto a la selección de indicadores se debe considerar que los atributos de la sustentabilidad deben estar
2 ligados con alguna dimensión analizada, ya que el indicador debe reflejar las variables explicativas para la
3 dimensión (Sepúlveda, 2008); además, se debe tener en cuenta que los resultados de la evaluación de
4 sustentabilidad sólo serán coherentes con los objetivos planteados y con los indicadores escogidos; es por
5 ello, que la coherencia interna en la selección es esencial (Sarandón y Flores, 2009).

6 Otro aspecto a tener en cuenta es que la sustentabilidad es difícil de comparar en tiempo y espacio. Si se
7 requiere realizar una valoración retrospectiva, se debe disponer de información de años anteriores para todos
8 los indicadores seleccionados, lo que nos llevaría a realizar una selección *ad hoc*; en cambio, si la
9 comparación es prospectiva, está se podría llevar a cabo a través de evaluaciones periódicas sistematizadas
10 que formen un precedente con el cual se conocerá la evolución de la sustentabilidad en el tiempo. Por otro
11 lado, si se pretende realizar evaluaciones comparativas entre dos cuencas, es claro que ambas tendrán
12 similitudes, pero también diversas características económicas, ecológicas y sociales que harán que se
13 distingan una de otra, las diferentes interrelaciones que se dan en cada caso hacen que la selección de
14 indicadores sea diferente y por ende la sustentabilidad; lo válido para una región o problema, puede no serlo
15 para otra (Sarandón y Flores, 2009).

16 Se puede decir que pocos estudios abordan una evaluación de sustentabilidad agrícola a nivel de cuenca, la
17 integración de al menos las tres principales dimensiones no se ha realizado o solo se evalúa la sustentabilidad
18 de los agroecosistemas dentro de la cuenca. Es por ello, que; en las evaluaciones de sustentabilidad agrícola
19 de acuerdo al marco metodológico que se use, la elección de indicadores deberá considerar las interacciones
20 entre los diversos agroecosistemas de la cuenca y el impacto de su manejo, entendiendo que existen factores
21 externos e internos a la cuenca que también deben ser tomados en cuenta.

22 La elección de los indicadores que se consideren adecuados dentro de la evaluación puede presentar ciertos
23 inconvenientes, entre estos, están: la falta y/o disponibilidad de información, el costo de recolección o si se
24 requiere equipo tecnológico (cómputo, laboratorio) para la obtención de los datos y el tiempo principalmente
25 para lograrlo. Ejemplos de algunos indicadores a nivel de cuenca que pueden ser utilizados, dependiendo

1 los objetivos de cada evaluación y teniendo presentes las dimensiones ecológica, social y económica son:
2 erosión, uso de suelo, cobertura vegetal, químicos y microbiológicos para evaluar la calidad del agua, datos
3 censales sobre calidad de vida de los productores (educación, salud, vivienda), aceptación social del modelo
4 de producción, organización de productores, dependencia de insumos, subsidios gubernamentales y capital
5 externo, producción por hectárea de las especies cultivadas y pecuarias, distribución y comercialización de
6 productos agropecuarios, uso y aplicación de agroquímicos, entre otros. Algunos de ellos se pueden obtener
7 a través del uso de la percepción remota o sistemas de información geográfica, ya que por medio de esta se
8 puede hacer un análisis del territorio con información sobre las interrelaciones que de otra forma no sería
9 posible dadas las dimensiones territoriales de una cuenca. Los indicadores que no deberían ser considerados
10 a nivel de cuenca serán aquellos que sean poco representativos como materia orgánica del suelo o los que
11 varían poco en el tiempo, como la textura del suelo (Sarandón y Flores, 2009).

12 Un aspecto importante a destacar es el potencial de generar indicadores en forma participativa, no solo con
13 académicos expertos en la zona de estudio, sino también con los involucrados, ya sea productores o
14 informantes clave; ya que ellos tienen información y conocimientos importantes de su entorno y el manejo
15 de sus recursos, que ayudaría ampliamente en la selección de indicadores locales. Esto con la intención de
16 que la información obtenida a través de los indicadores sirva en el diseño de los programas gubernamentales
17 y políticas públicas de desarrollo rural sustentable, y así considere las problemáticas y necesidades reales
18 de los productores y consumidores.

19 En la evaluación de la sustentabilidad agrícola, poco se utilizan los métodos estadísticos, debido a que los
20 indicadores al pertenecer a diferentes dimensiones (ecológica, económica y social), se expresan en unidades
21 diferentes. Este tipo de información cualitativa y cuantitativa genera una estructura de datos que puede ser
22 analizada mediante técnicas multivariadas, como el análisis de correspondencia múltiple, el cual se ha usado
23 dentro de la rama de análisis textual o minería de datos (Greenacre, 2008); otra alternativa es el análisis
24 factorial múltiple que puede ser una herramienta importante para la determinación de relaciones entre
25 indicadores de índole cuantitativo y cualitativo (Abascal y Landaluze, 2002).

1 4.2 Conclusiones.

2 En la literatura se pueden identificar dos procesos en la forma de seleccionar indicadores, uno *ad hoc* y otro
3 basado en un marco metodológico; este último, es el más adecuado, ya que para realizar una evaluación
4 congruente se debe tener en claro los objetivos de la investigación, así como la coherencia entre la filosofía,
5 teoría, concepto y metodología, además de ajustarse a los cuellos de botella de presupuesto, información y
6 recursos para de esta forma derivar los indicadores.

7 No existe un marco único o principal para evaluar la sustentabilidad, la elección o creación de alguno de
8 ellos dependerá de los objetivos, la disponibilidad de información y los conceptos asumidos para la
9 evaluación. Las evaluaciones de sustentabilidad agrícola a nivel de cuenca hidrográfica; deberán integrar
10 las dimensiones básicas (ecológica, económica y social) y considerar las interrelaciones entre los diversos
11 agroecosistemas presentes y su manejo, en relación con otros factores externos e internos en la cuenca; con
12 el potencial de seleccionar indicadores de forma participativa con los involucrados (académicos,
13 productores e informantes clave) y la incursión en los métodos estadísticos multivariados, que coadyuven
14 en la interpretación de dichas interrelaciones. Se confirma la utilidad de los marcos metodológicos en la
15 selección de indicadores como herramientas de información para la toma de decisiones.

16

17 4.3 Literatura citada.

18 Abascal, F. E; y Landaluce, M. I. 2002. Análisis factorial múltiple como técnica de estudio de la estabilidad
19 de los resultados de un análisis componentes principales. *Qüestiió: quaderns d'estadística i investigació*
20 *operativa*. 26:109-122.

21 Aguirre, M. 2011. La cuenca hidrográfica en la gestión integrada de los recursos hídricos. *Revista Virtual*
22 *REDESMA*. 5(1):9-20.

23 Antonio, R.; Márquez, A. y Díaz, E. 2013. Determinación de indicadores físico naturales en la cuenca media
24 del Río Unare y su relación con el cambio climático. *Revista Agrollania* 10.

1 Belcher, K.; Boehm, M. and Fulton, M. 2004. Agroecosystem sustainability: a system simulation model
2 approach. *Agricultural Systems*. 79:225-241.

3 Boehner, J.; and Selige, T. 2006. Spatial prediction of soil attributes using terrain analysis and climate
4 regionalisation. *In: Boehner, J.; McCloy, K. R. and Strobl, J. SAGA - Analysis and modelling applications.*
5 *Goettinger Geographische Abhandlungen*. 115:13-27.

6 Caire, G. 2004. Implicaciones del marco institucional y de la organización gubernamental para la gestión
7 ambiental por cuencas. El caso de la cuenca Lerma-Chapala. *Gaceta Ecológica*. 71:55-78.

8 Candelaria-Martínez, B.; Ruiz-Rosado, O.; Pérez-Hernández, P.; Gallardo-López, F.; Vargas-Villamil, L.;
9 Martínez-Becerra, Á. y Flota-Bañuelos, C. 2014. Sustentabilidad de los agroecosistemas de la microcuenca
10 Paso de Ovejas 1, Veracruz, México. *Cuadernos de Desarrollo Rural*. 11(73):87-104.

11 Chávez-Jiménez, A.; Lama, B.; Garrote, L.; Martín-Carrasco, F.; Sordo-Ward, A. and Mediero, L. 2013.
12 Characterization of the sensitivity of water resources systems to climate change. *Water Resource*
13 *Management*. 27:4237-4258.

14 Cotler, H.; Garrido, A.; Bunge, V. y Cuevas, M. 2010. Las cuencas hidrográficas de México: priorización
15 y toma de decisiones. *In: Las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y priorización*. Cotler, H.
16 (Coord.). Primera Edición. Pluralia Ediciones e Impresiones. México. 210-215 pp.

17 De Camino, R. y Müller, S. 1993. Sostenibilidad de la agricultura y los recursos naturales. Bases para
18 establecer indicadores. IICA/GTZ. Primera edición. San José, Costa Rica. 133 p.

19 Díaz-Ambrona, C. 2013. Indicadores de sostenibilidad de la agricultura y ganadería española. *In: V*
20 *Simposio Brasileño de agricultura sostenible y II Congreso Internacional de agricultura sostenible*. Viçosa,
21 Brasil. 114-148 pp.

22 FAO. 2007. Food and Agriculture Organization. La nueva generación de programas y proyectos de gestión
23 de cuencas hidrográficas. Cuadernos técnicos de la FAO. Roma. 153 p.

24 Forouzani, M. and Karami, E. 2010. Agricultural water poverty index and sustainability. *Agronomy for*
25 *Sustainable Development*. 31:415-432.

1 Gallopin, G. 2006. Los indicadores de desarrollo sostenible. Aspectos conceptuales y metodológicos. *In:*
2 Seminario de expertos sobre indicadores de sostenibilidad en la formulación y seguimiento de políticas.
3 FODEPAL. Santiago, Chile. 35 p.

4 Galván-Miyoshi, Y.; Masera, O. y López-Ridaura, S. 2008. Las evaluaciones de sustentabilidad. *In:*
5 Evaluación de sustentabilidad. Un enfoque dinámico y multidimensional. Astier, M.; Masera, O. y Galván-
6 Miyoshi, Y. (Coords.). Primera Edición. SEAE / CIGA / ECOSUR / CIEco / UNAM / GIRA / Mundi-
7 Prensa / Fundación Instituto de Agricultura Ecológica y Sustentable. Benifaió. Valencia, España. 41-58 pp.

8 García, W. 2002. Planificación de cuencas hidrográficas bajo la perspectiva de los sistemas complejos. Tesis
9 Posgrado (Especialista en Gestión Agroambiental). Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.
10 Facultad de Ciencias Humanas. Medellín, Colombia. 170 p.

11 Greenacre, M. 2008. La práctica del análisis de correspondencias. Fundación BBVA. Primera edición. 343-
12 345 pp.

13 León, T. 2012. Agroecología: la ciencia de los agroecosistemas - La perspectiva ambiental. Tesis Doctoral.
14 Universidad Nacional de Colombia - Instituto de Estudios Ambientales. Colombia. 261 p.

15 López, W. 2014. Análisis del manejo de cuencas como herramienta para el aprovechamiento sustentable de
16 recursos naturales. Revista Chapingo Serie Zonas Áridas. 13(2): 39-45.

17 Masera, O.; Astier, M. y López-Ridaura, S. 1999. Sustentabilidad y manejo de recursos naturales: el marco
18 de evaluación MESMIS. Mundi-Prensa, GIRA, Instituto de Ecología. Primera edición. México. 109 p.

19 OECD. 1993. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. Environmental indicators:
20 basic concepts and terminology. *In:* Proceedings of the Workshop on Indicators for Use in Environmental
21 Performance Reviews. Paris, Francia.

22 Okoba, B. O. and Sterk, G. 2006. Quantification of visual soil erosion indicators in Gikuuri catchment in
23 the central highlands of Kenya. Geoderma. 134:34-47.

24 Quiroga, R. 2001. Indicadores de sostenibilidad ambiental y de desarrollo sostenible: estado del arte y
25 perspectivas. CEPAL. Serie Manuales No. 16. 116 p.

1 Ramírez, L.; Alvarado, A.; Pujol, R.; Mchugh, A. y Brenes, L. 2008. Indicadores para estimar la
2 sostenibilidad agrícola de la cuenca media del Río Reventado, Cartago, Costa Rica. *Agronomía*
3 *Costarricense*. 32(2): 93-118.

4 Rodríguez, F. 2006. Cuencas hidrográficas, descentralización y desarrollo regional participativo.
5 *InterSedes, Revista de las Sedes Regionales*. 6 (12):113-125.

6 Ruiz-Rosado, O. 2001. The systems approach for sustainable development at catchment and parish group
7 levels. *The International Journal of Sustainable Development & World Ecology*. 8:79-84.

8 Sarandón, S. y Flores, C. 2009. Evaluación de la sustentabilidad en agroecosistemas: Una propuesta
9 metodológica. *Agroecología*. 4:19-28.

10 Schuschny, A. y Soto H. 2009. Guía Metodológica: diseño de indicadores compuestos de desarrollo
11 sostenible. CEPAL / GTZ. Documento de Proyectos No 225. 102 p.

12 Sepúlveda, S. 2008. Biograma: metodología para estimar el nivel de desarrollo sostenible de territorios.
13 IICA. Primera edición. San José, Costa Rica. 132 p.

14 Sharma, A. K. and Thakur, P. K. 2007. Quantitative assessment of sustainability of proposed watershed
15 development plans for Kharod watershed. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*. 35:231-241.

16 Singh, R. K.; Murty, H. R.; Gupta, S. K. and Dikshit, A. K. 2009. An overview of sustainability assessment
17 methodologies. *Ecological Indicators*. 9:189-212.

18 Smyth, A. J. and Dumanski, J. 1993. FESLM: An international framework for evaluating sustainable land
19 management. A discussion paper. FAO. World Soil Resources Report 73. Roma, Italia. 74 p.

20 Van Cauwenbergh, N.; Biala, K.; Biielders, C.; Brouckaert, V.; Franchois, L.; Ciudad, V.; Hermy, M.;
21 Mathijs, E.; Muys, B. and Reijnders, J. 2007. SAFE - A hierarchical framework for assessing the
22 sustainability of agricultural systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 120:229-242.

23 Wong, T.; Knights, D. and Lloyd, S. 2008. Hydrologic, water quality and geomorphic indicators of
24 catchment effective imperviousness. *Australian Journal of Water Resources*. 12:111-119.

25 World Vision. 2004. Manual de manejo de cuencas. El Salvador. 154 p.

1 **CAPITULO V DESCRIPCIÓN MORFOMÉTRICA, AMBIENTAL Y SOCIOECONÓMICA DE**
2 **LA MICROCUENCA DEL RÍO PASO MORAL, VERACRUZ.**

3

4 Resumen.

5 El presente trabajo tiene como objetivo describir las características morfométricas, aspectos ambientales y
6 socioeconómicos de la microcuenca del Río Paso Moral, en el centro del estado de Veracruz, México. Se
7 compiló información en base de datos de INEGI y CONEVAL, así como cartográfica digital de INEGI,
8 CONABIO e imágenes satelitales. Se empleó, el programa Qgis Las Palmas® para el cálculo de parámetros
9 morfométricos y digitalización de diversos mapas temáticos. Entre los resultados destacan que la
10 microcuenca tiene un área de 96.02 km², donde se asienta una población de 4977 habitantes en 18
11 localidades, de las cuales 12 tienen un grado de rezago social bajo (CONEVAL, 2010). La microcuenca
12 tiene un factor de forma bajo, una forma rectangular oblonga y densidad de drenaje moderada; factores que
13 reducen el riesgo de inundaciones. La microcuenca presenta dos grupos de clima (Aw0 y Aw1), una
14 precipitación media anual de 800 a 1200 mm y temperaturas de 22 a 26 °C. Predominan suelos Leptosoles,
15 Phaeozems y en menor medida Vertisoles. Existe erosión hídrica alta y muy alta en 61.5% de la superficie
16 de la microcuenca. El uso de suelo de la microcuenca predomina las actividades agropecuarias,
17 principalmente ganadería y se presentan espacios remanentes de selva baja caducifolia. Se considera que la
18 información presentada puede ser utilizada como base para la elaboración de planes, programas y proyectos
19 específicos sobre el manejo de recursos naturales, de proyectar los cambios e inclusive modelarlos y evaluar
20 su impacto antes de implementarlos, como en el manejo y desarrollo de la agricultura sustentable.

21

22 Palabras Clave: Morfometria, Sistemas de información geográfica, Microcuenca.

23

1 5.1 Introducción.

2 La existencia de una unidad espacial bien definida es fundamental en la planeación y manejo de los recursos
3 naturales. La cuenca hidrográfica es una unidad de planificación de los recursos naturales, delimitada por
4 aspectos fisiográficos (parteaguas), en la que se conforma una red de drenaje recolectora de los
5 escurrimientos superficiales hasta un punto de salida, el cual puede ser un almacenamiento de agua interior,
6 por ejemplo, un lago, una presa, un río o el mar (Ramírez *et al.*, 2015). La cuenca se divide en subcuencas,
7 las que a su vez se dividen en microcuencas. En la práctica, las microcuencas se inician en la naciente de
8 los pequeños cursos de agua, uniéndose a las otras corrientes hasta constituirse en la cuenca hidrográfica de
9 un río de gran tamaño (Anaya, 2012).

10 De acuerdo con Jiménez (2010) la caracterización cumple tres funciones: 1) Describir y tipificar las
11 características principales de la cuenca; 2) Generar información básica para definir y cuantificar el conjunto
12 de indicadores que servirán de línea base para el seguimiento, monitoreo y evaluación de resultados e
13 impactos de los planes, programas o proyectos de manejo y gestión de cuencas; 3) Diagnosticar, donde se
14 priorizan los principales problemas de la cuenca, identificar sus causas, consecuencias y soluciones y
15 determinar las potencialidades y oportunidades de la cuenca.

16 Los componentes y variables que son importantes de caracterizar en una cuenca pueden agruparse en tres
17 grandes temas: a) ubicación, morfometría e hidrología; b) caracterización biofísica y c) caracterización
18 socioeconómica (Anaya, 2012). Es recomendable iniciar con la información más relevante (análisis de
19 contexto biofísico, socioeconómico y ambiental), y de ser necesaria información más específica luego de
20 priorizados los problemas de la cuenca, se puede determinar la información requerida.

21 Para la comprensión de los procesos que ocurren en una cuenca se requiere del estudio de las interrelaciones
22 que se dan entre todos los elementos de un paisaje, así como las formas en las cuales la población se organiza
23 para apropiarse de los recursos naturales y, las interconexiones espaciales entre las distintas zonas de
24 funcionamiento de la cuenca. Por ello, el objetivo de este trabajo es describir las características

1 morfométricas y los principales aspectos socioeconómicos de la microcuenca del Río Paso Moral, en el
2 centro del estado de Veracruz, México.

3

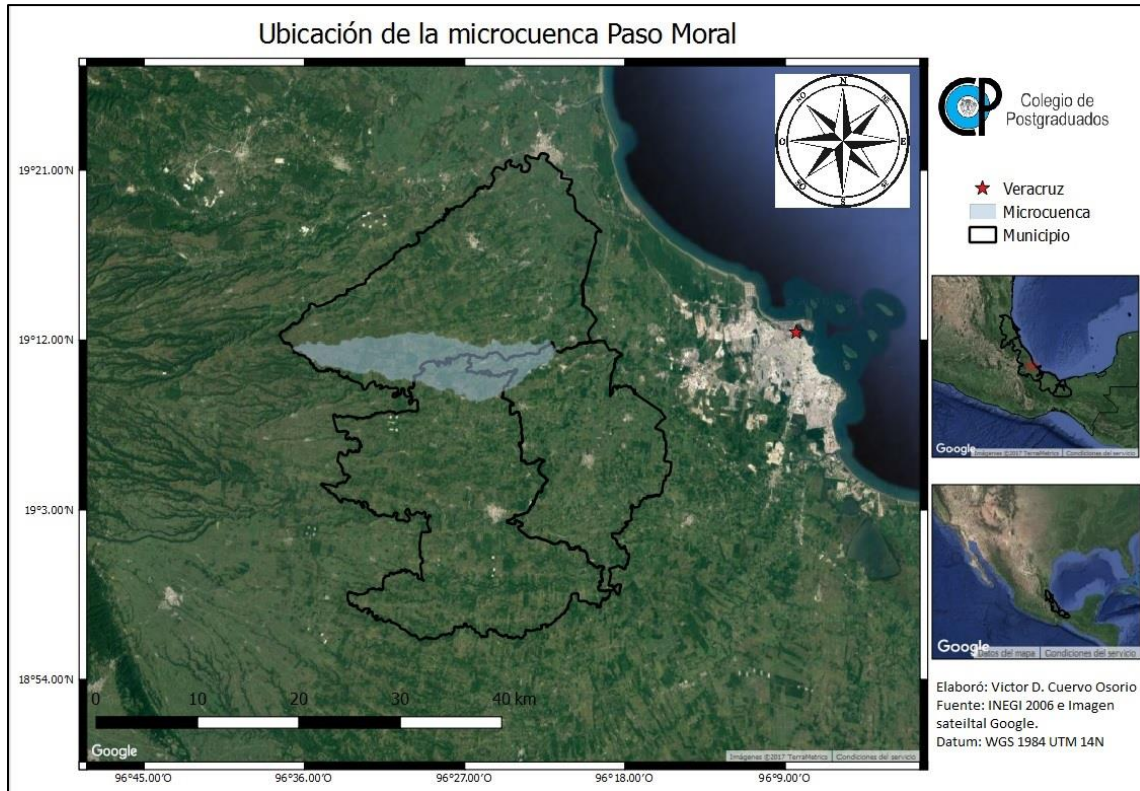
4 5.2 Materiales y Métodos.

5 5.2.1 Área de estudio.

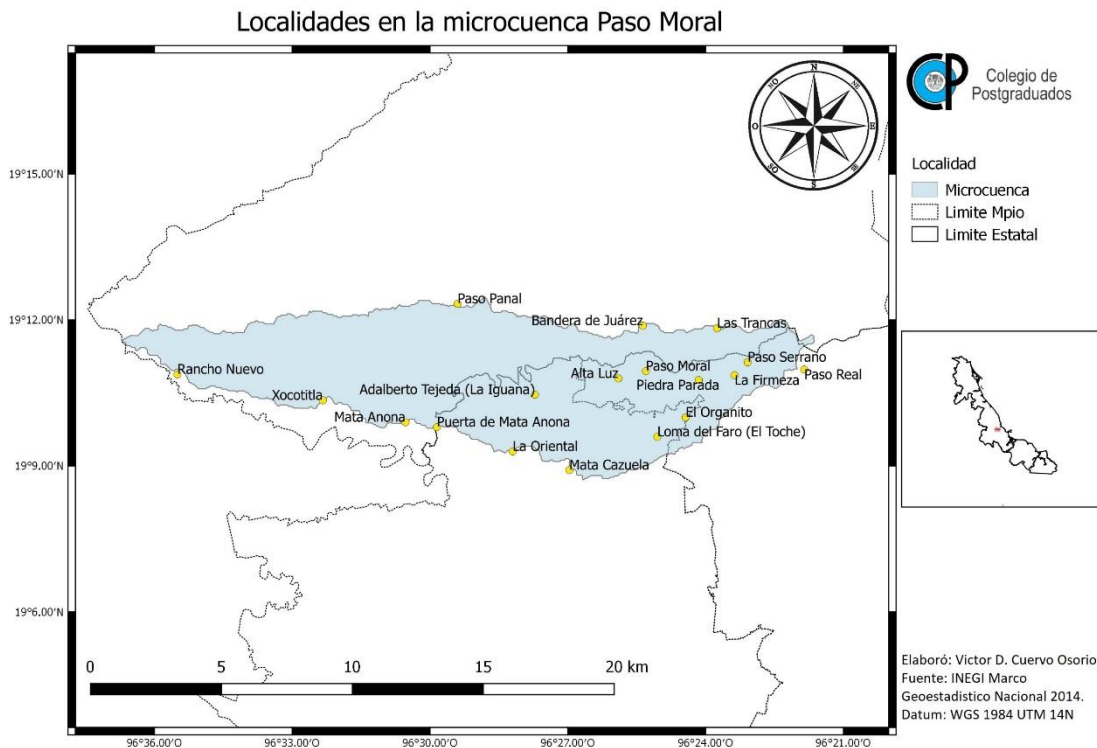
6 La microcuenca Paso Moral se encuentra en la porción centro del estado de Veracruz, aproximadamente a
7 20 km al Oeste del Puerto de Veracruz, entre las coordenadas 96°36'00" a 96°61'00" de longitud oeste y
8 19°13'00" a 19°21'00" de latitud norte. Incluye la parte sur del municipio de Paso de Ovejas, así como la
9 parte norte de los municipios de Soledad de Doblado y Manlio Fabio Altamirano (Figura 2). Cuenta con
10 una superficie total de 96.02 km², con una altitud en la parte más baja de 9 msnm y alcanza su parte más
11 alta a los 389 msnm. El municipio con mayor superficie dentro de la microcuenca es Paso de Ovejas, con
12 58.8% de la superficie total, seguido de Soledad de Doblado con 24.5% en la extensión territorial, mientras
13 que el municipio con menor superficie corresponde al de Manlio F. Altamirano con 16.7%; en la
14 microcuenca se asientan 18 localidades, 6 por cada municipio (Figura 3).

15 Hidrológicamente, la microcuenca se ubicada dentro de la región hidrológica RH28 del río Papaloapan,
16 cuencas del Río Jamapa y La Antigua, subcuenca RH28bd del Río Paso de Ovejas (Figura 4).

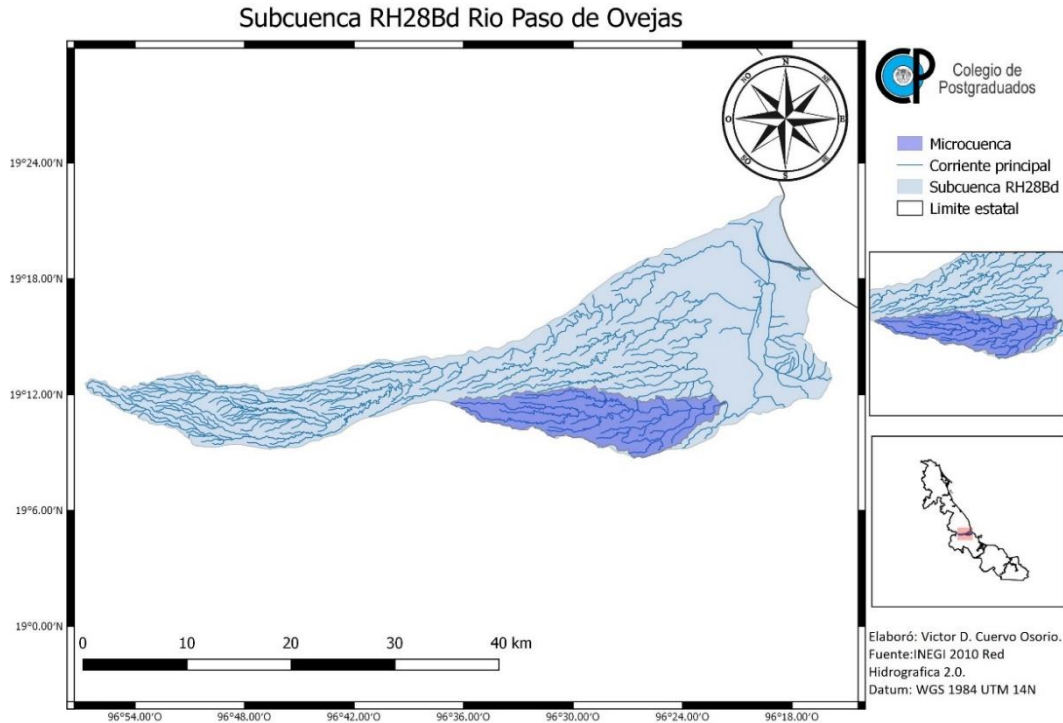
17 Además, en la microcuenca Paso Moral se encuentra parte del territorio de la Microrregión de Atención
18 Prioritaria (MAP) del Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz; que es la región geográfica en un nivel
19 macro que considera la zona de influencia del Campus en cuatro municipios de la región de Sotavento,
20 Puente Nacional, Paso de Ovejas, Manlio F. Altamirano y Soledad de Doblado (Vilaboa-Arroniz *et al.*,
21 2014).



1
2 **Figura 2. Ubicación de la microcuenca Paso Moral en el contexto estatal y nacional. Fuente:**
3 **Elaboración propia.**



4
5 **Figura 3. Localidades de la microcuenca Paso Moral. Fuente: Elaboración propia.**



1
2 **Figura 4. Ubicación hidrológica de la microcuenca Paso Moral. Fuente: Elaboración propia.**

3 5.2.2 Parámetros morfométricos.

4 Las variables consideradas se dividen en: a) unidades de medida: área, perímetro, longitud axial; b) forma:
5 Factor de Forma, Coeficiente de compacidad de Gravelius; c) relieve: curva hipsométrica, pendiente media
6 de la cuenca; d) red de drenaje: densidad de drenaje. La obtención del área, perímetro o pendiente media de
7 la cuenca y datos necesarios fue realizada en forma automatizada en Qgis®; posteriormente los datos
8 extraídos fueron exportados en el programa Excel v. 2013 para Windows, para el cálculo de otros
9 parámetros.

10

11 Unidades de medida.

12 Área (A) (km²): Es la superficie encerrada por la divisoria de aguas.

13 Perímetro (P) (km): Es la medición de la línea envolvente de la cuenca hidrográfica, por la divisoria de
14 aguas topográficas.

1 Longitud Axial (La) (km): Es la distancia existente entre la desembocadura y el punto más lejano de la
2 cuenca. Es el mismo eje de la cuenca (Gaspari *et al.*, 2012).

3 Parámetros de Forma.

4 Factor de Forma (IF): Es la relación entre el área y el cuadrado de la longitud de la cuenca, este factor
5 adimensional indica cómo se regula la concentración del escurrimiento superficial, manifiesta la tendencia
6 de la cuenca hacia las crecidas, ya que una cuenca con un factor de forma bajo, esta menos sujeta a crecientes
7 que una de la misma área y mayor factor de forma (Ramírez *et al.*, 2015). La ecuación para calcularla es:

8
$$IF = \frac{A}{La^2}$$

9 Donde:

10 A: Área (km²).

11 La: Longitud Axial (km).

12 Coeficiente de compacidad de Gravelius (Kc): El Kc es adimensional y permite relacionar el perímetro de
13 la cuenca con el perímetro de un círculo de área equivalente al de la cuenca, y de esta manera representar
14 esta característica (Gaspari, 2002). Está relacionado estrechamente con el tiempo de concentración, que es
15 el tiempo que tarda una gota de lluvia en moverse desde la parte más lejana de la cuenca hasta la salida; en
16 este momento ocurre la máxima concentración de agua, puesto que están llegando las gotas de lluvia de
17 todos los puntos de la cuenca (Gaspari *et al.*, 2012). Según el valor que tome este coeficiente, la cuenca
18 tendrá diferente forma (Cuadro 3).

19 **Cuadro 3. Coeficiente de compacidad de Gravelius para la evaluación de la forma.**

Rango	Descripción
1-1.24	Redonda
1.25-1.49	Oval redonda
1.50-1.74	Oblonga
>1.75	Rectangular-oblonga.

20 Su valor será mayor que la unidad y crecerá con la irregularidad de la forma de la cuenca. A medida que su
21 Kc tiende a la unidad, es decir cuando tiende a ser redonda, la peligrosidad de la cuenca a las crecidas es

1 mayor, porque las distancias relativas de los puntos de la divisoria con respecto a uno central, no presenta
2 diferencias mayores y el tiempo de concentración se hace menor, por lo tanto, mayor será la posibilidad de
3 que las ondas de crecidas sean continuas (Ramírez *et al.*, 2015). Se calcula con la siguiente ecuación:

$$4 \quad Kc = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

5 Donde:

6 P = perímetro de la cuenca (km).

7 A = área de la cuenca (km²).

8

9 Parámetros de Relieve.

10 Curva hipsométrica: Expresa el potencial evolutivo de la cuenca hidrográfica, por medio de un gráfico de
11 dos ejes donde la ordenada es la Altura relativa (h/H) y la abscisa es Área relativa (a/A), donde h: Intervalo
12 entre curvas de nivel (m), H: Desnivel total de la cuenca (m), A: Superficie total de la cuenca (ha) y a: Área
13 entre curvas de nivel (ha); su forma es sigmoideal, cóncava hacia arriba en la parte superior y convexa en la
14 parte baja; el grado de sinuosidad es muy variable, igual que la pendiente en el punto de inflexión (Gaspari
15 *et al.*, 2012). Cuando las curvas hipsométricas presentan variaciones, ya sea por apartarse de las teóricas o
16 por presentar más de un punto de inflexión, puede relacionarse con controles tectónicos o litológicos
17 particulares (Racca, 2007). Los valores de la curva hipsométrica se determinaron a partir del MDE con el
18 programa Qgis®.

19 Pendiente media de la cuenca (PM): El proceso de degradación a que se ve sometida una cuenca
20 hidrográfica, al igual que el caudal máximo, está muy influenciados por la configuración topográfica, debido
21 a que el poder erosivo se manifiesta en mayor o menor grado de acuerdo a los distintos grados de pendiente
22 (López, 1998). La PM se determinó mediante el MDE con el programa Qgis®.

23 Los valores interpretativos de la pendiente media de la cuenca se presentan en el Cuadro 4. En la medida
24 que los valores se incrementan mayor será la posibilidad de generar crecidas, ya que la capacidad de arrastre

1 de sedimentos y la velocidad del caudal en caso de tormentas se incrementa en aquellas cuencas que
 2 presentan valores altos de pendientes, caso contrario ocurre cuando la pendiente media de la cuenca presenta
 3 valores bajos, los cuales contribuyen a que los picos de crecidas sean menos violentos (Gaspari *et al.*, 2012).

4 **Cuadro 4. Valores interpretativos de la pendiente media de la cuenca.**

Pendiente Media %	Terrenos
< 0.5	Muy plano
0.5 a 1	Plano
1 a 3	Suave
3 a 12	Presenta lomadas
12 a 20	Relieve accidentado
20 a 50	Muy fuerte
50 a 75	Escarpado
> 75	Muy escarpado

5 Fuente: Gaspari *et al.* (2012).

6

7 Parámetros red de drenaje.

8 Densidad de drenaje (Dd): Se relaciona la longitud de la red de drenaje y el área de la cuenca sobre la cual
 9 drenan las corrientes hídricas. Este índice permite tener un mejor conocimiento de la complejidad y
 10 desarrollo del sistema de drenaje de la cuenca. En general, una mayor densidad de escurrimientos indica
 11 mayor estructuración de la red fluvial, o bien que existe mayor potencial de erosión (Fuentes 2004).

12 La red de drenaje toma sus características, influenciada por las lluvias y la topografía. Por esto se tiene que
 13 para un valor alto de Dd corresponden grandes volúmenes de escurrimiento, al igual que mayores
 14 velocidades de desplazamiento de las aguas, lo que producirá ascensos de las corrientes. Los valores
 15 interpretativos de la densidad de drenaje se presentan en el Cuadro 5. La Dd se calcula mediante la ecuación
 16 siguiente:

1
$$Dd = \frac{\sum L}{A}$$

2 Donde:

3 L: Longitud de la totalidad de cauces de la microcuenca (km).

4 A = área de la microcuenca (km²).

5 En períodos de estiaje se esperan valores más bajos del caudal en cuencas de alta densidad de drenaje y de
 6 fuertes pendientes, mientras que en cuencas planas y de alta densidad de drenaje, se espera estabilidad del
 7 régimen de caudales, debido al drenaje subsuperficial y al aporte subterráneo (Fuentes, 2004).

8 **Cuadro 5. Valores interpretativos de la Densidad de drenaje.**

Densidad de drenaje (Km/Km2)	Categoría
<1	Baja
1-2	Moderada
2-3	Alta
>3	Muy alta

9 Fuente: Delgadillo y Páez (2008)

10

11 5.2.3 Mapas temáticos.

12 En la determinación de los parámetros intervienen diversos factores que permiten caracterizar a la cuenca.
 13 Para ello se compiló información referente a la microcuenca en base de datos disponibles por medio del
 14 Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), El Consejo Nacional de Evaluación de la Política de
 15 Desarrollo Social (CONEVAL) y el Consejo Nacional de Población (CONAPO), así como la cartográfica
 16 digital del INEGI y de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).
 17 La cartografía base utilizada fue: el Modelo Digital de Elevación (MDE) escala 1:50000 resolución de 15
 18 m, del continuo de elevaciones mexicano (CEM) 3.0 (INEGI, 2015a); Edafología, conjunto de datos
 19 vectoriales edafológico, escala 1:250000 Serie II (Continuo Nacional), (INEGI, 2007); Hidrología,

1 subcuencas hidrológicas escala 1:1000000 (INEGI, 2010); Climatología, datos vectoriales escala
2 1:1000000, (CONABIO, 2015); Indicadores sociales Grado de rezago social por localidad 2010,
3 (CONABIO, 2014); División política, limite nacional escala 1:1000000, (CONABIO, 2002); limite estatal
4 escala 1:25000 (INEGI, 2016a); áreas geoestadísticas municipales escala 1:250000; (INEGI, 2016b); así
5 como imágenes satelitales de Google y del satélite Sentinel-2A, obtenidas mediante los complementos Open
6 Layers Plugin y Semi-Automatic Classification Plugin del software libre y de código abierto Qgis Las
7 Palmas 2.18.9 ® (Qgis).

8 Cabe mencionar que Sentinel-2 es una misión de observación terrestre desarrollada por la Agencia Espacial
9 Europea (ESA, siglas en inglés) dentro del programa Copérnico para desarrollar observaciones del planeta
10 Tierra para dar servicios como el seguimiento de la evolución de los bosques, los cambios en la corteza
11 terrestre y la gestión de los desastres naturales; está compuesto por dos satélites idénticos: Sentinel-2A
12 lanzado el 23 de junio de 2015 y Sentinel-2B en marzo de 2017. El Sentinel-2A abarca 13 bandas espectrales
13 que van desde el visible y el infrarrojo cercano hasta el infrarrojo de onda corta a diferentes resoluciones
14 espaciales de 10 a 60 m. Las cuatro bandas a 10 m cumplen con los requisitos de los usuarios para la
15 clasificación de la cubierta terrestre; la resolución de 20 m para seis bandas ha sido un requisito para otros
16 parámetros; y las bandas de 60 m están dedicadas principalmente a las correcciones atmosféricas y el cribado
17 de nubes (Drusch *et al.*, 2012).

18 La cartografía base e imágenes satelitales se emplearon en el programa Qgis®, mediante el cual se obtuvo
19 la delimitación de la microcuenca Paso Moral y su digitalización en formato Shape; con lo cual se generaron
20 los diferentes mapas temáticos.

21 La precipitación y temperatura media mensual del área de la cuenca, se obtuvo de los datos validados y
22 homogeneizados del proyecto Worldclim-Global Climate Data con resolución espacial de 1 km², con la ayuda
23 del Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas (SIATL, 2017) versión 3.1 del INEGI.

24

1 5.2.4 Erosión hídrica potencial y actual.

2 En el caso de los mapas temáticos de erosión hídrica potencial y actual de la microcuenca, se siguió la
3 metodología propuesta por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
4 (INIFAP), Predicción de riesgo a la erosión hídrica a nivel microcuenca (Loredo-Osti *et al.*, 2007), esta
5 metodología se basa en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS) desarrollada por Wischmeier y
6 Smith (1978). La EUPS calcula el promedio anual de erosión usando una relación funcional de varios
7 factores expresados en la siguiente ecuación:

$$8 \quad A = RKLSC$$

9 En donde:

10 A = Pérdida de suelo (ton/ha/año)

11 R = Erosividad de la lluvia (MegaJoules mm/ha hora año)

12 K = Erosionabilidad del suelo (ton/ha/MJ mm)

13 L = Factor por longitud de pendiente (Adimensional)

14 S = Factor por grado de pendiente (Adimensional)

15 C = Factor por cubierta vegetal (Adimensional)

16 Los factores que determinan la tasa de erosión hídrica potencial son R, K y LS; ésta puede aumentar o
17 disminuir dependiendo del Factor C. Para la obtención de la erosión hídrica potencial y actual se
18 multiplicaron los factores correspondientes anteriormente descritos mediante la técnica de álgebra de mapas
19 en Qgis®.

20

21 Álgebra de mapas.

22 La técnica de álgebra de mapas en Qgis®, consiste en crear un mapa raster para cada uno de los componentes
23 de la EUPS; una vez creados los mapas, se realiza una multiplicación entre ellos. Esto se hace por medio
24 del uso de la herramienta Raster Calculator. A continuación se describe brevemente el desarrollo de cada
25 uno de los mapas raster de la EUPS, para al final aplicar la multiplicación entre ellos.

1 Erosividad de la lluvia, Factor R.

2 El factor R representa, para un área específica, la energía potencial de la lluvia y su escurrimiento asociado;
3 es el factor de tipo climático que indica el potencial erosivo de las precipitaciones. Normalmente este factor
4 es determinado con los datos de lluvia, es decir, se obtiene la intensidad máxima de lluvia en treinta minutos
5 consecutivos y se determina la energía cinética asociada; el producto de ambas es la erosividad de la lluvia
6 (Montes-León *et al.*, 2011). Debido a la carencia de información relativa a la intensidad en periodos de
7 tiempo tan cortos, se optó por la metodología descrita a continuación.

8 Cortes (1991) estimó el factor R para las diferentes regiones de la república mexicana, el propone 14
9 modelos de regresión (ecuaciones) a partir de datos de precipitación media anual (x) para estimar el valor
10 del Factor R. La microcuenca se encuentra dentro de la región número 14 por lo que le corresponde la
11 siguiente ecuación: $1.50046 * X + 0.002640 * X^2$ con un R^2 de 0.95.

12 De la base de datos climatológica nacional (sistema CLICOM), se recabaron datos de precipitación de seis
13 estaciones hidrometeorológicas operadas por distintas entidades gubernamentales; dichas estaciones se
14 ubican dentro y en la periferia de la microcuenca. Con esta información y con la ecuación propuesta por
15 Cortes (1991) se realizó la interpolación a través del programa Qgis®, obteniendo una capa “raster” con la
16 distribución e intensidades del Factor R en el área de estudio.

17 Erosionabilidad del suelo, Factor K.

18 La erosionabilidad del suelo se define como la tasa de pérdida de suelo por cada unidad de índice de
19 erosividad, cuando la pendiente y su longitud, la cobertura vegetal y las prácticas de conservación del suelo
20 son constantes e iguales a uno (Figueroa *et al.*, 1991).

21 Para el presente estudio y debido a que no se cuenta con información detallada y completa para el empleo
22 de la metodología tradicional, se aplicó la metodología descrita a continuación, conocida como la
23 metodología de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación).

24 Para la determinación de este factor fue empleado el conjunto de datos vectoriales edafológico más reciente
25 del INEGI (2007), que contiene información actualizada durante el periodo 2002-2006; así como la

1 clasificación de suelos del WRB (World Reference Base for Soil Resources), reporte número 84 (FAO,
 2 2006), adaptado por el INEGI, para las condiciones ambientales de México. Las características que se
 3 obtuvieron de esta información son tipo de suelo y textura. De acuerdo con la clasificación del tipo de suelo
 4 y de su textura superficial (gruesa, media o fina), se le asigna el valor del Factor K, para el caso de la
 5 microcuenca se presentan en el Cuadro 6. El mapa vectorial de suelo de la microcuenca con el valor del
 6 Factor K incluido se transformó a capa “raster” con el programa Qgis®.

7 **Cuadro 6. Valores del Factor K, en función de la unidad del suelo y su textura superficial.**

Clasificación WRB		Textura		
Nombre	Orden	Gruesa	Media	Fina
Leptosol	LP	0.013	0.020	0.007
Phaeozem	PH	0.013	0.020	0.007
Vertisol	VR	0.053	0.079	0.026

8 En negritas los valores tomados para la microcuenca Paso Moral.

9

10 Factor por longitud de pendiente (L) y Factor por grado de pendiente (S), Factor LS.

11 El efecto de la topografía sobre la erosión está representado por los factores: longitud (L) y grado de
 12 pendiente (S). La longitud L se define como la distancia desde el punto de origen de un escurrimiento hasta
 13 el punto donde decrece la pendiente, al grado de que ocurre una sedimentación o bien hasta el punto donde
 14 el escurrimiento, una vez concentrado, encuentra un canal de salida bien definido (Montes-León *et al.*,
 15 2011).

16 El factor de grado de pendiente (S) refleja la influencia del ángulo de la misma en la erosión. La pendiente
 17 puede ser determinada usando mapas topográficos con curvas a nivel equidistantes, si se tiene el cuidado
 18 adecuado, o en el mejor de los casos, utilizando un MDE (Montes-León *et al.*, 2011).

19 En el programa Qgis® el insumo principal para la determinación del factor LS, fue el mapa “raster” de la
 20 cuenca, obtenido del MDE (INEGI, 2015a); en el plugin GRASS con el proceso r.slope.aspect se obtiene el

1 “raster” de pendiente, que posteriormente se utiliza en el plugin SAGA en el módulo Factor LS mediante la
2 metodología de Boehner y Selige (2006) para obtener el “raster” del Factor LS.

3
4 Factor por cubierta vegetal, Factor C.
5 El factor C es la capacidad de la vegetación para amortiguar el efecto de desprendimiento de partículas de
6 suelo por las gotas de lluvia e impedir el arrastre de sedimentos con el escurrimiento superficial, su valor es
7 una función de las combinaciones entre cobertura, secuencia de cultivos, prácticas de manejo y del estado
8 de crecimiento y desarrollo de la cobertura vegetal al momento en que actúa el agente erosivo (Wischmeier
9 y Smith, 1978; Collin-García *et al.*, 2013). A medida que la cobertura vegetal sea mayor, el valor de C es
10 cada vez menor, por lo que el rango para este parámetro va de 0 (correspondiente a un terreno totalmente
11 protegido) a 1.0 (para terrenos sin ninguna protección) (Montes-León, *et al.*, 2011). Los valores del Factor
12 C utilizados en la microcuenca Paso Moral se presentan en el Cuadro 7, estos fueron tomados de la
13 metodología del INIFAP (Loredo-Osti *et al.*, 2007).

14 **Cuadro 7. Valores de Factor C para estimar pérdida de suelo.**

Vegetación y/o Uso de Suelo	Valor de C
Agua	0.001
Zona Urbana	0.9
Mina	0.9
Camino	0.9
Selva baja caducifolia	0.01
Caña de azúcar	0.1
Mango-Limón	0.1
Papaya	0.1
Pastizal inducido	0.22
Vegetación Secundaria	0.05
Maíz	0.62

15 La imagen satelital obtenida del Sentinel-2A se procesó en el programa Qgis® mediante el complemento
16 Semi-Automatic Classification Plugin (SCP), este permite la clasificación semiautomática de imágenes y

1 proporciona varias herramientas para el pre-procesamiento de las imágenes, el post-procesamiento de las
2 clasificaciones y el “raster”. Posterior a la obtención del “raster”, se prosiguió a vectorizar e incluir los
3 valores del Factor C para generar el “raster” final. La clasificación de la erosión hídrica utilizada fue la
4 propuesta por la FAO (1980) (Cuadro 8).

5 **Cuadro 8. Niveles de Erosión hídrica**

Nivel	Ton/ha/año
Nula	< 2
Ligera	2-10
Moderada	10-50
Alta	50-200
Muy Alta	>200

6
7 5.2.5 Parámetros socioeconómicos.
8 La información socioeconómica se obtuvo mediante el INEGI, en la base de datos de los principales
9 resultados por localidad (ITER, 2010), que consiste en un conjunto de indicadores de población y vivienda
10 a nivel localidad de todo el país; el propósito principal es mostrar la información proveniente del Censo de
11 Población y Vivienda 2010.
12 Además, se reunió del CONEVAL (2010), el índice de rezago social por localidad, que se relaciona con las
13 carencias sociales, el cual incorpora indicadores de educación, de acceso a servicios de salud, de servicios
14 básicos, de calidad y espacios en la vivienda, y activos en el hogar. Así mismo, se recopiló de CONAPO
15 (2010), el índice de marginación por localidad, que se asocia a la carencia de oportunidades sociales y a la
16 ausencia de capacidades para adquirirlas o generarlas, pero también a privaciones e inaccesibilidad a bienes
17 y servicios fundamentales para el bienestar.

18

1 5.3 Resultados y Discusión.

2 5.3.1 Parámetros Morfométricos.

3 La microcuenca Paso Moral presenta un factor de forma bajo y una forma rectangular oblonga, que
4 presupone que es poco susceptible a las crecidas, ya que el tiempo de viaje del agua es mucho más largo y
5 contribuye a que los picos de crecidas sean menos súbitos en caso de lluvias concentradas o tormentas
6 (Cuadro 9); además, las aguas escurren en general por un solo curso principal (Gaspari *et al.*, 2012). En
7 general las cuencas más ensanchadas poseen mayor susceptibilidad a generar crecidas, ya que el tiempo de
8 recorrido del agua a través de la cuenca es mucho más corto que en cuencas alargadas, en otras palabras, las
9 cuencas ensanchadas tendrían menor tiempo de concentración y por ende mayor rapidez para la
10 concentración de los flujos de aguas superficiales generando mayor violencia en sus crecidas (Fuentes,
11 2004).

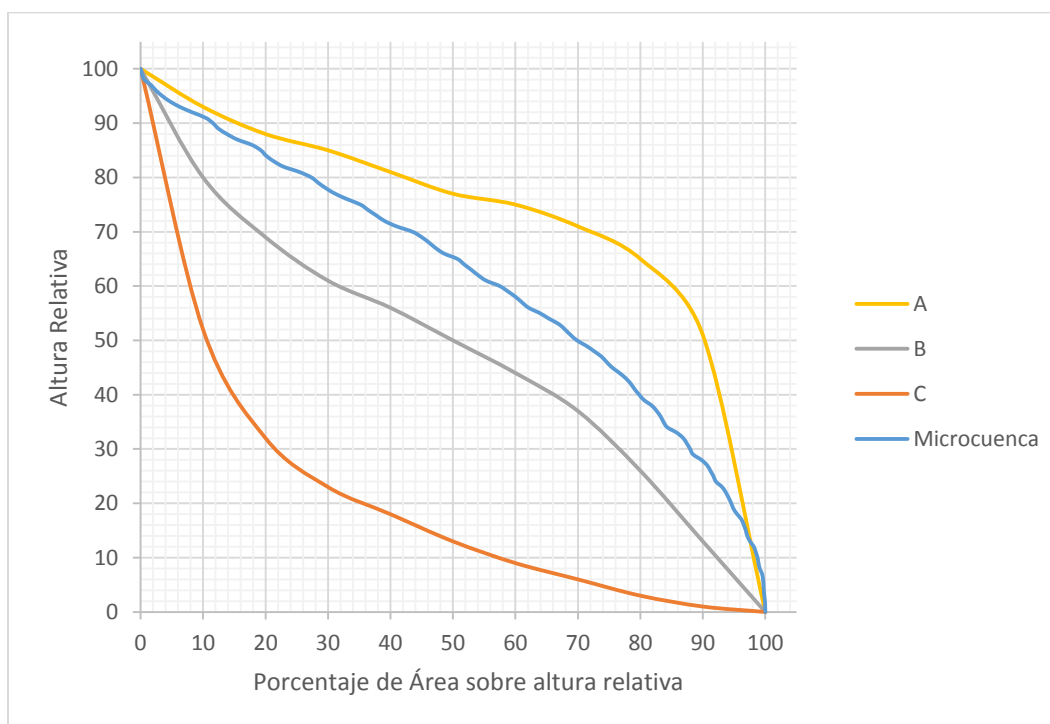
12 **Cuadro 9. Parámetros morfométricos de la microcuenca Paso Moral.**

Parámetro (Unidad)	Símbolo	Resultado
Área (km ²)	A	96.02
Perímetro (km)	P	68.55
Longitud Axial (km)	La	26.4
Factor de Forma (Adimensional)	IF	0.14
Coefficiente de compacidad de Gravelius (Adimensional)	Kc	1.96
Pendiente media de la microcuenca (%)	PM	8.8
Densidad de drenaje (km/km ²)	Dd	1.51

13 Fuente: Elaboración propia.

14 La curva hipsométrica para la microcuenca Paso Moral se representa en la Figura 5, junto con tres curvas
15 hipsométricas correspondientes a cuencas que tienen potenciales evolutivos distintos (Racca, 2007). La
16 curva A refleja una cuenca con un gran potencial erosivo (fase de juventud), la curva B es característica de

1 una cuenca en equilibrio (fase de madurez) y la curva C es típica de una cuenca sedimentaria (fase de vejez)
2 (Gaspari, 2012). Al comparar la curva hipsométrica de la microcuenca Paso Moral con estas curvas, es
3 posible señalar que la microcuenca se encuentra en una etapa intermedia entre la fase de equilibrio relativo
4 o de madurez y la fase de desequilibrio o juventud, obviamente evolucionando hacia la etapa de madurez;
5 esto implica, un importante potencial erosivo.



6
7 **Figura 5. Curva A: refleja una cuenca con gran potencial erosivo (fase de juventud), Curva B: es una**
8 **cuenca en equilibrio (fase de madurez), Curva C: es una cuenca sedimentaria (fase de vejez),**
9 **Microcuenca. Fuente: Elaboración propia.**

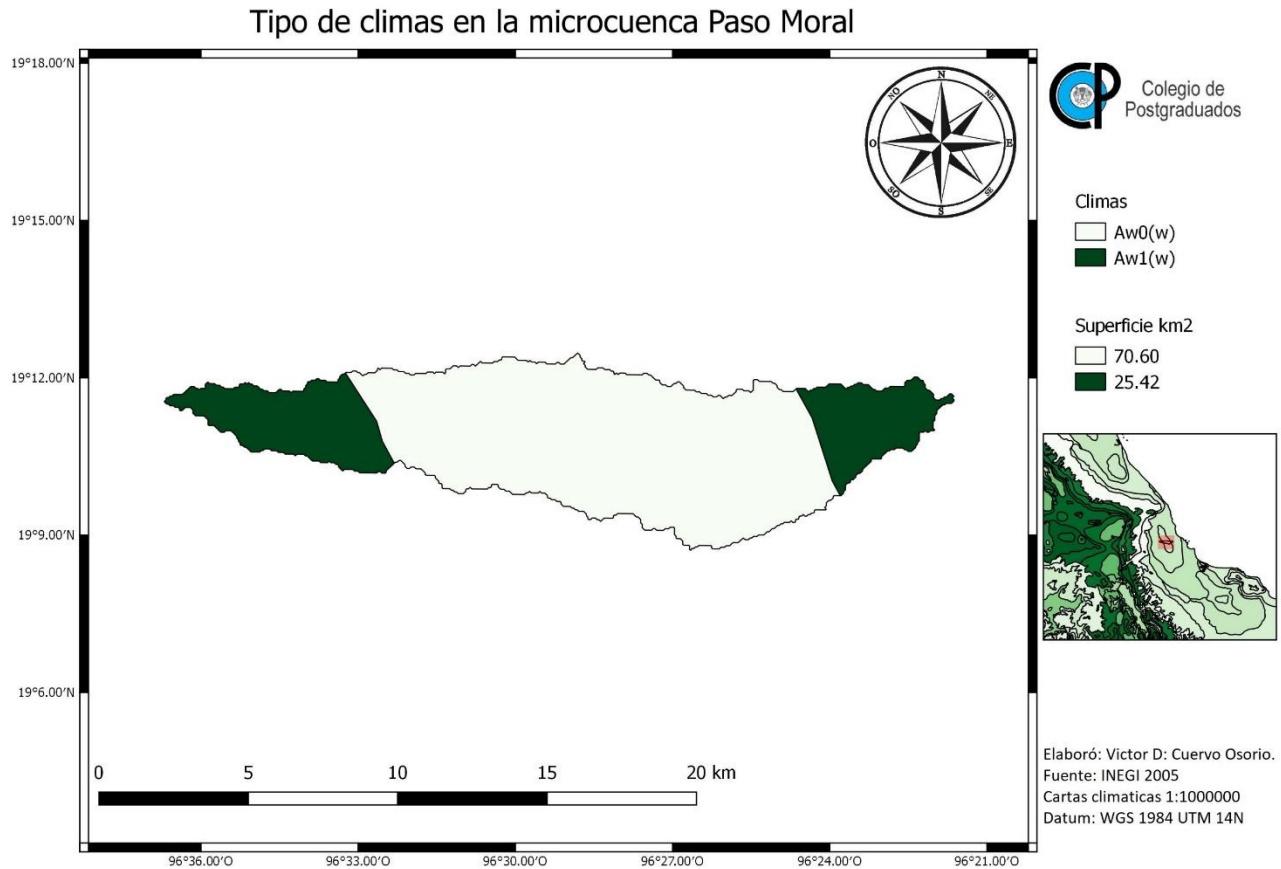
10 El proceso de degradación, a la que se ve sometida una cuenca hidrográfica, está muy influenciado por la
11 configuración topográfica, debido a que el poder erosivo se manifiesta en mayor o menor grado de acuerdo
12 a los distintos grados de pendiente (Gaspari, 2012). La pendiente de la microcuenca Paso Moral es baja,
13 pero presenta un relieve con lomeríos. La capacidad de arrastre de sedimentos y la velocidad del caudal en
14 caso de tormentas disminuye en aquellas cuencas que presenten valores bajos de pendientes, ya que
15 contribuyen a que los picos de crecidas sean menos violentos (Fuentes, 2004).

1 La densidad de drenaje, de acuerdo a Gregory y Walling (1985), provee una liga entre los atributos de forma
2 de la cuenca y los procesos que operan a lo largo del curso de la corriente. Más precisamente, la densidad
3 de drenaje refleja controles topográficos, litológicos, pedológicos y de vegetación, además de incorporar la
4 influencia del hombre (Fuentes, 2004). Generalmente una densidad de drenaje alta se asocia con materiales
5 impermeables a nivel subsuperficial, vegetación dispersa y relieves montañosos, además de ello indica que
6 la cuenca posee suficiente drenaje para cuando se presentan las tormentas. Una cuenca bien drenada
7 generaría poca oportunidad de darle tiempo a la escorrentía superficial de infiltrarse y percollar a nivel
8 subterráneo, de allí que los acuíferos de estas regiones son de bajos rendimientos o en su defecto el volumen
9 de recarga es muy pobre (Ruiz, 2001). Por el contrario una densidad de drenaje baja refleja una cuenca
10 pobremente drenada con una respuesta hidrológica muy lenta. La microcuenca Paso Moral presenta una
11 densidad de drenaje moderada, que corresponde a pequeños volúmenes de escurrimiento, al igual que menor
12 velocidad de desplazamiento de las aguas, favoreciendo la infiltración con suficiente drenaje para generar
13 buenos “picos de crecida”.

14

15 5.3.2 Climatología.

16 La definición de los tipos de climas del área de estudio se basó en el Sistema de Clasificación Climática de
17 Köppen, modificado para las condiciones de México por García (2004). La microcuenca presenta dos grupos
18 de clima: 1) Aw0, Cálido subhúmedo, con temperatura media anual mayor de 22°C y temperatura del mes
19 más frío mayor de 18°C. Precipitación del mes más seco entre 0 y 60 mm; lluvias de verano con índice P/T
20 (precipitación/temperatura) menor de 43.2 y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual;
21 cubre el 82.1% de la superficie total. 2) Aw1: Cálido subhúmedo, temperatura media anual mayor de 22°C
22 y temperatura del mes más frío mayor de 18°C. Precipitación del mes más seco menor de 60 mm; lluvias
23 de verano con índice P/T entre 43.2 y 55.3 y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual;
24 cubre el 17.9% de la superficie total (Figura 6).



1

2 **Figura 6. Tipos de clima en la microcuenca Paso Moral. Fuente: Elaboración propia.**

3 La precipitación media anual en la microcuenca varía desde los 800 mm a los 1200 mm, con mayor

4 precipitación en la parte baja de la microcuenca y la temperatura media anual es de 24 a 26°C en el 95% de

5 la microcuenca y el restante 5 % varia de 22 a 24 °C (Figuras 7 y 8). La distribución de las precipitaciones

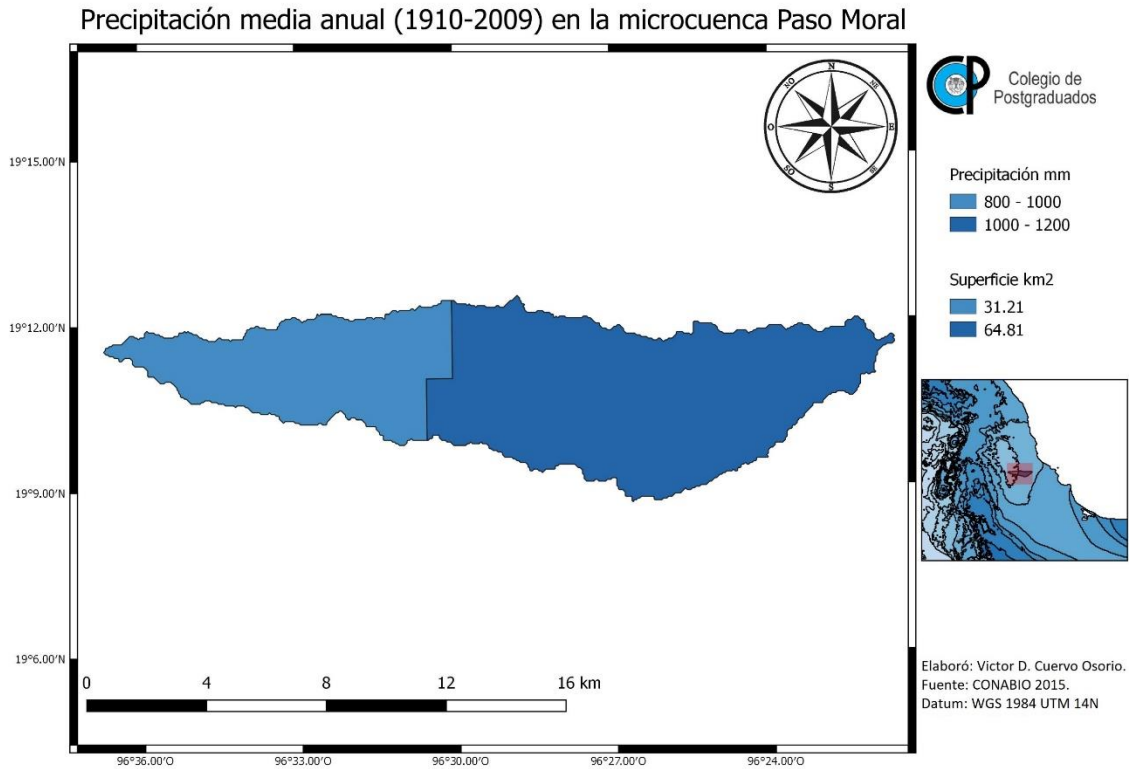
6 y temperaturas medias mensuales se observan en la Figura 9, donde la precipitación promedio mensual del

7 mes más seco es de 14.67 mm y la de mayor de 227.04 mm, con una temporada de estiaje de ocho meses

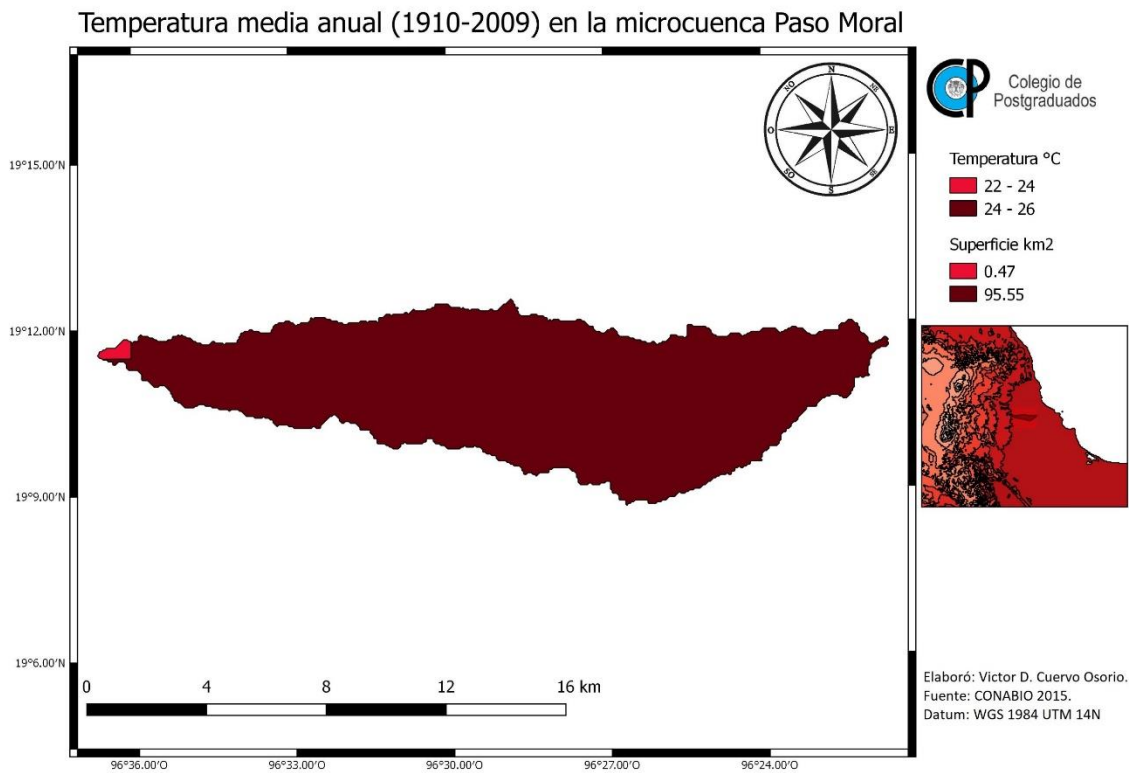
8 (Octubre-Mayo) y con una temperatura mínima de 21 °C y una máxima de 28 °C (SIATL, 2017).

9

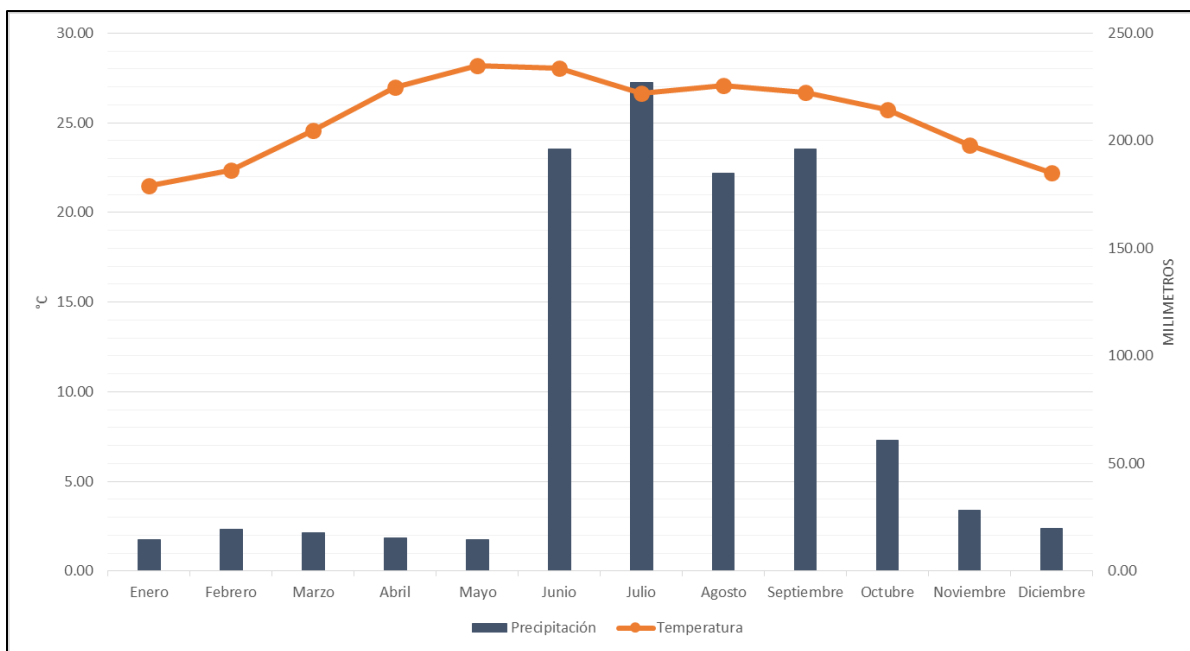
10



1
2 **Figura 7. Precipitación anual de la microcuenca Paso Moral. Fuente: Elaboración propia.**



3
4 **Figura 8. Temperatura media anual de la microcuenca Paso Moral. Fuente: Elaboración propia.**



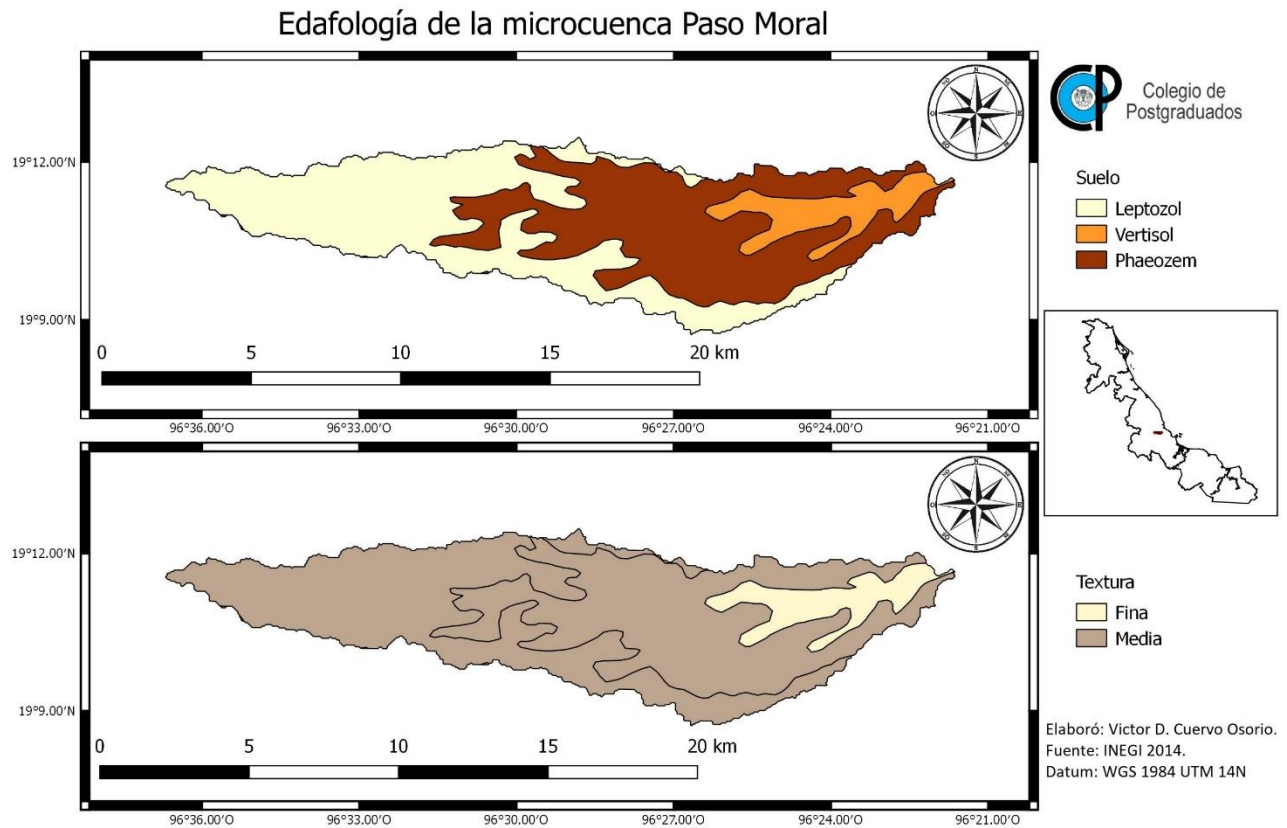
1 **Figura 9. Climograma de la microcuenca Paso Moral. Fuente: Elaboración propia con datos del**
 2 **SIATL, (2017).**
 3

4
 5 **5.3.3 Edafología.**

6 En la microcuenca Paso Moral predominan los suelos Leptosoles (44.75 km²) y Phaeozems (42.6 km²) con
 7 una textura media, los cuales ocupan 46.6% y 44.4% de la superficie total de la microcuenca
 8 respectivamente, y en menor medida suelos Vertisoles (8.67 km²) de textura fina con 9% de la superficie
 9 total (Figura 10).

10 Los Leptosoles son suelos muy someros sobre roca continua o material altamente calcáreo y suelos
 11 extremadamente gravillosos y/o pedregosos; son suelos azonales y particularmente comunes en regiones
 12 montañosas; se encuentran en todas las zonas climáticas (muchos de ellos en regiones secas cálidas o frías),
 13 en particular en áreas fuertemente erosionadas. Son suelos poco atractivos para cultivos con arado, se
 14 mantienen mejor bajo bosques, son un recurso potencial para el pastoreo en estación húmeda y tierra
 15 forestal. La erosión es la mayor amenaza en las áreas de Leptosol, particularmente en regiones montañosas
 16 de zonas templadas donde la alta presión de población, la sobreexplotación y creciente contaminación
 17 ambiental llevan al deterioro de bosques y amenazan grandes áreas de Leptosoles vulnerables. El drenaje

- 1 interno excesivo y la poca profundidad de muchos Leptosoles pueden causar sequía aún en ambientes
- 2 húmedos (WRB, 2007).



3
4 **Figura 10. Tipo de suelos y texturas en la microcuenca Paso Moral. Fuente: Elaboración propia.**

5 Los Phaeozems son suelos oscuros ricos en materia orgánica con una alta saturación de bases (ricos en
6 nutrientes), pero en los que los rasgos de acumulación de carbonatos secundarios no suelen ser visibles.
7 Superficies llanas u onduladas en regiones de cálidas a frías (por ejemplo, tierras altas tropicales)
8 suficientemente húmedas como para permitir que exista la percolación de las sales en el suelo la mayoría
9 de los años, aunque también sufren períodos de sequía estacional. La vegetación natural consiste de
10 pastizales, matorrales y/o bosque. Los Phaeozems no perturbados (de los cuales quedan muy pocos) son
11 muy fértiles, permitiendo el cultivo de cereales bajo irrigación o legumbres, también son utilizados para
12 crianza de ganado y/o para su engorde, siendo práctica habitual la mejora de sus pastos. La sequía periódica
13 y la erosión por agua y viento son los principales factores limitantes (WRB, 2007).

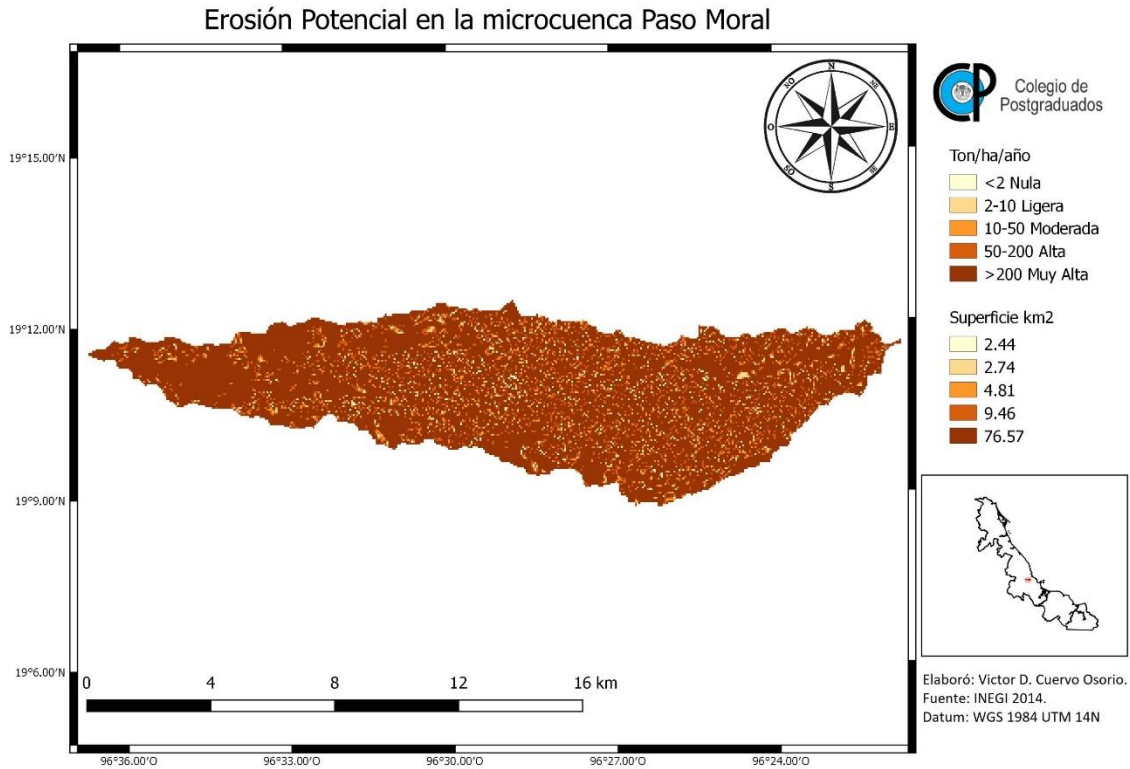
1 Los Vertisoles son suelos muy arcillosos, que se mezclan, con alta proporción de arcillas expandibles. Estos
2 suelos forman grietas anchas y profundas cuando se secan, lo que ocurre en la mayoría de los años. Su uso
3 agrícola varía ampliamente, generalmente son destinados a cría de ganado y en cultivos de temporal (mijo,
4 sorgo, algodón, garbanzo), mientras que en predios con riego, son viables las producciones de algodón,
5 trigo, cebada, sorgo, garbanzo, lino y caña de azúcar. Las prácticas de manejo para una producción rentable
6 y sostenida de los cultivos demanda un adecuado manejo del agua en combinación con la conservación o
7 mejora de los niveles de fertilidad del suelo (WRB, 2007).

8

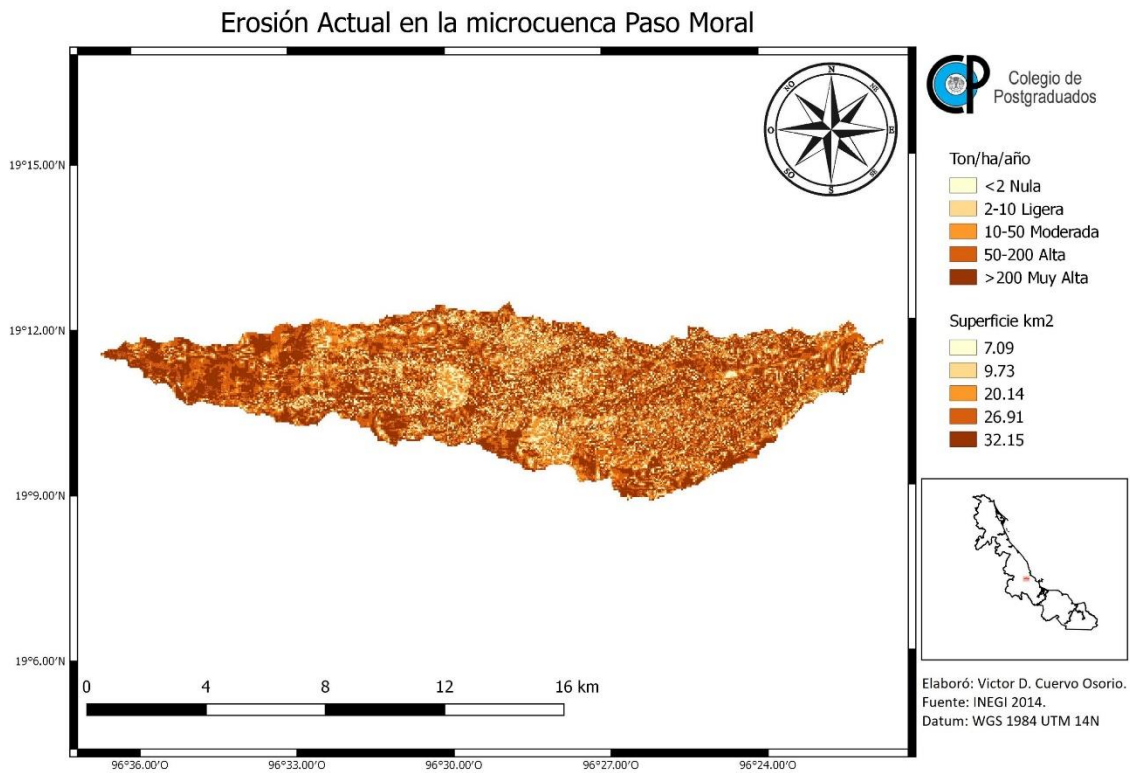
9 5.3.4 Erosión hídrica potencial y actual en la microcuenca Paso Moral.

10 La erosión potencial del suelo constituida por los factores RKLS, se encuentra distribuida como se muestra
11 en la Figura 11. De acuerdo con los grados de severidad establecidos por la FAO (1980), la combinación de
12 factores que aceleran el fenómeno de la erosión en la microcuenca Paso Moral ha provocado que el 75.8%
13 de la microcuenca presente un nivel de erosión potencial muy alta y un 9.4% alta, mientras que solo el 4.8%
14 es erosión moderada, 7.7% ligera y el 2.4% se puede considerar como nula. De acuerdo con esto, la
15 microcuenca tiene un potencial de erosión hídrica muy alto si se sustituye la vegetación actual o se presenta
16 un cambio radical del uso del suelo.

17 La distribución espacial de la erosión actual del suelo (RKLSC) se muestra en la Figura 12. Al agrupar los
18 promedios de erosión hídrica actual con base en los grados de severidad establecidos por la FAO (1980), se
19 estimó que la erosión hídrica actual de la cuenca es nula en el 7.4%, ligera en el 10.1%, moderada en el
20 21%, alta en el 28% y muy alta en el 33.5% de su área.



1
2 **Figura 11. Erosión Potencial en la microcuenca Paso Moral. Fuente: Elaboración propia.**



3
4 **Figura 12. Erosión Actual de la microcuenca Paso Moral. Fuente: Elaboración propia.**

1 En ambos tipos de erosión es notorio el efecto que tiene la longitud y grado de pendiente (Factor LS), con
2 las áreas de alto potencial de erosión, por la semejanza que guardan con las áreas de mayor LS. Confirmando
3 un importante potencial erosivo expuesto anteriormente en la curva hipsométrica; ya que si bien la
4 microcuenca tiene una pendiente media baja (8%) se presenta un relieve con lomeríos.

5 Otro factor de riesgo que se observó es que los suelos son predominantemente someros, tales como los
6 Leptosoles. Sin embargo la profundidad del suelo no es por sí misma lo que representa un alto riesgo de
7 erosión. Geissen *et al.* (2008), señaló que el suelo sometido a lluvias erosivas, a un manejo inadecuado y
8 con una mayor pendiente presentan un mayor riesgo a la erosión, ellos encontraron manifestaciones de
9 erosión en la zona de lomeríos y la planicie tabasqueña, específicamente se registraron cárcavas, grietas y
10 movimiento de masas en suelos Luvisoles, Leptosoles, Gleysoles y Vertisoles con pendientes que oscilaron
11 entre 1 a 10%.

12 La vegetación es el elemento natural de protección del suelo contra la erosión, ya que controla la energía
13 con la que las gotas de lluvia impactan sobre el suelo, mejora la capacidad de infiltración y disminuye la
14 escorrentía; así mismo, se menciona que las coberturas más efectivas en el control de la erosión hídrica y la
15 sedimentación en una cuenca son las arbóreas y pastizales con un adecuado manejo (Melchor-Marroquín y
16 Chagoya-Fuentes, 2016). El análisis en la superficie de la microcuenca refleja que el desarrollo de la
17 población se basa en una intensa producción agropecuaria (63.52%) y persiste la vegetación secundaria y
18 selva baja caducifolia (31.64%). Así, el valor del Factor C fluctuó de 0.001 a 0.9, donde los valores bajos
19 se asociaron a las áreas con agua (0.001), selva baja caducifolia (0.01) y vegetación secundaria (0.05),
20 mientras que el máximo valor fue para el pastizal inducido (0.22), la agricultura (0.5) y la infraestructura
21 (0.9). Lo anterior permite intuir que, en la microcuenca, los suelos dedicados a la agricultura son los que
22 tienen mayor riesgo a la erosión hídrica, seguidos por los cultivados con pastizales y con menor riesgo
23 aquellos con selva baja caducifolia.

24 Cabe destacar que los valores medios encontrados con pérdida de suelo por erosión hídrica son más elevados
25 que los valores medios nacionales. Ya que, en el comportamiento medio nacional un 22% de los suelos

1 presentan erosión hídrica, con valores que oscilan entre los 10 y 200 ton·ha⁻¹·año⁻¹ (Montes-León *et al.*,
2 2011), mientras que en la microcuenca de estudio, 49% de los suelos presentan esos valores. Sin embargo,
3 caso contrario ocurre en valores superiores a las 200 ton·ha⁻¹·año⁻¹, ya que se reporta un 68% de la superficie
4 nacional con estos valores (Montes-León *et al.*, 2011), mientras que, en la microcuenca solo un 33.5%. Se
5 observa que en un 61.5% de la microcuenca se requiere atención prioritaria de prácticas de conservación
6 del suelo, ya que presenta valores de erosión de 50 a más de 200 ton·ha⁻¹·año⁻¹; para de esta forma evitar
7 que la superficie afectada con valores medios disminuya e incremente la superficie afectada con niveles de
8 erosión muy alta.

9

10 5.3.5 Uso de Suelo en la microcuenca Paso Moral.

11 En la Figura 13 se muestra la distribución espacial del uso de suelo en la microcuenca; como resultado del
12 factor C, uno de los factores de la EUPS. El uso de suelo predominante que se tiene en la microcuenca es
13 pastizal inducido, con un 45.11% de la superficie, seguido de la selva baja caducifolia, con un 16.48% y
14 vegetación secundaria, con 15.16%; en menor medida la infraestructura (Zona urbana, minas, camino)
15 abarca el 4.83%, mientras que el mango en conjunto con el limón un 8.01%, el maíz un 7.93%, papaya un
16 1.47% y caña de azúcar el 1.01%. El 63.52% de la superficie total de la microcuenca está dedicado a
17 actividades agropecuarias.

18 En recorridos de campo por la microcuenca se pudo detectar que, en zonas de lomeríos cubierta con
19 pastizales, se practica una ganadería en laderas que ha ido degradando el suelo, lo que trae consigo que el
20 área quede más propensa a la erosión hídrica; así mismo parte de la superficie de vegetación secundaria son
21 zonas de descanso del pastizal.

22

23 5.3.6 Parámetros socioeconómicos.

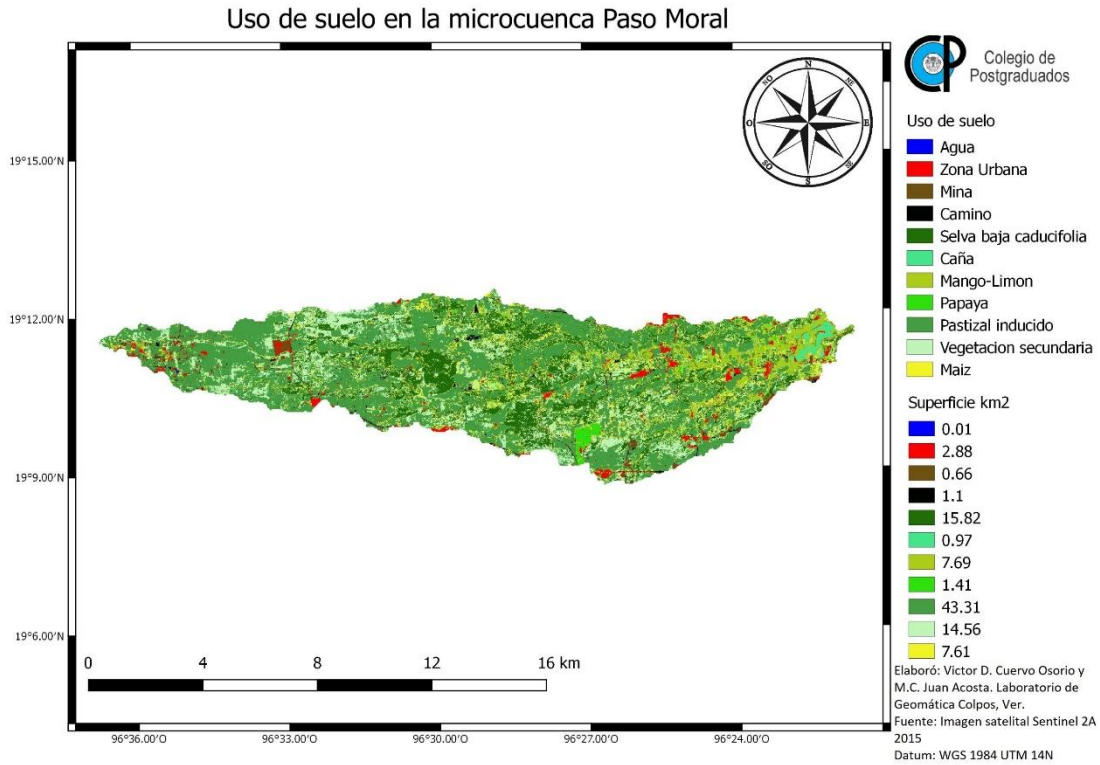
24 En la microcuenca Paso Moral se asienta una población total de 4977 habitantes, distribuidos en 1424
25 hogares (ITER, 2010); tiene una densidad de población de 52 habitantes/km², un valor cercano a la media

1 nacional de 61 habitantes/km², pero menor a la del estado de Veracruz de 113 habitantes/km² (INEGI,
2 2015b). El 0.1% de la población de 3 años y más, habla alguna lengua indígena. El 2.5% de la población
3 total es nacida fuera del estado de Veracruz. El 6.5% de la población son personas que tienen dificultad para
4 el desempeño y/o realización de tareas en la vida cotidiana y el 43.6% es población económicamente activa,
5 es decir, personas que trabajaron, tenían trabajo, pero no trabajaron o buscaron trabajo en la semana de
6 referencia; de las cuales, el 38.9% son hombres y 4.8% mujeres.

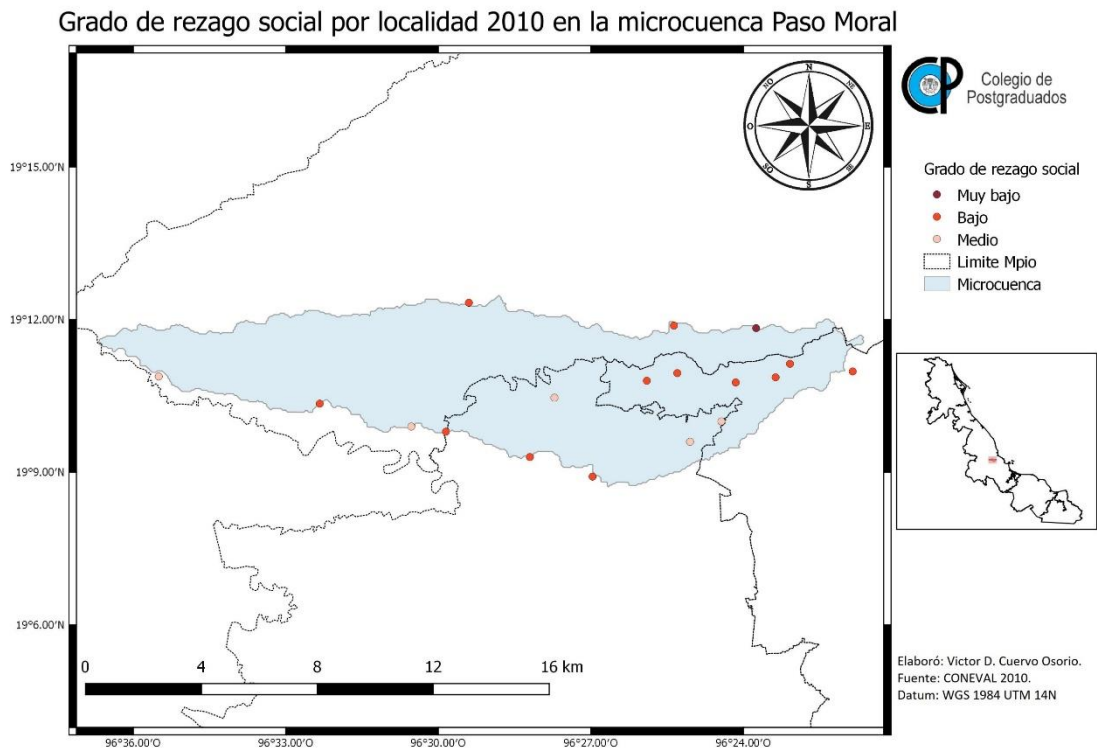
7 Desagregando el índice de rezago social (CONEVAL, 2010) en sus cuatro indicadores, se observa en el
8 indicador de rezago educativo que el 17% de personas con 15 años o más son analfabetas, 5% de entre 6 y
9 14 años no asisten a la escuela y el 77% de personas con 15 años o más tiene educación básica incompleta;
10 solo el 6% de personas con 15 años o más cuenta con educación básica completa. En el indicador de acceso
11 a los servicios de salud, el 45% de las personas cuenta con servicios de salud pública (IMSS, ISSSTE o
12 Seguro Popular). En el indicador de acceso a los servicios básicos en la vivienda, el 24% de viviendas no
13 disponen de agua entubada y 3% se encuentran sin energía eléctrica. En el indicador de la calidad y espacios
14 en la vivienda, el 15% de viviendas tiene piso de tierra, 10% no dispone de excusado y/o sanitario, 22% no
15 disponen de drenaje, 54% no disponen de lavadora y 30% no tiene refrigerador.

16 De acuerdo a los indicadores, existe mayor rezago en educación y salud con respecto a los servicios básicos
17 y calidad de vivienda. Sin embargo, el 67% de las localidades tiene grado de rezago social bajo, 5% muy
18 bajo y 28% medio (CONEVAL, 2010). La distribución por localidad del grado de rezago social se muestra
19 en la Figura 14.

20 Por otro lado, en el índice de marginación (CONAPO, 2010), 17 localidades de la microcuenca tienen grado
21 alto y una tiene grado medio (Cuadro 10); es decir, 4977 personas (el 100%) viven con una débil estructura
22 de oportunidades para su desarrollo y carecen de capacidad para encontrarlas o generarlas. De acuerdo a
23 valores nacionales, Veracruz es el estado que presenta mayor número de localidades con un alto grado de
24 marginación (CONAPO, 2010).



1
2 **Figura 13. Uso actual del suelo en la microcuenca Paso Moral. Fuente: Elaboración propia.**



3
4 **Figura 14. Grado de rezago social por localidad en la microcuenca Paso Moral. Fuente:**
5 **Elaboración propia.**

Cuadro 10. Censo INEGI 2010.

Localidades	Mpio.	Población	PEA	Población derechohabiente a servicios de salud	Promedio de escolaridad	Índice de rezago social	Grado de rezago social	Índice de marginación	Grado de marginación
Puerta de Mata Anona	SD	310	114	72	3.9	-0.330398	Bajo	-0.3188	Alto
Adalberto Tejeda (La Iguana)	SD	91	29	68	4.5	-0.29659	Medio	-0.1854	Alto
El Organito	SD	104	42	10	4.4	0.746346	Medio	0.3968	Alto
La Oriental	SD	206	83	51	4.8	-0.558788	Bajo	-0.5731	Alto
Loma del Faro	SD	149	42	30	3.9	0.186521	Medio	0.1962	Alto
Mata Cazuela	SD	870	306	658	4.7	-0.426466	Bajo	-0.3287	Alto
Alta luz	MFA	328	115	196	5.4	-0.804456	Bajo	-0.7312	Alto
La Firmeza	MFA	269	84	102	5.4	-0.587942	Bajo	-0.4922	Alto
Paso Moral	MFA	197	71	55	5.3	-0.726062	Bajo	-0.6473	Alto
Paso Real	MFA	504	179	267	5.7	-0.55958	Bajo	-0.4709	Alto
Paso Serrano	MFA	41	13	22	6.7	-0.808293	Bajo	-0.4658	Alto
Piedra Parada	MFA	116	54	18	5	-0.413703	Bajo	-0.4631	Alto
Rancho Nuevo	PO	368	130	270	4.5	0.170034	Medio	-0.2223	Alto
Xocotitla	PO	233	77	93	4.7	-0.65747	Bajo	-0.6720	Alto
Bandera de Juárez	PO	733	259	106	4.9	-0.33098	Bajo	-0.2983	Alto
Las Trancas	PO	269	88	141	6.1	-1.011172	Muy bajo	-0.8610	Medio
Mata Anona	PO	22	9	22	4.3	-0.289948	Medio	-0.4976	Alto
Paso Panal	PO	167	54	68	4.4	-0.336097	Bajo	-0.3958	Alto
Total		4977	1749	2249	4.9				

Mpio=Municipio, SD=Soledad de Doblado, MFA=Manlio F. Altamirano, PO=Paso de Ovejas, PEA=Población económicamente activa.

1 5.4 Conclusiones.

2 La caracterización de la microcuenca Paso Moral aporta un marco referencial para definir la escala espacial
3 de posibles investigaciones y de esa forma unificar criterios para la delimitación al momento de realizar la
4 colecta, registros y sistematización de información. Además, el análisis geoespacial logrado con sistemas
5 de información geográfica, como herramienta de apoyo, constituyó un aporte para dilucidar las variables
6 que actúan a una misma escala espacial y generar información que puede servir para adoptar planes de
7 manejo, cuyos resultados son más eficientes y visibles en el corto plazo.

8 Por su factor de forma bajo y una forma rectangular oblonga, la concentración de flujos de agua es más lenta
9 durante las tormentas y junto con una densidad de drenaje moderada favorece la infiltración del agua;
10 factores que reducen el riesgo de inundaciones. En relación a la hipsometría de la cuenca se corroboró un
11 grado de desarrollo intermedio entre la fase de equilibrio relativo y la fase de desequilibrio, esto acompañado
12 con una pendiente media que es baja pero que presenta un relieve con lomeríos, implica un importante
13 potencial erosivo.

14 La microcuenca presenta dos grupos de clima, Aw0 y Aw1; con una precipitación anual que va de los 800
15 mm a los 1200 mm, con un periodo de estiaje de 8 meses y temperatura media anual de 22 a 26°C.

16 En la microcuenca predominan los suelos Leptosoles y Phaeozems con textura media y en menor medida
17 suelos Vertisoles de textura fina.

18 De acuerdo a los valores de erosión hídrica potencial y actual encontrados, se requiere de manera prioritaria
19 la implementación de prácticas para la conservación del suelo, aproximadamente en un 61.5% del área de
20 la microcuenca, para evitar que la superficie afectada con valores medios disminuya e incremente la
21 superficie afectada con niveles de erosión muy alta. Las causas de la erosión hídrica en la microcuenca se
22 relacionan en primer lugar con la longitud y grado de la pendiente, en segundo con los tipos de suelos
23 presentes en la microcuenca y en tercero con el uso del suelo.

24 El uso de suelo de la microcuenca predomina las actividades agropecuarias, principalmente ganadería y se
25 presentan espacios remanentes de selva baja caducifolia.

1 En los aspectos socioeconómicos, la microcuenca tiene una población de 4977 habitantes con una densidad
2 de población de 52 habitantes/km² y se considera que el 43.6% es población económicamente activa. De
3 acuerdo al índice de rezago social, la microcuenca tiene 67% de localidades con grado de rezago social bajo,
4 5% muy bajo y 28% medio. Sin embargo, aún se presenta un fuerte rezago social, de acuerdo a los
5 indicadores en aspectos de educación y salud. De igual forma el índice de marginación demuestra una débil
6 estructura en las oportunidades sociales para la población de la microcuenca, ya que 17 localidades
7 presentan un grado alto de marginación.

8 Finalmente, se considera que la información de la microcuenca Paso Moral presentada puede ser utilizada
9 como una base para la elaboración de planes, programas y proyectos específicos sobre el manejo de recursos
10 naturales, de proyectar los cambios e inclusive modelarlos y evaluar su impacto antes de implementarlos,
11 como en el manejo y desarrollo de la agricultura sustentable.

12

13 5.5 Literatura Citada.

14 Anaya, O. 2012. Caracterización morfométrica de la cuenca hidrográfica Chinchao, Distrito de Chinchao,
15 Provincia Huanuco, Región Huanuco. Universidad nacional agraria de la selva. Perú. 79 p.

16 Boehner, J.; and Selige, T. 2006. Spatial prediction of soil attributes using terrain analysis and climate
17 regionalisation. *In:* Boehner, J.; McCloy, K. R. and Strobl, J. SAGA - Analysis and modelling applications.
18 Goettinger Geographische Abhandlungen. 115:13-27.

19 Colín-García, G.; Ibáñez-Castillo, L. A.; Reyes-Sánchez, J.; and Arteaga-Ramírez, R. 2013. Diagnosis of
20 water erosion of the river basin Pichucalco. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*. 5:23-31.

21 CONABIO. 2002. Límite Nacional 1:1000000. Extraído de conjunto de datos vectoriales y toponímicos de
22 la carta topográfica. Escala 1:1000 000. INEGI. Consultado julio 2015. Disponibles en:
23 <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>

24 CONABIO. 2014. Indicadores sociales. Grado de rezago social por localidad, 2010. Consultado julio 2015.
25 Disponibles en: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>

1 CONABIO. 2015. Precipitación y temperatura anual en México (1910-2009), escala: 1:1000000.
2 Consultado julio 2015. Disponibles en: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>

3 CONAPO. 2010. Índice de marginación 2010, México. Consultado julio 2015. Disponible en:
4 http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Indice_de_Marginacion_por_Localidad_2010

5 CONEVAL. 2010. Índice de rezago social, 2010, México. Consultado julio 2015. Disponible en:
6 <http://www.coneval.org.mx/Medicion/IRS/Paginas/Que-es-el-indice-de-rezago-social.aspx>

7 Cortés, T. 1991. Caracterización de la erosividad de la lluvia en México utilizando métodos multivariados.
8 Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, México. 168 p.

9 Delgadillo, A. y Páez, G. 2008. Aspectos hidrológicos, subcuencas susceptibles a crecidas, escenarios de
10 riesgos por crecidas. *In*: Plan de desarrollo urbano del municipio Antonio pinto salinas bajo el enfoque de
11 gestión de riesgo. Caracterización de la cuenca del valle de Mocoties, Merida. Ferrer, C. y Dugarte, M.
12 (Eds.). Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) - Fundación para la prevención de los
13 riesgos del estado Mérida (FUNDAPRIS).

14 Drusch, M.; Del Bello, U.; Carlier, S.; Colin, O.; Fernandez, V.; Gascon, F.; Hoersch, B.; Isola, C.;
15 Laberinti, P.; Martimort, P.; Meygret, A.; Spoto, F.; Sy, O.; Marchese, F. and Bargellini, P. 2012. Sentinel-
16 2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services. *Remote Sensing of Environment*.
17 120:25-36.

18 FAO. 1980. Food and Agriculture Organization. Metodología provisional para la evaluación de la
19 degradación de los suelos. FAO. Roma. 86 p.

20 FAO. 2006. Food and Agriculture Organization. World reference base for soil resources: A framework for
21 international classification, correlation and communication. FAO. Roma. 128 p.

22 Figueroa S. B.; Amante, A.; Cortés, H. G.; Pimentel, J.; Osuna, E. S.; Rodríguez, J. M. y Morales, J. F.
23 1991. Manual de predicción de pérdidas de suelo por erosión. SARH-Colegio de Postgraduados. México.
24 150 p.

1 Fuentes, J. 2004. Análisis morfométrico de cuencas: caso de estudio del parque nacional pico de Tancítaro.
2 Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. México. 47 p.

3 García, E. 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Instituto de geografía-
4 UNAM. Quinta Edición. México. D.F. 252 p.

5 Gaspari, F. 2002. Plan de ordenamiento territorial en cuencas serranas degradadas. Aplicación de sistemas
6 de información geográfica. Ediciones Cooperativas. Primera edición. Huelva, España. 179 p.

7 Gaspari, F.; Rodríguez, A.; Senisterra, G.; Denegri, G.; Delgado, M. y Besteiro, S. 2012. Caracterización
8 morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina. AUGMDOMUS. 4:143-
9 158.

10 Geissen, V.; López, J. G.; Galindo-Alcántara, A. y Ramos-Reyes, R. 2008. Erosión superficial y
11 carstificación en Macuspana, Tabasco, Sureste de México. Agrociencia. 42:605-614.

12 Gregory J. K. and Walling E. D. 1985. Drainage basin analysis. The Bath Press. First edition. Victoria,
13 Australia. 451 p.

14 INEGI. 2007. Conjunto de datos vectorial edafológico, Escala 1:250,000 Serie II (Continuo Nacional).
15 Consultado julio 2015. Disponibles en: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>

16 INEGI. 2010. Red hidrográfica, subcuencas hidrográficas de México, escala 1:50000. Edición 2. Consultado
17 julio 2015. Disponibles en: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>

18 INEGI. 2015a. Continúo de Elevaciones Mexicano, CEM, 1:50,000, Versión 3.0. Consultado julio 2015.
19 Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/descarga.aspx>

20 INEGI. 2015b. Encuesta intercensal. Marco geoestadístico nacional. Consultado enero 2016. Disponible
21 en:<http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/accesomicrodatos/encuestas/hogares/especiales/ei20>
22 15/

23 INEGI. 2016a. División política estatal 1:250000. 2015, escala: 1:250000. Edición: 2015. Obtenido de
24 cartografía geoestadística urbana y rural amanzanada. Cierre de la encuesta intercensal 2015. Consultado
25 enero 2016. Disponibles en: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>

1 INEGI. 2016b. Áreas geoestadísticas municipales, 2015, escala: 1:250000. Edición: 2015. Obtenido de
2 cartografía geoestadística urbana y rural amanzanada. Cierre de la encuesta intercensal 2015. Consultado
3 enero 2016. Disponibles en: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
4 ITER. 2010. Principales resultados por localidad, censo de población y vivienda 2010. INEGI. Consultado
5 febrero 2016. Disponible en: http://www.inegi.org.mx/sistemas/consulta_resultados/iter2010.aspx
6 Jiménez, F. 2010. Análisis de contexto, caracterización, diagnóstico de cuencas hidrográficas. Centro
7 Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. 21 p.
8 López, F. 1998. Restauración hidrológica forestal de cuencas y control de la erosión. TRAGSATEC,
9 Editorial Mundi-Prensa. Primera edición. Madrid, España. 945 p.
10 Loredo-Osti, C.; Beltran, S.; Moreno, F. y Casiano, M. 2007. Predicción de riesgo a la erosión hídrica a
11 nivel microcuenca. INIFAP-CIRNE-Campo experimental San Luis. Folleto técnico No. 29. San Luis Potosí,
12 México. 66 pp.
13 Melchor-Marroquín, J. y Chagoya-Fuentes, J. 2016. Diagnóstico de la erosión hídrica en la cuenca del río
14 Tuxpan, Veracruz, México. Aqua-LAC. 8:25-35.
15 Montes-León, M.; Uribe-Alcántara, E.; y García-Celis, E. 2011. Mapa nacional de erosión potencial.
16 Tecnología y Ciencias del Agua, antes Ingeniería hidráulica en México. 2:5-17.
17 Racca, J. 2007. Análisis hipsométrico, frecuencia altimétrica y pendientes medias a partir de modelos
18 digitales del terreno. Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología. 77:31-38.
19 Ramírez, A.; Cruz, A.; Sánchez, P. y Monterroso, A. 2015. La caracterización morfométrica de la subcuenca
20 del Río Moctezuma, Sonora: ejemplo de aplicación de los sistemas de información geográfica. Revista de
21 Geografía Agrícola. 55:27-43
22 Ruiz, J. 2001. Hidrología, evolución y visión sistémica, la morfometría de cuencas como aplicación.
23 UNELLEZ. Barinas Venezuela. 298 p.
24 SIATL. 2017. Simulador de flujos de agua de cuencas hidrográficas, versión 3.1, INEGI. Consultado febrero
25 2017. Disponible en: http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/siatl/#

1 Sistema CLICOM. Datos climáticos diarios del CLICOM del Sistema Meteorológico Nacional a través de
2 su plataforma web del CICESE. Consultado marzo 2016. Disponible en: <http://clicom-mex.cicese.mx>
3 Vilaboa-Arroniz, J.; Olgúin-Palacios, C.; Reta-Mendiola, J.; López-Ortiz, S.; López-Romero, G. y Álvarez-
4 Ávila, M. C. 2014. Angostillo: microrregión de atención prioritaria en Paso de Ovejas, México.
5 Agroproductividad. 7:3-9.
6 Wischmeier, W. H. and Smith, D. 1978. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning.
7 U.S. Department of Agriculture. Agriculture Handbook No. 537. Washington, D.C. EUA. 67 p.
8 WRB. 2007. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización 2007. Informes sobre
9 Recursos Mundiales de Suelos No. 103. FAO, Roma. 117 p.

10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24

1 **CAPITULO VI EVALUACIÓN DE LA SUSTENTABILIDAD AGRÍCOLA DE LA**
2 **MICROCUEENCA DEL RÍO PASO MORAL, EN EL CENTRO DE VERACRUZ.**

3
4 Resumen.

5 El objetivo del presente trabajo fue generar desde una perspectiva agroecológica, una metodología basada
6 en indicadores y modelos de simulación para evaluar la sustentabilidad agrícola a nivel de microcuenca.
7 Dicha metodología fue utilizada en la microcuenca del río Paso Moral en el centro de Veracruz y conduce
8 desde la base teórica conceptual, a la selección de un conjunto de indicadores considerando el contexto
9 local, la generación de un modelo de simulación, la determinación de los puntos críticos, propuestas de
10 corrección y monitoreo. Acorde a los resultados, el grado de sustentabilidad agrícola de la microcuenca
11 Paso Moral es bajo, donde la dimensión que en menor medida contribuye es la ecológica, seguida de la
12 económica y social. Los puntos críticos determinados mediante los indicadores y la simulación son:
13 conservación de agua y suelo, dependencia a insumos externos y subsidios, continuidad del agroecosistema,
14 participación de la mujer, el intermediario como único punto de venta y organización de productores,
15 asimismo no se satisfacen en alguna medida las necesidades básicas de educación, salud y alimentación de
16 los productores, por lo cual, si estas condiciones continúan, la agricultura de la microcuenca no se mantendrá
17 en el tiempo. Se proponen prácticas basadas en un enfoque agroecológico, que deberán ser empleadas
18 paulatinamente y acorde a la disposición de los productores, mediante un programa o proyecto de manejo
19 integrado de cuenca. La metodología desarrollada cumple con su objetivo al ser una herramienta útil en la
20 evaluación de la sustentabilidad agrícola a nivel de microcuenca, lo que significa un avance importante en
21 hacer operativo el concepto y generar propuestas para los productores y tomadores de decisión, en busca de
22 la transición a una agricultura sustentable.

23
24 Palabras clave: Indicadores, Modelo de simulación, Sistemas de información geográfica.

1 6.1 Introducción.

2 Después de la Segunda Guerra Mundial se produjo un vertiginoso desarrollo de la agricultura, mediante un
3 modelo caracterizado por el uso de variedades mejoradas genéticamente, uso de agroquímicos, la
4 mecanización, la explotación de grandes extensiones, un poderoso sistema de suministro de insumos y la
5 oferta de servicios especializados (Vázquez, 2008).

6 Dicho modelo conocido como la “revolución verde”, se consideró oficialmente como el único camino para
7 resolver el problema del hambre (Altieri, 2002). Sin embargo, este tipo de agricultura no logró erradicar
8 dicho problema, sino también trajo consigo la intoxicación y muerte de seres vivos, la contaminación de
9 aguas y suelos, erosión y pérdidas incalculables de biodiversidad, reducciones significativas de autonomía
10 campesina, polarización de sociedades agrarias, acaparamiento de semillas e incluso agravamiento de la
11 pobreza rural (León, 2012).

12 La “revolución verde” alcanzó tanto auge que, en la mayoría de los países, la proyección de la agricultura y
13 del desarrollo agrario solo se concebía bajo el paradigma de los rendimientos de los cultivos; por ello un
14 alto porcentaje de los actores del sector agrario mantienen como percepción lo que se conoce como
15 “síndrome de la revolución verde”, en que se considera a la agricultura como una cuestión puramente
16 tecnológica, sin considerar los aspectos ambientales y sociales (Vázquez, 2008).

17 Por lo tanto, buscar un cambio hacia la agricultura sustentable es prioritario, ya que la agricultura es base
18 primordial en la alimentación no solo de la población rural sino también de la urbana; se debe buscar una
19 agricultura productiva que tienda a mejorar la calidad de vida y conserve los recursos naturales de los cuales
20 se sirve (Serageldin, 1996). Además, dicho modelo de agricultura es reconocido como el que se debe
21 implementar para alcanzar un desarrollo sustentable, así se plasma dentro de los diversos planes de
22 desarrollo, desde el municipal al nacional (PND, 2013-2018).

23 Por otro lado, la cuenca hidrográfica se considera una alternativa idónea para diseñar e instrumentar políticas
24 orientadas al desarrollo rural, al manejo integral, participativo y sustentable de los recursos naturales (Ruiz-
25 Rosado, 2012; López, 2014). Los programas, proyectos o esquemas de manejo deben sustentarse en datos

1 y conocimientos que permitan observar tendencias, prever efectos y externalidades e inferir escenarios
2 futuros (Cotler, 2010). Sin embargo, esto no se lleva a la práctica por desinterés, incapacidad o falta de
3 información confiable por parte de los tomadores de decisiones, ya que generalmente las políticas públicas
4 están dirigidas a mitigar problemas puntuales sin atender las necesidades reales de la población rural; de
5 esta forma se aplican políticas muchas veces fuera del contexto de la realidad dinámica y compleja que
6 viven los productores.

7 Además, la poca operatividad del concepto de sustentabilidad, que al ser un concepto complejo que
8 comprende interrelaciones económicas, sociales y ecológicas, lo hace difícil de evaluar desde un punto de
9 vista reduccionista, por lo que dicha evaluación debe ser abordada desde un enfoque agroecológico
10 (Sarandón y Flores, 2009). Para lo cual existen diversas propuestas de marcos metodológicos para el
11 desarrollo de indicadores así como índices de sustentabilidad, aplicados desde distintos enfoques a
12 diferentes niveles jerárquicos, priorizando los niveles de finca o parcela, país y que realizan un análisis
13 actual de la sustentabilidad (De Camino y Muller, 1993; Smyth y Dumanski, 1995; Sarandón y Flores, 2009;
14 Candelaria, 2011). Aunque diversos autores concuerdan en mencionar que no existe una base de indicadores
15 de aplicación general, sino que estos deben ser generados y/o adaptados para cada situación local, específica
16 (Galván-Miyoshi *et al.*, 2008; Sarandón y Flores 2009); además de que la opinión de los productores en
17 cuanto a su concepción de la sustentabilidad en la agricultura debe ser considerada.

18 Evaluar la sustentabilidad agrícola de una microcuenca, permitirá contar con una base de información
19 confiable y comprensible sobre los impactos a corto, mediano y largo plazo del manejo en la agricultura,
20 que servirá en la toma de decisiones sobre los puntos críticos y provocar cambios que tiendan hacia la
21 agricultura sustentable en beneficio de los productores y consumidores. Por esto, el objetivo del presente
22 trabajo es generar desde una perspectiva agroecológica, una metodología basada en indicadores y modelos
23 para evaluar la sustentabilidad agrícola a nivel de microcuenca.

24

1 6.2 Materiales y métodos.

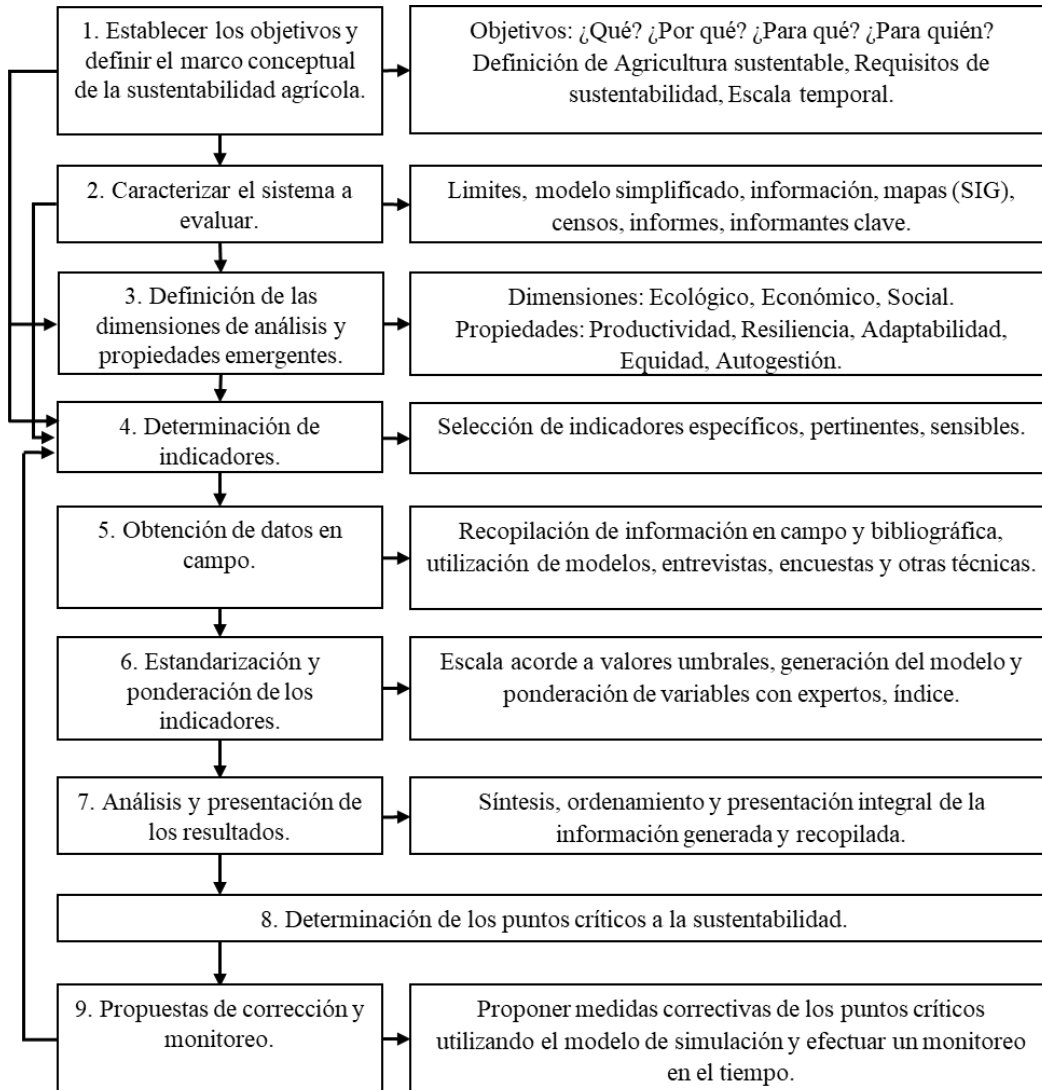
2 La investigación se desarrolló en la microcuenca Paso Moral, perteneciente a la subcuenca RH28bd Rio
3 Paso de Ovejas y se ubica en la porción centro del estado de Veracruz, entre las coordenadas 96°36'00" a
4 96°61'00" de longitud oeste y 19°13'00" a 19°21'00" de latitud norte. Cuenta con una superficie total de
5 96.02 km² y se asienta una población total de 4977 habitantes. Incluye la parte sur del municipio de Paso de
6 Ovejas, así como la parte norte de los municipios de Soledad de Doblado y Manlio Fabio Altamirano, en
7 ella se encuentran 18 localidades (Cuadro 11).

8 **Cuadro 11. Localidades de la microcuenca Paso Moral.**

Municipio	Localidades
Manlio F. Altamirano	Alta luz
	La Firmeza
	Paso Moral
	Paso Real
	Paso Serrano
	Piedra Parada
Paso de Ovejas	Bandera de Juárez
	Las Trancas
	Mata Anona
	Paso Panal
	Rancho Nuevo
Soledad de Doblado	Xocotitla
	Adalberto Tejeda (La Iguana)
	El Organito
	La Oriental
	Loma del Faro
	Mata Cazuela
	Puerta de Mata Anona

9
10 Metodología de evaluación de la sustentabilidad agrícola de la microcuenca.
11 Se propone una nueva metodología para evaluar la sustentabilidad agrícola a nivel de microcuenca, esta se
12 basa principalmente en el método de evaluación de la sustentabilidad en agroecosistemas desarrollado por
13 Sarandón y Flores (2009) y se retoman aspectos importantes de otros marcos metodológicos propuestos por
14 Masera *et al.* (1999), Ruiz-Rosado (2001) y Candelaria *et al.* (2014).

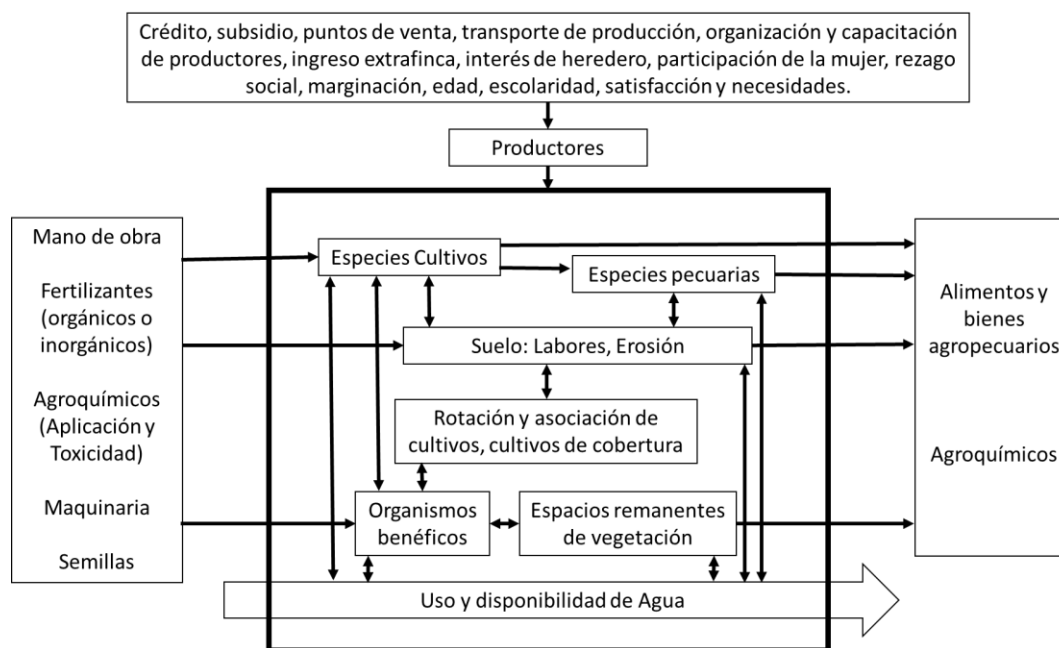
1 La metodología consiste en una serie de nueve pasos que conducen desde la base teórica conceptual, pasando
 2 por la selección de un conjunto de indicadores considerando el contexto local, la generación de un modelo,
 3 un índice y la determinación de los puntos críticos de la sustentabilidad agrícola (Figura 15).



4 **Figura 15. Proceso metodológico para la evaluación de la sustentabilidad agrícola de la microcuenca.**

5 Para el presente estudio se definió a la agricultura sustentable a nivel de microcuenca como el conjunto de
 6 manejos agrícolas de los recursos naturales de una microcuenca (agua, suelo, biodiversidad), que permiten
 7 su conservación a través del tiempo, así como la producción y comercialización de alimentos y bienes
 8 agropecuarios para satisfacer las necesidades (educación, salud, alimentación y vivienda) de los productores
 9 y sus familias.
 10

1 Se realizó un modelo simplificado del agroecosistema, acorde al enfoque sistémico, definiendo los límites
 2 del sistema, los componentes del mismo (Figura 16). Este tipo de diagramas permite percibir y analizar las
 3 interrelaciones entre los componentes del sistema, distinguir las entradas y salidas del mismo, así como
 4 detectar las consecuencias de las acciones humanas sobre la sustentabilidad del sistema en estudio (Sarandón
 5 y Flores, 2009).



6
 7 **Figura 16. Modelo simplificado de agroecosistema.**

8 Se establecieron tres dimensiones de sustentabilidad: ecológica, económica y social con valores de 26, 38 y
 9 36 respectivamente, cuando existe 100 de sustentabilidad agrícola. Estas dimensiones y valores se
 10 establecieron acorde a la definición de agricultura sustentable y mediante consultas a expertos que conocen
 11 el área de estudio y entrevistas a informantes clave: Jefes de los Centro de Apoyo para el Desarrollo Rural
 12 01 (CADER) del Distrito de Desarrollo Rural 06 (DDR), CADER 01 y 02 del DDR 07, Director de Fomento
 13 Agropecuario y Director de Desarrollo Rural Sustentable del municipio de Manlio F. Altamirano.
 14 Asimismo, se consideraron 15, 14 y ocho indicadores por dimensión, estos contemplan los aspectos que
 15 debilitan o fortalecen la sustentabilidad; es decir, cada indicador corresponde a una de las propiedades

1 emergentes de los agroecosistemas: productividad, resiliencia, adaptabilidad, equidad y autogestión (Masera
2 *et al.*, 1999) (Cuadro 12).

3 Fueron elegidas de manera aleatoria seis localidades de la microcuenca Paso Moral, (Rancho Nuevo, Paso
4 Panal, Adalberto Tejeda la iguana, El Organito, Piedra Parada y Paso Serrano), donde se realizó un muestreo
5 aleatorio estratificado al total de hogares, resultando una muestra total de 68 responsables de
6 agroecosistemas, a los cuales se les entrevisto mediante un cuestionario semiestructurado sobre las tres
7 dimensiones y los indicadores anteriormente mencionados.

8 Posteriormente cada indicador, indistintamente de su unidad original, se estandarizó a valores numéricos
9 mediante su transformación en una escala de uno a cuatro, siendo cuatro la situación de mayor
10 sustentabilidad y uno la de menor (Cuadro 13); los valores umbrales de cada indicador utilizados en la escala
11 fueron obtenidos de las entrevistas. Después se prosiguió a ponderar los indicadores, el máximo valor
12 ponderado de cada indicador (Cuadro 14), resultó de los valores iniciales preestablecidos de cada dimensión
13 y un grupo de 11 expertos investigadores relacionados con el manejo agropecuario, que fueron consultados
14 mediante una encuesta por medio de la plataforma SurveyMonkey®.

15 Con los indicadores y sus ponderaciones se realizó un modelo de simulación mediante el software Vensim®
16 PLE (Ventana Systems, Inc; 2010) (Figura 17); el valor promedio de la escala por indicador fue utilizado
17 como el valor de entrada para el modelo (Cuadro 15). A través del modelo de simulación se obtiene el valor
18 final del índice de sustentabilidad agrícola de la microcuenca, este resulta de la sumatoria de los valores de
19 las tres dimensiones: ecológica con valor mínimo de 6.5 y máximo de 26, económica con valor mínimo de
20 9.5 y máximo de 38 y social con valor mínimo de 9 y máximo de 36. El valor de cada dimensión se formula
21 mediante la agregación de los valores de sus respectivos indicadores. El valor del índice oscila entre 25 y
22 100; un valor cercano al 100 significa que en la microcuenca se lleva a cabo una agricultura sustentable,
23 mientras que un valor cercano a 25 es un modelo de agricultura que no conserva los recursos naturales, no
24 produce y comercializa adecuadamente alimentos y bienes agropecuarios y no se satisfacen las necesidades
25 básicas de la población, por lo cual no se mantendrá en el tiempo.

1 **Cuadro 12. Propiedades emergentes, interacciones e indicadores de sustentabilidad agrícola de la**
 2 **microcuenca Paso Moral.**

Propiedades	Interacciones	Variable o indicador
Resiliencia	Conservar Biodiversidad, Uso de agroquímicos, Salud, Organismo benéficos	Toxicidad de agroquímicos Aplicación de agroquímicos
	Conservar Biodiversidad, Espacios remanentes	Superficie de espacios remanentes
	Conservar Agua	Uso de agua Disponibilidad de agua
	Conservar Suelo, Estructura del suelo	Laboreo del suelo
	Conservar Suelo, Estructura del suelo, Fertilidad	Rotación de cultivos
	Conservar Suelo, Fertilidad	Asociación de cultivos
	Conservar Suelo, Estructura del suelo, Fertilidad	Cultivos de cobertura
	Conservar Suelo	Erosión
	Conservar Suelo, Fertilidad	Aportación nutrimental
	Conservar Biodiversidad, Agrobiodiversidad, Cultivos, Pecuarios	Especies de cultivos Especies pecuarias
Productividad	Superficie de cultivos Superficie pecuaria	

3

4

Propiedades	Interacciones	Variable o indicador
		Semillas
	Producción de alimentos y bienes,	Tractor
	Dependencia, Insumos externos	Agroquímicos
Autogestión	Producción de alimentos y bienes,	Mano de obra
	Dependencia	Ingreso extra finca
		Crédito
	Producción de alimentos y bienes	Subsidio
Adaptabilidad	Producción de alimentos y bienes,	Interés del hijo
	Continuación del agroecosistema	Interés del familiar
Equidad	Producción de alimentos y bienes,	Participación de la mujer en decisiones
	Participación de la mujer	Participación de la mujer en mano de obra
Productividad	Comercialización de alimentos y bienes,	Transporte de producción
	Mercadeo y logística	Puntos de venta
Autogestión		Organización de productores
Adaptabilidad	Necesidades Básicas, Educación	Escolaridad
		Capacitación
		Edad
Equidad	Necesidades Básicas	Rezago Social
		Marginación
		Sentimiento de satisfacción
		Vulnerabilidad de necesidades
Productividad		Alimentación

1 **Cuadro 13. Indicadores de sustentabilidad agrícola para la microcuenca Paso Moral.**

Dimensión	Variable	Unidad de Medida	Escala				
			1	2	3	4	
Ecológica	Conservar agua	Uso de agua	Tipo de uso	temporal	-	-	riego
		Disponibilidad de agua	Lugar	lluvia	olla	pozo	otro
	Conservar suelo	Laboreo del suelo	Numero	≥ 3	2	1	0
		Rotación de cultivos	Regularidad	Nunca	A veces	frecuentemente	siempre
		Asociación de cultivos	Regularidad	Nunca	A veces	frecuentemente	Siempre
		Cultivos de cobertura	Regularidad	Nunca	A veces	frecuentemente	Siempre
		Aportación nutrimental	% del tipo de aportación	Inorgánico	75-25	50-50	Orgánico
		Erosión	% de la microcuenca	≥ 200	200-50	50-10	≤ 10
	Conservar Biodiversidad	Toxicidad de agroquímicos	Color de grado de toxicidad	Rojo	Amarillo	Azul	Verde
		Aplicación de agroquímicos	Numero de aplicaciones	≥ 9	8-6	5-3	≤ 2
		Especies de cultivos	Numero	≤ 2	3-6	7-9	≥ 10
		Superficie de cultivos	% de la microcuenca	≥ 80	79-55	54-29	30
		Especies pecuarias	Numero	1	2-3	4-5	> 6
		Superficie pecuaria	% de la microcuenca	≥ 80	79-55	54-29	30-20
Superficie de espacios remanentes		% de la microcuenca	≤ 9	10-19	20-29	30-50	
Económica		Producción	Semillas	Procedencia	Otro mpio	cabecera mpio	Loc. vecina
	Maquinaria		Procedencia	Rentado	prestado	propio	No utiliza
	Agroquímicos		Procedencia	Otro mpio	cabecera mpio	Loc. vecina	Localidad
	Mano de obra		Procedencia	Otro mpio	cabecera mpio	Loc. vecina	Localidad

2

Dimensión	Variable	Unidad de Medida	Escala				
			1	2	3	4	
Económica	Ingreso extra finca	% de dependencia	100-76	75-51	50-26	≤25	
	Crédito	si-no	si	-	-	no	
	Subsidio	si-no	si	-	-	no	
	Producción	Interés del hijo	Interés de continuar	No interesado	poco interesado	Interesado	Muy interesado
		Interés del familiar	Interés de continuar	No interesado	poco interesado	Interesado	Muy interesado
		Participación de la mujer en decisiones	Grado de participación	No participa	participa poco	participa algo	Participa
		Participación de la mujer en mano de obra	Grado de participación	No participa	participa poco	participa algo	Participa
	Comercialización	Puntos de venta	Lugar	intermediario	central de abastos	Mercado mpio.	mercado local
		Organización de productores	si-no	no	-	-	Si
		Transporte de producción	Tipo de propiedad	otro	prestado	rentado	Propio
Social	Necesidades básicas	Capacitación	Acceso e interés	No acceso No interés	Si acceso No interés	No acceso Si interés	Acceso e interés
		Escolaridad	Años	0-2	3-4	5-6	≥7
		Edad	Años	≥50	49-41	40-31	≤30
		Rezago Social	Grado	alto	medio	bajo	muy bajo
		Marginación	Grado	alto	medio	bajo	muy bajo
		Alimentación	% producción destinado a consumo	≤25	26-50	51-75	≥75
		Sentimiento de satisfacción	Grado de satisfacción	insatisfecho	más o menos	satisfecho	muy satisfecho
Vulnerabilidad de necesidades	Numero de necesidades que no se cumplen	≥3	2	1	0		

1 **Cuadro 14. Valores ponderados utilizados en el modelo.**

	Promedio de expertos	Desviación estándar	Valor para dimensión	Valor para indicador
Ecológica	26	9		
Económica	38	13.9		
Social	36	12.1		
Conservar agua	32.5	3.3	8.45	
Conservar suelo	37.5	6.6	9.75	
Conservar biodiversidad	30	5.9	7.8	
Disponibilidad del agua	52	16	4.39	1.0975
Uso del agua	48	16	4.06	1.015
Estructura del suelo	26	13.8	2.535	
Fertilidad	24	9	2.34	
Erosión	50	18	4.875	1.21875
Laboreo del suelo	66	15	1.673	0.41825
Rotación de cultivos	18	8.2	0.456	0.114
Cultivos de cobertura	16	7.4	0.406	0.1015
Asociación de cultivos	30	14.7	0.7	0.175
Cultivos de cobertura	26	14.5	0.61	0.1525
Rotación de cultivos	23	10.1	0.54	0.135
Aportación nutrimental	21	14.6	0.49	0.1225
Organismos benéficos	32	15.5	2.5	
Agrobiodiversidad	44	15.8	3.4	
Espacios remanentes	24	12.3	1.9	0.475
Uso de agroquímicos	52	28.6	1.3	
Cultivos de cobertura	24.5	18.2	0.6	0.15
Asociación de cultivos	23.5	14	0.6	0.15
Toxicidad de agroquímicos	62	16	0.8	0.2
Aplicación de agroquímicos	38	16	0.5	0.125
Cultivos	63	10.1	2.1	
Pecuarios	37	10.1	1.3	
Especies de cultivos	65	14.4	1.365	0.34125
Superficie de cultivos	35	14.4	0.735	0.18375
Especies pecuarias	53	14.9	0.7	0.175
Superficie pecuaria	47	14.9	0.6	0.15
Producción de alimentos y bienes	53	10.1	20	
Comercialización de alimentos y bienes	47	10.1	18	

2

	Promedio de expertos	Desviación estándar	Valor para dimensión	Valor para indicador
Dependencia	26	15.1	5.2	
Capacitación	24	21.7	4.8	1.2
Continuidad del agroecosistema	15	8.1	3	
Crédito	12	6.3	2.4	0.6
Participación de la mujer	12	8.7	2.4	
Subsidio	11	4.8	2.2	0.55
Insumos externos	56	18.6	2.91	
Mano de obra	23	11.9	1.2	0.3
Ingreso extrafinca	21	10.4	1.09	0.2725
Agroquímicos	48	18.5	1.4	0.35
Semillas	33	15.1	0.96	0.24
Maquinaria	19	6.3	0.55	0.1375
Interés del Hijo	55	17.5	1.65	0.4125
Interés del Familiar	45	17.5	1.35	0.3375
Participación de la mujer en decisiones	59	18.2	1.42	0.355
Participación de la mujer en mano de obra	41	18.2	0.98	0.245
Mercadeo	74	7.1	13	
Logística	26	7.1	5	1.25
Organización de productores	62	19.4	8.1	2.025
Puntos de venta	38	19.4	4.9	1.225
Rezago social	13	8.2	4.68	1.17
Marginación	13	7.6	4.68	1.17
Salud	13	6.7	4.68	
Educación	13	8.6	4.68	
Edad	11	7.1	3.96	0.99
Alimentación	11	5.2	3.96	0.99
Sentimiento de satisfacción	9.5	3.7	3.42	0.855
Ingreso extrafinca	8.5	5.8	3.06	0.765
Vulnerabilidad de necesidades	8	2.7	2.88	0.72
Capacitación	59	21	2.76	0.69
Escolaridad	41	21	1.92	0.48

1

2

3

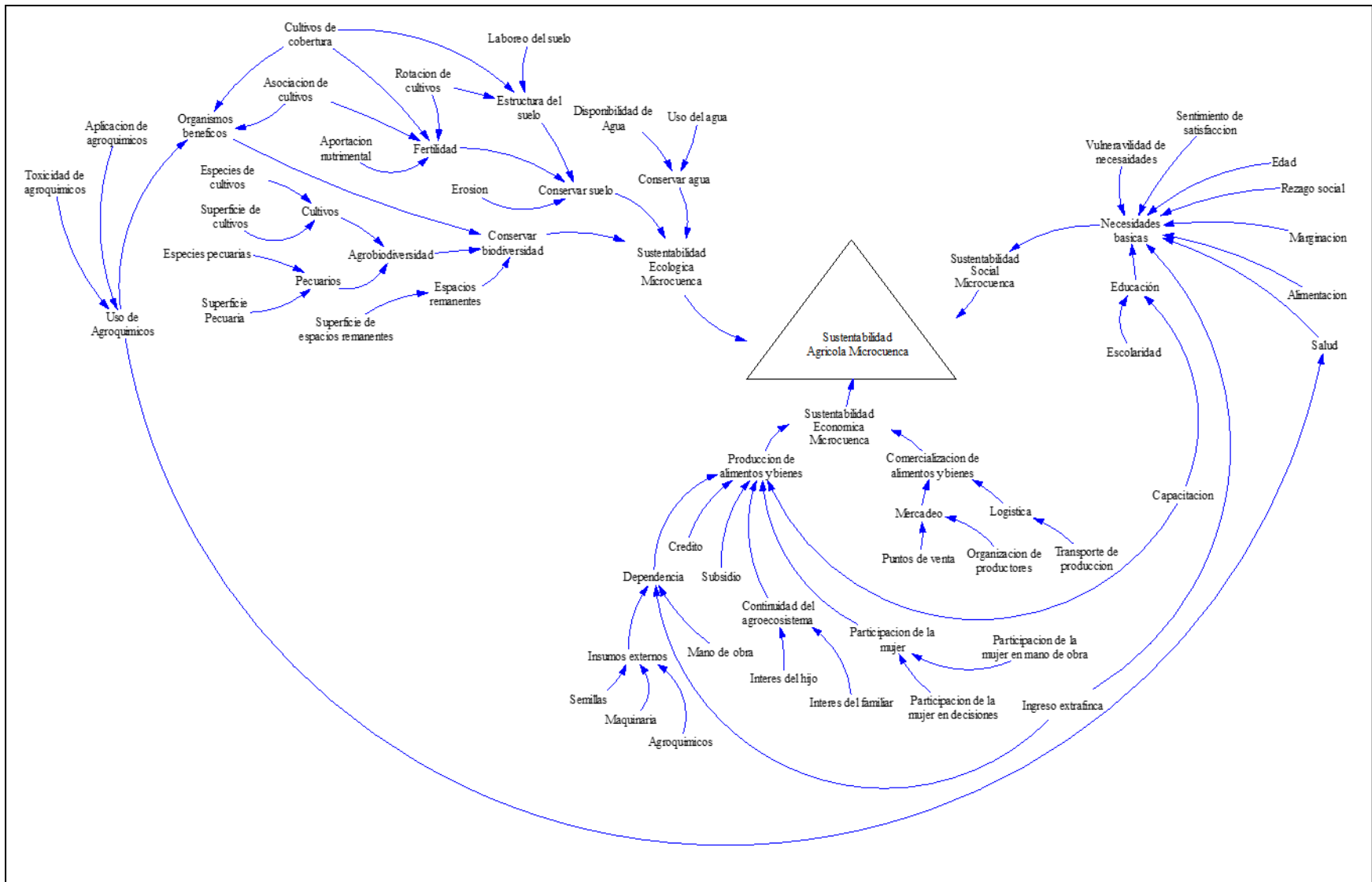
4

5

1 **Cuadro 15. Valor promedio de la escala utilizado como el valor de entrada del modelo de simulación.**

Indicador	Valor promedio de la escala
Uso de agua	1
Disponibilidad de agua	1.5
Laboreo del suelo	3.1
Rotación de cultivos	1
Asociación de cultivos	1.1
Cultivos de cobertura	1
Aportación nutrimental	1.2
Erosión	1
Toxicidad de agroquímicos	2.5
Aplicación de agroquímicos	3
Especies de cultivos	4
Superficie de cultivos	4
Especies pecuarias	3
Superficie pecuaria	2
Superficie de espacios remanentes	2
Semillas	1.8
Maquinaria	2.2
Agroquímicos	1.7
Mano de obra	4
Ingreso extra finca	3.6
Crédito	4
Subsidio	1.6
Interés del hijo	2
Interés del familiar	1.4
Participación de la mujer en decisiones	1.4
Participación de la mujer en mano de obra	1.2
Puntos de venta	1.1
Organización de productores	1
Transporte de producción	2
Capacitación	2.7
Escolaridad	1.7
Edad	1.4
Rezago Social	3
Marginación	1
Alimentación	1.5
Sentimiento de satisfacción	2.4
Vulnerabilidad de necesidades	3

2

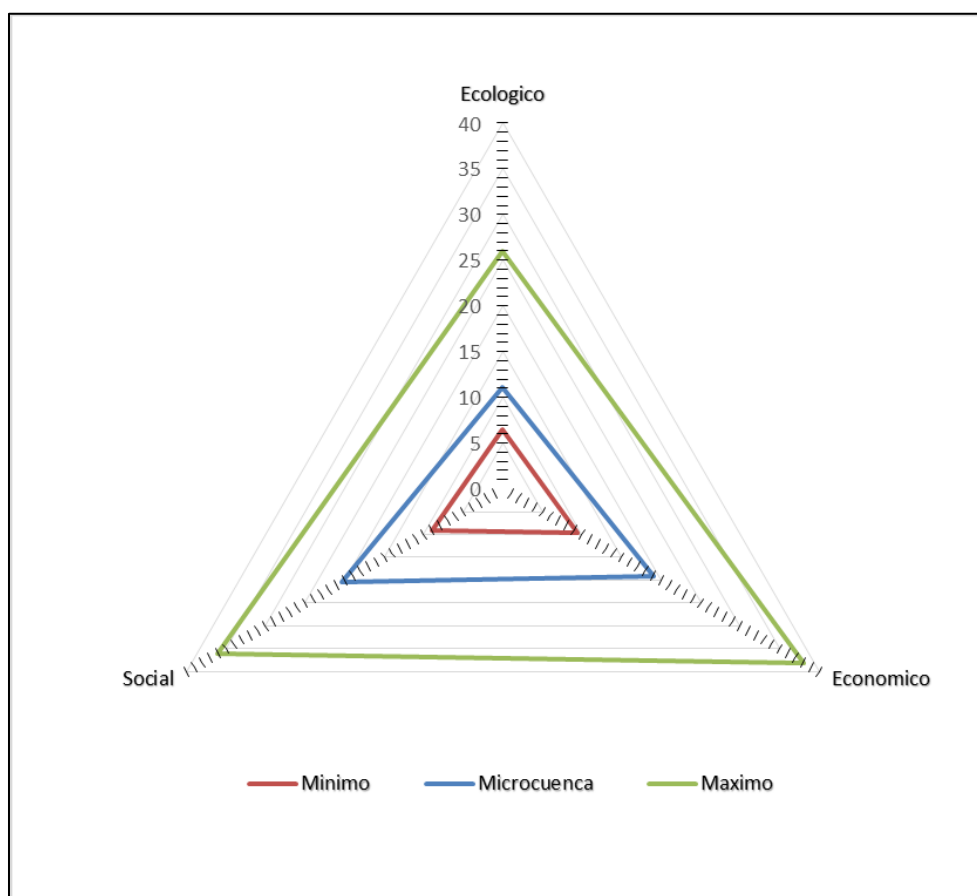


1
2 **Figura 17. Modelo de simulación en Vensim®.**

1 6.3 Resultados y discusión.

2 El grado de sustentabilidad agrícola de la microcuenca Paso Moral, de acuerdo a las condiciones locales,
3 fue de 50.4, un grado bajo, que indica que es un modelo de agricultura que no conserva los recursos
4 naturales, no produce y comercializa adecuadamente alimentos y bienes agropecuarios y no se satisfacen en
5 alguna medida las necesidades (educación, salud, alimentación, vivienda) de los productores y sus familias,
6 por lo cual no se mantendrá en el tiempo.

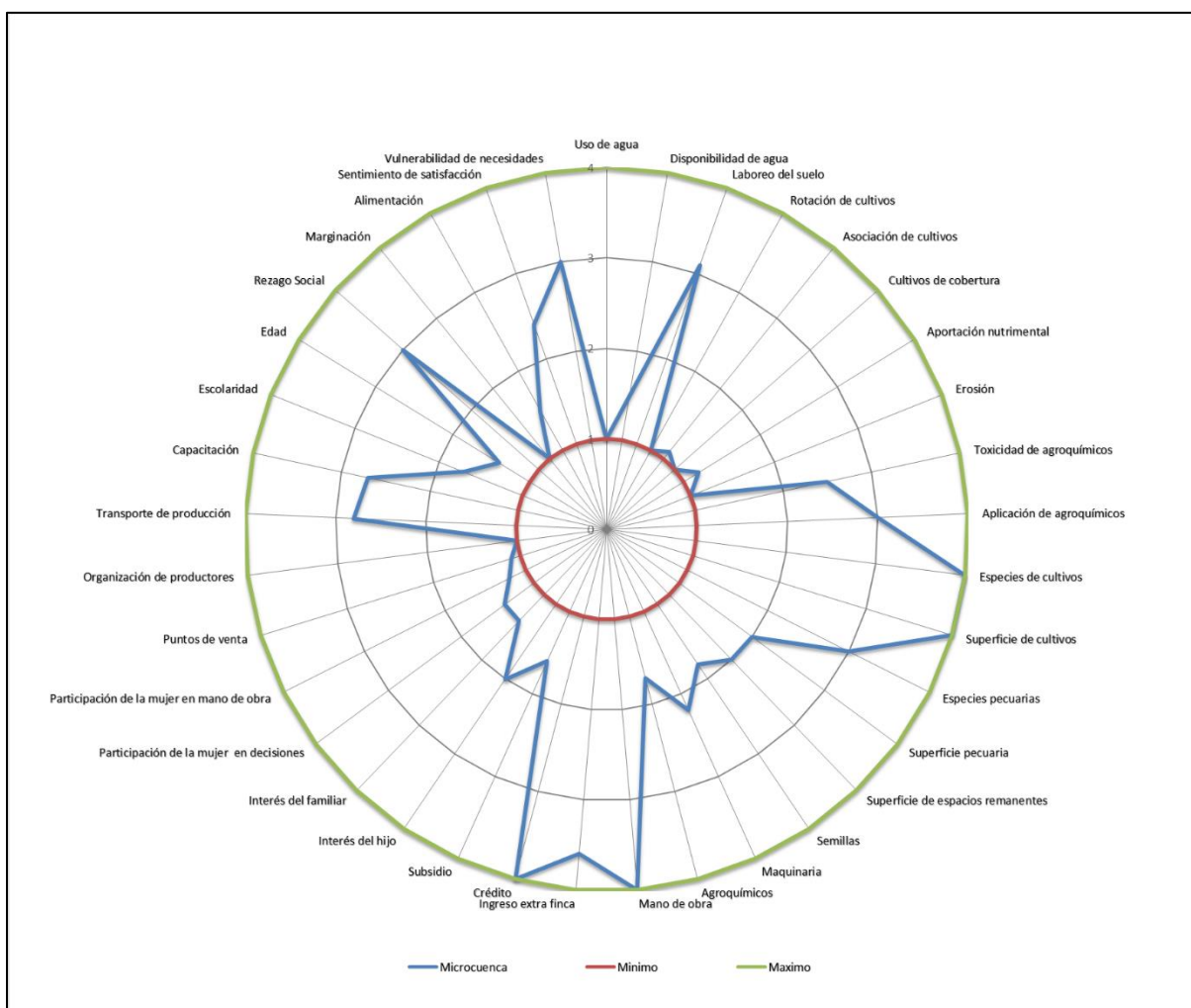
7 Entre las tres dimensiones que integran la sustentabilidad agrícola, la que menos contribuye es la dimensión
8 ecológica (11.1), seguida por la económica (19) y social (20.3), (Figura 18).



9
10 **Figura 18. Dimensiones de sustentabilidad agrícola de la microcuenca Paso Moral, con base a**
11 **condiciones locales y actuales.**

12 Esto se debe principalmente a que no se realizan prácticas que conserven el agua y suelo; aunque si existe
13 un manejo que tiende a la conservación de la biodiversidad, pero se corre el riesgo de que esto cambie si se

1 continúa realizando el cambio de uso de suelo con pérdida de selva baja caducifolia en favor de la ganadería
 2 extensiva. La dimensión económica se ve disminuida por aspectos de producción y comercialización como
 3 la dependencia a insumos externos, subsidios, continuación del agroecosistema, participación de la mujer,
 4 puntos de venta y organización de productores. Mientras que la dimensión social se ve afectada por la edad
 5 y escolaridad, marginación y alimentación del productor.
 6 Para tener una perspectiva más clara de los indicadores, se analizan de forma individual (Figura 19).



7
 8 **Figura 19. Indicadores de sustentabilidad agrícola de la microcuenca Paso Moral (4 es el valor**
 9 **máximo y 1 es el valor mínimo, con base en las condiciones locales y actuales).**
 10

11 La dimensión que menos contribuye en la sustentabilidad agrícola es la ecológica (11.1). Se deben conservar
 12 los recursos naturales (agua, suelo y biodiversidad) y al mismo tiempo deben servir para la producción y

1 comercialización de alimentos y bienes agropecuarios, mediante esto se satisfacen las necesidades básicas
2 (alimentación, salud, educación y vivienda) de los productores.

3 Como se observa en los indicadores de conservación del agua, tanto uso como disponibilidad, no
4 contribuyen a la sustentabilidad agrícola. La mayoría de los productores son de temporal y aunque algunos
5 cuentan con olla de agua, esta se seca; principalmente por el largo periodo de estiaje (8 meses) y el consumo
6 de la misma en forma de riego para los cultivos o para el ganado. Algunos productores mencionan que “el
7 periodo de lluvias se está atrasando, ya que antes se sembraba el maíz después del primer aguacero que era
8 en mayo y ahora se realiza hasta julio”. Ante los largos periodos de sequía algunos productores toman el
9 agua del pozo profundo de sus localidades para llevarla a sus animales. En este sentido, la agricultura tiene
10 un gran impacto sobre el agua, su disponibilidad impone importantes restricciones a su uso, ya que se trata
11 de un recurso escaso, por lo que todos los usos deben apuntar a su conservación y buen uso (Merluzzi,
12 2010).

13 En los indicadores de conservación de suelo, relacionados a la estructura, fertilidad y erosión; se encontró
14 que el laboreo del suelo si contribuye con la sustentabilidad agrícola, ya que muchos productores solo
15 realizan el barbecho o surcada y en algunos casos ambos; también algunos productores que cuentan con
16 poca superficie de cultivo, no realizan ningún laboreo al suelo y siembran mediante punzón; por lo cual,
17 este es el único indicador de conservación de suelo que contribuye a la sustentabilidad. En este sentido, el
18 propósito del laboreo del suelo es romper la estructura del suelo para permitir un mejor drenaje, crecimiento
19 más rápido de las raíces, aireación, mayor facilidad para sembrar, controlar arvenses y para incorporar al
20 suelo residuos de cultivos; sin embargo, frecuentemente se utilizan implementos pesados que tienden a
21 degradar el suelo por problemas de compactación, ocasionando pérdida de la estructura del suelo, limitando
22 el crecimiento de las raíces y disminuyendo la capacidad de infiltración de agua (Altieri, 1999; Gliessman,
23 2002).

24 Por otro lado, ningún productor realiza prácticas como rotación de cultivos, asociación de cultivos y cultivos
25 de cobertura, en detrimento de la sustentabilidad. La rotación y asociación de cultivos son prácticas que

1 mantienen la fertilidad del suelo y un balance de nutrimentos disponibles para las plantas, así como mejorar
2 el drenaje, la aireación, el tamaño y estabilidad de los agregados del suelo (Sarandón y Flores, 2014).
3 Mientras que el uso de cultivos de cobertura mejora la fertilidad y estructura del suelo, ya que provee al
4 suelo de una protección contra los agentes climáticos y disminuye el riesgo de erosión y oxidación de la
5 materia orgánica (Gliessman, 2002).

6 Respecto a la aportación nutrimental para mantener la fertilidad del suelo, se encontró que no aporta a la
7 sustentabilidad agrícola ya que los productores no utilizan abonos orgánicos; sin embargo, algunos
8 productores utilizan el rastrojo del maíz para alimentar al ganado bovino, por lo cual, la bosta puede
9 reincorporar elementos esenciales al suelo, aunque no en cantidad suficiente para mantener la fertilidad; por
10 lo cual, el aporte nutrimental lo realizan mediante fertilizante inorgánico. De forma generalizada el
11 fertilizante más utilizado es la urea (46-0-0), la cual se aplica en un promedio de 270 kg/ha para todo el
12 ciclo en el cultivo de maíz. Sin embargo, algunos productores también utilizan el fosfato de amonio (18-46-
13 0), un promedio de 250 kg/ha, que de acuerdo a los productores “presenta mayor rendimiento, pero también
14 tiene un costo más elevado”.

15 Es probable que la aplicación constante de urea haya acidificado el suelo; de acuerdo con Chien *et al.* (2008),
16 la nitrificación de los fertilizantes nitrogenados (urea) genera acidez en el suelo debido a la liberación de
17 iones de hidrogeno. Por lo cual, el fosforo se encuentre retenido; ya que un pH ácido, favorece la
18 concentración de aluminio activo, provocando la fijación fisicoquímica y limitando la absorción de fosforo
19 por la planta, generando las respectivas deficiencias nutrimentales (Cruz-Flores *et al.*, 2001; Álvarez-
20 Sánchez *et al.*, 2010). La deficiencia de fósforo en el suelo es un factor limitativo para el crecimiento y
21 desarrollo de las plantas; cuando los productores aplican el fosfato de amonio, hacen que el fosforo presente
22 en el fertilizante esté disponible para las plantas, por lo cual se corrige la deficiencia y se obtienen mejores
23 rendimientos, enmascarando el verdadero problema. De acuerdo con Gliessman (2002), los incrementos en
24 el rendimiento de cultivos se explican por el uso, amplio e intensivo, de fertilizantes químicos; debido a que

1 estos productos satisfacen los requerimientos de las plantas a corto plazo, los agricultores no prestan
2 atención a la fertilidad del suelo a largo plazo e ignoran los procesos que la mantienen.

3 Para el indicador de erosión, como se observó en el Capítulo V, la microcuenca Paso Moral presenta alta y
4 muy alta erosión hídrica en el 61.5% de su superficie. Esto se debe, como en los indicadores antes
5 mencionados, a malas prácticas de manejo y posiblemente al cambio de uso de suelo en la microcuenca,
6 situaciones similares se ha observado en la cuenca del Río Tuxpan (Melchor-Marroquín y Chagoya-Fuentes,
7 2016) y en la microcuenca Paso de Ovejas 1 (Candelaria, 2011), ambas en el estado de Veracruz. Además,
8 concuerdan con las causas más frecuentes señaladas por la SEMARNAT (2002), el sobrepastoreo, la
9 deforestación y las malas prácticas agrícolas. La erosión del suelo se está convirtiendo en uno de los
10 problemas que más presión ejerce en la agricultura, ya que provoca la pérdida de minerales y materia
11 orgánica que implica pérdida de productividad, (FAO, 2000). Una acción exitosa contra la erosión del suelo
12 será posible si se implementan prácticas de manejo de conservación del suelo en áreas agrícolas y la
13 implementación de la agroforestería para disminuir la presión hacia los bosques, retener el suelo y mejorar
14 sus características (Melchor-Marroquín y Chagoya-Fuentes, 2016).

15 Los indicadores relacionados a conservar agua y suelo son los que menos contribuyen a la sustentabilidad
16 agrícola de la microcuenca, ya que las prácticas de manejo están estrechamente relacionadas a una
17 agricultura de tipo “revolución verde”; la misma situación es reportada por Candelaria *et al.* (2014), en la
18 evaluación de la sustentabilidad de los agroecosistemas de la microcuenca Paso de Ovejas 1, donde se
19 realizan pocas prácticas de conservación de agua y suelo, aunque existe conocimiento y preocupación de
20 los productores con respecto al proceso de pérdida de suelo y agotamiento de las fuentes de almacenamiento
21 de agua.

22 Los indicadores de conservar biodiversidad, relacionados a organismos benéficos, cultivos de cobertura y
23 asociación de cultivos, como ya se mencionó anteriormente, no se presentan como prácticas de manejo
24 realizadas por los productores, en decremento de la sustentabilidad agrícola. Estudios entomológicos
25 conducidos en plantaciones con cultivos de cobertura y asociados, indican que exhiben menor incidencia de

1 plagas y enfermedades, esto se debe a la mayor abundancia y eficiencia de los predadores y parasitoides
2 (organismos benéficos), motivados por la riqueza de la flora, fomentando el control natural de organismos
3 nocivos a los cultivos (Altieri, 1992; Altieri y Nicholls, 1994; Sarandón y Flores, 2014). Una estructura de
4 la vegetación más heterogénea, lograda a través de un alto número de cultivos genera una mayor diversidad
5 de hábitat que permite albergar una mayor riqueza de organismos (Benton *et al.*, 2003; Stupino *et al.*, 2008).
6 En cambio, en los indicadores relacionados con el uso de agroquímicos, número de aplicaciones y nivel de
7 toxicidad, si aportan al logro de la sustentabilidad agrícola; ya que se encontró, que si bien existe la
8 utilización de agroquímicos (herbicidas y plaguicidas) el número de aplicaciones promedio por productor
9 es bajo (un herbicida y un plaguicida) y con productos de un nivel de toxicidad moderadamente tóxico o
10 peligroso (4), de acuerdo a la clasificación establecida por la NOM-232-SSA1-2009.

11 Sin embargo, algunos productores comentan que “las plagas presentan resistencia y se utilizan nuevos
12 productos, pero estos son más caros”. Los agroquímicos pueden bajar dramáticamente las poblaciones de
13 plagas y arvenses a corto plazo, pero debido a que también eliminan a sus enemigos naturales (organismos
14 benéficos), las plagas rápidamente incrementan sus poblaciones a niveles incluso mayores a los que tenía
15 antes de aplicar estos químicos (Labrador y Altieri, 1994).

16 Respecto a los indicadores de agrobiodiversidad, se encontró que especies de cultivos, superficie de cultivo
17 y especies pecuarias aportan a la sustentabilidad, caso contrario ocurre con superficie pecuaria.

18 Entre las especies mencionadas por los productores se encuentran: maíz, frijol, calabaza (pipián), ajonjolí,
19 limón, papaya, mango, caña de azúcar, entre otros. Los productores mencionan que “anteriormente se
20 cultivaban el tomate y chile”. Mientras que las especies pecuarias son: bovino, porcino, equino y aves. De
21 acuerdo con Gliessman (2002), los agroecosistemas más diversificados presentan mayor ventaja en lo
22 relacionado a procesos ecológicos que aquellos altamente simplificados, como los sistemas agropecuarios
23 convencionales y en particular los monocultivos.

24 Como se observa en el Capítulo V, el 45.11% de la superficie de la microcuenca Paso Moral es de pastizal
25 utilizado para la ganadería extensiva, mientras que el 18.42% es de diversos cultivos (maíz, mango, limón,

1 papaya, caña) y 15.16% es vegetación secundaria, que son terrenos en descanso que posteriormente volverán
2 a ser utilizados en las actividades agropecuarias. Si bien existe una buena proporción de superficie para los
3 diferentes cultivos, no así en la superficie destinada para el ganado, ya que se busca un equilibrio entre las
4 diferentes actividades agropecuarias y no que se tienda a una sola actividad agropecuaria. El resultado de la
5 simplificación de la biodiversidad para propósitos agropecuarios es un ecosistema artificial e inestable que
6 requiere de la intervención humana constantemente para su funcionamiento. Esta inestabilidad se manifiesta
7 a través del empeoramiento de la mayoría de los problemas asociados al mantenimiento de los sistemas
8 agrícolas convencionales: plagas, pérdida de fertilidad de los suelos, erosión, uniformidad genética, entre
9 otros (Gliessman, 2002).

10 Para el indicador de espacios remanentes, el 16.48 % de la superficie de la microcuenca Paso Moral son
11 espacios remanentes de selva baja caducifolia; un porcentaje bajo respecto al total y que actúa en decremento
12 de la sustentabilidad agrícola. La preservación de la biodiversidad es una cuestión de manejo, tanto como
13 lo es la producción agrícola. Por lo tanto, una de las razones más importantes para mantener, restituir y/o
14 aumentar la biodiversidad en los agroecosistemas es, que esta, presta una variedad de servicios ecológicos:
15 reciclaje de nutrientes, control de microclimas locales, regulación de procesos hidrológicos locales,
16 regulación de la abundancia de organismos indeseables y destoxificación de sustancias químicas nocivas;
17 cuando se pierden estos servicios naturales, debido a la simplificación, los costos económicos y ambientales
18 pueden ser bastante significativos (Altieri, 1999; Gliessman, 2002).

19 La dimensión económica aporta poco a la sustentabilidad agrícola de la microcuenca Paso Moral. La venta
20 de alimentos y bienes es importante ya que a partir de ella se obtiene el ingreso, con el cual el productor
21 cubrirá sus necesidades básicas y podrá continuar con la actividad agrícola.

22 Dentro de los aspectos de producción de alimentos y bienes, en los indicadores de dependencia de insumos
23 externos (semillas, maquinaria y agroquímicos), se observa el riesgo de la dependencia en detrimento de la
24 sustentabilidad agrícola.

1 En general, las semillas son adquiridas en casas comerciales o en las oficinas de fomento agropecuario de
2 los palacios municipales de las respectivas localidades, en tanto que los agroquímicos son comprados en
3 casas comerciales de las cabeceras municipales. Las semillas de maíz utilizadas por los productores son:
4 semilla híbrida Dekalb® de Monsanto, Pioneer® de Dupont y H-520 del INIFAP; así como semilla
5 mejorada CP-569 del Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz.

6 Las semillas preferidas entre los productores, por sus buenos rendimientos, son los híbridos Dekalb® y
7 Pioneer®, seguida por H-520; mientras que la semilla de maíz CP-569 es poco reconocida y cuando se da
8 el caso, se tiene presente como de mala calidad. Sin embargo, el precio de los híbridos Dekalb® y Pioneer®,
9 son más elevados en comparación con H-520, es por esto que los productores que no pueden costear el
10 precio de los primeros optan por el tercero. Otro inconveniente que mencionan los productores con el uso
11 de semilla híbrida, es que cuando quieren guardar semilla para el siguiente año, “está ya no rinde igual”,
12 quedando cautivos a comprar año con año semilla.

13 Respecto al uso de maquinaria, los productores que utilizan tractor en su mayoría lo rentan, quedando
14 expuestos a la disponibilidad y principalmente al precio de renta que fije el dueño. La agricultura
15 convencional ha logrado altos rendimientos debido al incremento en el uso de semillas, agroquímicos y
16 maquinaria agrícola (tractor). Todos estos insumos son externos al agroecosistema; su uso intensivo tiene
17 impacto en el control de la producción agrícola; su uso implica mayor dependencia hacia los insumos
18 externos, que hacen al productor más vulnerable a la oferta de insumos, a las fluctuaciones de mercado y al
19 incremento de los precios (Gliessman, 2002).

20 Por otro lado, en los indicadores de dependencia de mano de obra e ingreso extrafinca, se observa que ambos
21 aportan a la sustentabilidad agrícola. La mano de obra utilizada en las actividades agrícolas proviene de las
22 mismas localidades y en ocasiones es mano de obra familiar, por lo que no se genera dependencia de mano
23 de obra externa. En este sentido, la mano de obra familiar juega un papel importante en las actividades
24 productivas, está radica en el valor que aportan al realizar diversas actividades y por el cual no perciben un
25 salario o ingreso directo. Los trabajadores agrícolas se han convertido en aliados potenciales de los

1 productores ya que se dedican a actividades similares, comparten el mismo entorno y a menudo provienen
2 del mismo lugar; aunque a veces se producen tensiones y conflictos entre los distintos actores, podrían
3 desarrollarse relaciones basadas en la solidaridad y el apoyo mutuos a medida que sus intereses converjan
4 para enfrentar problemas comunes (Hurst *et al.*, 2007).

5 En cuanto al ingreso extrafinca, se encontró que la mayoría de los productores se dedican exclusivamente a
6 la agricultura, aunque se presentan algunos casos donde en ocasiones se emplean como jornaleros; otro tipo
7 ingreso extrafinca al que tienen acceso es mediante subsidios gubernamentales. De acuerdo con Ramírez
8 (2008), la integración de las actividades económicas es parte de las estrategias de los productores, que
9 muestra la indivisibilidad del ingreso económico total, bajo el cual se transfieren recursos entre actividades
10 económicas, particularmente desde las actividades extrafinca a las agropecuarias. Sin embargo, los ingresos
11 extrafinca mencionados no generan dependencia para la existencia del agroecosistema.

12 En el indicador de crédito, se encontró que contribuye a la sustentabilidad ya que los productores no acceden
13 a él; aunque, el crédito es uno de los principales factores que impulsa la inversión, y en consecuencia, la
14 productividad y el crecimiento de la producción agropecuaria (Escalante *et al.*, 2013), recurrir a éste sin
15 previa organización y capacitación técnica y administrativa, lejos de constituir una opción para el desarrollo,
16 puede comprometer la estabilidad económica y social en los agroecosistemas (Candelaria, 2011).

17 Para el indicador de subsidio, se observó que los productores están dentro de programas como PROCAMPO
18 y PROGAN; de los cuales el apoyo económico es utilizando en su totalidad para la producción, generando
19 dependencia, por lo cual se considera que no contribuye a la sustentabilidad agrícola. Otro aspecto
20 importante que se observó es que los productores mayores de 65 años de edad, subsisten a expensas de
21 programas de asistencia social y de lo que obtienen de venta de su producción. Situación similar es reportada
22 por Candelaria (2011), en los agroecosistemas de la microcuenca Paso de Ovejas 1, una alta dependencia a
23 los programas de asistencia, al grado de constituirse como parte importante en los ingresos de algunas
24 familias.

1 En los indicadores relacionados con la continuación del agroecosistema, interés del hijo e interés de familiar,
2 se encontró que existe mayor interés por parte del hijo que de algún familiar. Sin embargo, no aportan a la
3 sustentabilidad agrícola, ya que en ambos casos muestran poco interés. El interés por continuar con las
4 actividades agropecuarias es por la falta de oportunidades, ya que no existe otro medio de vida, algunos
5 productores que tienen nietos mencionan que “no saben si continuaran con esa actividad, depende de las
6 oportunidades que en el futuro se les presente”. La escala temporal en la agricultura sustentable es
7 primordial, ya que es requisito que esta se mantenga a largo plazo o a través del tiempo. Por lo cual, el hecho
8 de que exista un heredero o familiar con interés en continuar con las actividades agrícolas es esencial para
9 que se lleve a cabo dicha escala. En este sentido, en los casos donde los herederos de los agroecosistemas
10 no desean continuar con la actividad agrícola, a mediano plazo se incrementará el abandono de los sistemas
11 de producción agrarios, y las familias se verán en la necesidad de adoptar nuevas formas de empleo o migrar
12 hacia los polos de desarrollo (Candelaria *et al.*, 2014).

13 Respecto a los indicadores de participación de la mujer, en decisiones y mano de obra, en ambos indicadores
14 se observa que la mujer no participa, por lo cual se considera que no aportan a la sustentabilidad agrícola.
15 Algunos productores llegaron a comentar que si se daba el caso la participación de la mujer sería durante el
16 momento de fertilizar. Históricamente la mujer no participa plenamente en las relaciones de poder que se
17 establecen dentro de la unidad familiar en reparto de tareas y toma de decisiones (Chulvi, 1999). Sin
18 embargo, el papel de la mujer en las actividades agrícolas es importante no solo desde el aspecto de mano
19 de obra sino también en la toma de decisión, aunque esto no haya sido ampliamente reconocido (Martínez
20 y Baeza, 2017). La población femenina económicamente activa en la agricultura se mantiene por encima
21 del 50% del total en países en desarrollo y su contribución directa en el cultivo y en la producción de
22 alimentos, sigue siendo muy relevante a nivel mundial (García, 2002).

23 En el aspecto de comercialización de alimentos y bienes, en los indicadores de mercadeo, puntos de venta
24 y organización de productores; se encontró que no colaboran para lograr la sustentabilidad agrícola.

1 Los productores mencionan que venden su producción a diversos intermediarios, provenientes de algunas
2 localidades de la región como Paso de Ovejas, Acazonica, Mata Cazuela, Curva de Paso Real, entre otras;
3 además de otros que provienen de lugares más alejados como Veracruz, Huatusco, Totutla, Xalapa y Puebla.
4 Sin embargo, mencionan que “el precio que pagan los intermediarios por la producción es bajo, comparado
5 a los costos de producción”. La importancia de la diversificación de mercados radica en que se reduce el
6 riesgo de depender de un solo comprador; la apertura a los mercados para la venta de productos
7 agropecuarios tiene como propósito principal dotar de alternativas a los productores (SAGARPA, 2017). A
8 su vez, se establece un contacto entre el agricultor y el consumidor, generándose una relación de confianza
9 y un beneficio económico para el agricultor, al desligarse de los intermediarios mediante la venta directa
10 (Sarandón y Flores, 2014).

11 Los productores no se encuentran dentro de alguna organización; acorde con Candelaria (2011), existe un
12 grupo organizado de productores en la localidad de Rancho Nuevo; sin embargo, en esta investigación,
13 productores de la misma localidad no mencionan dicha organización. Por lo que se sigue reproducido el
14 mismo patrón de comportamiento social, con una fuerte indiferencia hacia la organización (Candelaria,
15 2011). El proceso de organización de los productores es importante como mecanismo para innovar los
16 sistemas de producción, mediante la adopción, implementación y adecuación de tecnologías; además,
17 permite articular sus necesidades con mayor fuerza, compartir sus experiencias y construir acciones
18 colectivamente, para reducir la incertidumbre de la actividad agrícola, estabilizar las condiciones de
19 producción y hacer frente a los momentos de mayor demanda de mano de obra (Rondot y Marie-Hélène,
20 2001; Sarandón y Flores, 2014).

21 Para el indicador de comercialización de alimentos y bienes, relacionado a la operatividad, transporte de
22 producción, se observó que si contribuye a la sustentabilidad; ya que los productores por medios de
23 transporte propios movilizan su producción para hacerla llegar a los intermediarios. En este sentido, la
24 operación de transporte es un componente esencial y puede contribuir al éxito, ganancias o al fracaso y
25 pérdidas físicas y económicas de los productores. El transporte de alimentos es una operación esencial, en

1 la cual los productos frescos son movilizados para su consumo directo o para ser usados como materias
2 primas o ingredientes en procesos de manufactura o preparación de alimentos u otros productos no
3 alimenticios (De León y Cuevas, 2004). La calidad y la inocuidad de los alimentos usualmente sufren
4 considerable deterioro si la operación de transporte no es ejecutada correcta y oportunamente, anulando
5 todos los esfuerzos hechos en la finca, en la planta de procesamiento o en los puntos de almacenamiento y
6 venta (De León y Cuevas, 2004).

7 De las tres dimensiones evaluadas, la social (20.3) es la que más contribuye a la sustentabilidad agrícola. Es
8 importante, que la actividad agrícola contribuya a que se cubran las necesidades básicas del productor y su
9 familia, ya que si esto no ocurre es probable que se busquen otras actividades productivas y se abandone la
10 agricultura.

11 En los indicadores de educación, se encontró que la capacitación aporta a la sustentabilidad agrícola, debido
12 a que los productores están interesados en asistir o recibir cursos, sin embargo, no tienen acceso a estos. La
13 adopción de tecnologías agroecológicas exige la capacitación de productores, con la visión y los
14 conocimientos necesarios para asegurar la sustentabilidad de los agroecosistemas, a través de un programa
15 de capacitación ajustado a sus necesidades productivas (Mesa y Machado, 2009). Se tiene evidencia de que
16 los bajos niveles de producción, la baja competitividad e incluso la ineficiencia de las unidades de
17 producción agropecuarias, se explican en gran parte por falta del conocimiento y la baja adopción de
18 innovaciones (Gallegos *et al.*, 2013). Esto exige la capacitación de los productores para lograr una adecuada
19 adopción de tecnologías, por lo que el reto es difundir y para ello capacitar (Mesa y Machado, 2009).

20 En el indicador de escolaridad, se observó un promedio de 2.5 años, que se considera que no aporta a la
21 sustentabilidad agrícola. La escolaridad de los productores tiene una relación directa sobre la racionalidad
22 de manejo y conformación de los agroecosistemas (Candelaria, 2011). Además, constituye uno de los
23 factores decisivos para aumentar la productividad e incorporar las innovaciones tecnológicas, y con ello
24 fortalecer la competitividad (Aguilar, 2011). A modo de ejemplo, en Centroamérica el promedio de

1 escolaridad de los agricultores se limita a 3.2 años y existe una asociación entre la baja escolaridad de los
2 agricultores y las altas tasas de pobreza de estos países (CEPAL/FAO/IICA, 2013).

3 Con respecto al indicador de edad de los productores, este también limita la sustentabilidad agrícola. La
4 edad promedio de los productores de la microcuenca es de 60 años, con un mínimo de 28 y un máximo de
5 87, donde el 54.7% es mayor a 60 años y el 28.1% es mayor a 70 años; esto combinado con el poco interés
6 por parte de algún heredero, refleja un punto crítico ya que incrementa el riesgo de la pérdida de la
7 continuidad de los agroecosistemas a corto plazo, si se considera que la esperanza de vida en México es de
8 75 años (INEGI, 2010). Valores similares fueron reportados por Candelaria (2011), donde se observan las
9 mismas condiciones de riesgo. Sin embargo, cabe destacar que el productor a pesar de tener una avanzada
10 edad no sede su propiedad a sus hijos o herederos, aunque sean ellos quienes la trabajen por necesidad, al
11 ser la única opción productiva con que cuentan.

12 El indicador de rezago social muestra un grado de rezago social bajo, por lo cual se considera que si aporta
13 al logro de la sustentabilidad agrícola. El grado de rezago social de la microcuenca está acorde a lo reportado
14 en los municipios donde se encuentra, Manlio F. Altamirano, Paso de Ovejas y Soledad de Doblado, donde
15 se reportan grados bajo, muy bajo y bajo respectivamente (CONEVAL, 2010). Este indicador está
16 relacionado con cuatro carencias sociales, rezago educativo, acceso a los servicios de salud, acceso a los
17 servicios básicos en la vivienda y la calidad y espacios en la vivienda (CONEVAL, 2010). En este sentido,
18 para el caso de la microcuenca Paso Moral dichas carencias no se presentan o lo hacen muy poco.

19 El indicador de marginación presenta un alto grado de marginación, lo que disminuye la sustentabilidad
20 agrícola. Este indicador se asocia a la carencia de oportunidades sociales y a la ausencia de capacidades para
21 adquirirlas o generarlas, pero también a privaciones e inaccesibilidad a bienes y servicios fundamentales
22 para el bienestar (CONAPO, 2010), situación que viven los productores de la microcuenca Paso Moral.

23 En el indicador de alimentación, se observa que los productores consumen en promedio solo el 25% de su
24 producción y algunos animales de traspatio, mientras que otros productos agrícolas tienen que adquirirlos
25 de forma comercial, aspecto que no contribuye a la sustentabilidad agrícola. De acuerdo con los productores,

1 generalmente hacen poco uso de su traspatio y almacenan 1 tonelada de maíz por año para su consumo y de
2 los animales de traspatio. Situación similar fue reportada por Candelaria *et al.* (2014), menciona que la
3 seguridad alimentaria en los agroecosistemas evaluados de la microcuenca Paso de Ovejas 1 fue baja, debido
4 en general al abandono del manejo de los traspatios, que representaba una fuente importante de alimentos
5 para la familia, al ofrecer proteína de origen animal y hortalizas.

6 El Indicador de sentimiento de satisfacción, se encontró que los productores se encuentran más o menos
7 satisfechos con el logro de sus necesidades básicas, por lo cual se considera que si aporta a la sustentabilidad
8 agrícola. De acuerdo con Blandi *et al.* (2009), la satisfacción del productor ante sus necesidades básicas,
9 están estrechamente vinculados a la rentabilidad de la producción.

10 En el indicador de vulnerabilidad de necesidades, se encontró que en promedio los productores solo
11 consideran vulnerable una necesidad, salud, por lo cual se considera que si contribuye a la sustentabilidad.

12 Los productores cuentan con servicios de salud, mediante clínicas rurales y doctores que brindan buena
13 atención; sin embargo, la falta de medicina en la clínica es el principal problema, además de que en caso de
14 emergencias o enfermedades más graves deben trasladarse a Veracruz o Cardel. De acuerdo con Candelaria,
15 *et al.* (2014), la presencia de enfermedades graves en la familia es un fenómeno relevante que afecta la
16 sustentabilidad de los agroecosistemas, en especial, por los gastos económicos generados por servicios
17 médicos, y porque implica que algún familiar sano dedique tiempo para atender al familiar enfermo.

18 Respecto a salud, relacionada con el uso de agroquímicos, y los indicadores de número de aplicaciones y
19 nivel de toxicidad, como se mencionó anteriormente, si aportan al logro de la sustentabilidad agrícola; por
20 el bajo número de aplicaciones y nivel de toxicidad de los agroquímicos. En este sentido, en el uso de
21 plaguicidas, hay que tomar en cuenta los efectos negativos que ocasionan al ambiente y a la salud humana,
22 esto por contaminación de alimentos, aguas, suelos y personas (Gliessman, 2002).

23 Para contrarrestar los diferentes puntos críticos encontrados, se proponen las siguientes prácticas basadas
24 en un enfoque agroecológico, estas pueden ser utilizadas para la generación de escenarios en el modelo de

1 simulación, acorde a la disposición y requerimientos de los productores. Además, deberán ser empleadas
2 paulatinamente, mediante un programa o proyecto de manejo integrado de cuenca.

3 Es necesario implementar cultivos de cobertura, la rotación y asociación de cultivos, así como el uso de
4 sistemas silvopastoriles, que ya se llevan a cabo por algunos productores en localidades vecinas de la
5 microcuenca (Vilaboa-Arroniz *et al.*, 2014). Estas prácticas no solo contribuyen en la conservación del suelo
6 y agua, sino también en la satisfacción de las necesidades de alimentación, al no depender del monocultivo
7 de maíz o ganadería extensiva y diversificar los productos que pueden ser consumidos por las familias de
8 los productores.

9 Continuar con el proyecto producción de semilla de maíz variedad mejorada CP-569 del Colegio de
10 Postgraduados, Campus Veracruz y tener retroalimentación de los productores de la microcuenca, ya que
11 se encuentra dentro de su microrregión de atención prioritaria. Si se logra tener reconocimiento con los
12 productores, mediante variedades tropicales de buena calidad y menor precio, será una valiosa opción para
13 conservar el material genético de maíces tropicales (Vilaboa-Arroniz *et al.*, 2014).

14 Promover estrategias y acciones que faciliten la constitución de figuras asociativas funcionales por parte de
15 los productores, con el fin de fortalecer, desde el enfoque agroecológico, sus capacidades estratégicas,
16 técnicas y financieras. A través de la organización de productores y de mejorar sus capacidades estratégicas
17 se podrá tener mayor diversificación de su mercado.

18 Se espera que una vez que los productores mejoren sus condiciones económicas y que la agricultura se
19 vuelva una actividad productiva redituable, regrese el interés de los herederos por continuar, así mismo
20 logren cubrir sus necesidades de salud.

21

22 6.4 Conclusiones.

23 El grado de sustentabilidad agrícola de la microcuenca Paso Moral, de acuerdo a las condiciones locales, es
24 bajo. Es decir, el conjunto de los manejos agrícolas no conserva los recursos naturales, específicamente agua
25 y suelo; además la producción y comercialización se ven en riesgo por la dependencia a insumos externos,

1 subsidios, el poco o nulo interés de continuar por parte de algún heredero, la poca participación de la mujer,
2 el intermediario como único punto de venta y la nula organización de productores, asimismo no se satisfacen
3 en alguna medida las necesidades de educación, salud y alimentación de los productores, por lo cual si estas
4 condiciones continúan, la agricultura de la microcuenca no se mantendrá en el tiempo. Para contrarrestar
5 los diferentes puntos críticos encontrados, se proponen prácticas basadas en un enfoque agroecológico, que
6 deberán ser empleadas paulatinamente y acorde a la disposición de los productores, mediante un programa
7 o proyecto de manejo integrado de cuenca.

8 La metodología basada en indicadores y modelos desarrollada cumple con su objetivo al ser una herramienta
9 útil en la evaluación de la sustentabilidad agrícola, lo que significa un avance importante en hacer operativo
10 y medible el concepto, determinar los puntos críticos y generar propuestas para los productores y tomadores
11 de decisión, en busca de la transición a una agricultura sustentable.

12

13 6.5 Literatura citada.

14 Aguilar, J. 2011. La sostenibilidad de los medios de vida de familias productoras de hule: estudios de caso
15 en el municipio de Huimanguillo, Tabasco. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. Producción
16 Agroalimentaria en el Trópico. Tabasco. 107 p.

17 Altieri, M. 1992. Sustainable agricultural development in Latin America: exploring the possibilities.
18 *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 39:1-21.

19 Altieri, M. 1999. Bases científicas para una agricultura sustentable. Nordan Comunidad. Primera edición.
20 Montevideo, Uruguay. 338 p.

21 Altieri, M. 2002. Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal
22 environments. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 93(1):1-24.

23 Altieri, M. y Nicholls, C. 1994. Biodiversity and pest management in agroecosystems. Haworth Press. First
24 edition. New York, EUA. 185 p.

1 Álvarez- Sánchez, M. E.; Velázquez-Mendoza, J.; Maldonado-Torres, R.; Almaguer-Vargas, G. y Solano-
2 Agama, A. L. 2010. Diagnóstico de la fertilidad y requerimiento de cal de suelos cultivados con agave azul
3 (*Agave tequilana* Weber). *Terra Latinoamericana*. 28:287-293.

4 Benton, T. G.; Vickery, J. A. and Wilson, J. D. 2003. Farmland biodiversity: is habitat heterogeneity the
5 key? *Trends in Ecology & Evolution*. 18(4):182-188.

6 Blandi, M.; Gargoloff, N.; Flores, C. y Sarandón, S. 2009. Análisis de la sustentabilidad de la producción
7 hortícola bajo invernáculo en la zona de la Plata, Argentina. *In: V Seminario-taller, Sistemas*
8 *agroalimentarios localizados (SIAL) y transformaciones territoriales de los espacios rurales*. 1-4 pp.

9 Candelaria-Martínez, B. 2011. Diseño participativo para mejorar la sustentabilidad de los agroecosistemas
10 de la microcuenca paso de Ovejas 1 en el estado de Veracruz, México. Tesis Doctorado. Colegio de
11 Postgraduados. Programa Agroecosistemas Tropicales. Tepetates, Manlio F. Altamirano, Veracruz. 135 p.

12 Candelaria-Martínez, B.; Ruiz-Rosado, O.; Pérez-Hernández, P.; Gallardo-López, F.; Vargas-Villamil, L.;
13 Martínez-Becerra, Á. y Flota-Bañuelos, C. 2014. Sustentabilidad de los agroecosistemas de la microcuenca
14 Paso de Ovejas 1, Veracruz, México. *Cuadernos de Desarrollo Rural*. 11(73):87-104.

15 CEPAL, FAO, IICA. 2013. *Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las Américas: una mirada*
16 *hacia América Latina y el Caribe*. Santiago, Chile. 91 p.

17 Chien, S. H.; Gearhart, M. M. and Collamer, D. J. 2008. The effect of different ammoniacal nitrogen sources
18 on soil acidification. *Soil Science*. 173:544-551.

19 Chulvi, B. 1999. Trabajar en un medio masculino y rural. *Ruralia*. 3:4 pp.

20 CONAPO. 2010. Índice de marginación 2010, México. Consultado julio 2015. Disponible en:
21 http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Indice_de_Marginacion_por_Localidad_2010

22 CONEVAL. 2010. Índice de rezago social, 2010, México. Consultado julio 2015. Disponible en:
23 <http://www.coneval.org.mx/Medicion/IRS/Paginas/Que-es-el-indice-de-rezago-social.aspx>

1 Cotler, H.; Garrido, A.; Bunge, V. y Cuevas, M. 2010. Las cuencas hidrográficas de México: priorización
2 y toma de decisiones. *In: Las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y Priorización.* Cotler, H.
3 (Coord). Primera Edición. Pluralia Ediciones e Impresiones. México. 210-215 pp.

4 Cruz-Flores, G.; Tirado-Torres, J. L.; Alcántar-González, G. y Santizo-Rincón, J. A. 2001. Eficiencia de
5 uso de fósforo en triticale y trigo en dos suelos con diferente capacidad de fijación de fósforo. *Terra*
6 *Latinoamericana.* 19:47-54.

7 De Camino, R. y Müller, S. 1993. Sostenibilidad de la agricultura y los recursos naturales. Bases para
8 establecer indicadores. IICA/GTZ. Primera edición. San José, Costa Rica. 133 p.

9 De León, L. F. y Cuevas, R. 2004. Transporte rural de productos alimenticios en América Latina y el Caribe.
10 *Boletín de Servicios Agrícolas FAO.* Núm. 155. Roma, Italia. 18 p.

11 Escalante, R.; Catalán, H. y Basurto, S. 2013. Determinantes del crédito en el sector agropecuario mexicano:
12 un análisis mediante un modelo Probit. *Cuadernos de Desarrollo Rural.* 10:101-124.

13 FAO. 2000. Food and Agriculture Organization. A new framework for: conservation-effective land
14 management and desertification control in Latin America and the Caribbean. Consultado junio 2016.
15 Disponible en: <http://www.fao.org/ag/agl/agll/gaez/index.htm>.

16 Gallegos, N. A.; Rodríguez, M. M.; Cortés, V. H. S. y Ávila, J. A. 2013. Influencia del perfil de los
17 productores en la adopción de innovaciones en tres cultivos tropicales. *Teuken Bidikay.* 4:207-228.

18 Galván-Miyoshi, Y.; Masera, O. y López-Ridaura, S. 2008. Las evaluaciones de sustentabilidad. *In:*
19 *Evaluación de sustentabilidad. Un enfoque dinámico y multidimensional.* Astier, M.; Masera, O. y Galván-
20 Miyoshi, Y. (Coords.). Primera Edición. SEAE / CIGA / ECOSUR / CIEco / UNAM / GIRA / Mundi-
21 Prensa / Fundación Instituto de Agricultura Ecológica y Sustentable. Benifaió. Valencia, España. 41-58 pp.

22 García, J. 2002. Mujeres rurales, sociedad civil y desarrollo rural. *In: Mujeres y Sociedad Rural.* Instituto
23 de la Mujer. Madrid, España. 123 p.

24 Gliessman, S. R. 2002. Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible. CATIE. Primera
25 edición. 359 p.

1 Hurst, P.; Termine, P. y Karl, M. 2007. Trabajadores agrícolas y su contribución a la agricultura y el
2 desarrollo rural sostenibles. Organización Internacional del Trabajo, Organización de las Naciones Unidas
3 para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Unión Internacional de los Trabajadores de la Alimentación,
4 Agrícolas, Hoteles, Restaurantes, Tabaco y Afines (UITA). Primera edición. Ginebra, Suiza. 111 p.

5 INEGI 2010. Censo de Población y Vivienda INEGI. Consultado julio 2015. Disponible en:
6 http://www.inegi.org.mx/sistemas/consulta_resultados/iter2010.aspx

7 Labrador, J. y Altieri, M. 1995. Manejo y diseño de sistemas agrícolas sustentables. Ministerio de
8 Agricultura, Pesca y Alimentación, Secretaría General de Estructuras Agrarias. Hojas divulgadores Núm.
9 6-7/94 HD. 52 p.

10 León, T. 2012. Agroecología: la ciencia de los agroecosistemas - La perspectiva ambiental. Tesis Doctoral.
11 Universidad Nacional de Colombia - Instituto de Estudios Ambientales. Colombia. 261 p.

12 López, W. 2014. Análisis del manejo de cuencas como herramienta para el aprovechamiento sustentable de
13 recursos naturales. Revista Chapingo Serie Zonas Áridas. 13(2): 39-45.

14 Martínez, I. y Baeza, M. 2017. Enfoques de género en el papel de la mujer rural en la agricultura cubana.
15 Revista Prolegómenos Derechos y Valores. 20(39):29-38.

16 Masera, O.; Astier, M. y López-Ridaura, S. 1999. Sustentabilidad y manejo de recursos naturales: el marco
17 de evaluación MESMIS. Mundi-Prensa, GIRA, Instituto de Ecología. Primera edición. México. 109 p.

18 Melchor-Marroquín, J. y Chagoya-Fuentes, J. 2016. Diagnóstico de la erosión hídrica en la cuenca del río
19 Tuxpan, Veracruz, México. Aqua-LAC. 8:25-35.

20 Merluzzi, E. 2010. Manual de buenas prácticas agrícolas. Unidad de gestión ambiental, Servicio Nacional
21 de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA). Primera edición. Argentina. 122 p.

22 Mesa, A. R. y Machado, H. 2009. Capacitación de productores y directivos para la adopción de tecnologías
23 de producción animal sostenible. Pastos y Forrajes. 32(1):1-8.

1 NOM-232-SSA1-2009. 2010. Norma Oficial Mexicana. Diario Oficial de la federación. Plaguicidas: que
2 establece los requisitos del envase, embalaje y etiquetado de productos grado técnico y para uso agrícola,
3 forestal, pecuario, jardinería, urbano, industrial y doméstico.

4 PND. 2013-2018. Plan Nacional de Desarrollo. Gobierno de la república. México. 82 pp.

5 Ramírez, J. 2008. Ruralidad y estrategias de reproducción campesina en el valle de Puebla, México.
6 Cuadernos de Desarrollo Rural. 5:37-60.

7 Rondot, P. y Marie-Hélène, C. 2001. Organizaciones de productores agrícolas: Su contribución al
8 fortalecimiento de las capacidades rurales y reducción de la pobreza. *In:* International Workshop on
9 Strengthening Producer Organizations. Banco Mundial. Washington. EUA. 91 pp.

10 Ruiz-Rosado, O. 2001. The systems approach for sustainable development at catchment and parish group
11 levels. *The International Journal of Sustainable Development & World Ecology.* 8:79-84.

12 Ruiz-Rosado, O. 2012. La cuenca hidrológica como un sistema: perspectivas de desarrollo. *In:* Memorias
13 IV Coloquio Jurídico Internacional del Agua. Reflexiones para mejorar el marco jurídico de la
14 administración del agua. México.

15 SAGARPA, 2017. Diversificación de mercados, garantía de comercio. Consultado en julio 2017. Disponible
16 en: <https://www.gob.mx/sagarpa/articulos/diversificacion-de-mercados-garantia-de-comercio>

17 Sarandón, S. y Flores, C. 2009. Evaluación de la sustentabilidad en agroecosistemas: Una propuesta
18 metodológica. *Agroecología* 4:19-28.

19 Sarandón, S. y Flores, C. 2014. Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas
20 sustentables. Universidad Nacional de La Plata. Primera edición. La Plata, Argentina. 467 p.

21 SEMARNAT. 2002. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Evaluación de la degradación
22 del suelo causado por el hombre en la República Mexicana Escala 1:250.000. Memoria Nacional. México,
23 D. F. 76 pp.

24 Serageldin, I. 1996. Sustainability as opportunity and the problem of social capital. *The Brown Journal of*
25 *World Affairs.* 3:187-203.

1 Smyth, A. J. and Dumanski, J. 1993. FESLM: An international framework for evaluating sustainable land
2 management. A discussion paper. FAO. World Soil Resources Report 73. Roma, Italia. 74 p.

3 Stupino, S.; Frangi, J.; Sarandón, S.; Arturi, M. y Ferreira, A. 2008. Plant diversity in two farm under organic
4 and conventional management in La Plata, Argentina. A case study. Revista Brasileira de Agroecología.
5 3:24-35.

6 Vázquez, L. 2008. Preguntas y respuestas sobre agricultura sostenible. Una contribución a la transformación
7 de los sistemas agrícolas sobre bases agroecológicas. Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal
8 (INISAV), Ministerio de la agricultura. 21 p. Consultado: mayo 2016. Disponible en: [http:](http://www.inisav.cu/publicaciones/otras)
9 www.inisav.cu/publicaciones/otras.

10 Ventana Systems Inc. 2010. Vensim ® PLE. Consultado enero 2015. Disponible en:
11 <http://www.vensim.com/cgi-bin/download.exe>.

12 Vilaboa-Arroniz, J.; Olgúin-Palacios, C.; Reta-Mendiola, J.; López-Ortiz, S.; López-Romero, G. y Álvarez-
13 Ávila, M. C. 2014. Angostillo: microrregión de atención prioritaria en Paso de Ovejas, México.
14 Agroproductividad. 7:3-9

15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25

CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS.

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25

Hipótesis específica uno: el conjunto de manejos agrícolas en la microcuenca del Río Paso Moral no permite la conservación del agua, suelo y biodiversidad.

La hipótesis específica uno se rechaza parcialmente. Puesto que, el conjunto de los manejos agrícolas de la microcuenca del Río Paso Moral permite muy bajos niveles de conservación del agua, suelo y biodiversidad.

Principalmente los productores no realizan prácticas de manejo que contribuyan a la conservación del agua y suelo, con excepción del laboreo del suelo, donde los productores realizan escaso uso de maquinaria. Con respecto a las prácticas de manejo que conserven la biodiversidad, aunque existe un manejo que tiende a diversificar los cultivos y a la poca utilización de agroquímicos, existe una gran diferencia entre la superficie de cultivos y los espacios remanentes de selva baja caducifolia comparada con la ganadería extensiva; se corre el riesgo de continuar realizando el cambio de uso de suelo en favor de la ganadería extensiva.

Hipótesis específica dos: el conjunto de manejos agrícolas en la microcuenca del Río Paso Moral no permite la producción y comercialización de alimentos y bienes agropecuarios.

La hipótesis específica dos se rechaza parcialmente. Debido a que, el conjunto de manejos agrícolas de la microcuenca del Río Paso Moral permite niveles bajos de producción y comercialización de alimentos y bienes agropecuarios. La producción depende de insumos externos como semillas, maquinaria, agroquímicos y subsidios; haciendo al productor más vulnerable a la oferta, fluctuaciones de mercado, al incremento de los precios y al paternalismo. Asimismo, se presenta la amenaza de que no se continúe con la actividad agrícola por falta de interés de los herederos al no ser una actividad rentable y no existe la participación de la mujer. Respecto a la comercialización, los productores solo tienen al intermediario como único punto de venta, con el riesgo de estar expuestos al precio que él disponga pagar. Mientras que la nula organización de productores, no les permite articular sus necesidades, compartir sus experiencias y construir acciones colectivamente, como tener mayores oportunidades de venta.

1 Hipótesis específica tres: el conjunto de manejos agrícolas en la microcuenca del Río Paso Moral no permite
2 satisfacer las necesidades (educación, salud, alimentación y vivienda) de los productores y sus familias a
3 través del tiempo.

4 La hipótesis específica tres se rechaza parcialmente. Dado que, el conjunto de manejos agrícolas en la
5 microcuenca del Río Paso Moral permite satisfacer en cierto grado las necesidades (educación, salud,
6 alimentación y vivienda) de los productores y sus familias. Específicamente no se satisfacen en alguna
7 medida las necesidades básicas de educación, salud y alimentación, aunque si la de vivienda. Existe un alto
8 grado de marginación, ya que se presenta la carencia de oportunidades y ausencia de capacidades para
9 adquirirlas o generarlas. Los productores se encuentran más o menos satisfechos con el cumplimiento de
10 sus necesidades, pero reconocen como necesidad vulnerable a la salud. Con respecto a educación, si bien
11 existe un promedio de escolaridad bajo, los productores tienen interés en recibir cursos de capacitación,
12 pero no cuentan con el acceso a ellos. En alimentación, los productores solo consumen el maíz que producen
13 y animales de traspatio, mientras que otros productos agrícolas tienen que adquirírselos.

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES.

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24

1. Conclusiones generales.

La agroecología es una transdisciplina que desde diversas disciplinas científicas, un enfoque sistémico, así como conocimientos y saberes de los productores, estudia, diseña y maneja agroecosistemas. La triple perspectiva de la agroecología la vuelve una ciencia transdisciplinar, una práctica productiva en franca oposición a la agricultura tipo “revolución verde” y finalmente en un movimiento social ligado con la reivindicación de los productores y consumidores en busca del cambio del sistema alimentario.

La cuenca hidrográfica es la unidad básica para llevar a cabo el manejo sustentable de los recursos naturales, ya que se plantea como un espacio territorial, donde se generan interrelaciones e interdependencias entre los recursos naturales y la sociedad que hace uso de ellos. Es necesario entenderla desde un enfoque sistémico y de manejo integrado para lograr el manejo sustentable de los recursos naturales.

La agricultura sustentable es un concepto que, a pesar de la diversidad de su conceptualización, existen ciertas consistencias entre las definiciones que sirven como base para proponer una a nivel de cuenca. Diversos autores concuerdan en que debe ser un concepto definido dentro de un marco teórico, donde destaca la perspectiva técnico-biológica y la agroecología; también debe abordar las dimensiones básicas de la sustentabilidad (ecológica, económica y social) y tener en cuenta no solo la escala temporal sino también la espacial. Finalmente, apoyándose de estos aspectos, se define a la agricultura sustentable a nivel de cuenca como el conjunto de manejos agrícolas de los recursos naturales de una cuenca (agua, suelo, biodiversidad), que permiten su conservación a través del tiempo, así como la producción y comercialización de alimentos y bienes agropecuarios para satisfacer las necesidades (educación, salud, alimentación y vivienda) de los productores y sus familias.

1 No existe un marco metodológico único para evaluar la sustentabilidad, la elección o creación de alguno de
2 ellos dependerá de los objetivos, la disponibilidad de información y los conceptos asumidos para la
3 evaluación. Las evaluaciones de sustentabilidad agrícola a nivel de cuenca hidrográfica; deberán integrar
4 las dimensiones básicas (ecológica, económica y social) y considerar las interrelaciones entre los diversos
5 agroecosistemas presentes y su manejo, en relación con otros factores externos e internos en la cuenca; con
6 el potencial de seleccionar indicadores de forma participativa con los involucrados (académicos,
7 productores e informantes clave) y la incursión en los métodos estadísticos multivariados, que coadyuven
8 en la interpretación de dichas interrelaciones.

9
10 La caracterización de la microcuenca Paso Moral aporta un marco referencial para definir la escala espacial
11 de posibles investigaciones y de esa forma unificar criterios para la delimitación al momento de realizar la
12 colecta y sistematización de información. Además, el análisis geoespacial logrado con sistemas de
13 información geográfica, como herramienta de apoyo, constituyó un aporte para dilucidar las variables que
14 actúan a una misma escala espacial y generar información que puede servir para adoptar planes de manejo,
15 cuyos resultados son más eficientes y visibles en el corto plazo. La información de la microcuenca Paso
16 Moral presentada puede ser utilizada como una base para la elaboración de planes, programas y proyectos
17 específicos sobre el manejo de recursos naturales, de proyectar los cambios e inclusive modelarlos y evaluar
18 su impacto antes de implementarlos, como en el manejo y desarrollo de la agricultura sustentable.

19
20 El grado de sustentabilidad agrícola de la microcuenca Paso Moral, de acuerdo a las condiciones locales, es
21 bajo. Es decir, el conjunto de los manejos agrícolas no conserva los recursos naturales, específicamente agua
22 y suelo; además la producción y comercialización se ven en riesgo por la dependencia a insumos externos,
23 subsidios, el poco o nulo interés de continuar por parte de algún heredero, la poca participación de la mujer,
24 el intermediario como único punto de venta y la nula organización de productores, asimismo no se satisfacen
25 en alguna medida las necesidades de educación, salud y alimentación de los productores, por lo cual, si estas

1 condiciones continúan, la agricultura de la microcuenca no se mantendrá en el tiempo. Para contrarrestar
2 los diferentes puntos críticos encontrados, se proponen prácticas basadas en un enfoque agroecológico, que
3 deberán ser empleadas paulatinamente y acorde a la disposición de los productores, mediante un programa
4 o proyecto de manejo integrado de cuenca.

5
6 La metodología desarrollada cumple con su objetivo al ser una herramienta útil en la evaluación de la
7 sustentabilidad agrícola, lo que significa un avance importante en hacer operativo y medible el concepto,
8 determinar los puntos críticos y generar propuestas para los productores y tomadores de decisión, en busca
9 de la transición a la agricultura sustentable.

10

11 2. Recomendaciones generales.

12

13 La metodología desarrollada para evaluar la sustentabilidad agrícola a nivel de microcuenca contempla
14 etapas de implementación de propuestas de corrección y monitoreo. En este sentido, es necesario generar
15 escenarios de propuestas en el modelo de simulación acorde a la disposición y requerimientos de los
16 productores, así como validar el modelo en colaboración con productores cooperantes; también, el modelo
17 puede ser mejorado ya que existe la posibilidad de integrar más interrelaciones entre variables. Además, se
18 deben realizar evaluaciones de forma sistematizada.

19

20 Es necesario implementar cursos de capacitación con los productores, pero también con jóvenes y mujeres,
21 donde se desarrollen temas desde el enfoque agroecológico, principalmente en temas relacionas a prácticas
22 de conservación de agua, suelo y biodiversidad.

23

24 Promover estrategias y acciones que faciliten la constitución de figuras asociativas funcionales por parte de
25 los productores, con el fin de fortalecer, desde el enfoque agroecológico, sus capacidades estratégicas,

1 técnicas y financieras. A través de la organización de productores y de mejorar sus capacidades estratégicas
2 se podrá tener mayor diversificación de su mercado.
3
4 Continuar con el proyecto producción de semilla de maíz variedad mejorada CP-569 del Colegio de
5 Postgraduados, Campus Veracruz y tener retroalimentación de los productores de la microcuenca, ya que
6 se encuentra dentro de su microrregión de atención prioritaria. Si se logra tener variedades tropicales de
7 buena calidad y menor precio, será una valiosa opción para los productores.