



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
POSGRADO EN CIENCIAS DE LA SOSTENIBILIDAD  
INSTITUTO DE ECOLOGÍA  
POLÍTICA, GOBERNANZA E INSTITUCIONES

**VULNERABILIDAD DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE ALGODÓN EN  
CHIHUAHUA Y LA COMARCA LAGUNERA**

TESIS:  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS DE LA SOSTENIBILIDAD

PRESENTA:  
MARIO EDUARDO PÉREZ HERNÁNDEZ

DRA. HELENA COTLER ÁVALOS (TUTORA PRINCIPAL)  
CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS DE INFORMACIÓN GEOESPACIAL

DRA. ROSARIO HAYDEE PÉREZ ESPEJO (COTUTORA)  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS, UNAM

DR. RODOLFO OMAR ARELLANO AGUILAR (MIEMBRO DE COMITÉ TUTOR)  
FACULTAD DE CIENCIAS, UNAM

DRA. AMY MICHELLE LERNER (REVISORA)  
LABORATORIO NACIONAL DE CIENCIAS DE LA SOSTENIBILIDAD, INSTITUTO DE  
ECOLOGÍA, UNAM

DRA. LETICIA MERINO PÉREZ (REVISORA)  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES SOCIALES, UNAM

CIUDAD UNIVERSITARIA, CIUDAD DE MÉXICO, FEBRERO 2020



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Coordinación de Estudios de Posgrado  
Ciencias de la Sostenibilidad  
Oficio: CEP/PCS/1008/19  
Asunto: Asignación de Jurado

M. en C. Ivonne Ramírez Wence  
Directora General de Administración Escolar  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Presente

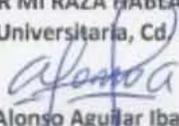
Me permito informar a usted, que el Comité Académico del Programa de Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad, en su quincuagésimo primera sesión del 8 de octubre del presente año, aprobó el jurado para la presentación del examen para obtener el grado de **MAESTRA EN CIENCIAS DE LA SOSTENIBILIDAD**, de la alumna **PÉREZ HERNÁNDEZ MARIO EDUARDO** con número de cuenta **98551736** con la tesis titulada "Vulnerabilidad del sistema de producción de algodón en Chihuahua y la Comarca Lagunera", bajo la dirección de la Dra. Helena Cotler Avalos y de la Dra. Rosario Haydee Pérez Espejo.

PRESIDENTE: DRA. LETICIA MERINO PÉREZ  
VOCAL: DR. RODOLFO OMAR ARELLANO AGUILAR  
SECRETARIO: DRA. AMY MICHELLE LERNER  
VOCAL: DRA. ROSARIO HAYDEE PÉREZ ESPEJO  
VOCAL: DRA. HELENA COTLER AVALOS

Sin más por el momento me permito enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE,

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria, Cd. Mx., 11 de diciembre de 2019.

  
Dr. Alonso Aguilar Ibarra  
Coordinador  
Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad, UNAM

## AGRADECIMIENTOS

Al Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad de la Universidad Nacional Autónoma de México, sus directivos y personal administrativo, por brindarme la oportunidad de ser parte de este programa.

A los profesores del Posgrado por su valiosa contribución a mi formación, mi amplio reconocimiento para el cuerpo académico.

A la Dra. Helena Cotler Ávalos y la Dra. Rosario Pérez Espejo, por su acertada guía durante el desarrollo de este proyecto.

Al Dr. Omar Arellano Aguilar, por su invaluable orientación a lo largo del proceso que tomó este proyecto.

A la Dra. Amy Lerner y la Dra. Leticia Merino Pérez, por la ardua revisión del presente trabajo, cuyos comentarios contribuyeron de manera significativa a su fortalecimiento.

## **AGRADECIMIENTOS PERSONALES**

A Liliana Sánchez, porque solo se necesita un motivo para no claudicar, gracias por estar aquí.

A Aldo Bernal, por ser un excelente cómplice y hermano en este camino.

A Saúl Castañeda, por su gran amistad y el brillante caos que siempre inspira.

Al Lic. Marco Antonio Ramírez Velázquez, por las facilidades otorgadas para continuar y concluir este proyecto.

## ÍNDICE

---

AGRADECIMIENTOS.....	3
AGRADECIMIENTOS PERSONALES.....	4
Lista de tablas.....	7
Lista de cuadros.....	8
Lista de figuras .....	8
Resumen.....	11
INTRODUCCIÓN .....	12
1. Objetivo .....	15
1.1 Objetivos particulares .....	15
2. Hipótesis.....	16
3. Justificación .....	16
CAPITULO I .....	18
Antecedentes .....	18
1. Vulnerabilidad en el sector agrícola.....	18
2. <i>Gossypium hirsutum</i> , el algodón mexicano .....	21
3. Condiciones para la producción de algodnero.....	25
4. Contexto actual de la producción de algodón.....	28
4.1 Producción de algodón en el estado de Chihuahua y la Comarca Lagunera .....	30
CAPÍTULO II .....	36
Marco Teórico .....	36
1. Vulnerabilidad .....	36
1.1 En enfoque de los riesgos a desastres naturales .....	37
1.2 El enfoque de las ciencias de la sostenibilidad .....	38
1.3 El enfoque del cambio climático .....	41
2. Marco de referencia para la estimación de la vulnerabilidad en el sistema de producción de algodón.....	44
2.1 Exposición.....	45
2.2 Sensibilidad .....	45
2.3 Capacidad adaptativa .....	46
3. La relación entre la vulnerabilidad y la sostenibilidad .....	46
4. Sistema socio-ecológico .....	48

5. La agricultura como sistema socio-ecológico.....	51
5.1 Identidad del sistema socio-ecológico de agricultura industrial.....	52
CAPÍTULO III .....	56
Método.....	56
1. Caracterización del sistema socio-ecológico.....	56
2. Sitios de estudio .....	57
3. Análisis de la vulnerabilidad .....	59
3.1 Selección de variables para el análisis de la vulnerabilidad .....	62
3.2 Estimación de la vulnerabilidad .....	83
3.3 Mapeo de la vulnerabilidad.....	85
CAPÍTULO IV .....	86
Resultados .....	86
1. Caracterización del sistema socio-ecológico del algodón.....	86
1.1 Historia natural del algodón <i>G. hirsutum</i> .....	86
1.2 Historia del desarrollo del cultivo de algodón en el territorio mexicano .....	88
1.2 Producción actual del algodón.....	107
1.3 Conceptualización del SSE de algodón.....	109
2. La vulnerabilidad del sistema socio-ecológico del algodón .....	133
2.1 Subíndice de exposición .....	133
2.2 Subíndice de sensibilidad .....	139
2.3 Subíndice de capacidad adaptativa.....	145
2.4 Índice de vulnerabilidad .....	152
DISCUSIÓN.....	159
CONCLUSIONES .....	172
Referencias.....	174

## Lista de tablas

No.	Tabla	Página
1	Superficie cultivada con algodón en el estado de Chihuahua durante el 2017	31
2	Superficie cultivada con algodón en la Comarca Lagunera durante en 2017	34
3	Valores ponderados para cada escala de sequía considerado por el MSM	65
4	Láminas de riego para cultivos comúnmente sembrados en las regiones de estudio	71
5	Categorías de vulnerabilidad establecidas	85
6	Especies del género <i>Gossypium</i> distribuidas en México	87
7	Número de terrenos en los municipios de interés en Chihuahua	114
8	Superficie promedio terrenos en Chihuahua de acuerdo con tipo de tenencia	115
9	Número y superficie relativa de terrenos en Chihuahua de acuerdo con el tipo de tenencia	117
10	Número de terrenos en los municipios de interés en La Comarca Lagunera	119
11	Superficie promedio terrenos en La Laguna de acuerdo con tipo de tenencia	119
12	Número y superficie relativa de terrenos en La Laguna de acuerdo al tipo de tenencia	121
13	Disponibilidad de los acuíferos en los municipios de estudio en Chihuahua	124
14	Disponibilidad de los acuíferos en los municipios de estudio La Laguna	124
15	Distritos de Riego en las zonas de estudio en el estado de Chihuahua y la Comarca Lagunera	125
16	Variedades de algodón disponibles para Chihuahua y La Laguna	126
17	Niveles de exposición de los municipios que cultivan algodón en Chihuahua	134
18	Coefficiente determinación del subíndice de exposición para Chihuahua	136
19	Niveles de exposición de los municipios que cultivan algodón en La Laguna	137
20	Coefficiente determinación del subíndice de exposición para La Laguna	138
21	Niveles de sensibilidad de los municipios que cultivan algodón en Chihuahua	140
22	Coefficiente determinación del subíndice de sensibilidad para los municipios de Chihuahua	142
23	Niveles de sensibilidad de los municipios que cultivan algodón en La Laguna	143
24	Coefficiente determinación del subíndice de sensibilidad para los municipios de La Laguna	144
25	Niveles de capacidad adaptativa de los municipios que cultivan algodón en Chihuahua	146
26	Coefficiente determinación del subíndice de la capacidad adaptativa para los municipios de Chihuahua	148
27	Niveles de capacidad adaptativa de los municipios que cultivan algodón en La Laguna	149
28	Coefficiente determinación del subíndice de la capacidad adaptativa para los municipios de la Comarca Lagunera	151
29	Niveles estimados de vulnerabilidad en los municipios de Chihuahua que cultivan algodón	153
30	Coefficiente determinación del índice de vulnerabilidad para los municipios de Chihuahua	155
31	Niveles de vulnerabilidad de los municipios que cultivan algodón en La Laguna	156
32	Coefficiente determinación del índice de vulnerabilidad para los municipios La Laguna	158

## Lista de cuadros

No.	Cuadro	Página
1	Definición de vulnerabilidad y sus dimensiones consideradas en el estudio	44
2	VARIABLES UTILIZADAS PARA EL SUBÍNDICE DE EXPOSICIÓN	65
3	VARIABLES UTILIZADAS PARA EL SUBÍNDICE DE SENSIBILIDAD	73
4	VARIABLES UTILIZADAS PARA EL SUBÍNDICE DE CAPACIDAD ADAPTATIVA	79
5	Resumen de eventos asociados al cultivo de algodón en La Laguna	103
6	Resumen de eventos asociados al cultivo de algodón en Chihuahua	106
7	Normatividad e instrumentos de operación relacionados con la gestión de recursos	130

## Lista de figuras

No.	Figura	Página
1	Morfología del algodón <i>G. hirsutum</i>	21
2	Ramas simpodiales del algodón <i>G. hirsutum</i>	22
3	Formación de botones florales y cápsulas del algodón	23
4	Aspecto de la producción de algodón GM en el norte de México	27
5	Regiones y municipios algodoneiros en Chihuahua	30
6	Superficie promedio sembrada con algodoneiros en Chihuahua, periodo 2003-2017	33
7	Municipios algodoneiros en la Comarca Lagunera	33
8	Superficie promedio sembrada con algodón en la Comarca Lagunera, periodo 2003-2017	34
9	Modelo de evaluación de riesgos a desastres	38
10	Modelo de vulnerabilidad propuesto por Turner y colaboradores (2003)	40
11	Componentes del marco de análisis de vulnerabilidad AR4 propuesto por el IPCC	42
12	Componentes del marco de análisis de vulnerabilidad AR5 propuesto por el IPCC	43
13	Dimensiones del análisis de la vulnerabilidad del SSE del algodón	45
14	Subsistemas centrales en el marco de los sistemas socio-ecológicos (SSE)	50
15	Rasgos asociados a la agricultura industrial	54
16	Producción de algodón en las entidades de estudio en el ciclo agrícola 2017	58
17	Dimensiones del análisis de la vulnerabilidad del SSE del algodón	60
18	Factores que afectan la productividad agrícola	61
19	Pantalla de inicio del Monitor de Sequía en México	64
20	Grado de riesgo por granizo en los municipios de estudio	67
21	Aspecto del Atlas Climático Digital de México-Precipitación promedio	69
22	Aspecto del Atlas Climático Digital de México-Temperatura máxima promedio	70
23	Acuíferos en los municipios de estudio en el estado de Chihuahua y La Laguna	72
24	Fuente predominante del agua concesionada a nivel municipal en Chihuahua y La Laguna	75
25	Cuencas en los municipios de estudio en el estado de Chihuahua y La Laguna	76
26	Aspecto del espacio de trabajo de Qgis	85

27	Distribución las especies de <i>Gossypium</i> en México	88
28	Áreas de cultivo de algodón en el imperio Azteca y zonas cercanas	92
29	Regiones algodoneras de México en 1934	97
30	Evolución de la superficie sembrada con algodón en la Comarca Lagunera durante el periodo de 1980 a 2017	102
31	Evolución de la superficie sembrada con los principales cultivos en el Distrito de Riego 005 Delicias, durante el periodo de 1951 a 1968	105
32	Evolución de la superficie sembrada con algodón en el estado de Chihuahua durante el periodo de 1980 a 2017	106
33	Producción mundial de fibra de algodón (miles de toneladas) y porcentaje acumulado de la producción, 2014	109
34	Producción de algodón hueso (miles de toneladas) en México durante el periodo 1985 a 2017	108
35	Cadena de valor del algodón	110
36	Sistema socio-ecológico del algodón	111
37	Ecorregión de las zonas de estudio y suelo agrícola de riego	112
38	Degradación de suelo y suelo agrícola de riego.	113
39	Aspecto de las regiones algodoneras en el municipio de Ascensión, Chihuahua	118
40	Aspecto de las regiones algodoneras en el municipio en el municipio Francisco I. Madero, Coahuila	121
41	Disponibilidad de cuencas en los municipios de interés en Chihuahua y La Laguna, 2017	122
42	Disponibilidad de acuíferos en los municipios de interés en Chihuahua y La Laguna, 2017	123
43	Distritos de riego y suelo agrícola de riego en el estado de Chihuahua y la Comarca Lagunera	125
44	Etapas de liberación de algodón GM	128
45	Producción promedio de algodón en el estado de Chihuahua, registradas durante el periodo de 2003 a 2018	129
46	Producción promedio de algodón La Laguna, registradas durante el periodo de 2003 a 2018	129
47	Asociación de las variables con el subíndice de exposición en Chihuahua	135
48	Distribución de los niveles de exposición en los municipios que siembran algodón en Chihuahua	135
49	Análisis de colinealidad entre las variables del subíndice de exposición para Chihuahua	136
50	Distribución de los niveles de exposición en los municipios que siembran algodón en La Laguna	137
51	Asociación de las variables con el subíndice de exposición en La Laguna	138
52	Análisis de colinealidad entre las variables del subíndice de exposición para La Laguna	139
53	Asociación de las variables con el subíndice de sensibilidad en Chihuahua	141
54	Distribución de los niveles de sensibilidad en los municipios que siembran algodón en Chihuahua	141
55	Análisis de colinealidad entre las variables del subíndice de sensibilidad para Chihuahua	142
56	Distribución de los niveles de sensibilidad en los municipios que siembran algodón en La Laguna.	143
57	Asociación de las variables con el subíndice de sensibilidad en La Laguna	144
58	Análisis de colinealidad entre las variables del subíndice de sensibilidad para La Laguna	145
59	Asociación de las variables con el subíndice de capacidad adaptativa en Chihuahua	147
60	Distribución de los niveles capacidad adaptativa en los municipios que siembran algodón en Chihuahua	148

61	Análisis de colinealidad entre las variables del subíndice de capacidad adaptativa para Chihuahua	149
62	Asociación de las variables con el subíndice de capacidad adaptativa en La Laguna	150
63	Distribución de los niveles de capacidad adaptativa en los municipios que siembran algodón en La Laguna	151
64	Análisis de colinealidad entre las variables del subíndice de capacidad adaptativa la Comarca Lagunera	152
65	Asociación de los subíndices con la vulnerabilidad en Chihuahua	154
66	Distribución de los niveles vulnerabilidad en los municipios que siembran algodón en Chihuahua	154
67	Vulnerabilidad y dinámica productiva de algodónero en Chihuahua durante el ciclo agrícola 2017	155
68	Asociación de los subíndices con la vulnerabilidad en La Laguna	157
69	Distribución de los niveles de vulnerabilidad en los municipios algodoneiros de La Laguna	157
70	Vulnerabilidad y dinámica productiva de algodónero en La Laguna durante el ciclo agrícola 2017	158

## Resumen

El algodón *Gossypium hirsutum*, cuyo centro de origen y domesticación descrito se ubica en la región Mesoamérica, es uno de los cultivos agroindustriales no alimentarios de mayor relevancia en el país. Dada su historia natural, el algodón cuenta con importantes antecedentes de aprovechamiento en el territorio nacional, siendo el norte de la república la actual zona de producción de la fibra. A partir de su desarrollo en dicha región, el cultivo se asocia con la agricultura industrial, modelo con alta disponibilidad de recursos, pero ampliamente cuestionado debido a prácticas que se contraponen con la sostenibilidad de los agroecosistemas. En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar la vulnerabilidad (V) del socioecosistema del algodón en el estado de Chihuahua (Chih.) y la Comarca Lagunera (CL), considerando los factores hidrometeorológicos y ambientales con potencial de impacto, las condiciones del sistema y la habilidad de éste para afrontar dichos factores de impacto. Con base en información a escala municipal, se seleccionaron diferentes variables para la construcción de los subíndices de exposición (E), sensibilidad (S) y capacidad adaptativa (CA). A partir de éstos, se estimó la V para cada uno de los municipios algodoneiros en Chih. y la CL. En términos generales, la V del sistema de producción de algodón en la CL fue mayor (80 % de los municipios con V = alta a muy alta), condición que se relaciona en mayor medida con una CA reducida y alta S, mientras que en Chih. la V se relacionó en mayor medida con la S del sistema. En ambas regiones, la mayor parte de la producción de fibra de algodón se realizó en condiciones de baja V.

## INTRODUCCIÓN

La agricultura es una de actividades humanas con mayor susceptibilidad a condiciones climáticas adversas, por lo que es señalada como un sector vulnerable (Dasgupta *et al.*, 2014). Además de la exposición a variaciones climáticas (e.g. temperatura, precipitación) y fenómenos hidrometeorológicos (e.g. sequías), la vulnerabilidad de los sistemas agrícolas depende de factores internos que influyen el nivel de daños experimentado. Asimismo, la condición vulnerable es modulada por la habilidad de estos sistemas para afrontar, adaptarse y recuperarse de las perturbaciones ambientales. De esta manera, los estudios especializados señalan que la vulnerabilidad es una condición multifactorial y multidimensional, particularmente en el sector agrícola (Ahumada-Cervantes *et al.*, 2014; Monterroso *et al.*, 2014; Pereira *et al.*, 2014).

En términos agronómicos, la viabilidad de la actividad la determinan principalmente variables climáticas, mientras que los factores que limitantes están asociados a la disponibilidad de recursos (e.g. agua, nutrientes) (NAS, 2016). Las variaciones en la temperatura y nivel de precipitación gradualmente afectan a los sistemas agrícolas, ocasionando presión o estrés, mientras que la ocurrencia de eventos extremos como las sequías, representan fenómenos con el potencial de impactar de manera catastrófica (Mumby *et al.*, 2014). Tanto las variaciones en los rangos climáticos como los fenómenos extremos pueden influir en la disponibilidad de recursos, principalmente hídricos, el factor más importante que posibilidad la actividad agrícola. En consecuencia, los sistemas agrícolas ubicados en zonas áridas y semiáridas presentan un alto nivel de exposición a fenómenos hidrometeorológicos que afectan la disponibilidad agua (Liverman, 1990, 1999; Pereira *et al.*, 2014; Zarafshani *et al.*, 2012).

El grado de respuesta a los factores de exposición y el nivel de los daños ocasionados por la ocurrencia de estos, se conoce como la sensibilidad del sistema. La sensibilidad de la agricultura a los factores de exposición, entendida como el grado de respuesta y el nivel de los daños ocasionados por la ocurrencia de estos (Monterroso *et al.*, 2014; Mumby *et al.*, 2014), tiene relación directa con el contexto del sistema. Nuestro país, con un amplio rango de ambientes agrícolas, cuenta con un mosaico heterogéneo de condiciones en las que se realiza la actividad. Diferentes factores sociales, culturales, económicos y políticos moldean a los agroecosistemas, resultando en el tipo de prácticas, infraestructura y tecnología implementadas (Liverman, 1990). Además, el desarrollo histórico de las regiones agrícolas en nuestro país tiene gran relevancia en la determinación de las condiciones actuales de los sistemas. De esta manera, el nivel de daño y de respuesta del sistema ante los factores

de exposición, se circunscribe a las condiciones intrínsecas al sistema (Vargas & Paneque, 2017), en otras palabras, a su identidad.

Por otra parte, la habilidad para afrontar, adaptarse y recuperarse de las condiciones cambiantes reside en la capacidad y conjunto de recursos con los que cuenta el sistema. En la literatura especializada, la capacidad de adaptación se asocia con diferentes capitales disponibles, los cuales actúan en conjunto para hacer frente y sobreponerse a los daños ocasionados por factores que estresan o impactan a la agricultura (Monterroso *et al.*, 2014; Mumby *et al.*, 2014; Vargas & Paneque, 2017). De la misma forma, la posibilidad de modificar las condiciones que influyen en el nivel de exposición y daño depende de la habilidad del sistema para adaptarse a las modificaciones ocasionadas por las variaciones climáticas y los fenómenos extremos. Es así que la capacidad adaptativa, dentro de los estudios de vulnerabilidad, es la dimensión de análisis que centra las opciones para transitar a estados de menor vulnerabilidad (Monterroso *et al.*, 2014).

Dada la importancia del concepto, en los últimos años la vulnerabilidad del sector agrícola en México se ha estudiado a nivel municipal y nivel local, particularmente hacia los efectos del cambio climático (CC). Monterroso y colaboradores (2014) muestran que a nivel municipal existen diferentes niveles de vulnerabilidad a este fenómeno, siendo las municipalidades de la región centro y sureste del país las más vulnerables. Por su parte, Ahumada-Cervantes y colegas (2014) señalan que la vulnerabilidad al CC en las localidades de un municipio en el noroeste de la república es heterogénea, en contraste con la estimación realizada a nivel municipal. Por lo tanto, el nivel de vulnerabilidad observada para el sector agrícola depende, además de la ubicación geográfica, de la escala de análisis.

Respecto a los diferentes sistemas agrícolas, la mayor parte de los estudios de vulnerabilidad se dirigen a sistemas cuyo contexto se percibe como desfavorable, en términos de las dinámicas globales. Varias investigaciones han centrado su análisis en los pequeños productores, los agricultores tradicionales o campesinado, así como en poblaciones marginadas (Baethgen, 1997; Brondizio & Harvey *et al.*, 2014). Dichos estudios coinciden en que la vulnerabilidad de estos sistemas se debe a la gravedad de los daños ocasionados por diversos fenómenos y la reducida capacidad de respuesta asociada a la sensibilidad, lo que limita la posibilidad de adaptación. Con relación a esta habilidad, los estudios señalan que sus limitaciones se relacionan directamente con la disposición de recursos (e.g. capacitación técnica, tecnificación, financiamiento, organización). Por lo tanto, este tipo de sistemas, a pesar de encontrarse expuestos a variables climáticas similares a otros, generalmente exhiben mayor vulnerabilidad (Harvey *et al.*, 2014; Morton, 2007; Pereira *et al.*, 2014; Ureta *et al.*, 2012).

En el otro extremo, la vulnerabilidad de la agricultura basada en el alto consumo recursos (e.g. naturales y financieros), ha recibido menor atención debido a que comúnmente se percibe como un sistema especializado, con alta capacidad de respuesta ante diversas contingencias (Liverman, 1990). Un ejemplo de lo anterior es la agricultura industrial, término utilizado para describir a los sistemas con uso intensivo de recursos, altos niveles de mecanización y financiamiento (Cáceres, 2003; Clunies-Ross & Hildyard, 2013; Cuevas et al., 2011). Este tipo de agricultura incrementó su presencia en el paisaje rural mexicano durante la segunda mitad del siglo XX, de la mano de la llamada Revolución Verde (Borlaug *et al.*, 1969; Everson & Gollin, 2003; Morett Sánchez, 1987). Actualmente, este modelo es parte de la identidad de algunas zonas agrícolas del norte del país (aunque no de manera exclusiva), con extensas superficies productoras de granos, hortalizas y fibras destinadas a la agroindustria.

En el caso de las fibras, la mayor demanda de este tipo de materia prima se concentra en el algodón, convirtiéndolo en uno de los cultivos no alimentarios de mayor importancia en el mundo (Rocha-Munive *et al.*, 2018). El algodono en México tiene gran relevancia debido a su historial de producción, que parte desde la condición del país como centro de origen y domesticación de *Gossypium hirsutum* (Wendel *et al.* 2010), la especie de algodón con mayor producción a nivel mundial (FAO-SAGARPA, 2014). Históricamente cultivado en las regiones costeras del sureste mexicano, a finales del siglo XIX este cultivar se extendió a la zona norte del país, bajo condiciones biofísicas que requirieron la implementación de infraestructura para adecuar su producción (Aguilar, 2013). La introducción del algodón formó parte del proceso de “*agriculturización*” de las zonas áridas (Cerutti & Rivas, 2018) y de manera notable, desarrolló un sistema de cultivo con gran influencia en el contexto social, por lo que es conocido como un agente poblador de estas regiones (Aguilar, 2013).

El desplazamiento del cultivo de algodono a regiones áridas y semiáridas del país supone una mayor exposición a la ocurrencia de eventos extremos, particularmente sequias. Si bien estos fenómenos son frecuentes en el norte del país, existen otros factores que han impactado de manera negativa al sistema de producción del algodón (Roche-Munive *et al.*, 2018). A principios de la década de 1990, el manejo de plagas incrementó lo costos de producción a un nivel insostenible económica y ambientalmente (Aguilar, 2013; Traxler et al., 2001). Aunado a esto, la caída del precio de la fibra en los mercados internacionales y la introducción de fibras sintética en la industria textil, prácticamente colapsó a la agroindustria del algodón, reflejándose en una disminución significativa de la superficie de cultivo y por lo tanto de una fuente importante de empleo (Aguilar, 2013). No obstante, la implementación de diversas acciones y estrategias a mediados de la década de 1990, hicieron posible la recuperación del

sistema: la implementación de nuevas técnicas de cultivo, el incremento de los precios internacionales de la fibra, el uso de semillas genéticamente modificadas (GM) y los acuerdos bilaterales entre Estados Unidos de América (EE.UU.) y México para el control fitosanitario, contribuyeron a la recuperación de la agroindustria algodонера en el norte del país (Rocha-Munive *et al.*, 2018).

En la actualidad, el cultivo de algodón en el norte del país se realiza en condiciones de alta tecnificación, con aportes importantes de recursos humanos y financieros, y con altos porcentajes de uso de semillas GM (Rocha-Munive *et al.*, 2018). Con este patrón, el estado de Chihuahua se ha posicionado como el principal productor de algodón hueso en el país. Por su parte, la región conocida como la Comarca Lagunera, una de las regiones pioneras del cultivo de la fibra en el norte del país, muestra una tendencia diferente, y experimentó reducciones notables en la superficie de producción durante las últimas décadas (SIAP, 2018). La referencia al “oro blanco”, como se le conoció a la fibra durante al auge algodonero, se encuentra en desuso; sin embargo, la memoria de estas regiones algodonerías permite la continuidad de un sistema del que dependen cientos de productores, por lo que continúa siendo un cultivo importante.

El presente estudio tiene como propósito evaluar la vulnerabilidad del sistema de producción de algodón en el estado de Chihuahua y la región de la Comarca Lagunera, sistemas altamente tecnificados asociados a un modelo de la agricultura industrializada, desde una perspectiva de sistema socio-ecológico. Dado que la provisión de fibras y alimentos a nivel mundial depende en gran medida de la intensificación de las unidades de producción agrícola, es necesario analizar desde un enfoque sistémico, la influencia de diversos factores externos al sistema y las interacciones entre los factores internos que determinan la vulnerabilidad de un modelo de producción. El estudio de la vulnerabilidad del sistema de producción de algodón busca contribuir en el conocimiento sobre la conducta de los socioecosistemas altamente tecnificados, con el propósito de identificar en qué medida son vulnerables.

## **1. Objetivo**

Estimar la vulnerabilidad del sistema de producción del algodón en el estado de Chihuahua y la región de la Comarca Lagunera y determinar los factores con mayor influencia en dicha condición.

### **1.1 Objetivos particulares**

- Caracterizar el sistema socioecológico del algodón en los municipios productores de algodón en Chihuahua y la Comarca Lagunera.

- Identificar los factores de impacto y estrés que inciden en la vulnerabilidad del sistema socioecológico de algodón en el estado de Chihuahua y la Comarca Lagunera.
- Determinar y analizar las variables asociadas a la sensibilidad del sistema socioecológico del algodón.
- Identificar los factores que afectan la capacidad adaptativa del sistema socioecológico en ambas regiones de estudio.
- Identificar las variables de mayor relevancia para la vulnerabilidad del sistema en las zonas de estudio.

## 2. Hipótesis

La vulnerabilidad del cultivo de algodón en Chihuahua y la Comarca Lagunera a variaciones climáticas, fenómenos extremos y problemáticas ambientales, se asocia particularmente con la degradación de recursos naturales característico del modelo agroindustrial. Si bien la capacidad adaptativa de estos sistemas se incrementa en función la tecnificación y la disposición de recursos económicos, el contexto heterogéneo de la producción, caracterizado principalmente por la sensibilidad del sistema en cada municipio, resulta en diferentes niveles de vulnerabilidad.

En el caso de la Comarca Lagunera, la tendencia productiva de algodonerero a la baja, registrada en las últimas décadas, se asocia con un mayor nivel de vulnerabilidad, en comparación con las regiones algodonereras del estado de Chihuahua, con mayor capacidad para responder ante diferentes factores de impacto y estrés, que actualmente funge como el principal productor de la fibra debido a dicha habilidad.

## 3. Justificación

El algodón es uno de los cultivos no alimentarios de mayor relevancia para el sector agroindustrial, al ser la principal fibra natural destinada al sector textil. Aun cuando nuestro país no se encuentra entre los principales productores de esta fibra, la historia natural de la planta en la región mesoamericana, su relación con las culturas prehispánicas y su influencia en el desarrollo de diversas zonas agrícolas en el norte de México, ubican al algodonerero como un elemento de relevancia biológica, económica y social para el país. En la actualidad el estado de Chihuahua y la Comarca Lagunera cuentan con regiones algodonereras de gran importancia que aportan cerca de 80 % de la producción nacional, las cuales, dado el contexto socioeconómico y tecnológico en el que se desarrollan, pueden ser consideradas como un referente del modelo de agricultura industrial. No obstante, los contrastes en la dinámica productiva registrada durante las últimas décadas en ambas

regiones, insta a implementar análisis que no solo consideren los aspectos agronómicos o económicos, sino que integren las diferentes esferas de la sostenibilidad. Por esta razón, el presente estudio propone considerar al sistema de producción de algodón como un socioecosistema, a fin de integrar en el estudio diferentes factores ecológicos, económicos y sociales. En este sentido, si bien el modelo agroindustrial conceptualmente puede contraponerse al desarrollo sostenible, el análisis de la vulnerabilidad aporta un enfoque distinto con la posibilidad de abonar a la discusión de aquellas características de la agricultura industrial que ponen en riesgo la integridad y continuidad del sistema debido al grado de susceptibilidad a factores de impacto y estrés.

# CAPITULO I

## Antecedentes

### 1. Vulnerabilidad en el sector agrícola

El sector agrícola es uno de los sistemas con mayor sensibilidad a las variaciones climáticas y a los eventos extremos (IMTA, 2010). Debido a esta condición, se han desarrollado diversas aproximaciones para estudiar la susceptibilidad de la actividad a sufrir daños ocasionados por diversos factores. Si bien la actividad agrícola es resultado de la interacción de diversas variables, existe un conjunto de éstas que limitan o reducen el desempeño de la actividad, como por ejemplo la disponibilidad de recursos hídricos o la presión de plagas (NAS, 2015). Otro factor importante de presión es la volatilidad de mercados agrarios, característica propia del sector que tiene que ver con las elasticidades de la demanda y ofertas agrarias (Sumsi, 2011), el cual influye de manera importante en la teleconectividad de la vulnerabilidad (Eakin *et al.*, 2008). No obstante, dada la relevancia que ha ganado el CC y sus posibles impactos sobre el sector agrícola, la mayor parte de los estudios de vulnerabilidad se han enfocado en esta dinámica climática (Fisher *et al.*, 2002; Howden *et al.*, 2007). Con base en esto, a continuación, se presentan antecedentes relevantes de los estudios relacionados con la vulnerabilidad del sector agrícola mexicano.

En la década de 1990, Liverman analizó el impacto de las sequías en dos regiones áridas de México con diferencias principalmente en el tipo de tecnología y derechos sobre la tierra: Sonora, ubicado en el noroeste, y Puebla, ubicado en el centro del país. En ambos estados la ocurrencia de sequías es frecuente y con impactos severos, particularmente la sequía ocurrida en 1969, una de las más severas registradas en el siglo XX. Dicho evento extremo tuvo menores consecuencias en el estado de Sonora, debido (probablemente) a la infraestructura de riego con la que cuentan las zonas agrícolas de la entidad (en la fecha de estudio más del 75 % de la superficie agrícola), a diferencia del estado de Puebla, cuya agricultura es principalmente de temporal. La autora señala que otro factor relevante asociado a las pérdidas ocasionadas por la sequía fue el tipo de tenencia de la tierra, señalando que la propiedad comunal es más susceptible a los daños ocasionados por este fenómeno. Los hallazgos de este estudio sugieren que existen variables y condiciones al interior del sistema que influyen de manera determinante en el nivel de vulnerabilidad a los efectos de la sequía.

De manera general y considerando los antecedentes e impactos históricos de la sequía en el territorio mexicano (incluyendo periodos precolombinos), Liverman (1999) señala que la vulnerabilidad a este fenómeno es determinada por las condiciones biofísicas y sociales del país. Mientras que la vulnerabilidad biofísica es mayor en la región norte del país (debido menores niveles de precipitación), la vulnerabilidad social varía de acuerdo con las regiones y grupos, la cual evoluciona sobre el tiempo como resulta de cambios tecnológicos, económicos y demográficos. Además, en el sector agrícola la vulnerabilidad a la sequía se ha modificado como resultado del cambio e incremento de cultivos con mayor demanda de recursos hídricos, como los forrajes y hortalizas en distintas regiones, particularmente en el norte de México. Acorde con su trabajo anterior, señala la diferencia de vulnerabilidad entre la propiedad social y la propiedad privada, como resultado de tierras menos productiva dotadas durante la reforma agraria, la falta de infraestructura de riego y problemas en el acceso a créditos para la propiedad social (particularmente ejidal).

Eakin y colaboradores (2007) analizaron las estrategias de adaptación para reducir la vulnerabilidad futura al CC en Hermosillo, Sonora, una región árida donde la disponibilidad de agua disminuyó en los últimos años debido al incremento en su consumo y a fenómenos de sequía. Los autores centraron la identificación de posibles opciones de adaptación mediante la participación de diferentes actores, considerando las prioridades locales en diferentes sectores y actividades económicas, incluyendo a la agricultura como el principal consumidor del recurso. Los retos futuros de la región se asocian con incrementos en la temperatura (1 o 2 °C) y posible reducción de la precipitación, de acuerdo los escenarios evaluados. El estudio no se dirigió exclusivamente al sector agrícola ni a estimar los niveles de vulnerabilidad, dado que se consideró a priori como una condición del sistema. No obstante, resultó sorprendente la escasa participación de los agricultores dentro del taller, lo que en cierta forma refleja la complejidad para propiciar cambios en los patrones de consumo en el principal sector usuario del recurso.

La influencia de los cambios externos a sistemas agrícolas locales se estudió por parte de Eakin y colaboradores (2008), trabajo que enfatiza la influencia de las dinámicas globales sobre otras escalas. En el caso del sistema de producción de café, asociado a pequeños productores ubicados en regiones tropicales de México, el precio del producto es altamente volátil, dinámica que se atribuye a los impactos de fenómenos climatológicos sobre la producción. Con base en el análisis de las respuestas observadas durante diferentes periodos, los autores señalan que la vulnerabilidad no resulta de la combinación lineal de la exposición local con el contexto de la población, ya que, en esta época de mercados globales estrechamente integrados, la vulnerabilidad es un fenómeno anidado en el que existe patrones de tele conexión con las acciones tomadas en otras regiones del mundo.

Por su parte, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua publicó en el 2010 el atlas de vulnerabilidad hídrica ante el CC, enfocado a las grandes zonas de riego del país. El estudio elaborado por Ojeda y colaboradores (2010), se basó en la recopilación histórica de la precipitación y la temperatura, las proyecciones futuras de CC para diferentes periodos y la caracterización agroclimática, mediante los cuales se obtuvieron las variables de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa, que permitieron estimar la vulnerabilidad hídrica. Como resultado, se generaron diferentes mapas que muestran los niveles de vulnerabilidad para los ciclos primavera-verano (PV) y otoño-invierno (OI). De acuerdo con los autores, las zonas de mayor exposición al CC no son las más vulnerables, mientras que la capacidad de adaptación define los patrones de vulnerabilidad, particularmente en regiones de alta marginación. Parte de las conclusiones del estudio señalan la relevancia de los factores socioeconómicos relacionados con los procesos productivos, como son el mercado, organización, recursos, infraestructura y tecnología, en la respuesta y evolución de los sistemas agrícolas.

Monterroso y colaboradores (2014) utilizaron dos métodos para estimar la vulnerabilidad al CC en el sector agrícola del país. Considerando las dimensiones señaladas en por el IPCC (2007), seleccionaron diversas variables relacionadas con la exposición, la sensibilidad y la capacidad adaptativa de los sistemas agrícolas a nivel municipal. Para el caso de la capacidad adaptativa, los autores utilizaron el enfoque de capitales: humano, social, financiero y natural. Bajo el primer método, se le asignó un peso diferencial a cada variable con el propósito de extraer la combinación lineal que capture de mejor manera la información de un conjunto extenso de variables, a partir del análisis de componentes principales (ACP); mientras que el segundo método consistió en asignar el mismo peso a las variables. Ambos métodos presentaron coincidencia en algunos resultados, particularmente en cuanto a menor vulnerabilidad del sector agrícola en la zona norte del país, respecto al sur. No obstante, existen diferencias en la disposición espacial; en el caso del método que asigna pesos iguales a las variables, la vulnerabilidad es mayor en algunas zonas, como el caso de algunos municipios de Chihuahua y la Comarca Lagunera, con media (el método de ACP arroja que para algunos de estos municipios la vulnerabilidad es baja o muy baja). Por lo tanto, los autores señalan que el segundo método (pesos iguales) aporta mayores elementos para analizar la contribución de cada dimensión en el nivel de vulnerabilidad de cada municipio.

Ahumada-Cervantes y colaboradores (2014) analizaron el análisis de la vulnerabilidad al CC del sector agrícola, en las áreas geostatísticas básicas del municipio de Guasave, Sinaloa. El análisis se realizó considerando variables de las dimensiones de exposición, la sensibilidad y la capacidad adaptativa de los sistemas agrícolas distribuidos en las 20 localidades analizadas. El resultado muestra

que más de la mitad de las localidades presentan vulnerabilidad baja a muy baja, mientras que el 25 % de éstas presentan vulnerabilidad alta a muy alta. En el caso de Monterroso y colaboradores (2014), estiman una vulnerabilidad media para el municipio de Guasave. Esta información demuestra que los niveles de vulnerabilidad pueden variar dependiendo de la escala de análisis y muy posiblemente, de las variables utilizadas para la construcción de las dimensiones exposición, la sensibilidad y la capacidad adaptativa.

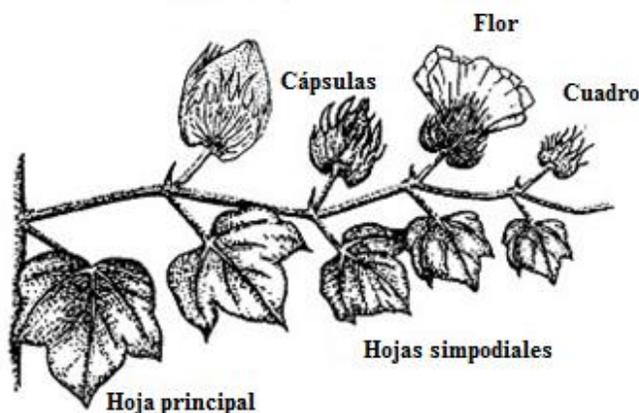
## 2. *Gossypium hirsutum*, el algodón mexicano

El algodón producido en las regiones de estudio, conocido como algodón mexicano o de tierras altas (*upland*), corresponde a la especie domesticada *Gossypium hirsutum*. Esta planta presenta una morfología de arbusto anual que crece de 1.5 a 2 metros de longitud, dependiendo de la variedad y de las condiciones ambientales (Figura 1). Dada sus características, el algodón puede encontrarse en ambientes no modificados, ambientes perturbados y como plantas de traspatio. Sin embargo, en condiciones comerciales, el algodón es una planta anual que crece de 1 a máximo 1.5 m de altura, las cuales son destruidas al final de la cosecha debido a la tecnificación de su producción (Rocha-Munive *et al.*, 2018).



**Figura 1. Morfología del algodón *G. hirsutum*.**

El algodónero presenta un tallo principal erecto del que salen ramas monopodiales o simpodiales en arreglo de zigzag. Las ramas monopodiales (vegetativas) se presentan durante los primeros cinco nodos del eje principal para luego desarrollar ramas simpodiales conocidas como "fructíferas" (Figura 2). Las ramas simpodiales tienen filotaxia alternada de 3/8 y producen entre 6 a 8 botones florales. Las ramas generalmente son planas y siguen al sol (heliotropía) para así maximizar la captación de luz a lo largo del día. Los estomas en *G. hirsutum* son de mayor tamaño que en otras especies del género pero se presentan en menor número. Las hojas tienen entre 4.0 y 10.0 cm de largo, alternas, cordatas, 3.5 lobadas, lóbulos anchamente triangulares hasta obados, agudos o acuminados, densamente pubescentes a glabros; pecíolos 0.5-1 veces el largo de la lámina; estípulas 0.5-1.5 (-2.0) cm largo, subuladas o falcadas (GEF/CIBIOGEM/CONABIO, 2017). Los estomas en *G. hirsutum* son de mayor tamaño que en otras especies del género, pero se presentan en menor número (Wise *et al.*, 2000).



**Figura 2. Ramas simpodiales del algodón *G. hirsutum*.**

El algodón no se reproduce de forma vegetativa en condiciones naturales. Después de la siembra, la madurez reproductiva se alcanza a las cinco semanas. Los botones florales, producidos en las ramas fructíferas, son pequeñas estructuras piramidales, llamadas comúnmente "cuadros", que se componen de tres brácteas triangulares pequeñas (epicáliz o involucro) que rodean al botón (Figura 3). El cáliz verdadero surge tempranamente dentro de las brácteas y está constituido por cinco sépalos cortos fusionados que forman una copa en la parte inferior del botón floral. En el interior del cáliz se encuentran los cinco pétalos de la corola. Las flores en el algodónero presentan una coloración blanco amarillentas, son grandes (de 5 a 9 cm), con pétalos de 2 a 5 cm de largo y se arreglan en inflorescencias. Las brácteas del cáliz son de 2 a 4 cm de largo. Una vez alcanzada la madurez reproductiva, en aproximadamente 25 días después cuadros abren las flores (Ritchie *et al.*, 2007).



**Figura 3. Formación de botones florales y cápsulas del algodónero.**  
Crédito: Susana Tanqueiro.

Las flores son perfectas (presentan estructuras reproductivas femeninas y masculinas). El estilo es de 2 a 5 cm de largo y termina en un estigma de 0.5 a 1 cm de longitud que se extiende más allá de la columna estaminal. El ovario súpero contiene de 8 a 12 óvulos en cada uno de los 3 a 5 carpelos. La columna estaminal contiene más de cien estambres de 0.5 a 1 cm de longitud. Cada estambre termina en una antera que normalmente produce abundante polen viable. Hay aproximadamente 20,000 granos de polen por flor (Ter Avanesian, 1978). Bajo condiciones de cultivo, aproximadamente el 60% de los botones son abortados prematuramente. Usualmente las flores maduras no se pierden antes de la polinización (Oosterhuis y Jernstedt, 1999). En las flores de algodónero las flores abren al alba y permanecen abiertas solo un día. Las flores presentan nectarios florales y extra florales. Los nectarios dentro de la flor exudan el néctar a través de un anillo de células papiliformes ubicadas en la base interna del cáliz. Usualmente hay tres tipos de nectarios extra florales, dentro y fuera del involucro, que se ubican debajo de los sépalos en la coyuntura de las brácteas, y otros tres justo debajo de la base de las brácteas. Además, se presentan nectarios foliares que se ubican en el envés de la hoja, sobre la base de la vena primaria, en la unión del pecíolo.

El polen de *G. hirsutum* es esférico, de 81 a 143 micras, porado (8 a 12 poros) y equinado, presenta una pared de endexina delgada. Los poros son pequeños, de 1 a 3 micras, rugosos, y con abertura rectangular hacia la pared externa. Es pegajoso y pesado por lo que es difícilmente dispersado por el viento (Kakani *et al.* 1999). La viabilidad del polen disminuye rápidamente después de ocho horas y en *G. hirsutum* pierde su viabilidad a las 24 horas. (Richards *et al.* 2005). El intervalo promedio de temperatura de viabilidad del polen de algodón va de 14°C (mínima) a 43°C (máxima), con un óptimo alrededor de los 31°C (Burke *et al.* 2004; Kakani *et al.*, 2005). El polen germina a los 30 minutos después de la deposición en el estigma, y la fertilización de los óvulos ocurre dentro de los 24 a 48 minutos después de la polinización (Pundir, 1972).

Dado que las flores son grandes y presentan varios nectarios, y que el polen permanece viable por 12 horas en promedio, se ha observado un porcentaje de polinización cruzada por la acción de insectos polinizadores. Las tasas de visita a las flores son variables, dependiendo en gran medida de las poblaciones locales de insectos (Elfawal *et al.* 1976, Moffett *et al.* 1975, 1976). Debido a la presencia de nectarios, las abejas visitan las flores de algodón principalmente para coleccionar néctar, raramente coleccionan polen; sin embargo, el polen se adhiere a las vellosidades en el cuerpo de las abejas, por lo que es posible que se lleve a cabo el flujo de polen hacia otras flores y plantas (Moffett *et al.* 1975, Rao *et al.* 1996). Diversos estudios de campo realizados en diferentes regiones estiman una tasa de polinización cruzada (probabilidad que un óvulo sea polinizado con polen de otra planta) del 10% o menos, lo que indica que la mayor parte de las semillas (aproximadamente el 90%) son producto de la autofertilización (Llewellyn & Fitt 1996, Meredith y Bridge 1973, Sen *et al.* 2004, Van Deynze *et al.* 2005, Zhang *et al.* 2005). Se han reportado pocos estudios con altos niveles de fecundación cruzada en el algodón, como en el estudio de Simpson y Duncan (1956); en estos casos, el porcentaje de polinización cruzada fue menor en estudios posteriores realizados en la misma localidad (2%) (Meredith y Bridge, 1973).

El algodón se siembra principalmente para la obtención de su fibra, aunque el aceite que se extrae de sus semillas también se utiliza ampliamente para consumo humano y animal y la cascarilla de la semilla se puede usar como forraje crudo (FAO, 2014). La fibra es producida por las células epidérmicas de la cubierta seminal, proceso que ocurre de manera simultánea a la formación de la semilla durante el crecimiento de la cápsula y el periodo de maduración (Gibson 1986). Al igual que muchas otras malváceas, la fibra y semilla de algunas especies de algodón pueden ser dispersadas por viento, ya que la fibra pudiera servir como mecanismo para incrementar el área y poder ser llevada por este vector; sin embargo, en la mayoría de los casos para el algodón cultivado se ha reportado la dispersión de semillas de manera autócora (dispersión pasiva condicionada por el peso de la semilla

y la gravedad), ya que tiene que ver con el derrame de la semilla en áreas de producción de algodón o durante las rutas de transportación del cultivo (GEF/CIBIOGEM/CONABIO, 2017).

### 3. Condiciones para la producción de algodónero

El algodón es una planta leñosa que en su hábitat natural presenta crecimiento perenne, fructificación indeterminada<sup>1</sup> y distribución preponderantemente tropical, características que la diferencian de los cultivares. En su hábitat nativo, el algodón silvestre no termina su ciclo en otoño. Cuando las condiciones de temperatura y humedad no son favorables, la planta entra en dormancia durante los periodos de sequía y estrés hídrico, y reinicia su rebrote cuando las condiciones son propicias para su desarrollo. Por esta razón, normalmente se menciona que el algodón es una especie de los trópicos, no apta para los climas secos. Estas características de crecimiento, en respuesta a las condiciones ambientales, no son deseables para fines agronómicos, ya que a diferencia de los cultivos anuales que mueren después de la cosecha, el algodón silvestre continúa su crecimiento hasta que las condiciones le sean favorables (Rocha-Munive *et al.*, 2018).

Por su parte, el algodónero *G. hirsutum* es un cultivo característico de zonas cálidas (áreas secas tropicales y subtropicales), aunque no es exclusivo de los trópicos. Debido a su tolerancia a la salinidad y la sequía, el algodón se adapta bien a regiones áridas o semiáridas por lo que se ha expandido hacia latitudes al norte. Sin embargo, las bajas temperaturas son el factor limitante en dicha expansión, ya que el algodónero es una planta sumamente vulnerable a las temperaturas congelantes, por lo que su cultivo es típico de zonas cálidas (áreas secas tropicales y subtropicales) (FAO, 2014). Las regiones con mayor aptitud para su cultivo, dadas las características de la planta y su demanda hídrica, se localizan en las altitudes de 0 a 500 metros sobre el nivel del mar (msnm); cuando el cultivo se realiza a altitudes mayores a 1 000 msnm se observan reducciones en los rendimientos y la calidad de producto (FAO-SAGARPA, 2014; SAGARPA, 2011).

El cultivo de algodónero depende de días soleados, particularmente durante la etapa de floración; la intensidad de luz óptima es de 32.3 a 86.1 klux<sup>2</sup>. El desarrollo adecuado del cultivo requiere de aproximadamente 160 días con temperaturas superiores a 15 grados Celsius (°C), debido a que es una planta sumamente vulnerable a las temperaturas congelantes; cuando la planta se expone a

---

<sup>1</sup> La fructificación indeterminada se refiere a que antes de la floración, durante un periodo distinto al crecimiento vegetativo, el algodón puede producir simultáneamente estructuras vegetativas y fructíferas. El fruto se inicia como una pequeña yema floral, también llamada cuadro, que posteriormente alcanza el tamaño de la cabeza de un alfiler. La aparición de estas estructuras depende de “unidades calor”, por lo que variará dependiendo de la región donde se distribuya.

<sup>2</sup> El klux es la unidad de medida del nivel de iluminación o densidad luminosa, deriva del Sistema Internacional de Unidades.

temperaturas de 5 °C por cuatro días, se produce una hinchazón de plástidos y los cloroplastos se desorganizan. La siembra en climas cálidos comienza cuando la temperatura del suelo alcanza valores superiores a los 15 °C a 0.2 m de profundidad, dado que la germinación de la semilla se produce cuando la temperatura rebasa dichos valores, siendo la temperatura óptima del suelo 20 °C; temperaturas mayores a 30 °C afectan la germinación. Durante esta etapa, la temperatura óptima del aire varía entre 30 a 33 °C, mientras que las temperaturas superiores limitantes de la germinación son de 40 °C en adelante. Para la floración se necesita una temperatura media de 20 °C a 30 °C, y para la maduración de la cápsula se requiere de una temperatura de entre 27 °C y 30 °C. Para la apertura de las bellotas se requiere por lo menos de una temperatura de 15 °C. La temperatura mínima para obtener buenos rendimientos no debe bajar de los 18 °C. En el otro extremo, periodos prolongados con temperaturas superiores a 40 °C pueden afectar al cultivo, particularmente durante la fase reproductiva en donde las altas temperaturas ocasionan el aborto de cuadros (FAO-SAGARPA, 2014; Ruíz *et al.*, 2013; SAGARPA, 2011).

El algodónero puede cultivarse prácticamente en cualquier tipo de suelo, siendo los de textura media los más convenientes, como los franco-arenosos, franco-limosos y los franco-arcillosos gruesos, los cuales presentan buena aireación, adecuada retención de agua y son ricos en materia orgánica. Es importante realizar el cultivo en suelos profundos que permitan el desarrollo del sistema radicular. Para los climas secos no se recomienda la siembra de algodón en suelos livianos, con escaso contenido de materia orgánica, debido a su baja retención de humedad; la humedad en el suelo debe ser del 90% de capacidad del campo. No obstante, el cultivo requiere de terrenos con buen drenaje interno que evite el anegamiento. La excesiva sequedad o humedad en ciertas etapas del desarrollo de la planta puede ser perjudicial para el desarrollo de la planta y la calidad de la fibra. El pH de suelo conveniente para el cultivo del algodónero debe ser de ligeramente ácido a casi neutro (6.2 a 7.2). El algodónero es tolerante tanto a la salinidad como a la alcalinidad (FAO-SAGARPA, 2014; Ruíz *et al.*, 2013; SAGARPA, 2011).

El cultivo del algodónero es exigente en agua debido a la gran cantidad de estomas en las hojas, lo que ocasiona que la planta pierda una cantidad importante de agua durante la evapotranspiración. Aun cuando soporta atmósferas secas, es un cultivo que depende de la humedad del suelo, por lo que no resiste grandes periodos de sequía; por lo tanto, el agua es uno de los principales factores limitantes para este cultivo. Los requerimientos hídricos presentan variaciones importantes dependiendo de la duración del periodo de crecimiento, clima, variedad y método de riego, pero en general se señala un rango de entre 700 a 1200 mm. Dado que la precipitación no es suficiente para satisfacer la demanda del algodónero, los riegos deben de aplicarse durante todo el desarrollo de la planta, a volúmenes de

entre 4 500 y 6 500 m<sup>3</sup>/ha (FAO-SAGARPA, 2014; Ruíz *et al.*, 2013; SAGARPA, 2011). Además de la importancia del agua para el desarrollo del cultivo, existe una correlación importante en la disponibilidad de agua y los rendimientos obtenidos.

El algodónero es un cultivo anual que se desarrolla a cielo abierto. Es una planta indeterminada; no obstante, es posible observar en su desarrollo diferentes etapas de crecimiento: germinación, emergencia, desarrollo de las hojas secundarias, floración y maduración. Bajo condiciones óptimas, la cantidad de días para emerger, desarrollar yemas florales, empezar la floración, abrir las cápsulas y alcanzar el periodo de cosecha puede variar considerablemente. El crecimiento vegetativo temprano depende de la temperatura, cuyo máximo diario debe de ser al menos de 20 °C. El primer cuadro, o formación de yemas florales, puede ocurrir entre los 35 y los 50 días después de la siembra, dependiendo de la variedad y de la temperatura. La floración comienza durante los 55 y 70 días después de la siembra y continúa durante el crecimiento de las cápsulas, al igual que el crecimiento vegetativo. Las cápsulas empiezan a madurar y se abren entre 100 y 120 días después de la siembra, o aproximadamente de 50 a 60 días después de la aparición de la primera flor. Existe un intervalo de tiempo hasta que se alcanza el 60% de apertura de las cápsulas puede variar para los genotipos que van desde temprano a tardíos desde 141 a 186 días hasta 130 a 170 días.



**Figura 4. Aspecto de la producción de algodón GM en el norte de México.**

Fuente: Elaboración propia.

Actualmente, bajo estas condiciones el algodónero se siembra como un cultivo agroindustrial en sistemas altamente tecnificados. De acuerdo con SIAP (2018), la totalidad del cultivo de algodón en México se desarrolla bajo riego, con labores mecanizadas y mediante el uso de variedades mejoradas, las cuales, dependiendo de la región, corresponden a variedades con modificaciones genéticas. De acuerdo con Rocha-Munive y colaboradores (2018), en algunas regiones el uso de algodón genéticamente modificado (GM) cubre el 96 % de la superficie sembrada (Figura 4). Por lo tanto, se

trata de un cultivo comercial, cuya producción se dirige de manera completa a la industria textil y aceitera, principalmente (FAO-SAGARPA, 2014).

#### **4. Contexto actual de la producción de algodón en México**

La producción actual de algodón se realiza bajo condiciones que son características de la agricultura industrial. Las variables endógenas que identifican a este tipo de agricultura se asocian con el nivel de tecnificación (infraestructura de riego, uso de maquinaria agrícola, aplicación de plaguicidas y fertilizantes sintéticos), el uso de variedades mejoradas mediante diferentes técnicas (mejoramiento convencional o biotecnológico) y el establecimiento de monocultivos en grandes extensiones durante ciclos consecutivos (Cázares, 2003; Pretty, 1995), así como una estrecha relación con el mercado (agricultura empresarial) (FAO-SAGARPA, 2014). Además, en el escenario actual dicho modelo se asocia con la disposición de recursos financieros y la distribución asimétrica de instrumentos económicos, como los subsidios (Bartra & Huerta, 1978; Fox & Haight, 2010). Dichas características permiten reducir el efecto de diversos factores que impactan a los agroecosistemas, por lo que se es un modelo agrícola asociado con altos niveles de productividad y rentabilidad (Da Silva *et al.*, 2013).

Asociado al desarrollo y aplicación de diversas innovaciones tecnológicas, el diseño e implementación de instrumentos regresivos de política pública, han permitido que la agricultura industrializada sea capaz de incrementar la capacidad de respuesta ante numerosas perturbaciones y riesgos intrínsecos a la actividad, conservando y en algunos casos mejorando su función productiva a través del tiempo (Clunies-Ross & Hildyard, 2013; Walker, *et al.*, 2004). Los créditos, seguros y apoyos para la producción disponibles para el sector agrícola en México presentan una dinámica sesgada a favor de los grandes productores, particularmente para el norte del país, en donde 10 estados concentran 60 % del gasto agrícola (Fox & Haight, 2010). De igual manera, el acaparamiento de terrenos agrícolas y de la infraestructura de riego es una dinámica que se asocia con el modelo agroindustrial, proceso que se agudizó durante el siglo XX (Bartra & Huerta, 1978; Fox & Haight, 2010). Si bien la habilidad de estos sistemas para afrontar diversos retos reduce la susceptibilidad de experimentar daños, algunas evidencias señalan por otra parte, que la trayectoria adoptada ha conducido a un estado de dependencia que impide a este modelo productivo modificar sus procesos, limitando el tránsito hacia prácticas sostenibles (Carpenter & Brock, 2008; Holling, 2001).

La industrialización de la agricultura ha ocasionado una parte importante de los efectos negativos relacionados con la actividad agrícola, particularmente en cuanto a la disponibilidad de recursos y la integridad funcional de los agroecosistemas. Este modelo de producción es responsable de una

cantidad importante de emisiones de gases de efecto invernadero<sup>3</sup> (GEI) asociados a la agricultura, al requerir niveles importantes de energía fósil, pero principalmente por la aplicación de fertilizantes nitrogenados (Lassaletta & Rovira, 2005; González-Estrada & Camacho, 2017; Saynes-Santillán *et al.*, 2016). Otra de las afectaciones relevantes es el agotamiento de recursos hídricos, toda vez que en México la infraestructura de riego se concentra en este tipo de agricultura<sup>4</sup> (CONAGUA, 2017). También se señala que el modelo industrial contribuye significativamente a la fragmentación de hábitats y a la degradación de suelos al establecer grandes extensiones de monocultivos, lo que reduce la capacidad de los ecosistemas para producir bienes y servicios (DeLonge *et al.*, 2016; Gordon *et al.*, 2008; Horrigan *et al.*, 2002). Por su parte, el manejo de plagas, maleza y enfermedades mediante control químico, así como el uso de fertilizantes sintéticos característicos de este modelo agrícola, representan la principal fuente de contaminación difusa asociada a la actividad (Cotler & Luna, 2010; Hernández-Antonio & Hansen, 2011). Adicionalmente, la aplicación inequitativa de las políticas públicas en el sector rural ha ocasionado el rezago de la mayor parte de las Unidades de Producción (UP) en México, conformada por pequeños productores, acentuando los niveles de pobreza; mientras que la mayor parte de los recursos destinados al sector agrícola se concentran en el modelo industrial (Clunies-Ross & Hildyard, 2013; Fox & Haight, 2010; Robles, 2013; Scott, 2009). De este modo, la interacción de múltiples factores de índole social, económico y ecológico ha generado diversos problemas en la agricultura mexicana relacionados con lo que algunos autores han denominado síndromes del cambio global (Fowler *et al.*, 2015; Lüdeke *et al.*, 2004), en donde la agricultura industrial ha jugado un papel preponderante.

El algodónero forma parte de la experiencia agrícola en las tierras áridas del norte de México. La incursión de la actividad en un escenario poco favorable para la agricultura se vincula inevitablemente a los avances científicos y la innovación tecnológica. En el caso del algodónero, el desarrollo de obras de infraestructura y la adopción de tecnología agrícola permitió que actualmente se cultive en zonas áridas y semiáridas de los estados de Baja California, Chihuahua, Coahuila, Durango Sonora y Tamaulipas. De acuerdo al Servicio de Información Agrícola y Pesquera (SIAP), durante el 2017 la totalidad de la producción de algodón en las entidades mencionadas se realizó bajo riego, mecanización, uso de semillas mejoradas<sup>5</sup>, fertilización, acciones fitosanitarias y con asistencia técnica. En estas condiciones, al presente el estado de Chihuahua es el principal productor de esta

---

<sup>3</sup> En general, la agricultura emite grandes cantidades de los llamados “gases que no son CO<sub>2</sub>”, que incluyen al N<sub>2</sub>O y el CH<sub>4</sub>, con una capacidad de calentamiento 265 y 28 veces mayor, respectivamente que el CO<sub>2</sub>.

<sup>4</sup> Aproximadamente el 77 % del agua disponible para uso humano se destina al sector agrícola a través de los sistemas de irrigación.

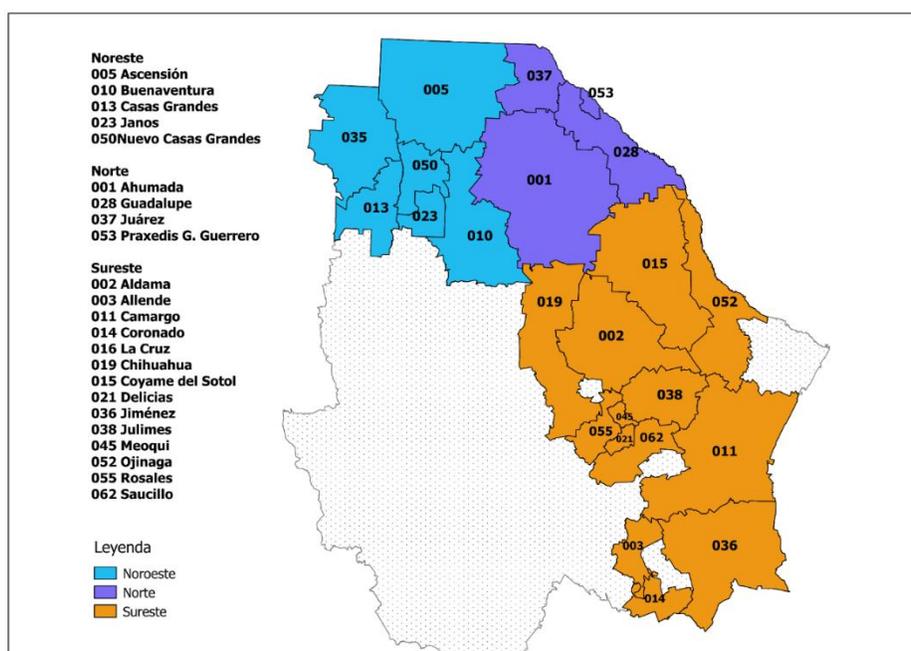
<sup>5</sup> Un porcentaje importante de la semilla utilizada corresponde a variedades genéticamente modificadas (GM), siendo el algodónero el único cultivo en el país con esta alternativa tecnológica.

fibra, tanto por la superficie destinada a este cultivo como por los rendimientos registrados. La Comarca Lagunera por su parte, cuenta con un historial algodonero desde épocas decimonónicas, en donde a pesar del desarrollo tecnológico, ha transitado desde un escenario como principal productor a otro de menor preponderancia.

#### 4.1 Producción de algodón en el estado de Chihuahua y la Comarca Lagunera

##### *i) El algodonero en Chihuahua*

La información disponible para el estado de Chihuahua señala que durante el periodo de 2003 al 2017, el algodonero se cultivó en 26 de sus 67 municipios. El Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas y Forestales (INIFAP, 2017) reconoce tres regiones productoras de la fibra en la entidad: la Zona Noroeste, la Zona Norte y la Zona Sureste (Figura 5). De acuerdo con el nivel de producción (toneladas), en 2017 la Zona Noroeste generó 48.7 % del algodón hueso, la Zona Norte 22 % y la Zona Sureste 29.2 %. En total, durante el año señalado, el estado de Chihuahua fue el principal productor de algodón, aportando el 70 % de la producción nacional (SIAP, 2018).



**Figura 5. Regiones y municipios algodoneros en Chihuahua.**

Respecto a la superficie de cultivo, en el 2017, la superficie agrícola destinada al cultivo de algodonero en el estado fue de 145 553.5 hectáreas (ha), lo que representa 68.6 % de la superficie nacional sembrada con algodonero en dicho año. Los municipios ubicados en la Zona Noroeste concentraron 47.6 % de la superficie sembrada, la Zona Norte 23.8 y la Zona Sureste 28.5% (Tabla 1).

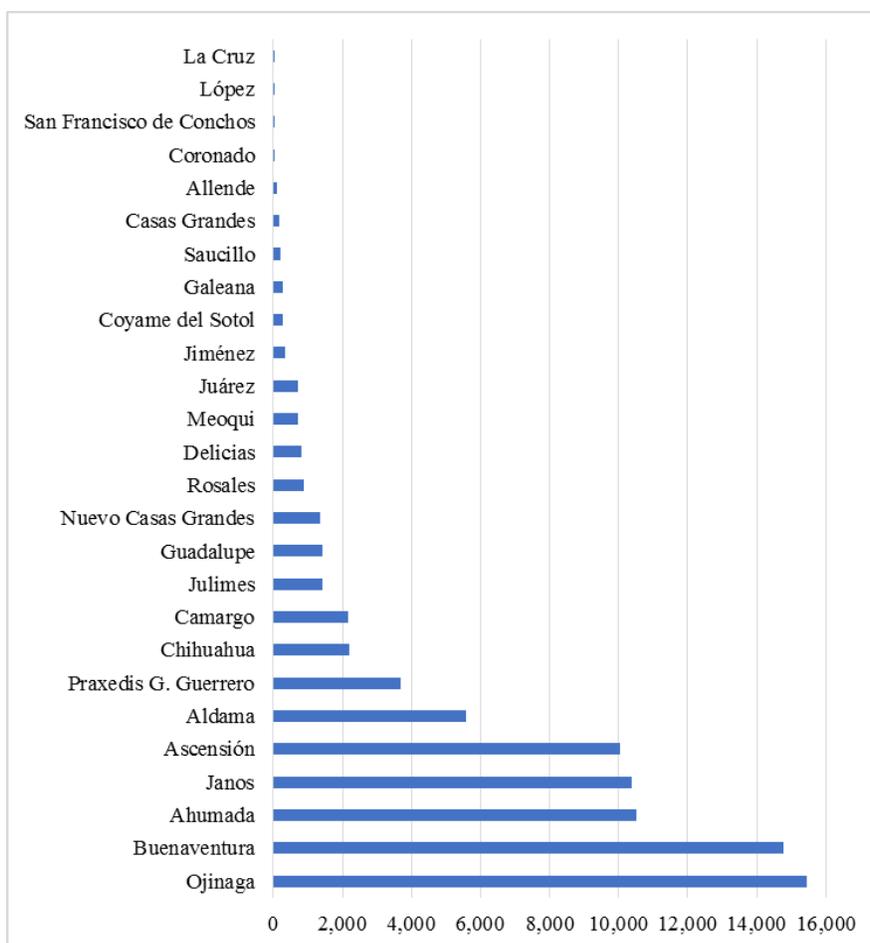
**Tabla 1. Superficie cultivada con algodono en el estado de Chihuahua durante el 2017.**

Zona	Clave del municipio	Municipio	Superficie sembrada (ha)	Superficie relativa sembrada (%)
Noroeste	005	Ascensión	14 251.30	20.57
	010	Buenaventura	30 200.00	43.59
	013	Casas Grandes	340.04	0.49
	023	Galeana	1 850.00	2.67
	035	Janos	18 042.56	26.04
	050	Nuevo Casas Grandes	4 600.00	6.64
	<b>Subtotal</b>			<b>69 283.90</b>
Norte	001	Ahumada	28 465.70	82.11
	028	Guadalupe	1 518.40	4.38
	037	Juárez	562.40	1.62
	053	Práxedes G. Guerrero	4 120.70	11.89
	<b>Subtotal</b>			<b>34 667.20</b>
Sureste	002	Aldama	5 080.09	12.21
	003	Allende	25.28	0.06
	011	Camargo	3 447.83	8.29
	019	Chihuahua	5 958.00	14.32
	015	Coyame del Sotol	622.65	1.50
	021	Delicias	560.03	1.35
	036	Jiménez	394.23	0.95
	038	Julimes	4 123.03	9.91
	045	Meoqui	208.85	0.50
	052	Ojinaga	20 394.78	49.02
	055	Rosales	743.03	1.79
	062	Saucillo	44.67	0.11
<b>Subtotal</b>			<b>41 602.47</b>	<b>28.58</b>
<b>Total</b>			<b>145 553.57</b>	<b>100.00</b>

Fuente. SIAP, 2018.

Si bien en la actualidad Chihuahua es la entidad de la república mexicana que mayor superficie destina a la producción de algodón, existen variaciones importantes entre los municipios que realizan la actividad. En la zona Noroeste, con mayor superficie destinada a este cultivo, existen municipios como Buenaventura, con más de 30 mil ha de algodono (43.5 % de la superficie sembrada con algodono en la zona), y municipios como Casas Grandes, con solo 354 ha cultivadas con la fibra (menos del 0.5 % de la superficie). Algo similar ocurre en las otras zonas, donde el municipio de Ahumada concentra el 82.1 % de la superficie cultivada con algodón en la zona Norte, mientras que Ojinaga cubre el 49 % de la superficie sembrada con este cultivo en la zona Sureste. En total para el 2017, tres municipios concentraron más del 50 % de la superficie sembrada (Buenaventura, Ahumada

y Ojinaga), mientras que el 80 % se cubrió solo con seis municipios (los tres anteriores más Janos, Ascensión y Chihuahua). El 20 % de la superficie restante se distribuyó en los 17 municipios de la entidad que cultivaron algodón en el ciclo 2017 (SIAP, 2018).



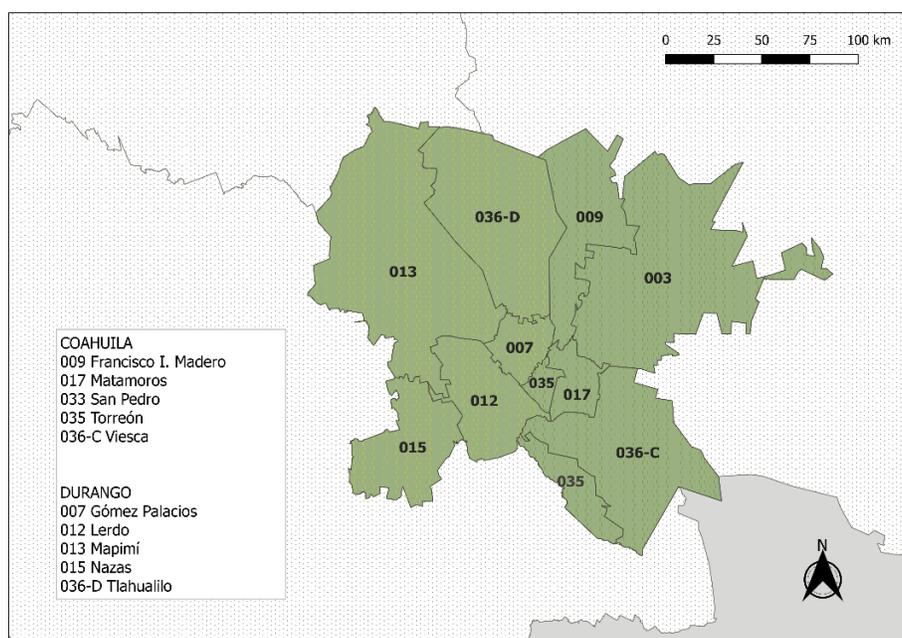
**Figura 6. Superficie promedio sembrada con algodono en Chihuahua, periodo 2003-2017.**

Fuente: Elaboración propia con información del SIAP, 2018.

A nivel municipal se observan variaciones importantes entre los 26 municipios que cuentan con antecedentes de producción de la fibra, de acuerdo a la información disponible en el SIAP (Figura 6). Durante este periodo, el municipio de Ojinaga destinó la mayor superficie para el cultivo de algodón (promedio de 15 438 ha), mientras que La Cruz se ubicó en la última posición, con una diferencia notable (promedio de 15 ha). En promedio, durante este periodo, nueve municipios concentraron 90 % de la superficie sembrada con algodón, mientras que 20 municipios abarcaron en promedio 10 % restante. Esta información muestra que en los municipios productores de la fibra existen escenarios diferentes (y algunos casos contrastantes) en el nivel de adopción del cultivo y posiblemente en el nivel de vulnerabilidad.

## ii) El algodonerero en la Comarca Lagunera

La región de la Comarca Lagunera cuenta con información sobre el cultivo de algodonerero para 10 de los municipios que la conforman, cinco correspondientes al estado de Coahuila de Zaragoza y cinco al estado de Durango (Figura 7). Como región agrícola, en el 2017 la Comarca Lagunera aportó 7.5 % de la producción nacional de algodón hueso (SIAP, 2018); de ésta, La Laguna en Coahuila produjo 6.2 % (82.6 % regional) y La Laguna en Durango 1.3 % (17.3 % regional) del algodón hueso a nivel nacional.



**Figura 7. Municipios algodonereros en la Comarca Lagunera.**

Fuente: Elaboración propia con información del Marco Geoestadístico 2017, INEGI y el SIAP, 2018.

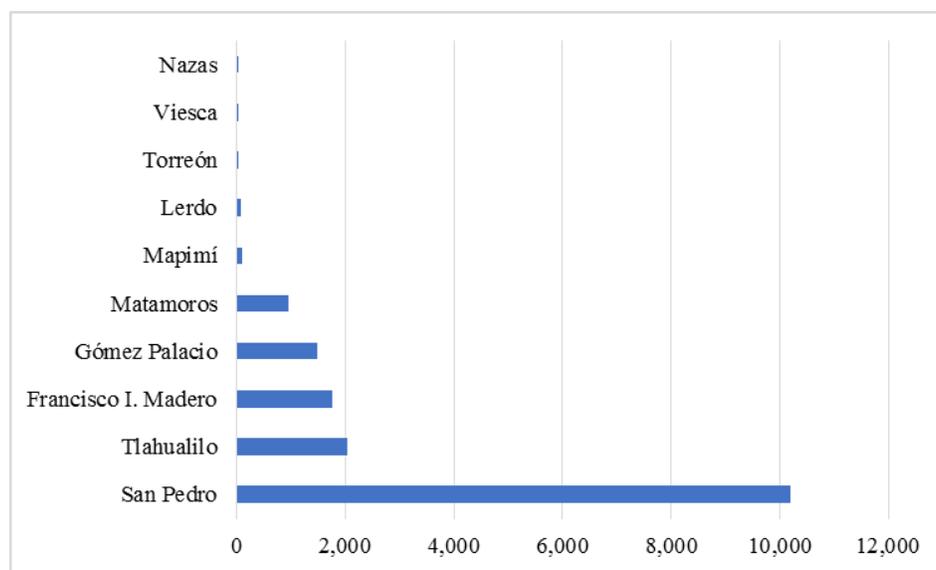
En el 2017 la superficie agrícola destinada al cultivo de algodonerero en la Comarca Lagunera fue de 17 365.4 ha. Los municipios ubicados en La Laguna coahuilense concentraron 82.5 % de la superficie sembrada con algodonerero, mientras que La Laguna duranguense 17.5 % (Tabla 2). Como región, la superficie del cultivo de algodón en la Comarca Lagunera correspondió al 8.2 % de la superficie nacional sembrada con este cultivo en el 2017 (SIAP, 2018). A continuación, se presentan los valores registrados para cada municipio, el subtotal para cada entidad y el total regional.

**Tabla 2. Superficie cultivada con algodónero en la Comarca Lagunera durante en 2017.**

Entidad	Clave municipio	Municipio	Superficie sembrada (ha)	Superficie relativa sembrada (%)
Coahuila	009	Francisco I. Madero	2 017.12	14.08
	017	Matamoros	618.44	4.32
	033	San Pedro	11 691.00	81.60
	<b>Subtotal</b>		<b>14 326.56</b>	<b>82.50</b>
Durango	007	Gómez Palacio	13 49.40	44.40
	012	Lerdo	106.00	3.49
	013	Mapimí	57.50	1.89
	015	Nazas	3.00	0.10
	036	Tlahualilo	15 23.00	50.12
	<b>Subtotal</b>		<b>30 38.90</b>	<b>17.50</b>
<b>Total</b>			<b>17 365.46</b>	<b>100</b>

Fuente. SIAP, 2018.

A nivel municipal, en el ciclo agrícola 2017 San Pedro, Coah., concentró 67.3 % de la superficie sembrada con algodónero (81.6 % para La Laguna - Coahuila), mientras que el municipio de Nazas, Dgo., solo cultivó tres hectáreas, correspondientes a 0.002 % de la superficie cultivada con algodónero en la Comarca Lagunera (0.1 % para La Laguna – Durango).



**Figura 8. Superficie promedio sembrada con algodónero en la Comarca Lagunera, periodo 2003-2017.**

Fuente: Elaboración propia con información del SIAP.

Con relación al histórico de producción, la información a nivel municipal registrada por el SIAP para el periodo 2003-2017 apunta que, similar al estado de Chihuahua, existen variaciones importantes en el promedio de superficie sembrada por municipio. La Figura 8 muestra que, en promedio, el municipio de San Pedro, Coah. destinó la mayor superficie de siembra de algodónero (61 %), mientras

que el municipio de Nazas se ubicó en la última posición, con solo el 0.12 % de la superficie algodонера en la Comarca Lagunera. Similar al caso de Chihuahua, la información permite señalar que los municipios productores de algodонера en la Comarca Lagunera se comportan de manera diferencial.

## CAPÍTULO II

### Marco Teórico

#### 1. Vulnerabilidad

El desarrollo de las actividades humanas, entre ellas la agricultura, frecuentemente es amenazado por diversos factores con el potencial de limitar o impactar de manera crítica. Dentro de los factores más comunes podemos mencionar aquellos de origen biótico, como las plagas o enfermedades (NAS, 2016); las dinámicas socioeconómicas, como la volatilidad de los mercados y los conflictos sociales; así como aquellos relacionados con los fenómenos climáticos, como el patrón de lluvias, el incremento de la temperatura, sequías, inundaciones, entre otros (Dasgupta *et al.*, 2014). En términos generales, el desarrollo de innovaciones científico-tecnológicas y el nivel de organización social han coadyuvado a controlar en cierta medida la influencia de los factores bióticos y socioeconómicos. No obstante, en el caso de los fenómenos climáticos, la incertidumbre sobre su ocurrencia y magnitud han representado un reto para el desarrollo de medidas de prevención, control y recuperación. Por esta razón, desde hace varios años se estudia no solo la ocurrencia de dichos fenómenos, sino también los factores que inciden en el nivel de daños y aquellos relacionados con la posibilidad de afrontarlos, que en conjunto determinan la vulnerabilidad (Adger, 2006; Liverman, 1990).

El concepto de vulnerabilidad ha sido ampliamente desarrollado en las últimas dos décadas y se ha constituido como un tema central en las investigaciones sobre riesgos a desastres, CC y la sostenibilidad de los sistemas (Cutter, 1996; Dasgupta *et al.*, 2014; Lei *et al.*, 2013; Parry *et al.*, 2007; Räsänen *et al.*, 2016, Turner, 2003). La diversidad de enfoques, campos de aplicación y orientaciones disciplinarias ha contribuido a generar un cúmulo extenso de investigaciones alrededor de este concepto. Como tal, se reconoce que la vulnerabilidad es una condición asociada a la exposición a factores que pueden impactar sobre una unidad, grupo o sistema, ubicado en un lugar y momento específico (Pearson & Langridge, 2008). En consecuencia, la vulnerabilidad es un concepto dinámico cuya operatividad es determinada por objeto y área de estudio.

En el caso de las ciencias sociales, el análisis de la vulnerabilidad se ha aplicado ampliamente en temas de seguridad alimentaria, bienestar, pobreza, procesos políticos y estrategias de supervivencia (Hesselberg & Yaro 2006; Moser, 1998). En los estudios de riesgos a desastres existen antecedentes ampliamente documentados, dado que fueron las primeras aproximaciones que utilizaron el concepto de vulnerabilidad (Cutter, 1996; Liverman, 1990). Desde hace unos años, la vulnerabilidad es también un tema central de los estudios sobre el CC (Parry *et al.*, 2007; Dasgupta *et al.*, 2014), siendo

actualmente el tema de mayor desarrollo, análisis y discusión a nivel internacional. Por su parte, en el campo de las ciencias de la sostenibilidad se han desarrollado ejercicios orientados al análisis de la vulnerabilidad que tratan de introducir explícitamente un enfoque sistémico (Turner, 2003; Turner II, 2010). En un escenario de cambio global, la gran cantidad de trabajos desarrollados en torno a la vulnerabilidad se justifica ampliamente en la necesidad de determinar qué representa una amenaza y quiénes son amenazados.

Dada la diversidad de enfoques, se han realizado diferentes esfuerzos para homologar criterios que reduzcan la relatividad y subjetividad del concepto, así como de los resultados obtenidos a partir de su estimación. El objeto de dichos esfuerzos es que los análisis realizados y sus resultados, sirvan como insumos para el desarrollo de medidas, estrategias y políticas que disminuyan los niveles de vulnerabilidad a diferentes estresores y eventos extremos. En los siguientes apartados se presenta un resumen de los principales enfoques para el análisis de la vulnerabilidad.

### **1.1 En enfoque de los riesgos a desastres naturales**

En los análisis de riesgos por desastres naturales, la vulnerabilidad se asocia con el potencial de pérdida, ya sea de vidas humanas o de diversos capitales, y guarda relación con la capacidad de respuesta de la unidad de análisis (Cutter *et al.*, 2003; Eakin & Luers, 2006). Dichos análisis consideran que la vulnerabilidad varía en tiempo y espacio, por lo que para su estimación se integran variables ambientales, sociales y económicas (Figura 9) (Chakraborty *et al.*, 2005; Cutter, 1996; Dwyer *et al.*, 2004; Liverman, 1990; Peduzzi *et al.*, 2009; Singh *et al.*, 2014). Dichos análisis se basan en el enfoque de riesgos-peligros, surgido de la disciplina geográfica, donde las condiciones individuales se consideran como elementos fundamentales para la determinación de los riesgos y para la definición de las acciones de control (Chakraborty *et al.*, 2005; Cutter, 1996; Dwyer *et al.*, 2004; Liverman, 1990; Peduzzi *et al.*, 2009). Es así que en este enfoque los riesgos naturales son una construcción social, toda vez que las diferencias en la exposición y el acceso a oportunidades para afrontarlos son consecuencia del sistema socioeconómico y político (Cannon, 1994; Cutter *et al.*, 2003).

Husfscmidt (2011) señala que, en este enfoque, las definiciones de vulnerabilidad y su conceptualización surgen de dos grandes líneas de pensamiento y enfoques epistemológicos: a) la visión estructuralista y b) la visión ecológica. En la visión estructuralista, la vulnerabilidad se origina de los sistema político y económico, tiene influencia de dinámicas de presión (e.g. incremento en la urbanización, deforestación, falta de mercados locales), genera condiciones de inseguridad (e.g. situaciones peligrosas, falta de instituciones de seguridad, fallas en las cadenas de distribución de

bienes) y finalmente los desastres ocurren cuando las amenazas o peligros ambientales impactan a las poblaciones. Por su parte, en la escuela de la ecología humana, el ajuste o la adaptación a los desastres naturales es el elemento central que determina la vulnerabilidad, toda vez que los desastres impactan cuando los procesos naturales inusuales o extremos sobrepasan los ajustes y adaptaciones humanas.



**Figura 9. Modelo de evaluación de riesgos a desastres.**

Fuente: Modificado de FEMA, 2013.

La meta del enfoque de riesgos naturales es caracterizar los riesgos ocasionados por factores de estrés e impacto, determinar la ocurrencia espacial y temporal de las amenazas, particularmente variaciones climáticas y eventos extremos (cambios de temperatura, precipitación, frecuencia de huracanes o sequías, entre otros) y analizar la vulnerabilidad social (Adger, 2006; Cutter *et al.*, 2003; Cutter & Finch, 2008; Liverman, 1990). Las preguntas de investigación están orientadas a determinar qué actividades humanas se realizan en las zonas de riesgo (qué y quienes están expuestos), cómo responde la sociedad a los riesgos ambientales, qué factores influyen en la elección de los ajustes realizados, qué acciones se requieren para mitigar y reducir los riesgos e impactos, y qué medidas de adaptación son necesarias (Chakraborty *et al.*, 2005; Cutter, 1996; Liverman, 1990; Peduzzi *et al.*, 2009). Por lo tanto, dado que los efectos negativos son una función de los factores de riesgos biofísicos y el potencial de pérdidas de la población expuesta, dichos resultados son empleados como un *proxy* de la vulnerabilidad (Eakin & Luers, 2006).

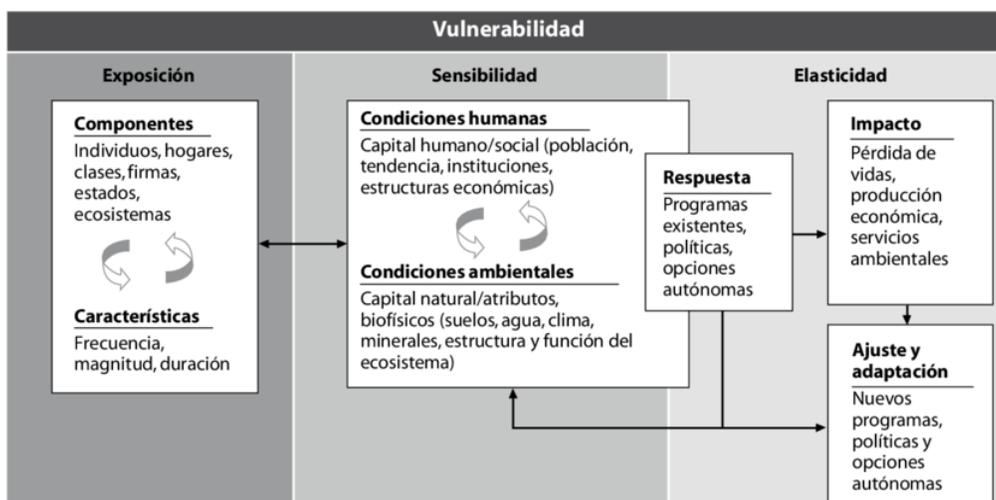
## 1.2 El enfoque de las ciencias de la sostenibilidad

El marco para el análisis de la vulnerabilidad desarrollado por Turner y colaboradores (2003a), reconoce explícitamente al sistema acoplado humano-ambiente, tema central de las Ciencias de la

Sostenibilidad. Este marco coloca la atención en las interacciones derivadas del acoplamiento y trata de explicar cómo éstas afectan la respuesta a los peligros. Su fundamento parte de la idea de que la vulnerabilidad reside en las condiciones y operación del sistema humano-ambiente, incluyendo la capacidad de respuesta y la retroalimentación del sistema hacia las amenazas o peligros identificados. Se trata de un marco general, en el que las variables y relaciones a estudiar, así como los métodos utilizados, se determinan de manera casuística.

En este enfoque el análisis de la vulnerabilidad se centra en la identificación de las amenazas que pueden afectar a los sistemas de provisión y de soporte, es decir a la sostenibilidad del sistema (Turner *et al.*, 2003). Toda vez que la sostenibilidad puede interpretarse como una cuestión de suficiencia de recursos y de integridad funcional (Thompson, 2007), la vulnerabilidad representa una condición opuesta a un estado sostenible, particularmente cuando las amenazas afectan a los servicios ecosistémicos involucrados en la provisión y soporte. Un aspecto relevante de esta propuesta es que los impactos al sistema y su respuesta no se restringen solo a perturbaciones o estresores, ya que consideran amenazas de diferente naturaleza. Dichas amenazas o peligros pueden originarse de influencias externas e internas al sistema y generalmente son particulares para un lugar o grupo. De esta manera, la vulnerabilidad se define como el grado en el que un sistema, subsistema, o componente del sistema, puede experimentar un daño debido a la exposición a una amenaza, además de perturbaciones y/o estresores (Turner *et al.*, 2003).

Dentro del marco, la sensibilidad del sistema es una de las dimensiones centrales que determinan la vulnerabilidad y pueden explicarla. La sensibilidad se asocia con el concepto “dosis-respuesta”, del enfoque de riesgos a desastres, en donde el nivel de daño depende de las condiciones del individuo, grupo o sistema expuesto a un peligro, y su capacidad de respuesta para hacerle frente. En este enfoque, los derechos sobre los recursos (e.g. derechos sobre el acceso a alimentos y otros bienes) están estrechamente relacionados con situaciones que pueden afectar la “seguridad” del sistema, como, por ejemplo: situaciones de pobreza. Por otra parte, la capacidad de respuesta del sistema hacia las amenazas, habilidad que puede ser diferente entre unidades sociales o grupos, tiene una influencia determinante en el nivel de daño. En conclusión, la sensibilidad puede ser definida por los derechos sobre ciertos bienes, situación que se relaciona de manera directa con la capacidad de respuesta y con la resiliencia del sistema (Figura 10).



**Figura 10. Marco conceptual para evaluar la vulnerabilidad, propuesto por Turner y colaboradores (2003).**

Fuente: Naranjo, 2010.

En este enfoque la resiliencia (elasticidad de acuerdo a la figura) del sistema es entendida como la habilidad para retornar a un estado previo a la ocurrencia de disturbio, así como la capacidad del sistema para mantener cierta estructura y función a pesar de las perturbaciones. La resiliencia frecuentemente es medida en términos de la cantidad de cambio que el sistema puede experimentar mientras mantiene su integridad o un estado deseable. En este modelo la resiliencia se relaciona con la capacidad del sistema para adaptarse, la flexibilidad del ecosistema y la habilidad del sistema para aprender en respuesta a los disturbios. Como tal, en este modelo la resiliencia es la habilidad y capacidad del sistema para moverse o recuperarse de un estado vulnerable (debido a las amenazas, perturbaciones o estresores) a un estado anterior (Turner *et al.*, 2003).

De esta manera, los estudios de vulnerabilidad se orientan al análisis de las amenazas hacia los sistemas de provisión y de soporte de la vida, centrándose en identificar y caracterizar dichas amenazas y sus implicaciones, así como la habilidad del sistema (capacidad adaptativa), principalmente el subsistema humano, para mantenerse y ajustarse a ellas. Las Ciencias de la Sostenibilidad utilizan un enfoque sistémico en el que, al igual que los estudios de CC, se reconoce que las interacciones dentro de los sistemas humano-ambientales pueden actuar de manera sinérgica, con afectaciones potenciales que influyen en la capacidad de cada subsistema para adaptarse. En este enfoque, el análisis de la vulnerabilidad se basa en ejes fundamentales de las Ciencias de la Sostenibilidad, como son los sistemas humano-ambientales acoplados, los servicios ambientales y los resultados de las compensaciones (*trade-offs*) de su aprovechamiento, por parte del subsistema humano (Binder *et al.*, 2013; Turner *et al.*, 2010).

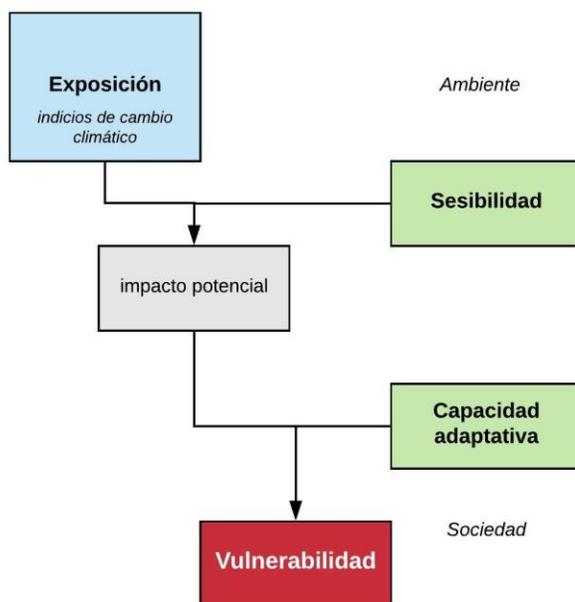
De acuerdo con Turner (2010), los estudios de vulnerabilidad en el enfoque de las Ciencias de la Sostenibilidad deben considerar explícitamente la compensación dentro o entre ambos subsistemas (humano y el ambiental) y sus sinergias, con el propósito de determinar el equilibrio entre los servicios ambientales y el desarrollo humano. Es fundamental analizar las compensaciones entre los servicios ambientales (p. ej. la recarga de acuíferos, la calidad del agua, el control de inundaciones, entre otros) en respuesta a las amenazas o las estrategias de mitigación y adaptación, empleadas para afrontar las amenazas, así como en el gran conjunto de compensaciones entre los resultados para el sistema humano (p. ej. salud, hogares, ingresos, equidad, entre otros).

### 1.3 El enfoque del cambio climático

El análisis de la vulnerabilidad en el contexto del CC es una de las áreas de estudio con mayor desarrollo en las últimas décadas (Füssel & Klein, 2005). Este enfoque deriva de las líneas de investigación sobre riesgos a desastres naturales, la ecología política y la geografía social; su mejor representación se encuentra en el trabajo realizado por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) (Eakin & Luers, 2006; Fussel & Klein, 2005). A partir de los estudios sobre CC, se desarrollaron con mayor detalle algunos conceptos centrales de la vulnerabilidad, como es la sensibilidad de los sistemas. Además, el trabajo realizado por el IPCC ha colocado especial énfasis en las dos opciones para afrontar los efectos del CC: la mitigación y la adaptación (Fussel & Klein, 2005). De esta manera, actualmente la información derivada de dicho Panel sirve como referencia para el desarrollo de instrumentos de políticas públicas de mitigación y adaptación al CC, basadas en conocimientos científicos.

Dado que el CC tiene el potencial de ocasionar impactos en los sistemas geofísicos, biológicos y socioeconómicos, debido a la exposición a variaciones climáticas y eventos extremos, el marco del IPCC está orientado a la identificación de *vulnerabilidades* clave útiles para la toma de decisiones. Dichas vulnerabilidades están asociadas a diferentes sistemas sensibles al clima, como los sistemas de suministro de alimentos, de infraestructura, de salud, costeros, los recursos hídricos, los ciclos biogeoquímicos, los ecosistemas, las placas de hielo y los patrones de circulación oceánica y atmosférica (IPCC, 2007). Además, mediante este marco surgen intentos de cuantificar los efectos del CC sobre diferentes capitales, principalmente el económico y social. Por lo tanto, este marco presenta un enfoque sistémico que analiza la condición y las múltiples interacciones que se desarrollan en los sistemas humano-ambientales para comprender las respuestas hacia diversos estresores, así como determinar las acciones necesarias para transitar hacia un estado de menor vulnerabilidad.

De las distintas definiciones de vulnerabilidad que se han desarrollado, la señalada en la Cuarta Comunicación (AR4) del IPCC (2007), es una de las más utilizadas en reportes e investigaciones debido a su operatividad y adaptación al objeto de estudio (Ahumada-Cervantes *et al.*, 2014; Monterroso *et al.*, 2014; Pereira *et al.*, 2014; Vargas & Paneque, 2017). Dicha definición señala que la vulnerabilidad es el grado de susceptibilidad e incapacidad del sistema para afrontar los efectos adversos del CC, incluyendo la variabilidad climática y eventos extremos. Además, menciona que la vulnerabilidad es una función del tipo, magnitud y frecuencia de las variaciones climáticas y el CC al que el sistema está expuesto, su sensibilidad y la capacidad adaptativa. Esta definición establece un componente externo de impacto (*shock*) y/o estrés al que el sistema está expuesto y un componente interno que corresponde al grado de respuesta del sistema hacia dichos factores (sensibilidad), así como la habilidad del sistema para adaptarse a las condiciones cambiantes (capacidad adaptativa) (Miller *et al.*, 2010; Mumby *et al.*, 2014) (Figura 11). Consecuentemente, la vulnerabilidad es una condición de los individuos, comunidades, sociedades o sistemas, en la que operan diferentes factores inmersos en las dimensiones de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa.

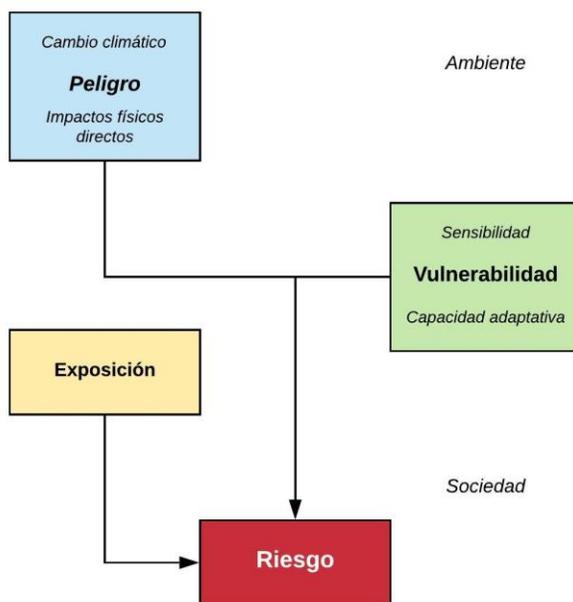


**Figura 11. Componentes del marco de análisis de vulnerabilidad AR4 propuesto por el IPCC.**

Fuente: IPCC, WG2, AR4, 2007.

Esta definición y el marco conceptual asociado fueron desarrollados a partir de diferentes orientaciones, con puntos de vista contrastantes en cuanto a las causas de la vulnerabilidad (Fussel & Klein, 2005). La escuela de ecología política señala que, similar a las aproximaciones iniciales del enfoque de riesgos a desastres naturales, la definición propuesta por el IPCC no integra de manera

sustancial los aspectos sociales de la vulnerabilidad. Esto se debe a que dicha definición considera que la vulnerabilidad es un resultado del CC, substrayendo en cierta medida la importancia de otros factores (Räsänen *et al.*, 2016). Miller (2010) señala que la vulnerabilidad es moldeada por la dinámica histórica, la diferencia en los derechos, la economía, la política y las relaciones de poder, más que como resultado directo de las perturbaciones o estrés ambiental. Por lo tanto, los contextos social, cultural, político y económico tienen la misma importancia analítica que los factores ambientales y, potencialmente, estos factores pueden adaptarse con mayor pragmatismo al desarrollo de políticas (O'Brien, 2007; Räsänen *et al.*, 2016).



**Figura 12. Componentes del marco de análisis de vulnerabilidad AR5 propuesto por el IPCC.**

Fuente: IPCC, WG2, AR5, 2014.

En la Quinta Comunicación (AR5) del IPCC (2014) se presentó el marco sobre riesgos climáticos (*climate risk framework*), donde la vulnerabilidad pasó a ser un componente del *riesgo*, similar al enfoque de riesgos a desastres naturales (Figura 12). Este marco señala que los riesgos son resultado de la interacción entre los peligros (amenazas), la exposición (probabilidad) y la vulnerabilidad. El peligro se refiere a un evento físico, tendencia o los impactos que tiene un efecto adverso en los sistemas naturales y humanos; la exposición señala la presencia de personas u otras unidades de interés en sitios que pueden ser afectados adversamente; mientras que la vulnerabilidad se define como el grado en el que un sistema tiene posibilidades o predisposición para ser afectado adversamente. El marco establece además que la vulnerabilidad abarca una variedad de conceptos y elementos que incluyen a la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad para

enfrentarlo y adaptarse (Dasgupta *et al.*, 2014; Räsänen *et al.*, 2016). Si bien existe cierto nivel de ambigüedad en esta definición de vulnerabilidad, el aporte principal es que dicha condición toma un enfoque multidimensional, en donde los resultados ya no son solo producto de los efectos del CC.

## 2. Marco de referencia para la estimación de la vulnerabilidad en el sistema de producción de algodón

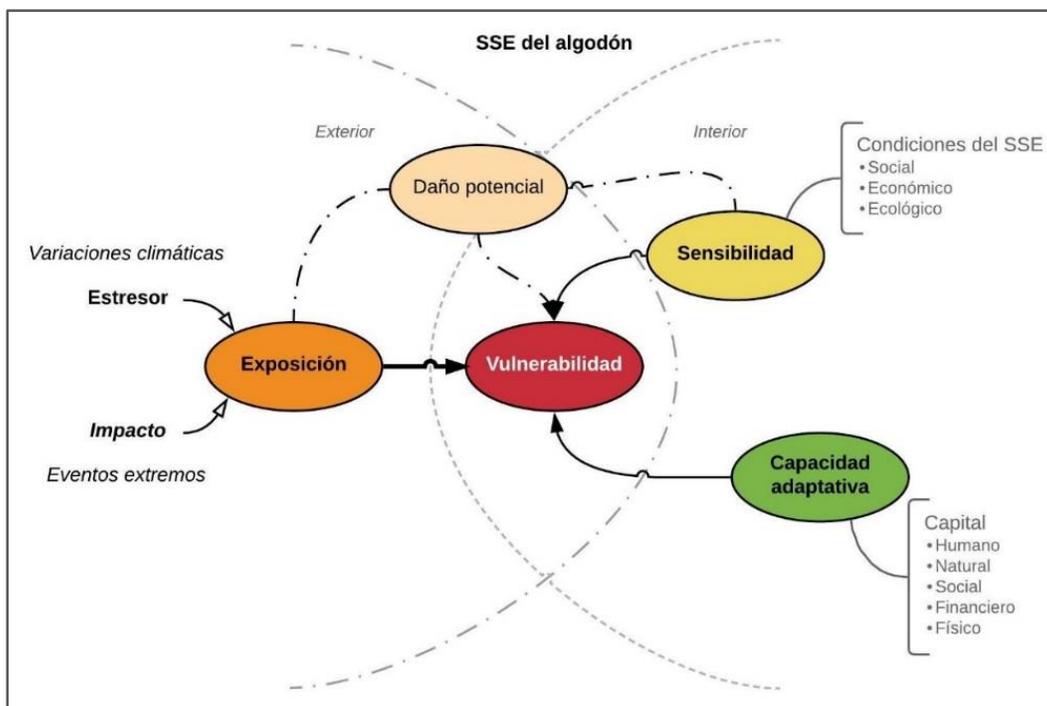
En el presente trabajo se toma como referencia el marco conceptual desarrollado en el AR4 del IPCC (2007), para llevar a cabo el análisis de la vulnerabilidad en el sistema de producción del algodón en Chihuahua y la Comarca Lagunera. Dicho marco se toma como referencia considerando que explícitamente fue desarrollado para estimar la condición vulnerable de diferentes sistemas, mientras que su operación en el sector agrícola cuenta con antecedentes importantes (Ahumada-Cervantes *et al.*, 2014; Monterroso *et al.*, 2014; Pereira *et al.*, 2014; Vargas & Paneque, 2017). En la Figura 13 se presenta el modelo planteado por Mumby y colaboradores (2014) con base en el marco del IPCC (2007). Dicho modelo ilustra las dimensiones que moldean la vulnerabilidad, como resultado de la interacción entre factores internos y externos de los sistemas de estudio.

Por otra parte, en el Cuadro 1 se adapta la definición de vulnerabilidad, así como las respectivas a las dimensiones de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa, de acuerdo con el objeto de este estudio (Ahumada-Cervantes *et al.*, 2014, Monterroso *et al.*, 2014, Pereira *et al.*, 2014, Vargas & Paneque, 2017).

**Cuadro 1. Definición de vulnerabilidad y sus dimensiones consideradas en el estudio.**

<b>Dimensión</b>	<b>Descripción</b>
<b>Vulnerabilidad</b>	La susceptibilidad del sistema a fenómenos naturales, que frecuentemente se asocian con pérdidas específicas o daños. No obstante, los eventos climáticos representan solo un aspecto significativo de la vulnerabilidad, dado que ésta presenta un carácter multidimensional.
<b>Exposición</b>	Atributo relacionado con el tipo, magnitud y frecuencia de un estímulo climático, que es considerado como una propiedad externa de los sistemas socio-ecológicos.
<b>Sensibilidad</b>	Se refiere a la interface entre los eventos climáticos y el sistema socio-ecológico, asociado al grado de respuesta del sistema. Refleja la susceptibilidad del sistema a determinados disturbios o a experimentar modificaciones potenciales.
<b>Capacidad adaptativa</b>	Es la habilidad del sistema socio-ecológico para administrar, adaptarse y recuperarse de un eventual disturbio ambiental.

Fuente: Ahumada-Cervantes *et al.*, 2014, Monterroso *et al.*, 2014, Pereira *et al.*, 2014, Vargas & Paneque, 2017.



**Figura 13. Dimensiones del análisis de la vulnerabilidad del SSE del algodón.**

Fuente: Modificado de Mumby *et al.*, 2014.

## 2.1 Exposición

La exposición es una dimensión asociada a factores de impacto, como eventos extremos, así como a factores de estrés, como las variaciones climáticas, que se conceptualizan como agentes externos al sistema. Mientras que los eventos extremos (e.g. sequía, granizadas, heladas) presentan una ocurrencia irregular, pero con la magnitud suficiente para causar daños severos, las variaciones climáticas (e.g. incremento en la temperatura, disminución de la precipitación) representan factores de presión constante, con la posibilidad de modificar las condiciones del sistema gradualmente. En el caso de la agricultura, ambos factores actúan sobre el sistema incrementando el potencial de daños sobre el establecimiento, desarrollo y producción del cultivo de interés, en este caso, el algodón. Consecuentemente, la relación de la exposición con la vulnerabilidad presenta una proporcionalidad directa, toda vez que, a mayor exposición, mayor vulnerabilidad.

$$vulnerabilidad \propto exposición$$

## 2.2 Sensibilidad

La sensibilidad corresponde a la dimensión interna del sistema, asociado al nivel de respuesta (en el sentido dosis-respuesta), que, junto con la exposición, determina el nivel de daños ocasionados por las perturbaciones ambientales. Adicionalmente, la sensibilidad refleja el grado al cual el sistema

puede ser potencialmente modificado, debido a perturbaciones de naturaleza climática. La sensibilidad emerge de la interacción entre los componentes del sistema socio-ecológico y los factores de exposición. Por lo tanto, en gran medida esta condición emerge o tiene influencia directa del contexto del sistema y presenta es directamente proporcional a la vulnerabilidad.

$$\mathbf{vulnerabilidad} \propto \mathbf{sensibilidad}$$

### 2.3 Capacidad adaptativa

La habilidad del sistema para administrar el cambio, al tiempo que realiza los ajustes necesarios para recuperarse de los efectos ocasionados por factores de impacto y estrés, corresponde a la capacidad adaptativa. Un aspecto fundamental de esta propiedad es que, dentro de los ajustes realizados, tiene la posibilidad de adaptarse a los cambios ocasionados por las perturbaciones climáticas y transitar a un estado de menor vulnerabilidad. Esta habilidad resulta de los componentes internos al sistema, particularmente de los recursos o capitales disponibles (e.g. físico, humano, natural, financiero). Por lo tanto, la capacidad adaptativa se conceptualiza como una propiedad inversamente proporcional a la vulnerabilidad, dado que, a mayor capacidad adaptativa, menor vulnerabilidad.

$$\mathbf{vulnerabilidad} \propto \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{capacidad\ adaptativa}}$$

### 3. La relación entre la vulnerabilidad y la sostenibilidad

De acuerdo con Winograd (2007), la vulnerabilidad puede ser considerada como un estado opuesto a la sostenibilidad, toda vez que dicha condición interfiere con las metas del desarrollo sostenible. Folke y colaboradores (2002) señalan que la meta del desarrollo sostenible es crear y mantener la prosperidad y viabilidad de los sistemas ecológico, económico y social. Si bien existen diferentes definiciones de la sostenibilidad, el hecho es que en general el concepto contempla el aprovechamiento de una base finita de recursos, examina sistemáticamente las opciones futuras y adapta sus estrategias para alcanzar un estado donde el bienestar es mayor, la equidad social es avanzada y la integridad ambiental está protegida (Redman, 2014). En el sector agrícola, el concepto involucra la interacción de diversos componentes del sistema socio-ecológico (e.g. la tecnificación de la unidad de producción, innovaciones tecnológicas, flujo de capital, régimen de propiedad, disponibilidad de recursos hídricos, capacitación técnica), que coadyuvan a lograr un estado que minimice las pérdidas de capital económico y natural, incremente la eficiencia de la actividad y aumente la rentabilidad (Thompson, 2007), e incluso el bienestar. Por lo tanto, considerando las definiciones de vulnerabilidad, los párrafos anteriores soportan la idea del contraste entre la

sostenibilidad y la vulnerabilidad, tomando en cuenta que el grado de susceptibilidad al daño ocasionado por diversos factores, así como la limitada habilidad para responder y adaptarse, pueden amenazar el bienestar, la equidad y la integridad del sistema.

Respecto a las vías de incidencia de la vulnerabilidad sobre la sostenibilidad del sistema, en principio es necesario ahondar en los elementos que vinculan a ambos conceptos. Thompson (2007) señala que existen dos maneras de conceptualizar a la sostenibilidad: a) como un problema de suficiencia de recursos y b) con base en la integridad funcional de un sistema auto-regenerativo. El primer caso se relaciona con la velocidad en la que una práctica de producción o consumo utiliza y agota los recursos disponibles (*stock*). En el caso de la integridad funcional, una práctica que amenace la capacidad del sistema para mantenerse es considerada como insostenible. La disponibilidad de recursos y el funcionamiento del sistema son relevantes para el contexto del sistema, los cuales pueden influir en su sensibilidad y capacidad adaptativa.

Por su parte, Turner y colaboradores (2003) señalan que las condiciones del sistema acoplado humano-ambiente determinan la sensibilidad del sistema a cualquier grupo de factores de exposición. Dichas condiciones dependen de la interacción entre múltiples elementos y factores de los subsistemas que corresponden a los ejes de la sostenibilidad: ecológico, económico y social. En los sistemas agrícolas, las condiciones son resultado de la interacción y retroalimentación entre diferentes componentes, a diferentes escalas del sistema y entre sistemas (e.g. recursos necesarios para la actividad, estatus de tenencia de la tierra, tecnologías implementadas, políticas públicas del sector, seguros agrícolas). Diversos estudios sobre la vulnerabilidad del sector agropecuario incluyen en la caracterización de la sensibilidad, variables relacionadas con la población, el acceso a diversos servicios y características de la infraestructura agrícola que, de acuerdo con el planteamiento conceptual y metodológico, se relacionan de manera directa con la vulnerabilidad (Ravindranath et al., 2011; Pereira *et al.*, 2014; Vargas & Paneque, 2017). Aun cuando estos ejercicios no refieren explícitamente la relación entre la sostenibilidad y las condiciones relacionadas con la sensibilidad del sistema, es posible inferir que dichas condiciones representan un contexto en el cual el daño ocasionado por factores de estrés e impacto puede modificarse, por lo que la relación entre la sensibilidad y la sostenibilidad del sistema es inversa.

De igual manera, la capacidad adaptativa para afrontar, recuperarse y adaptarse de los efectos ocasionados por los factores de estrés e impacto tiene relación directa con las condiciones del sistema. La capacidad adaptativa deriva de la interacción y retroalimentación entre diferentes componentes del sistema, que generan respuestas en diferentes niveles de su estructura, distintas escalas de tiempo y espacio, las cuales pueden anticiparse o reaccionar a los efectos adversos, lo que permiten su

recuperación y/o adaptación (Turner *et al.*, 2003, se refiere a este punto como resiliencia). En la literatura especializada respecto al sector agrícola, las variables que influyen en las condiciones del sistema corresponden principalmente a la disponibilidad de diversos capitales (e.g. humano, social, natural, financiero). Por lo tanto, en contraste con lo que ocurre con la sensibilidad, puede inferirse que la relación entre la capacidad adaptativa y la sostenibilidad es directa, ya que la habilidad para recuperarse y adaptarse se asocia con la funcionalidad del sistema y en cierta medida con la disponibilidad de recursos para implementar las acciones.

#### 4. Sistema socio-ecológico

La dinámica del aprovechamiento de recursos naturales para el desarrollo de las sociedades ha sido un tema relevante de discusión durante las últimas décadas. Esto se debe a las problemáticas relacionadas con su disponibilidad actual, como consecuencia de diversas actividades humanas que impactan en la integridad y función de los ecosistemas. En la actualidad, prácticamente no existen ecosistemas que no hayan sido moldeados por la actividad humana ni sociedades independientes de los ecosistemas y de los servicios que estos proveen (Haines-Young & Potschin, 2010; Stockholm Resilience Centre). Diversas aproximaciones señalan que los sistemas humanos y naturales están estrechamente acoplados, por lo que no deben ser considerados como sistemas aislados. Por lo tanto, desde hace un par de décadas el concepto de los sistemas socio-ecológicos (SSE) ha cobrado relevancia, particularmente por la representación de las esferas ecológica y social como un continuo (Berkes & Folke, 1998; Stockholm Resilience Centre).

De acuerdo con el Stockholm Resilience Centre, los SSE son sistemas complejos adaptativos no lineales, con trayectorias que presentan influencia de los eventos pasados, los cuales afectan el desarrollo futuro del sistema. La conducta macroscópica de estos emerge de las interacciones auto organizadas localmente por sus elementos, los cuales son diversos, posibilitando la adaptación a condiciones cambiantes. Dichos sistemas están integrados por diferentes componentes ecológicos, económicos, culturales, políticos, sociales y tecnológicos (Resilience Alliance). Sin embargo, el énfasis en la teoría de los SSE no reside en los componentes *per se*, si no en las relaciones que puedan llegar a generarse entre ellos, de modo que, como característica principal de los SSE, se encuentra la capacidad de crear nuevas configuraciones o estados a partir de las interacciones entre sus componentes (Villareal, 2014).

Los sistemas SSE conceptualizan la interconectividad de múltiples factores, componentes y dinámicas sociales y ecológicas, en sistemas complejos adaptativos que integran, de manera explícita, a los humanos con la naturaleza. La complejidad de los SSE tiene como características que no son

lineales, poseen múltiples niveles, existen vínculos entre escalas, ciclos de retroalimentación y una evolución conjunta, que resultan de la estrecha interacción e interdependencia entre los subsistemas social y ecológico (Challenger et al., 2015; Preiser *et al.*, 2018). Dado que los SSE cuentan con componentes y capacidades adaptativas, es posible que cambien y evolucionen a través del tiempo en respuesta a retroalimentaciones y cambios en el contexto del sistema, este aspecto es fundamental para determinar su conducta en un tiempo determinado y predecir los cambios (Folke *et al.*, 2005; Preiser *et al.*, 2018). La conducta macroscópica de los SSE emerge a partir de la auto-organización a diferentes escalas y de la interacción de los ecosistemas con múltiples actores dentro de un contexto social y biofísico particular (Folke, 2006; Stockholm Resilience Centre). De esta forma, el concepto de los sistemas SSE permite ampliar el enfoque tradicional de la ecología, en donde los humanos y los factores sociales son externos a los ecosistemas, centrando el análisis no solo en los componentes de los sistemas *per se*, sino en las relaciones interdependientes que pueden llegar a generarse entre ellos (Anderies *et al.*, 2004; Berkes *et al.*, 2000; Folke *et al.*, 2005; Ostrom, 2009; Stockholm Resilience Centre).

Tomando en cuenta el creciente interés por abordar el estudio de problemas socioambientales y fortalecer la gestión ambiental, la integración de la dimensión humana a partir del enfoque de los SSE brinda la oportunidad de utilizar a dichos sistemas como la unidad operativa de análisis relacionados con el desarrollo sostenible. El desarrollo conceptual de los SSE desde diferentes enfoques disciplinarios ha contribuido a fortalecer los estudios relacionados con la vulnerabilidad, la resiliencia y el desarrollo sostenible desde una perspectiva sistémica.

El reto principal de cualquier estudio que involucre a los SSE es “operativizar” dicho concepto, en función de la naturaleza de la investigación y los objetivos establecidos. Es así que la construcción ontológica del sistema que se pretende analizar es un paso fundamental para definir y acotar los límites, determinar sus componentes, las interacciones y retroalimentaciones a diferentes escalas. La aplicación de marcos conceptuales específicos da la posibilidad de analizar, a partir de un lenguaje y conceptos comunes para diferentes disciplinas, un aspecto particular del SSE (Binder *et al.*, 2013; Hinkel *et al.*, 2014). Además del desarrollo de un lenguaje común, la aplicación de marcos conceptuales permite analizar de manera formal la interdependencia entre los componentes del SSE, la dinámica de las interacciones y el resultado de la retroalimentación (Bodin & Tëngo, 2012). Esto ha hecho patente la necesidad de desarrollar y aplicar marcos conceptuales que permitan caracterizar a los SSE, evaluar su estado actual y proyectar los posibles resultados de las intervenciones realizadas (Binder *et al.*, 2013). Los esfuerzos para analizar la interacción entre los sistemas social y ecológico, desde una perspectiva integrativa, se ha consolidado con el desarrollo de diversos marcos teóricos

que divergen en sus objetivos, trasfondo disciplinario, aplicabilidad, escalas de análisis (temporal, social y espacial) y conceptualización de la interacción entre los sistemas sociales y naturales (Binder *et al.*, 2013; Challenger *et al.*, 2015).



**Figura 14. Subsistemas centrales en el marco de los sistemas socio-ecológicos (SSE).**

Fuente: Ostrom, 2009.

El Marco de los Sistemas Socio-Ecológicos desarrollado por Ostrom (2007) y actualizado por McGinnis & Ostrom (2014), aporta una estructura de variables organizadas jerárquicamente en multiniveles, que ha sido de gran utilidad en los estudios para la gestión sostenible de recursos forestales, pesquerías y recursos hídricos (Binder *et al.*, 2013). El nivel más alto del SESF permite analizar a los subsistemas centrales del SSE, tales como los sistemas de recursos (e.g. agroecosistemas), las unidades de recursos (e.g. toneladas de algodón producidas), los actores o usuarios (e.g. agricultores) y los sistemas de gobernanza (e.g. regla de operación), los cuales se encuentran relativamente separados, pero interactúan para generar resultados con efectos a nivel de todo el SSE. Los niveles inferiores se desagregan con mayor precisión en variables de los subsistemas centrales, con interacciones locales cuyo resultado (retroalimentación), afectan a los subsistemas y sus componentes (Figura 14). Debido a que las interacciones se desarrollan alrededor de relaciones estratégicas entre agentes, las reglas establecidas por los agentes, y las elecciones colectivas utilizadas para el establecimiento de dichas reglas, es posible determinar la influencia de diversos actores sobre el manejo de recursos, particularmente los de uso común, los cuales presentan una relevancia central en el contexto del manejo de recursos naturales. Por lo tanto, el uso de este marco como referencia, posibilita el análisis de las interacciones clave en el interior del sistema, colocando particular atención en el contexto histórico, dado el marco teórico señala que el estado actual y las dinámicas futuras del

SSE dependen en gran medida de los eventos pasados, que parten de la memoria del sistema, es decir, la experiencia acumulada (incluyendo los procesos de cambio, las relaciones humano-ambiente y la auto organización).

## **5. La agricultura como sistema socio-ecológico**

La agricultura es la actividad que ejemplifica de forma notable la estrecha relación entre la humanidad y el medio ambiente, debido a que su desarrollo depende de múltiples factores bióticos y abióticos, así como sociales, económicos y culturales. El desarrollo de la actividad, circunscrito a unidades geográficas modificadas y acondicionadas para dicha práctica (e.g. unidad de producción, distrito o región agrícola), puede ser afectado directa o indirectamente por factores externos relacionados con el clima, la política y el mercado. Al interior, los recursos disponibles, las prácticas de manejo, la infraestructura implementada y la presión de plagas y malezas, son algunas de las variables que influyen en la productividad agrícola. En la realidad, la interacción dinámica entre los elementos externos e internos disipa la división conceptual entre la esfera social y natural, por lo que diversos autores señalan que la agricultura es un sistema socio-ecológico (Altaweel, 2008; González de Molina, 2010).

La agricultura puede ser analizada desde el enfoque de SSE, toda vez que en esta se reconoce una organización compleja, estructurada por diferentes subsistemas que interactúan entre sí. Dichos subsistemas corresponden a los sistemas de recursos (e.g. unidades de producción, agroecosistemas, regiones agrícolas), las unidades de recursos (e.g. recursos genéticos, hídricos, suelo), los usuarios (e.g. productores, acopiadores, proveedores de insumos) y las instituciones (e.g. leyes, normas, reglas de operación, contratos). Cada subsistema está estructurado por diferentes variables de niveles secundarios, las cuales a su vez interactúan con otras variables. De esta manera, el funcionamiento del sistema depende de la interacción y retroalimentación de diferentes componentes del sistema y presenta influencia del contexto histórico (Ostrom, 2007).

En términos generales, es posible identificar los componentes de un SSE en la actividad agrícola; no obstante, es importante considerar los diferentes contextos en los que se desarrolla dicha actividad. Lo anterior es relevante tomando en cuenta que estas condiciones y dinámicas, tienen el potencial de influir en la sensibilidad del sistema y su capacidad adaptativa, y, por lo tanto, en los niveles de vulnerabilidad. El contexto de la actividad es particularmente relevante en países en desarrollo, donde los escenarios agrícolas son contrastantes, como en el caso de México. Esta situación requiere considerar el análisis de sistemas específico, ya que como lo señala Turner y colaboradores (2003), diferentes grupos o sistemas presentan diferentes vulnerabilidades.

## 5.1 Identidad del sistema socio-ecológico de agricultura industrial

Históricamente las poblaciones del territorio que actualmente ocupa México se han desarrollado en sociedades agrarias o han vivido en estrecha relación con la actividad agrícola. Diversas investigaciones señalan la relevancia de las sociedades agrícolas en Mesoamérica, partiendo de su condición como uno de los centros de origen y diversidad de platas cultivadas (Harlan, 1971). Estos cultivos, producidos mediante diferentes sistemas de agricultura intensiva (e.g. humedales, terrazas y canales de irrigación) y extensiva (e.g. humedales y sistema roza-tumba-quema), dieron lugar al sistema alimentario mesoamericano (Marcus & Stanish, 2006; Sluyter, 1994; Tutino & Vega, 1992; Zuzimbo-Villareal & Colunga García, 2010). Posterior a la conquista, la agricultura mesoamericana experimentó cambios fundamentales debido a la introducción de nuevas plantas para su cultivo y la zonificación de regiones agrícolas (Ewald, 1977; Whitmore & Turner, 1992). Durante las primeras décadas del periodo postcolonial, la actividad agrícola se extendió a diversas regiones de la naciente Estado-nación, en donde se consolidó su carácter comercial con la producción de diversos cultivos (henequén, café, vainilla, algodón, tabaco, caña de azúcar, hule, entre otros), antecedentes de la agroindustria (Morett-Sánchez, 1987; Solorza, 2011). Actualmente, como resultado de este extenso proceso, la agricultura en el país se desarrolla en un mosaico de condiciones en el que confluyen sistemas con características particulares, definidas por su contexto social, económico, ecológico y tecnológico (González-Estrada, 2010).

La clasificación de los tipos de agricultura practicados en el país es compleja y depende de los criterios seleccionados para su análisis (González-Estrada, 2010). Un aspecto fundamental para la clasificación sistemática de la agricultura es considerar que, dentro de su gran diversidad, existen distintos tipos que pueden ser agrupados de manera natural y objetiva a partir de sus elementos esenciales, reduciendo de esta manera la arbitrariedad y subjetividad en la clasificación (Bunge, 2000). De acuerdo con González-Estrada (2010), un principio lógico y metodológico de clasificación de los sistemas agrícolas se basa en los elementos y relaciones endógenas propias o esenciales de dichos sistemas. De esta manera, en la práctica los sistemas agrícolas se clasifican con base en la infraestructura, tecnología y recursos asociados (González-Estrada, 2010; Jara-Rojas *et al.*, 2012).

Al respecto, en México a nivel gubernamental, si bien no reconoce una clasificación oficial de la agricultura, los diferentes sectores de gobierno la tipifican de acuerdo con sus atribuciones y el objeto de políticas aplicadas. El Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, actualmente SADER), y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), a través de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), tipifican a la agricultura con base en la infraestructura de abasto

de agua, la cual se divide *grosso modo* en agricultura de riego y de temporal. Además de este criterio, el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) señala que existen dos grandes grupos de agricultura, extensiva e intensiva, en donde el rasgo característico es el nivel de producción obtenido por unidad de área, lo que se asocia al grado de tecnificación (e.g. uso de paquetes tecnológicos, maquinaria agrícola y asesoría técnica)<sup>6</sup>. Por su parte, la SAGARPA y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés) (2014), estratificaron a las Unidades Económicas Rurales (UER) en función de su grado de capitalización y vinculación al mercado, en un rango que va de la agricultura de subsistencia hasta la empresarial dinámica. Por su parte, con base en las prácticas, insumos y tecnología asociada, la SAGARPA, en coordinación con otras instancias de gobierno, implementa la regulación específica para la agricultura orgánica<sup>7</sup> y la biotecnología<sup>8</sup>. Por lo tanto, el enfoque del gobierno para clasificar, y de esta forma regular, operar y organizar la información estadística relacionada con la actividad agrícola, se basa en rasgos sobre la gestión de recursos hídricos, tecnológicos y el contexto socioeconómico.

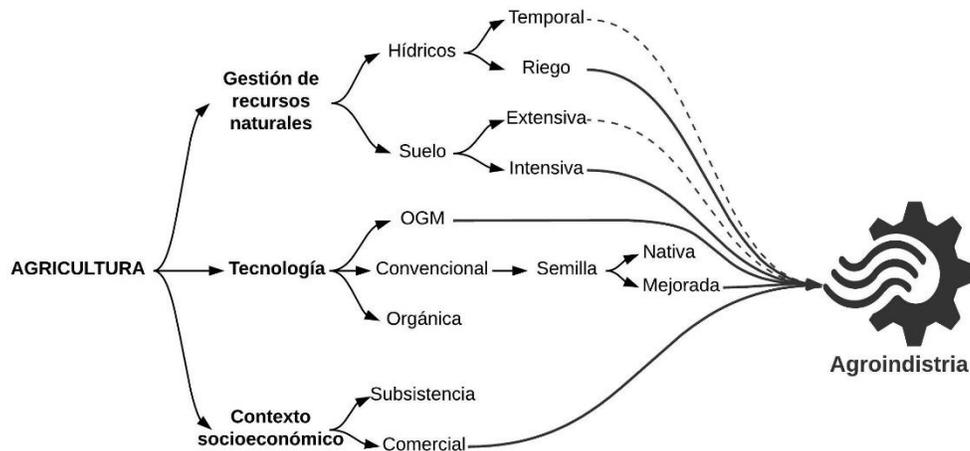
En términos de vulnerabilidad, algunos autores dan mayor relevancia a los factores sociales en la clasificación del sistema de estudio, dado que la agricultura es un proceso histórico-social, basado en la selección artificial de plantas (proceso de domesticación). Con este enfoque se han desarrollado diferentes estudios sobre la vulnerabilidad de la agricultura a pequeña escala, caracterizada por la aplicación de conocimientos tradicionales y el uso de semillas nativas, pero también por limitaciones en infraestructura, tecnología y capital financiero (Campos *et al.*, 2014; Ruíz-Meza, 2015; Saldaña-Zorrilla, 2007). En el otro extremo, y menos estudiado, se ubican los sistemas agroindustriales, asociados con el conocimiento técnico-científico, el uso de variedades vegetales mejoradas, alta tecnificación y mayor disponibilidad de recursos financieros (Cázares, 2003; Cuevas *et al.*, 2011). Si bien no existe una definición específica respecto a la agricultura industrial, diversos autores los autores que refieren el término la asocian con patrones específicos de gestión de recursos, prácticas de cultivo, tecnología asociada y objeto o fin de la producción (Figura 15). Por lo tanto, la clasificación del tipo agricultura parte de la necesidad de delimitar los sistemas de estudio, con el objeto de identificar los factores que inciden en una condición determinada, como lo es la vulnerabilidad.

---

<sup>6</sup> <http://siaprendes.siap.gob.mx/contenidos/2/01-agricultura/contexto-2.html>

<sup>7</sup> Ley de Productos Orgánicos, DOF 2006.

<sup>8</sup> Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados, DOF 2005.



**Figura 15. Rasgos asociados a la agricultura industrial.**

Las líneas punteadas hacen referencia a que, aun cuando estas condiciones o prácticas no se relacionan directamente con el modelo de agricultura industrial, existen unidades de producción de temporal o de agricultura extensiva que usan insumos fitosanitarios, están mecanizadas y capitalizadas y se vinculan de forma estrecha con el mercado.

Fuente: Elaboración propia

Con base en estos argumentos, en el presente estudio se clasifica el sistema de producción de algodón en función de la gestión característica de diferentes recursos o capitales (natural, manufacturado, humano, financiero), que son determinantes para su funcionamiento y le dan identidad. La producción del algodón en nuestro país se asocia con la agricultura industrial, toda vez que se trata de una actividad especializada que se desarrolla en unidades tecnificadas (e.g. infraestructura de riego, mecanización de labores), con un consumo importante de plaguicidas y fertilizantes sintéticos, uso de variedades mejoradas (híbridos convencionales y/o GM) establecidas en monocultivos de extensión variable (generalmente no en minifundio). Además, su relación directa con el mercado (actividad empresarial) y la disponibilidad de recursos financieros, son descriptores complementarios de este tipo de agricultura (Bartra, 1978; Binswanger et al., 1995; Fox & Haight, 2010). Es así que el presente análisis se enfoca en el sistema de producción de algodón, como una aproximación de la agricultura industrial, escasamente evaluada en términos de su vulnerabilidad.

En este sentido, el presente trabajo se orienta a un tipo de agricultura que dada sus características (a partir de la gestión de diferentes tipos de capitales) se considera como industrial. De esta manera, se delimita un tipo de agricultura basada en el uso de innovaciones tecnológicas, infraestructura y capital financiero. A continuación, se presentan los criterios con las siguientes características:

- a) Recursos
  - Recursos hídricos
  - Superficie de suelo agrícola

- Semillas mejoradas (convencional o GM)
- b) Nivel de tecnificación
  - Infraestructura de riego
  - Mecanización
- c) Nivel de capitalización
  - Acceso a seguros y subsidios
- d) Asistencia técnica
  - Operación de campañas fitosanitarias

## CAPÍTULO III

### Método

#### 1. Caracterización del sistema socio-ecológico

La caracterización del sistema socio-ecológico se realizó mediante la búsqueda bibliográfica de información general sobre la historia natural y biología del algodón *G. hirsutum*, los antecedentes históricos de su cultivo desde la época precolombina a la actualidad, con énfasis en el desarrollo de las regiones algodoneras en el norte del país. Toda vez que existen datos parciales o limitados respecto a los antecedentes de producción de algodón a nivel municipal (unidad de estudio en el presente trabajo), específicamente con respecto a series de tiempo, la caracterización del SSE de algodón se realizó a nivel regional, considerando que la Comarca Lagunera cuenta con una identidad definida por las condiciones ecológicas sociales y económicas; mientras que en las regiones algodoneras de Chihuahua también presentan elementos de similitud, particularmente con relación a su proceso de establecimiento y desarrollo.

La recopilación de información bibliográfica se realizó mediante diferentes motores de búsqueda con el objeto obtener elementos que permitieran caracterizar los aspectos socioeconómicos y ambientales relacionados con la producción de algodón en el estado de Chihuahua y la Comarca Lagunera. Se obtuvieron datos de diversos documentos como libros, tesis, estudios e informes realizados por instancias gubernamentales y principalmente de artículos indexados. El proceso exploratorio de información se realizó en las siguientes fuentes de información:

- Sistema de Bibliotecario y de Información de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
- Consorcio Nacional de Recursos de Información Científica y Tecnológica (CONRICyT)
- Google Académico
- Biblioteca Digital de la Universidad Autónoma de Chapingo
- TESIUNAM
- INDEXI de Tesis Digitales
- The Lens

La búsqueda de información se basó en palabras clave como «algodón», «algodonero», «cotton», «agroindustria», «agricultura industrial», «Comarca Lagunera», «La Laguna», «Chihuahua», «Mesoamérica», «colonia», «Nueva España», «sistema», «agro», «revolución», «industria», entre

otros términos, utilizando operadores booleanos como AND, WITH y NOT para refinar la búsqueda, particularmente el caso de Google Académico.

La información disponible sobre las series de tiempo de la siembra (superficie) y producción de algodón en el estado de Chihuahua y la Comarca Lagunera, se obtuvo de fuentes bibliográficas y del SIAP, de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), a través del Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON).

Por otra parte, tomando como referencia el marco general propuesto por McGinnis & Ostrom (2014), se organizó la información disponible considerando los principales subsistemas referidos en dicho marco, con énfasis en variables desagregadas a nivel municipal. La información se obtuvo de fuentes oficiales o trabajos de investigación realizados en las zonas de estudio, como tesis o reportes técnicos. El marco de McGinnis & Ostrom considera dos grandes subsistemas, el social y el ecológico, que a su vez están constituidos por los subsistemas de gobernanza y los usuarios, así como los de recursos y unidades de recursos, estructurados en este trabajo de la siguiente manera:

- Sistemas de recursos - Agroecosistema de algodón: descripción biofísica de los sitios de estudio: vegetación, ambiente, agua, clima, suelo, parcelas agrícolas, agua, variedades de algodón.
- Unidades de recursos: producción de fibra de algodón, aceite de algodón.
- Usuarios: agricultores, proveedores de semilla, proveedores de insumos, despepitadoras.
- Sistemas de gobernanza: Reglas de operación, programa, seguros, derechos de propiedad de la tierra.

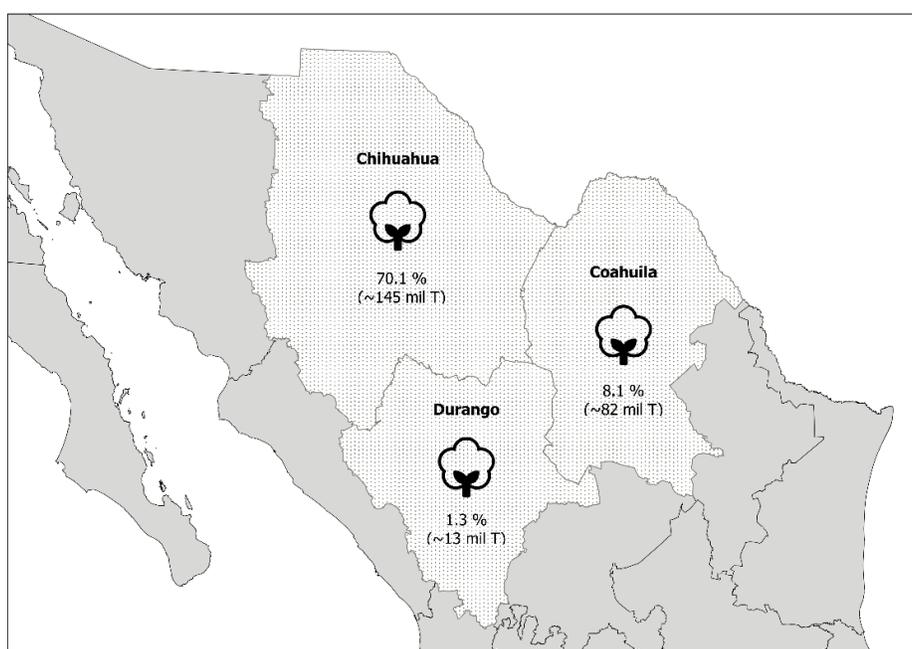
Si bien los análisis basados el marco de McGinnis & Ostrom abordan el estudio de los componentes individuales del sistema (organizados en subsistemas) y sus interacciones y retroalimentación, es relevante señalar que en este trabajo el modelo solo se utilizó como referencia para la organización de los elementos principales que conforman el sistema de estudio, con el objeto de hacer operativo concepto de SSE en el análisis de vulnerabilidad.

## **2. Sitios de estudio**

En la actualidad, dos importantes zonas algodonerías del país se ubican en el del estado de Chihuahua y la región de la Comarca Lagunera, también conocida como La Laguna. El estado de Chihuahua cubre el 12.6 % del territorio nacional, colindando al norte con los Estados Unidos de América (EE.UU.), al este con EE.UU., Coahuila de Zaragoza y Durango, al Sur con Durango y Sinaloa, y al oeste con Sinaloa, Sonora y EE. UU. (INEGI, 2018). Por su parte, La Comarca Lagunera se encuentra

ubicada en centro norte de México y en la actualidad la componen desde el punto de visto hidrológico, 15 municipios, cinco de la porción suroeste del estado de Coahuila de Zaragoza y 10 de la porción noreste del estado de Durango. La Laguna, a pesar de estar divididas geopolíticamente por dos entidades federativas, las comunidades que la conforman se encuentran estrechamente relacionadas por una historia e identidad cultural común, que en gran medida se sustenta en su historia y desarrollo agrícola (Rivas-Sada, 2011).

Durante el año agrícola 2017, el estado de Chihuahua se ubicó como el principal productor de la fibra, con el 70 % de la producción, mientras que, en conjunto, los estados de Coahuila y Durango produjeron menos del 10 % del volumen nacional (Figura 16) (SIAP, 2017).



**Figura 16. Producción de algodón en las entidades de estudio en el ciclo agrícola 2017.**

Fuente: Elaboración propias con información del SIAP.

Dado que en el presente estudio el análisis de la vulnerabilidad aborda de desde una aproximación de lo general a lo particular, se decidió utilizar al municipio como la unidad de análisis, debido a que es la escala geoestadística con mayor información desagregada a nivel local. (Monterroso *et al.*, 2014). El municipio es una división administrativa a la vez que es una unidad con cierta homogeneidad en términos culturales y consiente de su identidad (Dehouve, 2001). El algodonero fue uno de los agentes que permitió el poblamiento de ciudades, que con el tiempo llegaron a constituirse como municipios, como el caso de Delicias, Chihuahua (Aguilar, 2013). Por otra parte, en la tradición constitucionalista de nuestro país, el municipio es la base de la organización política, que a la vez dota a las poblaciones de cierta autonomía económica y administrativa (Bazdresch-Parada, 1994). Por lo tanto, la evaluación

de la vulnerabilidad a esta escala puede contribuir al establecimiento de estrategias y otros instrumentos de política pública para afrontar los desafíos ante ocasionados por disturbios ambientales, con énfasis en la prevención y mitigación, pero particularmente en la adaptación (Vargas-Paneque, 2017). Con base en lo anterior, se consultó la información disponible en el Anuario Estadístico de la Producción Agrícola del SIAP<sup>9</sup>, para determinar los municipios productores de algodón, tanto en Chihuahua como en la región de la Comarca Lagunera (también conocida como La Laguna). El Anuario Estadístico concentra información de la producción agrícola nacional para el periodo de 1980 al 2017. En la sección “Cierre de la producción agrícola 1980-2017”, se ubica información de la superficie sembrada, superficie cosechada y valor de la producción de cultivos cíclicos y perennes, de acuerdo con la modalidad hídrica. El menú disponible en esta plataforma permite la identificación de información a diferentes escalas: estatal, por Distrito de Desarrollo Rural (DDR) o municipio.

La información disponible a nivel municipal comprende el periodo del 2003 al 2017, lo que técnicamente corresponde a 15 ciclos agrícolas. Dicha información se agrupó en una matriz general de datos que incluyó las variables consideradas en el Anuario, como son “superficie de siembra”, “superficie de cosecha”, “rendimientos” y “ciclo agrícola”, entre otras variables, para cada una de las entidades y municipios productores de algodón incluidos en el estudio (Tabla 12).

### **3. Análisis de la vulnerabilidad**

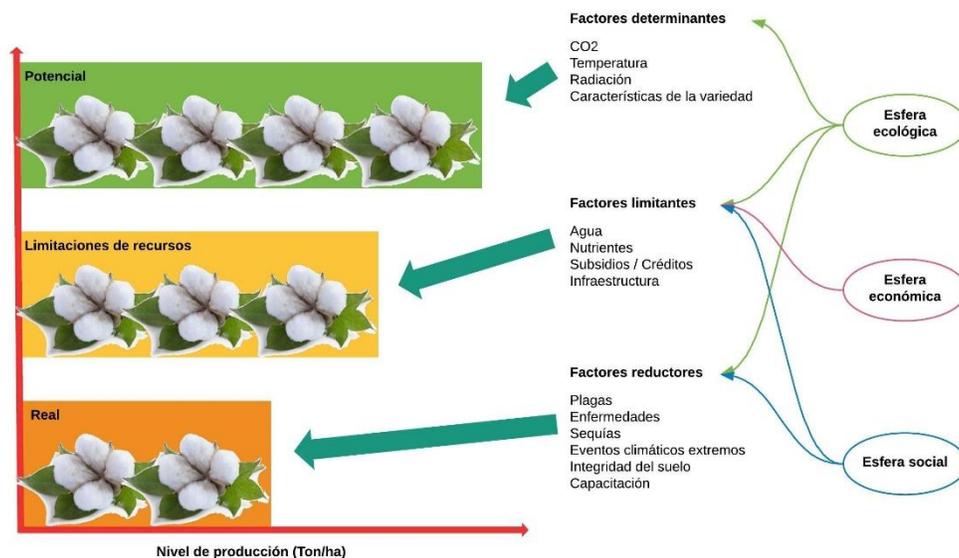
En el presente estudio, la vulnerabilidad se entiende como una función que depende de tres dimensiones: la exposición, la sensibilidad y la capacidad adaptativa. La exposición se interpreta como amenazas representadas por elementos externos al SSE del algodón, que pueden impactar o significar un factor de estrés; la sensibilidad como el grado o susceptibilidad del sistema a ser dañado por los factores externos, y la capacidad adaptativa como la habilidad del sistema para recuperarse de los disturbios ocasionados por los factores externos, particularmente los ambientales (Figura 17).

---

<sup>9</sup> <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. El Anuario Estadístico de Producción Agrícola integra información sobre la producción de algodón hueso para el periodo de 1980 a 2017; no obstante, la información desagregada a nivel municipio y DDR solo está disponible para el periodo de 2003 al 2017, así como los avances de la información procesada para los años agrícolas 2018 y 2019.



como el incremento de la temperatura (factor determinante) o cambios en los patrones de precipitación, así como con las acciones realizadas por los agricultores y el grado de asistencia técnica (Ouyang *et al.*, 2014). Por lo tanto, a nivel del socioecosistema, los tres tipos de factores pueden relacionarse con agentes que impactan, estresan o influyen en el nivel de exposición, sensibilidad y la capacidad de adaptación del sistema.



**Figura 18. Factores que afectan la productividad agrícola.**

Fuente: Adaptado de NAS, 2015.

Las variables económicas y su interacción con otros elementos del socioecosistema juegan un papel relevante en el desarrollo de la actividad agrícola, particularmente en el modelo industrial. Con relación a los factores limitantes, se han implementado diversos instrumentos económicos para dotar de infraestructura de riego, maquinaria, energía para el bombeo de agua e insumos agrícolas, que han beneficiado de manera preponderante a las entidades del norte del país (Fox & Haight, 2010). De igual forma, un rasgo importante del modelo industrial es la disponibilidad de recursos económicos para contrarrestar los efectos indeseables de los factores reductores, gestionados mediante instituciones públicas y privadas (Ávila *et al.*, 2017). En el caso de factores determinantes como las características del cultivo, los materiales de algodón adaptados a las condiciones de las zonas de estudio corresponden a variedades mejoradas, principalmente transgénicas, las cuales deben ser adquiridas cada ciclo, como el insumo fundamental para la producción de algodón. La interacción de las variables económicas con los factores ecológicos y sociales para producir efectos a nivel del socioecosistema, por lo que pueden influir en la sensibilidad del sistema ante factores de impacto y estrés, así como en la capacidad para afrontarlos y recuperarse.

Como actividad social, los factores de esta dimensión juegan un papel importante en la gestión de recursos y la adopción de estrategias y medidas para afrontar diferentes retos de la actividad agrícola. Las organizaciones de agricultores a escala local o regional permiten establecer reglas para el desarrollo y manejo de recursos hídricos a través de las unidades de riego (Palerm-Viqueira, 2005), así como cadenas de comercialización de la fibra a través de las despepitadoras (Aguilar, 2013). El contexto social también influye en la disposición para adoptar innovaciones tecnológicas en el modelo agroindustrial, particularmente en las regiones actuales de cultivo de algodón, donde las condiciones agroecológicas y climáticas pueden limitar su establecimiento sin el apoyo de tecnología (Aguilar, 2013, Cerutti, 1997; Cerutti & Rivas, 2018). Por otra parte, el éxito del control de plagas depende de la coordinación y participación de los agricultores, en el caso del algodón a través de prácticas culturales que reduzcan la posibilidad de brotes de plagas en zonas bajo control<sup>10</sup>. Por lo tanto, diversas variables de la esfera social influyen de manera directa sobre la sensibilidad y la capacidad del sistema ante los factores de exposición, además de interactuar con elementos y variables de las dimensiones ecológicas y económicas.

Tomando en cuenta la dimensión ecológica, económica y social, y los factores involucrados en el desarrollo de la actividad agrícola, particularmente en el contexto de la producción de algodón en las regiones de estudio, en los siguientes apartados se presenta la información respecto a las variables seleccionadas para evaluar la vulnerabilidad de dicho socioecosistema en el estado de Chihuahua y en la Comarca Lagunera.

### **3.1 Selección de variables para el análisis de la vulnerabilidad**

#### ***i) Variables del subíndice de exposición***

Para el desarrollo del subíndice de exposición se seleccionaron tres tipos de variables que representan factores de estrés o de impacto potencial en el sistema: eventos extremos, factores climáticos y problemáticas en los sistemas de recursos naturales. De acuerdo con diversos autores, este tipo de variables presentan una relación directa con la vulnerabilidad; hipotéticamente, a mayor grado de exposición el sistema se presenta mayor vulnerabilidad (Ahumada-Cervantes *et al.*, 2015; Monterroso *et al.*, 2014; Pereira, *et al.*, 2014).

Si bien los factores de exposición seleccionados en este estudio son determinantes para el desarrollo del cultivo de algodón, sus efectos pueden alcanzar a otros eslabones de la cadena productiva en

---

<sup>10</sup> La NOM-026-FITO-1995, modificada en 2014, establece acciones coordinadas entre los órganos de coadyuvancia de la SADER, para controlar plagas principales de este cultivo en las zonas de producción.

diferentes momentos del desarrollo de la actividad, así como a otros elementos del socioecosistema. En la Cuadro 2 se presenta un resumen de las variables utilizadas para la construcción del subíndice de exposición, mientras que en los apartados siguientes se describen con mayor detalle.

**Cuadro 2. Variables utilizadas para el subíndice de exposición.**

Categoría	Id variable	Variable	Relación con la vulnerabilidad	Hipótesis
Eventos extremos	E1	Recurrencia de sequía	Directa	A mayor frecuencia de meses anormalmente secos o periodos de sequía, mayor exposición del sistema.
	E2	Declaratoria de emergencia o desastre por sequía	Directa	Los municipios con mayor número de declaratorias presentan mayor grado de exposición.
	E3	Declaratoria de emergencia o desastre y contingencias climatológicas	Directa	Los municipios con mayor número de declaratorias presentan mayor grado de exposición.
	E4	Riesgo de Granizo	Directa	Un riesgo mayor de granizo presenta mayor posibilidad de impactar negativamente en desarrollo del cultivo.
Factores climáticos	E5	Precipitación promedio	Inversa	A menor precipitación, mayor probabilidad de sequía y limitaciones para las recargas de las fuentes de agua superficial y subterránea
	E6	Temperatura máxima promedio	Directa	Temperaturas altas influyen en procesos de evaporación (incremento) y estrés hídrico
Problemas ambientales	E7	Acuíferos sobreexplotados	Directa	La sobreexplotación de acuíferos incrementa los efectos en el SSE ocasionados por la sequía

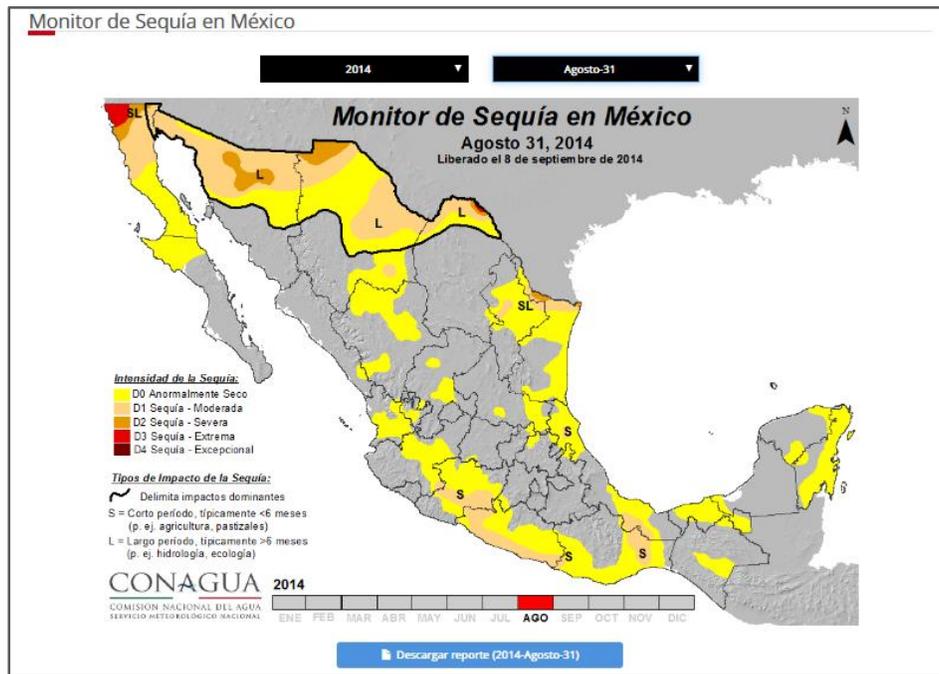
#### a) Eventos Extremos

##### *E1 Sequía*

Dentro del primer tipo de variables se incluyeron los eventos extremos que afectan el desarrollo del cultivo, específicamente fenómenos de origen climático. Se consideró a la sequía como el factor con mayor impacto para el desarrollo de la agricultura en diversas regiones del país, particularmente las regiones áridas y semiáridas que comprenden el estudio.

La sequía es un fenómeno multifactorial que, dada su irregularidad de ocurrencia en tiempo y espacio, presenta dificultades para determinar y predecir el grado de afectación en diferentes componentes del sistema. Dentro de los diferentes tipos de sequía que se han descrito, la sequía agrícola se caracteriza por el déficit de precipitación, asociado a altas temperaturas, baja humedad relativa y alta radiación solar, factores que en conjunto inciden en el aumento de los niveles evaporación y transpiración que

conducen al incremento en el déficit de humedad en el suelo, lo que impide o limita el crecimiento de los cultivos (Núñez-López *et al.*, 2007)



**Figura 19. Pantalla de inicio del Monitor de Sequía en México.**

Fuente: CONAGUA.

Como fuente de datos para caracterizar este fenómeno en este estudio, se consideró la información disponible en el Monitor de Sequía en México (MSM) del Servicio Meteorológico Nacional (SMN)<sup>11</sup>, organismo dependiente de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), el cual presenta información sobre los municipios con al menos el 40 % de su territorio afectado por alguna intensidad o condición de sequía, de acuerdo con la escala utilizada por el MSM (Figura 19). El monitor cuenta con información disponible a partir del año 2003 a la fecha, con registros quincenales para los 2 457 municipios en las 32 entidades federativas del país. De acuerdo con su metodología<sup>12</sup>, la intensidad de sequía se determina con base en la escala de intensidades común entre Estados Unidos, Canadá y

<sup>11</sup> <https://smn.cna.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico>.

<sup>12</sup> La metodología del monitor se basa en la obtención e interpretación de diversos índices o indicadores de sequía, como el Índice Estandarizado de Precipitación (SPI, por sus siglas en inglés) que cuantifica las condiciones de déficit o exceso de precipitación, el indicador de Anomalía de Lluvia en Porcentaje de lo Normal, el Índice Satelital de Salud de la Vegetación (VHI, por sus siglas en inglés) que mide el grado de estrés de la vegetación a través de la radiancia observada, el Modelo de Humedad de Suelo Leaky Bucket que estima la humedad del suelo mediante un modelo hidrológico de una capa, el Índice Normalizado de Diferencia de Vegetación (NDVI, por sus siglas en inglés), la Anomalía de la Temperatura Media, el Porcentaje de Disponibilidad de Agua en presas del país, así como la opinión de expertos locales. Estos índices se despliegan en capas en un Sistema de Información Geográfica y mediante un consenso se determinan las regiones afectadas por la sequía.

México, que va desde anormalmente seco (D0), sequía moderada (D1), sequía severa (D2), sequía extrema (D3) hasta sequía excepcional (D4). Es importante señalar que el MSM no es un sistema de pronóstico, ya que su objeto principal es describir la evolución de las sequías en magnitud y extensión espacial, en conjunto con sus impactos, con énfasis en los sectores agropecuario e hídrico (Lobato-Sánchez, 2016).

A partir de la información disponible el archivo de información municipal, se seleccionaron los datos correspondientes a los 26 municipios de estudio en Chihuahua y los 10 de la región de la Comarca Lagunera. A partir de esta información se determinó la frecuencia para cada valor de la escala del MSM (D0 a D4), en un total de 254 registros quincenales disponibles de 2003 al 2018. Considerando que cada escala corresponde a una intensidad diferente de sequía, se ponderó cada una de ellas (tabla 3), con el objeto de reflejar el grado de intensidad y obtener valor medio ponderado de sequía para cada municipio (Ecuación 1).

Ecuación 1:

$$Seqj = \frac{\sum(Fijpi)}{\sum pi}$$

Donde:

$F_{ij}$ = Frecuencia de cada categoría por municipio.

$p_i$ = Valor ponderado para cada categoría.

**Tabla 3. Valores ponderados para cada escala de sequía considerado por el MSM.**

Clasificación de escala		Ponderación
Anormalmente seco	D0	1
Sequía moderada	D1	2
Sequía severa	D2	3
Sequía extrema	D3	4
Sequía excepcional	D4	5

Fuente: MSM, Servicio Meteorológico Nacional

### ***E2 Declaratorias de emergencias o desastres por sequía***

Las sequías es uno de los fenómenos hidrometeorológicos de mayor impacto a la agricultura en las regiones áridas y semiáridas. Por lo tanto, es uno de los principales factores que pueden motivar la declaratoria de emergencias o desastres por parte del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), en función de la magnitud, con independencia de las frecuencias registradas. La información de las declaratorias de emergencias o desastres ocasionadas por la sequía comprende el periodo de 2000 al 2016. Con base en esta, se determinó en número de declaratorias para cada municipio de estudio en el estado de Chihuahua, así como en la Comarca Lagunera.

### ***E3 Declaratorias de emergencias, desastres y contingencias climatológicas***

Otra fuente de información relacionada con eventos extremos corresponde a las declaratorias sobre emergencias, desastres y contingencias climatológicas a nivel municipal, concentrada por el CENAPRED a través del portal de Datos Abiertos del Gobierno de México<sup>13</sup>. La información disponible abarca el periodo del año 2000 al 2016. Dentro de los diferentes tipos de declaratoria, el CENAPRED clasifica a los eventos de acuerdo a su naturaleza como: geológicos (e.g. sismos, vulcanismos, derrumbes), hidrometeorológicos (e.g. huracanes, temperaturas extremas, sequías), químicos (e.g. derrames de sustancias peligrosas, gases), sanitarios (e.g. plagas, contaminación por microorganismos) y sociales (e.g. terrorismo, vandalismo). Para el caso de los sitios de estudio y el objeto del análisis, se consideró solo la información de las declaratorias relacionadas con los fenómenos hidrometeorológicos. Dicha información se desagregó en dos variables: declaratorias por sequía y declaratorias asociadas a otros fenómenos meteorológicos, ocurridos durante el 200 al 2016, en los 26 municipios de estudio en Chihuahua y los diez municipios analizados para la Comarca Lagunera.

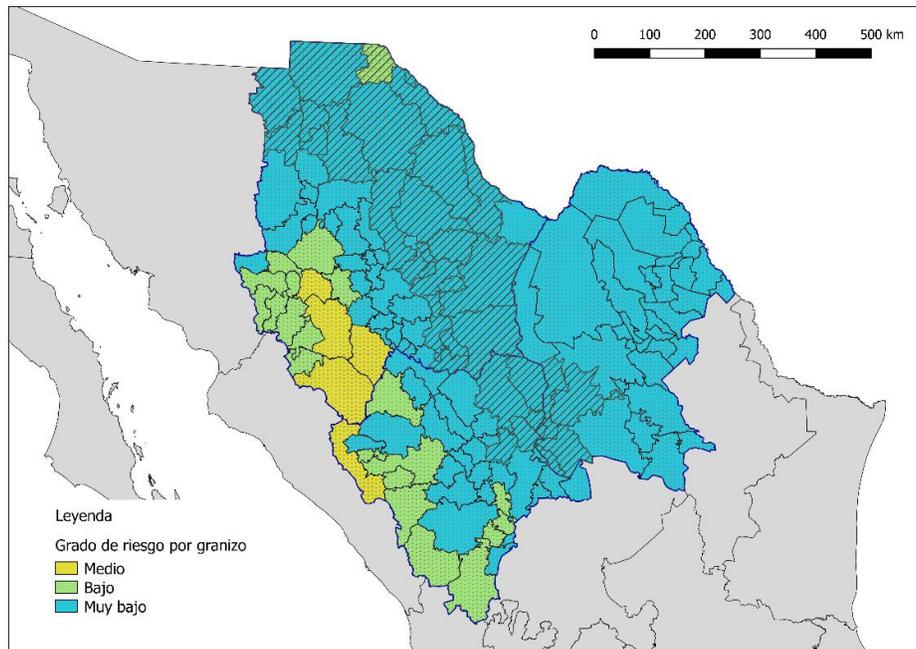
### ***E4 Grado de riesgo por granizo***

Las granizadas representan un factor que puede impactar de manera significativa a la producción de algodón. La zona norte del país presenta riesgos por tormentas de granizo asociadas a cambios bruscos de temperatura y tormentas eléctricas. Estas precipitaciones sólidas, en forma de hielo de diversos tamaños, afectan principalmente a las regiones agrícolas. La mayoría de las tormentas de granizo ocurren durante el verano entre los paralelos 20 y 50, tanto en el hemisferio norte como en el sur, siendo mayo, junio y julio los meses de mayor incidencia (Espinoza *et al.*, 2012). En el caso del

---

<sup>13</sup> <https://datos.gob.mx/busca/dataset/declaratorias-sobre-emergencia-desastre-y-contingencia-climatologica>.

algodonero, el cultivo es particularmente vulnerable durante las primeras etapas de desarrollo, así como durante la etapa reproductiva debido a la pérdida de botones florales y cápsulas.



**Figura 20. Grado de riesgo por granizo en los municipios de estudio.**

Fuente: Elaboración propia con información del CENAPRED, 2018.

De acuerdo con el CENAPRED, en México las granizadas se registran principalmente en la región del altiplano, particularmente en los valles de la porción sur de éste y en la Sierra Madre Occidental, así como en la Sierra Madre del Sur y algunas regiones de Chiapas, Guanajuato, Durango y Sonora. Si bien en las zonas de estudio el grado de riesgo es menor que en otras regiones del país (Figura 20), la relevancia de las afectaciones potenciales por este fenómeno en el sector agrícola y su posible incidencia dentro los meses que comprenden su ciclo de cultivo (abril a noviembre), dan lugar a su inclusión en el presente estudio.

Con base en el mapa del grado por riesgo del CENAPRED, se obtuvieron los datos respecto al grado de riesgo por granizo para los 26 municipios del estado de Chihuahua y los 10 municipios de la Comarca Lagunera que se incluyen en el estudio. El grado de riesgo es función del índice de peligro por tormentas de granizo<sup>14</sup> y el grado de vulnerabilidad social por municipio. Con base en el índice de peligro, la densidad poblacional y el grado de marginación municipal, se calcula el índice o grado de riesgo.

<sup>14</sup> El índice de peligro por tormentas se determina a partir del número de días con granizo.

Si bien el grado de riesgo por granizo para los municipios de estudio es el mismo, como se puede observar en la figura 7, las variaciones en los parámetros para determinar la vulnerabilidad social generan diferentes valores del índice de riesgo dentro de la escala “muy bajo”. Dicha información fue sistematizada para cada municipio incluido en el presente análisis.

#### b) Factores climáticos

La agricultura es una actividad que se encuentra expuesta a prácticamente todos los parámetros meteorológicos, particularmente a las variaciones extremas. En este análisis se utilizaron los datos disponibles para dos de los factores con mayor asociación a los fenómenos de sequía, la precipitación y la temperatura.

##### *E5 Precipitación promedio*

Las diferentes definiciones de sequía coinciden en que se trata de un periodo sostenido de baja precipitación (Campos-Aranda, 2014; Lobato, 2016; Mishra & Singh, 2010; Núñez-López *et al.*, 2007). La severidad de la sequía depende en principio, del grado de reducción de la lluvia. Una vez que ocurre la sequía meteorológica, puede ocurrir la sequía agrícola, como primer sector sensible a esta condición por la reducción de la humedad relativa y humedad en el suelo (Núñez-López *et al.*, 2007; Valiente, 2001). En secuencia, la sequía hidrológica se manifiesta cuando esta condición atmosférica se prolonga, afectando las recargas de cuerpos de agua superficiales (e.g. embalses, ríos) y subterráneos (acuíferos), debido a la disminución del volumen de escurrimiento e infiltración (Valiente, 2001). Por lo tanto, dada la asociación del nivel de precipitación con la sequía, resulta una variable relevante para el análisis de la vulnerabilidad del sistema de producción de algodón.

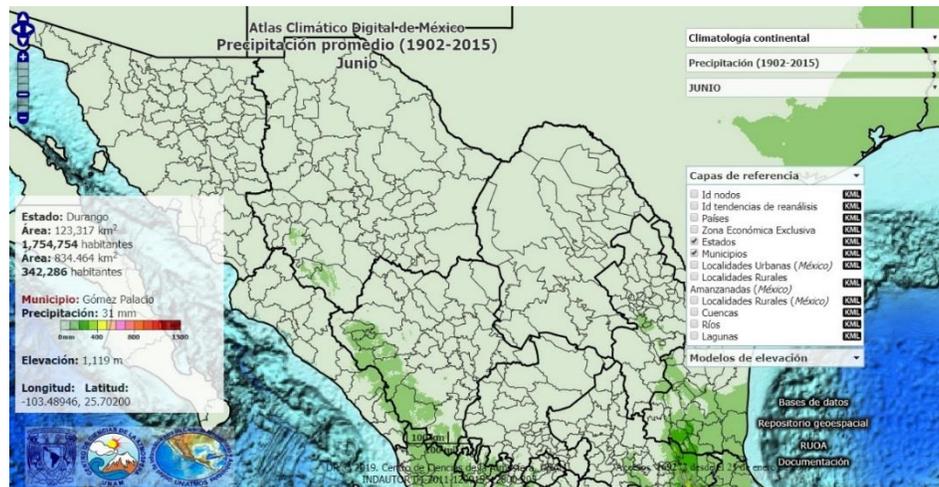
En el presente estudio se integra la información de los niveles de precipitación promedio a nivel municipal, disponible en el Atlas Climático Digital de México (ACDM)<sup>15</sup>, del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad Nacional Autónoma de México (Figura 21). La información disponible en el atlas integra insumos de 5 320 estaciones que cuentan con datos pluviométricos<sup>16</sup>, correspondiente al periodo 1902 al 2015. A partir de esta información, se obtuvo la precipitación

---

<sup>15</sup> <http://uniatmos.atmosfera.unam.mx/ACDM/servmapas>.

<sup>16</sup>La información climática del ACDM v2.0 se procesó a partir de los datos climatológicos de la base diaria del Servicio Meteorológico Nacional para el período 1902-2011, publicada en junio de 2011 (SMN). Dicha base de datos contiene 5,227 estaciones con datos de temperatura máxima, 5,225 con temperatura mínima y 5,320 con precipitación.

promedio anual para cada uno de los municipios del estado de Chihuahua y de la Comarca Lagunera considerados en el estudio.



**Figura 21. Aspecto del Atlas Climático Digital de México-Precipitación promedio.**

Fuente: Instituto de Ciencias de la Atmósfera, UNAM.

A diferencia de las otras variables que integran el subíndice de exposición, en este estudio, los niveles promedio de precipitación no tienen una relación directa con la vulnerabilidad, y pueden conceptualizarse como un factor con relación inversa, toda vez que niveles altos de precipitación hipotéticamente reducirían los niveles de vulnerabilidad a eventos como las sequías. Por lo tanto, con el propósito de que esta variable se relacione directamente con la exposición, se consideró al valor de precipitación promedio menor como el límite superior de sensibilidad para esta variable, y al valor más alto de precipitación promedio como el límite inferior. Lo anterior se realizó mediante la siguiente ecuación:

$$P = \frac{P_{max} - P_i}{P_{max} - P_{min}}$$

Donde:

$P_i$  = Valor promedio de la precipitación anual registrada

$P_{min}$  = Valor menor registrado en el rango de datos obtenido para los municipios de estudio

$P_{max}$  = Valor mayor registrado en el rango de datos obtenido para los municipios de estudio

### ***E6 Temperatura máxima***

Los niveles de temperatura, de manera similar a la precipitación, presentan un grado de asociación importante con los periodos de sequía cuando registra niveles altos. El incremento de la temperatura favorece la evaporación del agua superficial, lo que produce modificaciones en la humedad del suelo y la humedad relativa (Dai, 2011). En el caso de la sequía agrícola, la influencia de las altas temperaturas sobre las condiciones de atmosféricas y del suelo favorece el desarrollo de estrés hídrico en las plantas. Generalmente, durante los fenómenos de sequía, ocurren de manera simultánea altas temperaturas. Independiente a la sequía, el estrés por altas temperaturas puede ocasionar ajustes osmóticos en las plantas debido al incremento en la evapotranspiración (Machado & Paulsen, 2001). Las plantas de algodónero son sensibles a altas temperaturas durante la formación de botones florales, los cuales pueden ser abortados a causa de los desajustes fisiológicos en la planta (Echer *et al.*, 2014).



**Figura 22. Aspecto del Atlas Climático Digital de México-Temperatura máxima promedio.**

Fuente: Instituto de Ciencias de la Atmósfera, UNAM.

Considerando la relación entre las altas temperaturas con los fenómenos de sequía y estrés potencial de las plantas de algodón, como parte de las variables climáticas se consideró a las temperaturas máximas promedio mensual, para cada uno de los municipios bajo estudio. La información se obtuvo del ACDM, para el periodo de 1902 a 2015 (Figura 22).

### c) Problemáticas en los sistemas de recursos naturales

Diversos estudios sobre la vulnerabilidad consideran dentro de su análisis, problemáticas ambientales bajo la hipótesis de que dichas dinámicas y procesos pueden actuar como factores de impacto y estrés a los que el sistema está expuesto. Bajo este enfoque, en estos estudios se ha integrado procesos de degradación de recursos como una de las variables relevantes dentro de este grupo de parámetros. En el caso de los sistemas agrícolas, el agotamiento de los recursos hídricos es uno de los principales factores que limita el desarrollo de la actividad, especialmente para aquellas unidades de producción

ubicadas en regiones áridas y semiáridas. Si bien el cultivo de algodón es un requiere una lámina menor de riego comparado con otros cultivos de las regiones de estudio (Tabla 4), la extensión de las superficies cultivadas es un factor de presión sobre los recursos hídricos, particularmente en las zonas que dependen de fuentes subterráneas.

**Tabla 4. Láminas de riego para cultivos comúnmente sembrados en las regiones de estudio.**

Cultivo	Lámina de riego total (cm)	Distribución de riegos
Alfalfa	180 a 200	5 iniciales 2 entre cada corte
Algodón	55 a 68	5 a 6
Chile jalapeño	80 a 120	12 a 14
Maíz	75 a 100	5 a 6
Sorgo	60	3

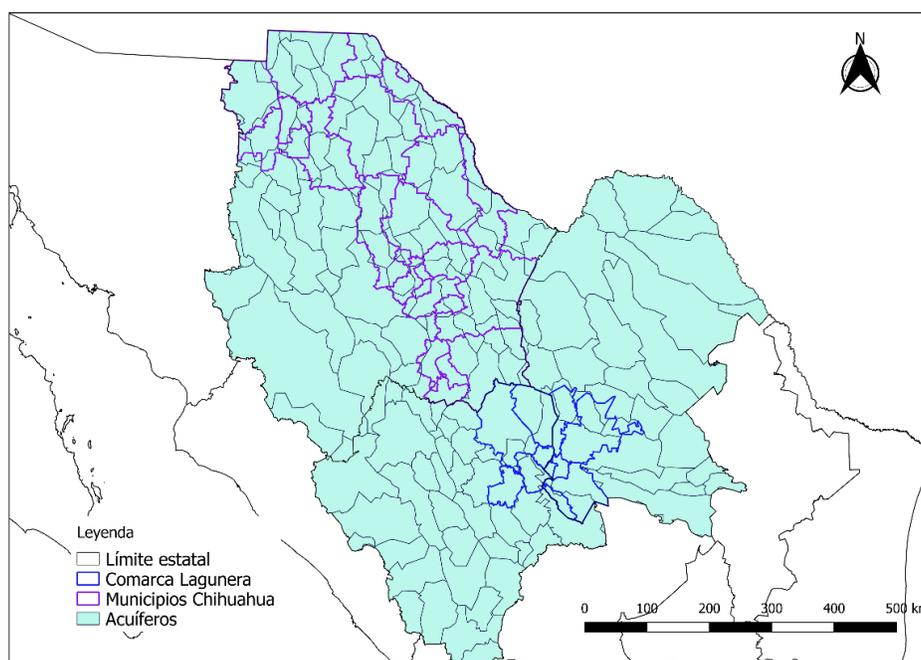
Fuente: Agenda Técnica Agrícola de Chihuahua, 2017;  
Agenda Técnica Agrícola de Durango y La Laguna.

### ***E7 Condición de acuíferos***

Tomando en cuenta que aproximadamente el 60 % del territorio nacional prevalece un clima árido y semiárido, el agua es el recurso primario que posibilita el desarrollo de diversas actividades económicas, entre ellas la agricultura. De acuerdo con Manzanares (2016), en la porción norte del estado de Chihuahua, caracterizado por un régimen de precipitación limitado, la asignación del agua con fines agrícolas alcanza el 97 % del recurso disponible. En estas condiciones, la extracción de acuíferos se ha convertido en una de las estrategias que posibilita la operación de desarrollos agrícolas de alto rendimiento y altamente especializados. Actualmente existe una problemática debido a la presión hídrica que experimentan varias regiones agrícolas del norte del país. Uno de los casos más estudiados es la Comarca Lagunera, en donde se ha determinado déficit hídrico debido a la sobreexplotación de acuíferos, donde más del 65 % del agua se abastece por fuentes subterráneas, la mayor parte destinada el sector agrícola (García-Salazar *et al.*, 2006; Ríos-Flores *et al.*, 2015).

Considerando lo anterior, se obtuvo la información de la condición de los acuíferos ubicados en las regiones de estudio (Figura 23). Si bien la delimitación administrativa de los acuíferos no corresponde a la división política municipal, a partir superposición de capas de información geoespacial de los acuíferos puesto a disposición por la CONAGUA y las capas de municipios del INEGI, se obtuvo información de la condición de los acuíferos que ubicados dentro de cada municipalidad incluida en el estudio. Como proxy para determinar la condición de acuíferos por municipio, se consideraron

todos los acuíferos que cubren la mayor parte del territorio municipal, cuando existe más de un acuífero dentro de esta división política.



**Figura 23. Acuíferos en los municipios de estudio en el estado de Chihuahua y La Laguna.**

Fuente: Elaboración propia con información del CONAGUA, 2018.

## *ii) Variables del subíndice de sensibilidad*

La construcción del subíndice de sensibilidad se realizó utilizando variables relacionadas con el grado de daño potencial a los factores de impacto o estrés y/o el grado de respuesta del sistema. De manera, similar a lo que ocurre con el subíndice de exposición, las variables que caracterizan a la sensibilidad del sistema presentan una relación directa con la vulnerabilidad.

Los estudios especializados abordan el análisis de la sensibilidad considerando variables socioecológicas asociadas a la posibilidad de responder ante factores de impacto, como la sequía u otros eventos extremos, así como a factores de estrés, como perturbaciones climáticas. Dichas variables son descriptores de la población o de los elementos expuestos, toda vez aportan información sobre las condiciones del sistema (Ahumada-Cervantes *et al.*, 2014b; Balvanera *et al.*, 2017; Mussetta & Barrientos, 2015; Pereira *et al.*, 2014; Vargas & Paneque, 2017).

En el caso de estudio del sistema socio-ecológico del algodón, se trató de integrar aquellas características que condicionan el desarrollo de la actividad o que le confieren un estatus particular. En la Cuadro 3 se presenta un resumen de las variables utilizadas para la construcción del subíndice de sensibilidad, mientras que en los apartados siguientes se describen con mayor detalle.

**Cuadro 3. Variables utilizadas para el subíndice de sensibilidad.**

<b>Id variable</b>	<b>Variable</b>	<b>Relación con la vulnerabilidad</b>	<b>Hipótesis</b>
S1	Uso predominante de agua subterránea	Directa	Mayor predominio de uso concesionado de agua subterránea se relaciona con mayor sensibilidad a eventos extremos y factores de estrés, debido a la condición de sobreexplotación de acuíferos.
S2	Porcentaje de cuencas hidrológicas con disponibilidad	Inversa	Menores porcentajes de cuencas con disponibilidad se relacionan con mayores impactos debido a la ocurrencia de fenómenos de sequía.
S3	Superficie siniestrada	Directa	La pérdida total del área sembrada con algodón se relaciona con escenarios de mayor sensibilidad.
S4	Rendimiento promedio	Inversa	A menor rendimiento mayor sensibilidad del sistema de cultivo debido a las pérdidas económicas potenciales
S5	Precio medio rural (PMR)	Inversa	Menor precio rural por la producción de algodón hueco limita la respuesta a los daños ocasionados por factores de impacto y estrés
S6	Porcentaje del valor de la producción del algodón	Inversa	A mayor porcentaje del valor de la producción del algodón mayor grado de respuesta ante daños potenciales, reduciendo la sensibilidad
S7	Superficie sembrada con algodón	Inversa	Superficies menores sembradas con algodón presentan menor posibilidad de afrontar los daños ocasionados por factores de impacto y estrés

Las variables rendimiento, precio medio rural (PMR), porcentaje del valor de la producción y porcentaje de la superficie agrícola sembrada con algodón, que no presentan una relación directa con la sensibilidad, se tomó valor menor de cada variable como el límite superior asociado a la sensibilidad, y el valor mayor registrado para cada una como límite inferior. Lo anterior se realizó mediante la siguiente ecuación:

$$X = \frac{X_{max} - X_i}{X_{max} - X_{min}}$$

Donde:

$X_i$  = Valor promedio de la variable para cada municipio

$X_{min}$  = Valor menor registrado para para la variable

$X_{max}$  = Valor mayor registrado para para la variable

### ***SI Uso predominante de agua subterránea***

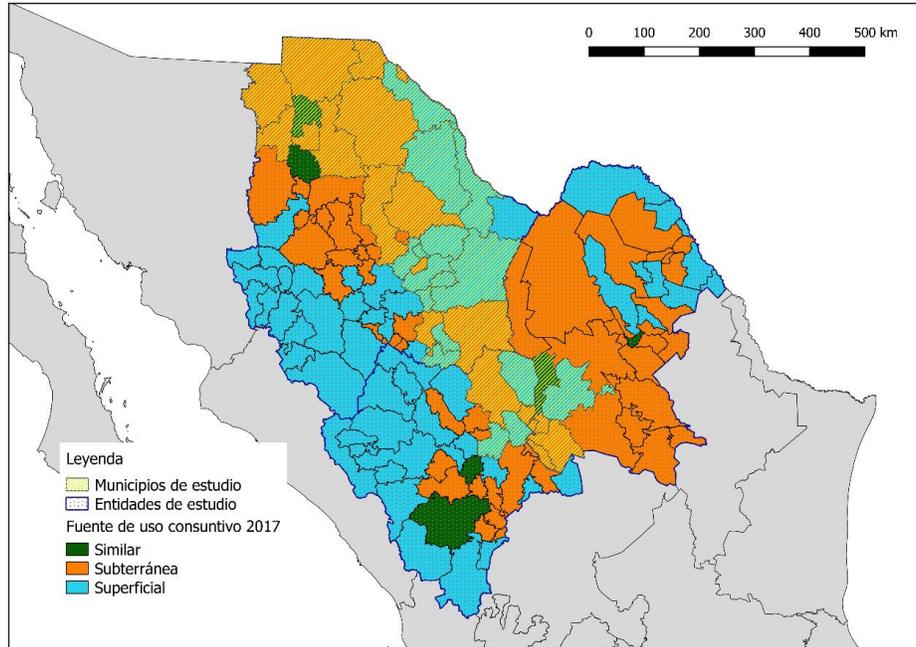
De acuerdo con la CONAGUA, el volumen de agua concesionado en las regiones hidrológicas administrativas Río Bravo y Cuencas Centrales del Norte presentan un uso concesionado con predominancia de fuentes subterráneas, particularmente para el caso de la Comarca Lagunera. En el caso de las zonas aldoneras del norte de chihuahua, la extracción de acuíferos ha permitido el desarrollo de este tipo de actividades de alta productividad. Diversas estimaciones han señalado la presión sobre los acuíferos de estas regiones, por lo que la predominancia del uso concesionado de agua de fuentes subterráneas puede tener una relación directa con la sensibilidad del sistema.

Con esta hipótesis se obtuvo la información sobre la fuente predominante del uso concesionado de agua a nivel municipal para el año 2017, consultando el Sistema Nacional de Información del Agua (SINA)<sup>17</sup>, dependiente de la CONAGUA. El SINA presenta información de la fuente principal o predominante para los volúmenes concesionados en cada municipio, sea superficial o subterránea. Cuando existe una diferencia menor al 5% entre fuentes superficiales y subterráneas, se considera que no existe fuente predominante y se designan como fuentes similares (Figura 24).

Adicional a considerar la fuente predominante de agua concesionada para los 36 municipios analizados en ambas regiones, se obtuvo el porcentaje de agua subterránea concesionada, con la hipótesis de que, a mayor proporción de agua subterránea, la sensibilidad del sistema es mayor.

---

<sup>17</sup> <http://sina.conagua.gob.mx/sina/index.php>

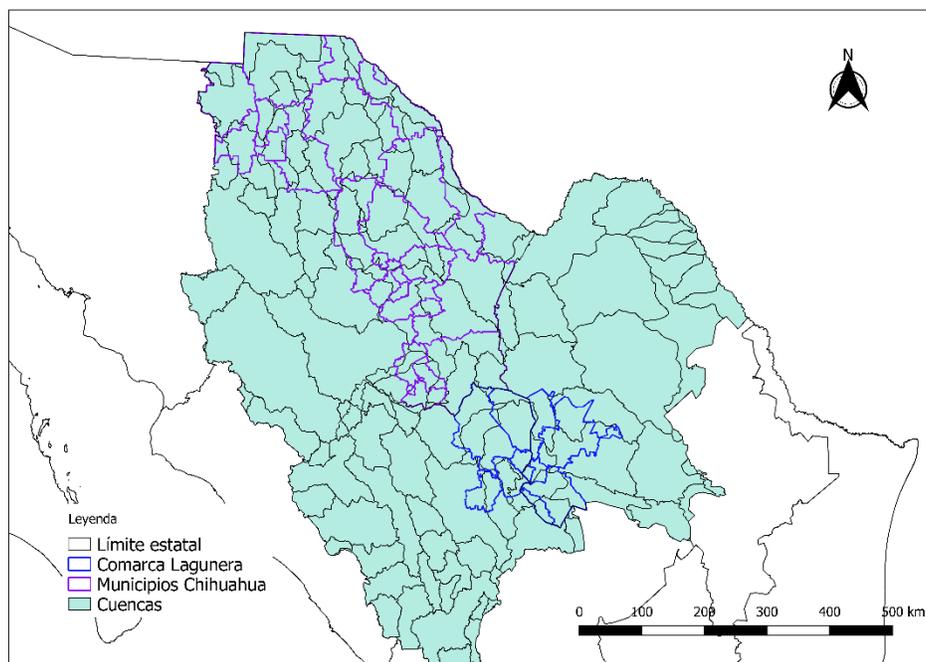


**Figura 24. Fuente predominante del agua concesionada a nivel municipal en Chihuahua y La Laguna.**  
 Fuente: Elaboración propia con información del CONAGUA, 2017.

### ***S2 Disponibilidad de cuencas***

La disponibilidad de agua en cuencas representa el volumen de agua neto por año existente. A nivel nacional se calcula a partir de la suma de la precipitación y el volumen de agua que escurre al interior, menos el volumen de agua que se evapora más el volumen de que escurre al exterior.

El conocimiento de la disponibilidad de agua en un territorio es fundamental para llevar a cabo estrategias de gestión de recursos hídricos a nivel regional. La información sobre la disponibilidad de agua en las cuencas 757 cuencas hidrológicas de México la provee la CONAGUA (Figura 25). Con base en la información para el 2017, se determinó el porcentaje de cuencas a nivel municipal sin disponibilidad, tanto en Chihuahua como en la Comarca Lagunera.



**Figura 25. Cuencas en los municipios de estudio en el estado de Chihuahua y La Laguna.**  
Fuente: Elaboración propia con información del CONAGUA, 2018.

### ***S3 Superficie siniestrada***

La agricultura es una de las actividades económicas con mayor posibilidad de siniestros debido a factores hidrometeorológicos y biológicos. En el caso del primer grupo de factores, existe potencialidad de pérdidas de cultivos debido a heladas, fuertes vientos e inundaciones, entre otros. Con relación a los factores biológicos, los siniestros pueden ocurrir debido a la presencia de plagas y competencia de malezas. En todos los casos, el grado de siniestralidad agrícola presenta una relación directa con la sensibilidad del sistema.

Como tal, el SIAP señala que la superficie siniestrada es el área sembrada que en el ciclo agrícola registra pérdida total por afectación de fenómenos climáticos o por plagas y enfermedades. La información de la superficie sembrada siniestrada se extrajo del Anuario Estadístico de la Producción Agrícola, para el periodo de 2003 al 2017. Con base en esta información, se obtuvo la superficie promedio siniestrada a nivel municipal.

### ***S4 Rendimiento promedio***

El rendimiento es la cantidad de producto que se obtiene por unidad de superficie cosechada y normalmente se expresa en toneladas por hectárea (Ton/ha). La magnitud del rendimiento señala el nivel de eficiencia de la actividad y depende de la combinación de diversos factores que influyen en la producción. La ubicación geográfica, el tipo de clima y la calidad del suelo, son algunos de los

factores que influyen en el nivel de los rendimientos. Además de estas causas de origen natural, factores tecnológicos, sociales y económicos tienen gran influencia sobre este parámetro.

En México, una combinación no favorable de estos factores resulta en niveles bajos de rendimiento de diversos cultivos. Esta situación puede afectar a todo el sistema debido a que un rendimiento bajo influye en la decisión sobre la permanencia en la actividad, incrementar la superficie de cultivo para compensar nivelar la rentabilidad del cultivo, reduce los salarios de la mano de obra ocupada en la actividad y puede limitar la introducción de tecnologías que permitan el uso eficiente de recursos.

Parte de las problemáticas que ha experimentado la producción de algodón en México, se debe al incremento de los precios de producción y la reducción en el precio de la fibra a nivel internacional. En este escenario, una de las estrategias para disminuir las pérdidas es elevar el rendimiento mediante diferentes técnicas que van desde el fitomejoramiento, modificación de las densidades de siembra y el uso de fertilizantes, así como el control eficiente de factores reductores (plagas y maleza) (Estrada-Torres *et al.*, 2008; Gil *et al.*, 2003; Levi *et al.*, 2009).

No obstante, en un escenario de alta exposición a factores de impacto y estrés, regiones con menores rendimientos presentarían mayor sensibilidad y por lo tanto mayor vulnerabilidad ante estos eventos. Con base en esta hipótesis, se obtuvieron los rendimientos promedio de algodón hueso a nivel municipal, disponibles en el Anuario Estadístico de la Producción Agrícola del SIAP, para el periodo del año 2003 al 2017.

### ***S5 Precio medio rural***

El precio medio rural (PMR) se define como el precio pagado al productor en la venta de primera mano en su parcela o predio y/o en la zona de producción, por lo cual no debe incluir los beneficios económicos que a través de Programas de Apoyo a Productores puedan otorgar el Gobierno Federal y/o Estatal, ni gastos de traslado y clasificación cuando el productor lo lleva al centro de venta (SIAP).

El PMR del algodón hueso para los municipios de estudio se obtuvo del Anuario Estadístico de la Producción Agrícola, para el periodo 2003 a 2017. Con base en esta información se calculó el PME promedio para cada municipio considerado en el estudio.

### ***S6 Porcentaje del valor de la producción del algodonerero***

Similar al caso del porcentaje de la superficie agrícola destinada al algodonerero, la proporción del valor de la producción de este cultivo respecto al valor total de la actividad agrícola por municipio se utiliza en este estudio como variable relacionada con la sensibilidad del sistema. La información se

obtuvo del Anuario Estadístico de la Producción Agrícola, respecto al valor de la producción de todos los cultivos durante el año agrícola 2017, para cada municipio estudiado. Mediante esta información se calculó el porcentaje que representó el valor de la producción del algodón durante dicho año.

### ***S7 Superficie sembrada con algodón***

La superficie sembrada con un cultivo particular en una región agrícola puede determinar el grado de sensibilidad hacia diversos factores de exposición. En contraste con otros estudios que abordan la vulnerabilidad de sistemas agrícolas con menor grado de especialización, el presente estudio relaciona esta variable con la hipótesis de que, a menor superficie de producción, puede existir mayor relación con la sensibilidad del sistema.

La información para el desarrollo de esta variable se obtuvo de Anuario Estadístico de la Producción Agrícola, para el periodo del 2003 al 2017. A partir de estos datos se obtuvo la superficie promedio que fue sembrada con algodón en cada municipio, durante el periodo antes señalado.

### ***iii) Variables del subíndice de capacidad adaptativa***

La vulnerabilidad, adicional a la exposición y sensibilidad, se define por la capacidad adaptativa del sistema. Esta habilidad, como atributo interno del sistema, puede modificar las circunstancias para transitar a una condición de menor vulnerabilidad. La capacidad de los sistemas socioecológicos para administrar, cambiar, adaptarse y recuperarse de disturbios ambientales, depende de una serie de factores relacionados con la salud, tecnología, educación, capacitación, infraestructura, acceso a recursos, entre otros. Por lo tanto, los estudios especializados señalan que la capacidad adaptativa puede definirse como una función de diferentes capitales, como el capital humano, financiero o físico (Ahumada-Cervantes, 2014; Monterroso, 2012; Pereira et al., 2014), las cuales pueden ser generales o específicas para afrontar un reto en particular asociado al CC (Eakin *et al.*, 2014).

El algodón, como cultivo agroindustrial, se produce en un sistema altamente especializado y tecnificado. En ambas regiones de estudio, la totalidad del cultivo se realiza en la modalidad de riego, las labores son mecanizadas, el 100 % de las semillas utilizada es mejorada, de la cual, aproximadamente el 90 % es genéticamente modificada y su acceso al mercado la ubica como agricultura empresarial. Si bien estos elementos pudieran relacionarse con una mayor capacidad adaptativa, en comparación con otros contextos agrícolas (e.g. agricultura de subsistencia), la capacidad adaptativa involucra otros elementos que pudieran contribuir no solo a la recuperación, sino a la adaptación y el cambio a un régimen de menor vulnerabilidad.

En este estudio las variables consideradas para caracterizar a la capacidad adaptativa del sistema socio-ecológico del algodón, incluyen a las despepitadoras ubicadas en cada unidad de estudio, como eslabón primario de acceso al mercado; las campañas fitosanitarias implementadas, como factor para el control de plagas de importancia económica y la información sobre los fondos de aseguramiento, como factor que permite recuperarse y adaptarse a las perturbaciones climáticas. En el Cuadro 4 se presenta un resumen de las variables utilizadas para la construcción del subíndice de capacidad adaptativa, mientras que en los apartados siguientes se describen con mayor detalle.

**Cuadro 4. Variables utilizadas para el subíndice de capacidad adaptativa.**

<b>Id variable</b>	<b>Variable</b>	<b>Relación con la vulnerabilidad</b>	<b>Hipótesis</b>
CA1	Número de despepitadoras	Directa	Mayor número de despepitadoras permite iniciar el proceso de comercialización una vez realizada la cosecha
CA2	Monto promedio de fondos de aseguramiento	Directa	Mayor cantidad de fondos de aseguramiento permite afrontar los daños potenciales por la ocurrencia de eventos extremos
CA3	Monto promedio de subsidios al seguro agrícola	Directo	Mayor monto de subsidios incrementa la posibilidad de acceder a seguros agrícolas
CA4	Número de años con campañas fitosanitarias implementadas	Directa	Mayor número de años de implementación de campañas permite alcanzar un estatus que reduzca las afectaciones por el ataque de plagas.
CA5	Superficie promedio atendida por campañas fitosanitarias	Directa	A mayor superficie atendida mayor control de problemas sanitarios
CA6	Monto promedio destinado a la operación de campañas fitosanitarias	Directa	Un mayor monto destinado a las campañas fitosanitarias se asocia con una mayor capacidad de respuesta
CA7	Número de ciclos agrícolas destinados al cultivo de algodón	Directa	A mayor número de años cultivando algodón la estabilidad del sistema incrementa

### ***CA1 Despepitadoras***

Las despepitadoras son instalaciones donde se realiza el proceso de separación de la fibra (algodón pluma) del hueso o semilla. Este proceso se considera como el segundo eslabón de la cadena productiva del algodón, sucesivo a la siembra-cosecha. La fibra separada es comprimida en pacas de

tamaño estándar para su almacenamiento y posterior distribución a las empresas textiles (Solleiro & Mejía, 2016). De acuerdo con la SAGARPA, la relevancia de las despepitadoras en la cadena productiva radica en que son el puente de enlace entre los agricultores y los compradores de algodón. Se considera que en el despepite se encuentra una oportunidad para la organización de la producción, toda vez que es en este nodo donde confluyen la mayoría de los algodoneiros y es desde este eslabón que se puede ejecutar una nueva estrategia logística para la distribución y certificación que le aumente la competitividad a la proveeduría local de la fibra. Por lo tanto, en este estudio se considera que la ubicación de despepitadoras en los municipios de estudio incrementa la capacidad de los productores de algodón para comercializar la fibra con mayor eficiencia y reduciendo posibles costos de traslado.

La información sobre el número de despepitadoras de algodón hueso ubicadas en cada municipio, se obtuvo del directorio de despepitadoras de algodón, publicado por la Dirección General Sanidad Vegetal en el portal del SENASICA<sup>18</sup>, del 2016 al 2018. Es importante señalar que las despepitadoras incluidas en el directorio cuentan con el certificado fitosanitario de cumplimiento con la NOM-026-FITO-2014 (DOF, 2014).

### ***CA2 Fondos de aseguramiento agropecuario***

### ***CA3 Subsidio a la prima de seguro***

Diferentes estudios que analizan la vulnerabilidad señalan que el acceso a recursos por parte de las unidades o componentes del sistema expuesto es un factor importante que se relaciona de manera directa con la capacidad para adaptarse o anticiparse a situaciones adversas (Monterroso et al., 2014; Ahumada-Cervantes *et al.*, 2014b; Vargas & Paneque, 2017). Dentro de los recursos relacionados con la habilidad para afrontar eventos extremos o factores de estrés, destacan los relacionados con el aseguramiento de las unidades de producción.

En México, la institución de gobierno encargada de aseguramiento y reaseguramiento a nivel nacional. De acuerdo su portal<sup>19</sup>, su misión es proteger el patrimonio y la capacidad productiva del sector rural. Conforme a la Ley General de Instituciones y Sociedades Mutualistas de Seguros, AGROASEMEX está autorizada por el gobierno federal, por medio de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, a operar como institución nacional de seguros. En su capital participa el gobierno federal de manera mayoritaria y es un instrumento de política pública que contribuye a la

---

<sup>18</sup>[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/303464/DIRECTORIO\\_DESPEPITADORAS\\_DE\\_ALGODON\\_22-02-2018.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/303464/DIRECTORIO_DESPEPITADORAS_DE_ALGODON_22-02-2018.pdf).

<sup>19</sup> <https://www.gob.mx/agroasemex>.

conformación de un sistema nacional de administración de riesgos para la protección integral del sector rural.

Como institución nacional de seguros, AGROASEMEX proporciona servicios de reaseguro a instituciones mexicanas de seguros, sociedades mutualistas y fondos de aseguramiento. Como agencia de desarrollo, impulsa la participación de los agentes privados y sociales en el mercado del seguro agropecuario y, por su experiencia como Institución Aseguradora especializada en el sector agropecuario, diseña nuevos esquemas de seguros para ampliar la cobertura del mercado.

AGROASEMEX opera el Programa de Aseguramiento Agropecuario, conformado por los siguientes componentes; subsidio a la prima del seguro agropecuario, apoyo a fondos de aseguramiento agropecuario y el subsidio al seguro para contingencias climatológicas. De acuerdo a las Reglas de Operación del Programa de Aseguramiento Agropecuario, las contingencias climatológicas son fenómenos climáticos extremos de: sequía, exceso de lluvia, vientos y heladas que tengan como consecuencia la pérdida total del cultivo ya sea porque impide su implantación o disminuya el valor de la producción esperada en un importe que lo haga insuficiente para cubrir los gastos de recolección<sup>20</sup>.

La información de los tres componentes del Programa de Aseguramiento Agropecuario se obtuvo a través de AGROASEMEX para el periodo 2008 al 2018. Mediante esta información, se seleccionaron las variables correspondientes al subsidio a la prima del seguro agropecuario y el apoyo a fondos de aseguramiento agropecuario, para cada municipio considerados en el estudio.

#### ***CA4 Número de años con implementación de campañas fitosanitarias***

#### ***CA5 Superficie promedio atendida por campañas fitosanitarias***

#### ***CA6 Monto promedio destinado a la operación de campañas fitosanitarias***

La FAO señala que las plagas generan hasta el 40 % de las pérdidas de la producción agrícola. Esta problemática, particularmente los costos asociados al control de las dos plagas principales del algodón, fue uno de los factores responsables de la disminución de la superficie de cultivo durante la década de 1990 (Traxler & Godoy-Ávila, 2004; Rocha-Munive, en preparación). Además del incremento en los costos de producción, los impactos al medio ambiente y a la salud por las numerosas aplicaciones de insecticidas, colapsaron la industria algodonera en el país.

---

<sup>20</sup> Acuerdo por el que la Secretaría de Hacienda y Crédito Público emite las Reglas de Operación del Programa de Aseguramiento Agropecuario. Publicado en el DOF el 26 de diciembre de 2017.

Como parte de las estrategias de control, se publicó la NOM-026-FITO-1995, que tiene por objeto establecer las regulaciones de carácter obligatorio que se deben cumplir para prevenir la dispersión y controlar las plagas de gusano rosado (*Pectinophora gossypiella* Saunders), picudo (*Anthonomus grandis* Boheman) que afectan al cultivo del algodón; así como las medidas fitosanitarias para evitar la dispersión de estas plagas a zonas libres o de baja prevalencia.

Actualmente, el SENASICA ejecuta el cumplimiento de la Norma, mediante el programa de vigilancia epidemiológica fitosanitaria, el cual es un componente estratégico para determinar la ocurrencia o ausencia de plagas cuarentenarias en campo utilizando herramientas confiables en sitios de riesgo. Este programa se ejecuta desde el año 2010 a 2018, por los Organismos Auxiliares de Sanidad Vegetal (OASV), bajo las directrices y coordinación del SENASICA.

La información sobre el número de años que se han implementado las campañas para el control de plagas reglamentadas del algodón, la superficie atendida y los montos destinados para dicha operación, fue proporcionada por el SENASICA. Dicha información corresponde al periodo de 2010 a la fecha, para los municipios del estado de Chihuahua y la Comarca Lagunera donde se han implementado las acciones. El monto asignado a la operación anual del programa de vigilancia epidemiológica se proporcionó a nivel estatal; no obstante, con el objeto de obtener un dato aproximado a nivel municipal, se consideró la información de la superficie atendida en cada municipio, como proxy para determinar la cantidad de recursos utilizados a nivel municipal durante las campañas.

#### ***CA7 Número de ciclos de cultivo de algodón***

El tiempo destinado a la producción de determinado cultivo puede asociarse el capital social que desarrolla una comunidad para organizarse y cooperar en el desarrollo de la actividad. Por otra parte, el periodo de tiempo destinado a la producción del cultivo incrementa al conocimiento sobre las dinámicas asociadas, por lo que hipotéticamente esta experiencia acumulada contribuye a incrementar las habilidades para adaptarse a condiciones cambiantes. El cultivo del algodón presenta un historial importante tanto en el estado de Chihuahua como en la Comarca Lagunera, al grado de haber detonado la formación de comunidades, razón por la que es señalado como un agente poblador (Aboites-Aguilar, 2013).

Con base en esta hipótesis, se consultó el Anuario Estadístico de Producción Agrícola para obtener información sobre el número de ciclos agrícolas con registro de cultivo de algodón, para el periodo de 2003 al 2018.

### 3.2 Estimación de la vulnerabilidad

Una vez sistematizada la información, todas las variables fueron normalizadas con el fin de eliminar las diferencias en escalas y hacerlas comparables. La normalización se realizó mediante la siguiente ecuación:

$$Ni = \frac{Xij - Xmin}{Xmax - Xmin}$$

Donde:

$Ni$  = Valor normalizado para de la variable  $i$

$Xi$  = Valor promedio del grupo de variables  $i$

$Xmin$  = Valor menor registrado para el grupo de valores de la variable  $i$

$Xmax$  = Valor mayor registrado para el grupo de valores de la variable  $i$

Para la estimación de los subíndices de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa, a todas las variables se les asignó el mismo peso a partir del cálculo de su media aritmética, con el objeto de considerar todas las variables seleccionadas y obtener el grado de influencia de cada una sobre la vulnerabilidad (Ahumada-Cervantes *et al.*, 2014; Monterroso *et al.*, 2014; Pereira *et al.*, 2014; Vargas & Paneque, 2017). La determinación sobre el uso de un método que asigna el mismo peso a las variables se tomó considerando que el juicio de expertos para ponderar la relevancia de cada variable a nivel municipal operativamente es sumamente complejo, mientras que los métodos estadísticos, como el análisis de componentes principales, puede sesgar la relevancia dado que son métodos que reducen el número las dimensiones de análisis, de acuerdo a lo señalado por Monterroso y colaboradores (2014). Por lo tanto, el cálculo de cada subíndice se realizó mediante la suma algebraica de los valores normalizados, utilizando las siguientes ecuaciones:

Subíndice de exposición:

$$E = \frac{E1 + E2 + E3 + E4 + E5 + E6 + E7}{7}$$

Subíndice de sensibilidad

$$S = \frac{S1 + S2 + S3 + S4 + S5 + S6 + S7}{7}$$

Subíndice de capacidad adaptativa

$$CA = \frac{CA1 + CA2 + CA3 + CA4 + CA5 + CA6 + CA7}{7}$$

Finalmente, la estimación del índice de vulnerabilidad del SSE de algodón para cada uno de los municipios incluidos en el análisis se obtuvo a partir de tomar los promedios aritméticos de los tres subíndices, mediante la siguiente ecuación:

$$V = \frac{E + S + (1 - CA)}{3}$$

Los niveles altos de exposición y sensibilidad se asocian con una vulnerabilidad alta, mientras que niveles altos de capacidad adaptativa se asocian con niveles bajos de vulnerabilidad. Por lo tanto, en la ecuación anterior, la capacidad adaptativa se resta de la unidad, para reflejar la proporcionalidad inversa entre la capacidad adaptativa y la vulnerabilidad.

Finalmente, con el objeto de establecer las categorías, la vulnerabilidad estimada para cada municipio de Chihuahua y de la Comarca Lagunera se normalizó mediante la siguiente ecuación:

$$Ni = (5) \left( \frac{Vi - Vmin}{Vmax - Vmin} \right)$$

Donde:

$Vi$  = La vulnerabilidad estimada para cada municipio

$Vmin$  = El valor mínimo de vulnerabilidad estimada para el conjunto de datos

$Vmax$  = El valor máximo de la vulnerabilidad estimada para el conjunto de datos

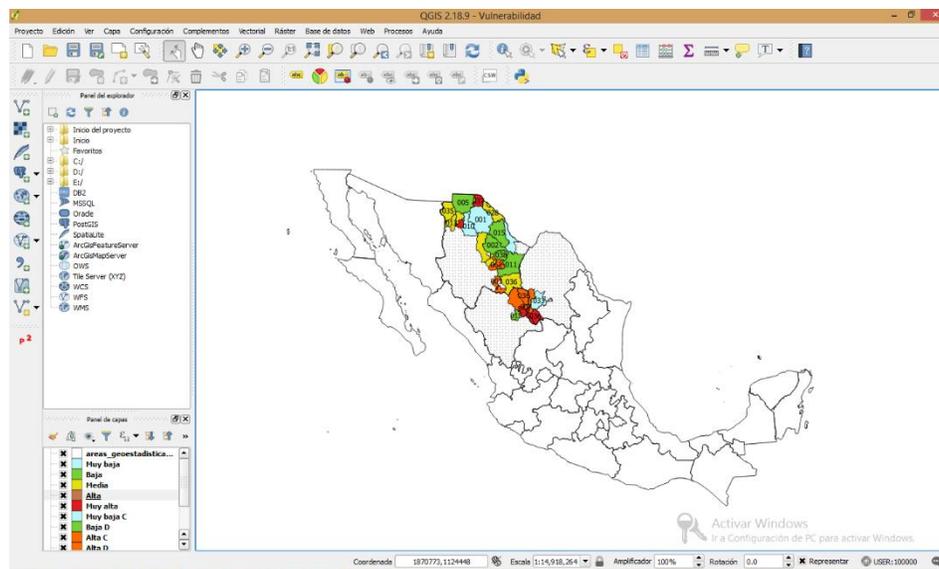
Mediante la aplicación de esta ecuación, los valores estimados se ubicaron en un rango de 0 a 5 y con base en estos se establecieron las categorías señaladas en el Tabla 5.

**Tabla 5. Categorías de vulnerabilidad establecidas.**

Rango	Categoría
0 a 1	Muy baja
>1 a 2	Baja
>2 a 3	Media
>3 a 4	Alta
>4 a 5	Muy alta

### 3.3 Mapeo de la vulnerabilidad

La representación geoespacial de los niveles de vulnerabilidad estimados para cada municipio que cultivó algodón en el estado de Chihuahua y el La Laguna se realizó mediante Qgis versión 2.18.9 “Las Palmas”. Se trata de un sistema de información geográfica de código abierto. La representación gráfica de los límites geoestadísticos municipales y estatales (*shapes*), se obtuvieron del marco geoestadístico del INEGI, 2017 (Figura 26).



**Figura 26. Aspecto del espacio de trabajo de Qgis.**

Fuente: Elaboración propia.

## CAPÍTULO IV

### Resultados

#### 1. Caracterización del sistema socio-ecológico del algodón

El SSE del algodón, acorde a la definición desarrollada por diferentes grupos académicos relacionados con las ciencias de la sostenibilidad, corresponde a un agroecosistema en donde confluyen diversos elementos biológicos, interacciones ecológicas, dinámicas sociales y económicas, en donde participan diversos actores y elementos. Dada la historia natural de planta, su cultivo presenta amplios antecedentes en el país, con etapas clave que han determinado el desarrollo actual de la actividad en las zonas de estudio. Previo al desarrollo ontológico de lo que para este trabajo se conceptualiza como el SSE de algodón, en los siguientes apartados se presenta información respecto a los antecedentes más relevantes de la producción en México, tomado en cuenta que para el marco de análisis de vulnerabilidad el contexto histórico es relevante.

##### 1.1 Historia natural del algodón *G. hirsutum*

El algodonoero, término con el que se conoce a las plantas cultivadas del género *Gossypium*, es la fuente principal de fibra natural a nivel mundial. Dicha producción se lleva a cabo a partir de cuatro especies<sup>21</sup>, de las cuales el algodón mexicano *G. hirsutum*, genera el 90% de la producción global (FAO, 2014). *G. hirsutum* forma parte del orden Malvales, subfamilia Malvoideae<sup>22</sup>, género *Gossypium*. Dicho género pertenece a la tribu *Gossypieae*, caracterizada por presentar glándulas productoras de gossypol<sup>23</sup>. *G. hirsutum* es una especie tetraploide ( $2n=2x=52$ ), al igual que la especie cultivada *G. barbadense* (Fryxel, 1992). Los grupos establecidos de acuerdo a su ploidia, ubican a *G. hirsutum* dentro del grupo AD, derivado de la hibridación entre los grupos diploides A (nativo de África) y D (nativo de Mesoamérica) (Paterson & Wendel, 2015).

De las 51 especies que conforman el género *Gossypium*, 18 se distribuyen en América Central y Sudamérica, 14 de éstas se encuentran en México (dos de ellas tetraploides) (Tabla 6). Fryxell (1979) señala que las especies tetraploides se localizan en hábitats costeros, en contraste con la mayoría de las especies diploides (Figura 27), al menos aquellas formas que posiblemente son silvestres

---

<sup>21</sup> Las otras tres especies son: *G. hirsutum*, *G. barbadense*, *G. arboreum* y *G. herbaceum* (Rocha-Munive, *et al.*, 2018).

<sup>22</sup> La subfamilia Malvoideae seis géneros: *Hibiscus*, *Sida*, *Abutilon*, *Nototriche*, *Cristaria* y *Gossypium* (<http://www.mobot.org/MOBOT>, 2017).

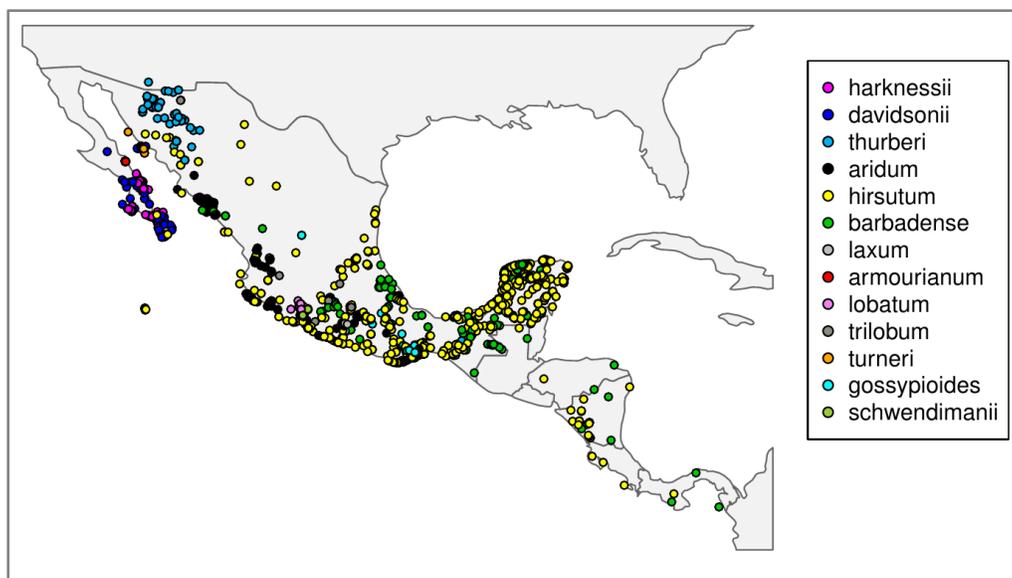
<sup>23</sup> El gossypol es un compuesto fenólico producido por glándulas ubicadas en los tallos, hojas, semillas y botones florales de *Gossypium* spp. Es un compuesto tóxico que limita el uso de semillas para la producción de alimento para ganado. Las altas concentraciones de este compuesto generan cuadros agudos de envenenamiento (Gadelha *et al.*, 2014).

verdaderas, lo que sugiere que dicha distribución geográfica es resultado de la adaptación a un nuevo nicho ecológico, que puede estar asociado a la poliploidía. Esta teoría es reforzada por la tolerancia a altos niveles de sal marina presente en las especies tetraploides, como *G. hirsutum* (Stephens 1966).

**Tabla 6. Especies del género *Gossypium* distribuidas en México.**

	<b>Especie</b>	<b>Grupo Genómico</b>	<b>Distribución</b>
1	<i>G. thurberi</i> Tod.	D <sub>1</sub>	Sonora, Baja California Sur, Chihuahua
2	<i>G. armourianum</i> Kearns.	D <sub>2-1</sub>	Baja California Sur
3	<i>G. harknessii</i> Brandg.	D <sub>2-2</sub>	Baja California Sur
4	<i>G. davidsonii</i> Kell	D <sub>3-d</sub>	Baja California Sur, Sonora
5	<i>G. aridum</i> (Rose and Standl) Skov.	D <sub>4</sub>	Veracruz, Puebla, Guerrero, Michoacán, Jalisco, Colima, Sinaloa
6	<i>G. raimondii</i> Ulbr.	D <sub>5</sub>	México
7	<i>G. gossypoides</i> (Ulbr.) Standl.	D <sub>6</sub>	Oaxaca, Sinaloa
8	<i>G. lobatum</i> Gentry.	D <sub>7</sub>	Michoacán
9	<i>G. laxum</i> Phillips.	D <sub>8</sub>	Guerrero
10	<i>G. trilobum</i> (DC.) Skov.	D <sub>9</sub>	Michoacán, Morelos, Puebla, Sinaloa
11	<i>G. turneri</i> Fryx.	D	Sonora
12	<i>G. schwendimanii</i> Fryxell y Koch	D	Michoacán
13	<i>G. lanceolatum</i> Tod.	D	Oaxaca, Guerrero, Michoacán, Nayarit
14	<i>G. hirsutum</i> L.	AD <sub>1</sub>	*América central, Sureste de México.
15	<i>G. barbadense</i> L.	AD <sub>2</sub>	**Baja California Sur, Sinaloa, Oaxaca, Veracruz, Tabasco, Chiapas, Yucatán

Fuente: ("The biology of *Gossypium hirsutum* L. and *Gossypium barbadense*", Australian Government, 2008; ARS-USDA). \*Distribución de las variedades silvestres de *G. hirsutum* L. Las variedades cultivadas se distribuyen principalmente en el norte del país. \*\**G. barbadense* L. es una especie introducida originaria de Sudamérica (Percy y Wendel, 1990).



**Figura 27. Distribución las especies de *Gossypium* en México.**

Fuente: Rocha-Munive *et al.*, 2018.

América Central y México son el centro de origen descrito para *G. hirsutum*, en donde se encuentra a la mayor diversidad de variantes, las cuales actualmente están representadas por un continuo, en un rango desde formas silvestres hasta cultivadas, incluyendo a formas intermedias denominadas como ferales (Wendel *et al.* 2010). Por otro lado, el posible centro de domesticación de *G. hirsutum* se localiza en el sureste del actual México, probablemente en la Península de Yucatán. Este evento ocurrió en el periodo precolombino y posteriormente las formas ya domesticadas se dispersaron al resto de Mesoamérica y Sudamérica (Brubaker & Wendel, 1994).

## 1.2 Historia del desarrollo del cultivo de algodón en el territorio mexicano

El algodón presenta un amplio historial de cultivo en el territorio que actualmente ocupa México. Su desarrollo inicia con la domesticación de *G. hirsutum* en la región sureste del actual territorio (Brubaker y Wendel 1994). Los antecedentes de producción del algodón en mesoamericana se remontan a la época prehispánica, en donde existían algunos procesos artesanales para la transformación de la fibra dirigida a la producción de textiles (Chase *et al.*, 2008), proceso que continuó durante la época colonial. Más adelante, durante el *porfiriato*, inicia la conformación de la proto industria de algodón, asociada a la ampliación de las zonas de cultivo, de la mano de cambios en las dinámicas agrarias que llevaron a la concentración de tierras (Rocha-Munive *et al.*, 2018; Morett, sin año). Posterior al término de la revolución, comenzó la bonanza del algodón en zonas de producción en el norte del país, a partir de la implementación de infraestructura. Actualmente, la producción del algodón está acotada a la región norte del país, en etapa de recuperación después

un periodo de crisis aguda, iniciada en la década de 1990 a consecuencia de diversos factores biológicos, tecnológicos y de mercado.

El cultivo del algodnero es una actividad que ha tenido gran influencia en el desarrollo económico y social de diferentes regiones del territorio actual del país, a través de diferentes periodos. El presente apartado se divide en tres secciones, el periodo precolombino, que considera eventos desde el inicio de cultivo del algodón hasta antes del contacto con los pobladores europeos; el periodo de la conquista, que cubre el lapso desde el contacto con los europeos hasta el proceso de independencia; y el periodo después de la colonia, en donde se muestran las primeras evidencias del desarrollo de la agroindustria del algodón.

En el último segmento, se describe cómo la producción de algodón, durante el último siglo, fue un elemento central para establecimiento de centros de población en el norte de México, razón por lo que actualmente la producción se realiza mayoritariamente en seis estados del norte, siendo Chihuahua el principal productor. En contraste, otras regiones con importante historial en la producción de este cultivo han experimentados una reducción significativa en las últimas décadas, como en el caso de la Comarca Lagunera, formada por varios municipios de los estados de Coahuila y Durango.

### *i) El algodón en la época prehispánica*

Se reconoce a la región mesoamericana como uno de los puntos de desarrollo de la agricultura y como uno de los centros primarios de domesticación de diversas plantas, incluyendo al algodón *G. hirsutum* (Harlan, 1971; Gepts, 2008; Zizumbo & Colunga, 2010). En el caso del algodón, cuyo posible centro de domesticación se localiza en el sureste de México (probablemente en la península de Yucatán), la importancia de su fibra permitió la dispersión de las de formas ya domesticadas a diferentes partes de Mesoamérica, norte de Sudamérica, la cuenca del Caribe y Aridoamérica, a través de corredores bioculturales (Brubaker & Wendel 1994; Nabhan, 1985). Las descripciones etnográficas, registros históricos y fuentes pictográficas revelan que las civilizaciones mesoamericanas, desde los olmecas a los mayas y todas las culturas distribuidas en el actual centro de México, utilizaban y apreciaban la fibra de algodón como un recurso valioso (Wegier et al., 2016). Los productos hechos de algodón más antiguos se encontraron en el Valle de Tehuacán, ceca de 3 500 a.C (Rocha-Munive *et al.*, 2018). La evidencia arqueobotánica y paleoecológica señala la presencia de polen de *Gossypium* sp. en el núcleo de San Andrés, Tabasco, a partir de 2 500 a.C., durante el periodo Preclásico. Si bien la sola presencia de polen no asegura su cultivo en la región, la distribución natural de *Gossypium* sp. y otros indicadores de actividad agrícola aportan elementos relevantes para suponer la expansión de su

producción en diferentes regiones de Mesoamérica (Pope *et al.*, 2001). Es así que el consenso sobre el inicio del cultivo de algodón en la región Maya, señala que este data de 1 700 años a.C., aproximadamente (Colunga & Zizumbo, 2004).

La producción artesanal tuvo gran influencia sobre la transformación y uso de la fibra de algodón en la región Mesoamericana. Las artesanías y productos textiles tuvieron un papel importante para diferentes culturas durante el periodo Clásico (200 – 700 D.C.) y el Postclásico (900 – 1521 D.C.), así como en periodos posteriores a la conquista (Bazant, 1964a; McCafferty & McCafferty, 2000). En la Mesoamérica prehispánica, los textiles fueron muy apreciados como mercancías, a un nivel similar al de los metales o piedras preciosas (como el oro o el jade), debido a su valor como elemento de intercambio, para el pago de tributos y o como símbolo de poder y estatus social (Bazant, 1964a; Chase *et al.*, 2008; King, 2011; Wegier *et al.*, 2016). A pesar de las dificultades para hallar muestras de la fibra de algodón de la época en regiones tropicales, debido a procesos de degradación, la presencia de instrumentos para la producción de textiles (agujas de hueso, husos, horquillas) en diversas regiones de Mesoamérica, aportan evidencias sobre el amplio uso del algodón (Chase *et al.*, 2008; McCafferty & McCafferty, 2000).

La importancia de las mercancías elaboradas con algodón (e.g. ropa, mantas, armaduras), ofrece una evidencia indirecta del nivel de su cultivo en determinadas regiones de Mesoamérica. King (2011) documentó la producción intensiva de hilos de algodón en regiones costeras de Oaxaca durante el Postclásico temprano, mientras que De Rojas (1987) señaló la importancia de los tejidos de algodón (mantas) como monedas de cambio, particularmente en zonas productoras. Estas regiones, ubicadas en zonas costeras, presentaban condiciones favorables para el cultivo del algodón, tanto para variedades anuales como perennes. El algodón utilizado en la región de la costa oaxaqueña fue una variedad anual llamada *coyuche* o *coyoixcatl* (en lengua náhuatl), la cual produce fibras de extensión relativamente cortas, de un color en el rango del beige al canela. Fuentes etnohistóricas señalan que el algodón sin procesar (algodón bruto posiblemente sin semilla) era exportado desde las regiones costeras (junto con hilados y tejidos), hacia los valles altos del centro de México, donde no se cultivaba la planta, con el propósito de cumplir con las obligaciones tributarias y funcionar como moneda, particularmente las mantas elaboradas de algodón que tenían mayor valor que el cacao (Alonso de Zorita, 1994, en King, 2011; Drennan, 1984; McCafferty & McCafferty, 2000; Hicks, 1994, en King, 2011; De Rojas, 1987). Si bien Beckert (2014) señala que las plantas de algodón crecían junto a las plantas de maíz, lo importancia de la fibra sugiere cierto nivel de especialización en el cultivo de algodón en zonas de las costas del Pacífico mexicano y regiones costeras del Golfo,

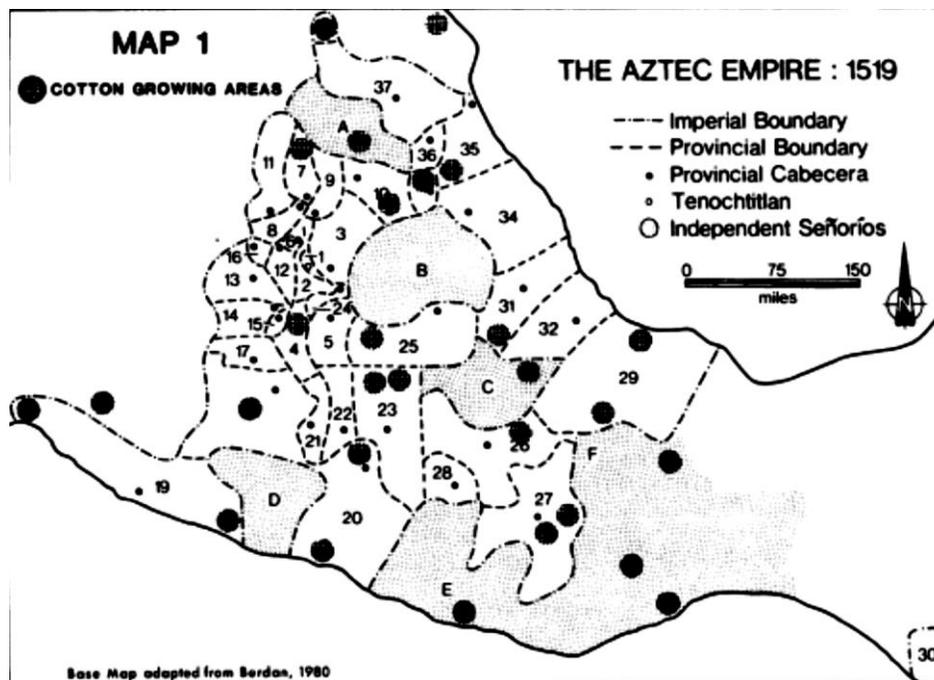
donde las condiciones de temperatura (de 16 ° a 25 °C) y precipitación permitían la actividad (Wegier *et al.*, 2016; Widmer Sennhauser, 1995).

Fuera de las zonas costeras, otras regiones de Mesoamérica no presentaban condiciones favorables para este cultivo debido a la altitud, variaciones en la temperatura y baja disponibilidad de agua, los cuales son factores que reducen su crecimiento. No obstante, García (1949) señala que, en regiones no óptimas para el cultivo del algodón, existe evidencia de sistemas de irrigación<sup>24</sup> o cultivos en humedales que permitían la producción de esta fibra, particularmente en llanuras aluviales dada la capacidad del algodón para tolerar suelos salinos (Daneels, 2015). Como ejemplo se tienen los pueblos asentados en las regiones áridas al poniente de la Sierra Madre Oriental, junto al Río Tula, en donde se cultivó algodón en las partes húmedas. En la Cuenca del Río Balsas, particularmente en las cuencas de los ríos Mixteco, Nexapa y Amacuzac, diferentes fuentes etnohistóricas apuntan que, en épocas cercanas a la colonia, se contaba con regadíos que permitían obtener algodón, entre otros cultivos, dado el gran valor del algodón bruto y los hilos y textiles elaborados con esta fibra (García, 1949; De Rojas, 1987). El señorío de Cuauhnáhuac (ubicado en el actual estado de Morelos) era productor de la fibra, la cual formaba parte de la economía mexicana (Ávila Sandoval, 2003; Smith & Hirth, 1988). De esta manera, las evidencias sobre el acondicionamiento de zonas de cultivo para la producción de algodón en zonas con menor aptitud ecológica representan evidencias de la expansión del cultivo a zonas distintas a las costeras y muestran la importancia de la fibra (Figura 28).

La relevancia del algodón durante la época prehispánica se relaciona con su simbolismo social. Si bien el producto final: las prendas, mantas o armaduras, se consideraban bienes de lujo dirigidas a las élites, otros eslabones relacionados con el algodón y la producción también eran importantes socialmente. Durante el periodo Clásico, las mujeres mayas dedicadas al hilado y tejido de textiles eran importantes en la estructura social y gozaban de un estatus alto (Chase *et al.*, 2008). En contraste, aunque se cuentan con evidencias de las zonas productoras, existe poca información los agricultores de algodón y su posición dentro de las estructuras sociales.

---

<sup>24</sup> Riego a brazo, mediante el uso de grandes cucharones de madera (batea), o mediante apantles (canales).



**Figura 28. Áreas de cultivo de algodón en el imperio Azteca y zonas cercanas.**

Provincias: 1) Tlatelolco; 2) Petlalcalco; 3) Acolhuacan; 4) Cuauhnahuac; 5) Huaxtepec; 6) Cuauhtitlán; 7) Axocopan; 8) Atotonilco de Pedraza; 8) Hueyepochtlan; 10) Atotonilco el Grande; 11) Xilotepec; 12) Cuahuacán; 13) Tollocan; 14) Oculan; 15) Malinalco; 16) Xocotitlán; 17) Tlachco; 18) Tepecuacuilco; 19) Cihuatlán; 20) Talpan; 21) Tlalcocuahtitlan; 22) Cuahteopan; 23) Yoaltepec; 24) Chalco; 25) Tepeacac; 26) Cohuaxtlahuacan; 27) Coyolapan; 28) Tlachquaco; 29) Tochtepec; 30) Xoconochco; 31) Cuauhtochco; 32) Cuetlaxtlan; 33) Tlapacoyan; 34) Tlatlauquitepec; 35) Tochpan; 36) Atlan; 37) Tzcoac; 38) Oxitipan. Señoríos independientes: A) Meztztitlan; B) Tlaxcala; C) Teotitlan; D) Yopitzinco; E) Tototepec; F) Coatlicamac.

Fuente: Berdan; 1987.

## *ii) El algodón en el periodo Colonial*

Los españoles, familiarizados con el algodón por la posible producción de textiles en el Sur de España y el contacto previo con la India, aprovecharon durante los primeros años del periodo colonial el sistema de tributo prehispánico, en donde se continuó utilizando como moneda de pago a las mantas de esta fibra (Bazant, 1964a). Una vez adaptado y unificado el sistema tributario, se precisó el tamaño y características de las mantas que debían tributarse y se procedió a conmutar los productos de esta fibra por pesos. En el partido de Jicayán (ubicado en el estado actual de Oaxaca), un importante distrito agropecuario novohispano, a partir de 1550 el algodón cubría la creciente demanda de telas para el equipamiento de embarcaciones (Widmer Sennhauser, 1995). Para la década de 1560, se tiene documentado la existencia de pueblos productores de algodón en Michoacán, la Península de Yucatán y Verapaz (en el actual Guatemala), que pagaban tributos mantas de algodón y con maíz (De Rojas, 1987; Greenleaf, 1998; Percheron, 1990). En el caso de la Península, creció la importancia del algodón al comenzar el envío las mantas a otras regiones de la Nueva España (Quezada, 2001). Por su parte, en la costa norte, se ubicaba el partido de Acayucan (actual estado de Veracruz), otro

importante distrito agropecuario *novohispano*, para el que existen evidencias de zonas de la producción de algodón; esta actividad que se remontó hasta el periodo precolombino (López, 2007; Widmer Sennhauser, 1995).

Además del sistema tributario implementado por la Corona, la producción de algodón en Mesoamérica continuó siendo una actividad importante durante este periodo, toda vez que las órdenes religiosas también consideraban a los tejidos de algodón como forma de pago de limosnas. A finales del siglo XVI, el cobro de limosnas en especie a la población maya, incluido el algodón, resultaba una práctica frecuente por los religiosos franciscanos (Percheron, 1990). Alquicira (2015) señala que el algodón, producido en los huertos de las viviendas mayas (solares), representaba uno de los principales artículos solicitados, tanto en valor como en cantidad, por la orden franciscana, la cual imponía las cantidades de acuerdo con la región. Lo anterior da una idea sobre la posible relación entre las cantidades solicitadas y la producción local.

Si bien no existen registros detallados de las zonas productoras de algodón en la Nueva España, así como tampoco sobre los sistemas y prácticas de cultivo, su relevancia en el pago de tributos y limosnas (y el posterior establecimiento de las grandes textileras) (Bazant, 1964a), permite formular hipótesis sobre su producción en sistemas con cierta especialización que les permitiera cubrir la demanda requerida. No obstante, no es posible corroborar dicha hipótesis, ya que la mayor parte de las investigaciones en torno a la fibra se centran el tejido de textiles, más que en la producción de la fibra.

A finales del siglo XVIII, el algodón Novohispano continuaba produciéndose en las regiones costeras del Golfo de México: Tamaulipas, Veracruz y la cuenca del Papaloapan, del Pacífico: Oaxaca y Guerrero, principalmente (aunque se señalan también los actuales estados de Jalisco, Colima y Nayarit), así como otras regiones en la Península de Yucatán. La producción presentaba algunos altibajos ocasionados por fluctuaciones en sus precios, ya que, si bien la demanda de la fibra para la confección de ropa aumentaba, también lo hacía la introducción de telas de algodón europeo (Corona-Páez, 2009; Flores & Gómez, 1981; Tutino, 1985). De acuerdo con Arias (2010), la adopción de modas europeas por parte de las élites de la Nueva España propiciaba una gran demanda de textiles, los cuales eran elaborados en parte con algodón producido en las costas del sureste y la Península de Yucatán, y en gran parte por el algodón asiático y los textiles provenientes de Europa. Un factor importante de la demanda es fue que las prendas de algodón eran accesibles para las clases menos favorecidas, los cuales, por su número, eran un sector importante de consumo (Bazant., 1964a).

Ante esta dinámica, durante la segunda mitad del siglo XVIII y las primeras décadas del siglo XIX, el cultivo de algodón se expandió diversas regiones del territorio *novohispano* de la mano de la actividad textil, la cual llegó a provincias del norte, particularmente La Laguna y Chihuahua (Corona-Páez, 2009; Grijalva, 1983). El auge de los obrajes<sup>25</sup> se presentó a finales de este siglo en el centro del territorio, particularmente en la Ciudad de México, Puebla y Querétaro (Grijalva, 1983), y algunos en la porción occidente (Corona-Páez, 2009). En esta época la población indígena laboraba en obrajes comunales o talleres familiares (con uno o dos telares), los cuales producían un porcentaje importante de los bienes textiles (Bazant, 1964a). Sin embargo, el origen de la fibra y los métodos de cultivo no son claros, aunque posiblemente provenían de haciendas y tierras cultivadas por indígenas, quienes vendían algodón sin desmontar<sup>26</sup>, ya que este proceso se realizaba en los mismos obrajes (Bazant, 1964a).

### *iii) El algodón en el periodo posterior a la colonia*

La economía del siglo XIX se estancó debido a la inestabilidad política asociado al movimiento de independencia, su concentración en el sector minero y la falta de innovaciones institucionales que permitirán un funcionamiento eficiente de los mercados (Galvarriato, 1999; Razo & Haber, 1998). Particularmente, la guerra de independencia debilitó las condiciones de la agricultura en la mayor parte del territorio colonial, debido al abandono y destrucción de las tierras agrícolas, la falta de fuerza de trabajo y la interrupción de las redes comerciales. Como resultado, algunas estimaciones señalan que la producción agrícola experimentó una disminución mayor al 12 % en el periodo de 1800 a 1860 (Chowning, 1997). Al inicio del siglo XIX en Puebla, una porción importante de la producción textil<sup>27</sup> era surtida de algodón proveniente de las costas del Pacífico (posiblemente Guerrero y Oaxaca), donde lo vendían desde haciendas hasta “pueblos de indios” (Garavaglia & Grosso, 1996). Rodríguez (1986) señala que, durante los primeros años posteriores a las guerras de la independencia, muchos obrajes fueron destruidos y los que persistieron tuvieron dificultades para obtener materia prima y la posterior distribución de productos, debido a la interrupción de vías de transporte. La geografía de México, con numerosas cadenas montañosas y desprovista de ríos navegables, aunado a la creciente inseguridad de los caminos, dificultó la transportación de mercancías y materias primas en este periodo (Corona-Páez, 2009). Otro factor que impactó sobre la industria textil fue la inundación del mercado mexicano con textiles baratos, la mayoría mercancía de contrabando, lo que puso en desventaja a la producción local (Bernecker, 2005; Rodríguez, 1986). Si bien no se cuenta con datos

---

<sup>25</sup> Fábrica de producción de textiles a gran escala, particularmente de algodón.

<sup>26</sup> Proceso de separación de la fibra de algodón de las vainas y de sus semillas.

<sup>27</sup> Bazant (1964a) refiere que antes 1810, la fabricación anual de tejidos de algodón tuvo un valor de \$3 000 000, del cual aproximadamente el 50% correspondía a Puebla.

particulares del efecto de estas condiciones sobre la producción de algodón, es posible suponer que dichos factores le impactaron de forma directa.

A partir de la década de 1830, el gobierno mexicano experimentó un significativo cambio de orientación en la política industrial con la fundación del Banco del Avío, institución financiera cuyo fin fue el fomento de la industria. Esta política nuevamente se centró en la modernización y tecnificación de la industria textil (Galvarriato, 1999; Potash, 1953), mientras que no existe información sobre sus efectos en el agro mexicano, particularmente sobre la producción de algodón. Aun cuando no se cuenta con estadísticas sobre la producción de fibra de algodón durante la primera mitad del siglo, la actividad de la industria textil y la política proteccionista del naciente Estado muestran que la producción de algodón continuaba en los estados de Oaxaca y Veracruz, dado que por iniciativa de los algodoneros de esas regiones se introdujo una ley en 1836-1837, cuyo objetivo era prohibir la importación de algodón en rama (Bernecker, 2005; Galvarriato, 1999). Esta política proteccionista, en lugar de innovadora, presentó fluctuaciones, toda vez que más adelante se promulgaron leyes que liberaban los aranceles a la importación (Corona-Páez, 2009). No obstante, a pesar de los vaivenes en la política exterior, lo anterior es una evidencia de que, para la época, el algodonero continuaba siendo un cultivo importante en las regiones del Este y Sur del México independiente, al grado de poder incidir en el desarrollo de instrumentos legales.

Los efectos de la guerra de independencia, el caos político y la decadencia económica del siglo XIX, afectaron de manera importante al campo mexicano, cuya dualidad entre pequeños productores y grandes hacendados ya era evidente (Rodríguez, 1986; Villaseñor 2003). En esta crisis, mientras que los pequeños productores fueron arrojados de sus tierras, los hacendados vieron afectado sus mercados de venta cuando la actividad minera y los centros urbanos de contrajeron (Rodríguez, 1986). Mientras tanto, el flujo de contrabando textil europeo continuaba, al igual que las importaciones de algodón de EE.UU. a pesar de las restricciones arancelarias, ya el cambio en la productividad de la industria algodonera británica y estadounidense<sup>28</sup>, promovida por la Revolución Industrial, limitaba la competitividad de los productores mexicanos ubicados en los principales estados algodoneros: Durango, Campeche, Guerrero, México, Oaxaca, Sinaloa, Tamaulipas, y Veracruz (Aparicio, 2013; Corona-Páez, 2009). Además, el restablecimiento en 1852 de impuestos a los movimientos de

---

<sup>28</sup> La introducción de la maquina desmontadora de algodón a la industria estadounidense a finales del siglo XVIII ocasionó que para mediados del siglo XIX, esta nación fuera la principal exportadora de la fibra. Además, la introducción de nuevas variedades de algodón de *G. hirsutum*, en diversas regiones del territorio norteamericano, propicio el incremento de la producción (Corona-Páez, 2009).

mercancías interestatales (*alcabalas*) en Veracruz, principal productor de algodón de la época, afectó la movilización de materia prima.

Una breve pausa a esta tendencia lo proporcionó la Guerra Civil en EE. UU., que favoreció en cierta medida la producción de algodón mexicano en los estados que ya tenían consolidada la actividad. El caso más notable fue el de Oaxaca, Campeche, Sinaloa, Yucatán y Guerrero (este último contaba en 1861 con 11 centros de acopio de algodón, el cual era exportado a EE. UU) (Shoonover, 1975). En este escenario, regiones como La Laguna comenzaron a cultivar algodón como alternativa comercial ante la baja de precios de otros cultivos y el crecimiento de la industria textil local (Aguilar, 2013; Corona-Páez, 2009). Este proceso fue acompañado de una recuperación del sector agrícola a principios del *porfiriato* (específicamente en la década de 1880), a causa del incremento de la industrialización en el país, la introducción de las redes ferroviarias y la inversión extranjera (Haber & Varela, 1993; Kuntz, 1997; Rodríguez, 1986).

#### *iv) El auge del algodnero en el norte del México*

En pleno proceso de industrialización global, el algodón representó una de las mercancías de mayor valor y flujo en los mercados internacionales durante el siglo XIX (Aparicio, 2013; Beckert, 2014). En este escenario, la cercanía de las regiones del norte del país con el industrializado EE.UU., el financiamiento extranjero y los cambios en la propiedad agraria, propiciaron la apertura de nuevas tierras agrícolas y la introducción de nuevos cultivos (Villaseñor, 2003). El cultivo de algodnero a gran escala en La Comarca Lagunera inició en 1875, periodo en el que la mayor parte del algodón se sembraba al sur del país, particularmente Guerrero, Oaxaca y Veracruz<sup>29</sup>. Durante las siguientes décadas se sumaron las regiones algodneras más importantes del siglo XX en los estados de Baja California, Chihuahua, Sinaloa, Sonora y Tamaulipas (Aguilar, 2013; Flores & Gómez, 1981).

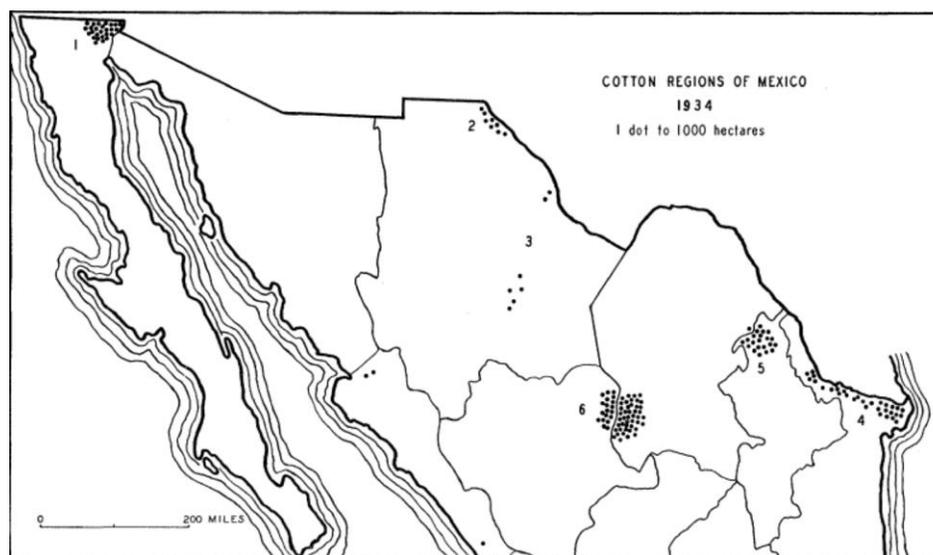
No queda claro si el crecimiento de las zonas de cultivo de algodnero en el norte del país motivó el abandono de la producción en regiones algodneras como Oaxaca, Guerrero y la Península de Yucatán, o fueron motivos económicos y tecnológicos los que paulatinamente propiciaron este cambio. Si bien el algodnero continuó cultivándose en las principales regiones productores del siglo XIX: Campeche, Guerrero, Oaxaca, Sinaloa, Veracruz<sup>30</sup> y Yucatán (y en menor medida Jalisco, Colima y Michoacán) (Shoonover, 1975), lo cierto es que, para la década de 1930, las principales

---

<sup>29</sup> De acuerdo con Aguilar (2013), la estimación de la superficie sembrada en la década de 1880 ascendía de 50 a 60 mil ha, la mayor parte en Veracruz, Guerrero y Oaxaca. Dos décadas más adelante, el algodón de tierra caliente, de las costas, dejó su lugar al algodón de norte, de las zonas áridas de la Comarca Lagunera.

<sup>30</sup> Schoonover (1975) señala que en la década de 1860, se registró un fuerte problema de plagas en Veracruz, para entonces principal productor de la fibra de algodón, lo que redujo la producción de esta región a la mitad.

regiones algodoneras se ubicaban en el norte (Figura 29). Para principios del siglo XIX, Campeche, Guerrero, Oaxaca, Veracruz y Yucatán no figuraban más como zonas algodoneras (SIAP). Por lo tanto, dada su importancia y su posición como objeto de este estudio, en los siguientes apartados se centrará la atención en la dinámica de desarrollo del cultivo de algodón en la Comarca Lagunera y Chihuahua.



**Figura 29. Regiones algodoneras de México en 1934. 1) Mexicali; 2) Juárez; 3) Conchos (Delicias); 4) Matamoros; 5) Don Martín; 6) La Laguna.**

Fuente: Dicken, 1938.

#### *v) El cultivo de algodonero en la Comarca Lagunera*

Como se mencionó anteriormente, la región de La Laguna fue pionera en el cultivo de algodonero en el norte del país. Su historia se remonta incluso a finales del siglo XVIII (1787), donde se sembraba algodón para autoconsumo por parte de indígenas que operaban un obraje en la misión y presidio de San Juan Bautista del Río Grande, al norte de Coahuila. En el distrito de Parres, parte de la actual Comarca Lagunera de Coahuila, se cultivaba algodón a finales del siglo XVIII de acuerdo con la disponibilidad de agua. Posteriormente, durante la primera década del siglo XIX, la siembra de algodón en la Comarca Lagunera (sobre todo en los márgenes del río Nazas) se incentivó por la demanda de materia prima debido al bloqueo napoleónico al comercio inglés y la invasión de España por los franceses (1808), lo que redujo el flujo de telas de algodón europeas a la todavía Nueva España. El ambiente caótico del fin de la época virreinal favoreció el cultivo de algodón en estas regiones, donde se inició la siembra sistemática desde 1811, con fechas y actividades programadas. De esta manera, el algodón de mejor calidad producido entre 1811 a 1825 se envió a los principales centros textiles al centro del territorio (Corona-Páez, 2009).

Durante la primera mitad del siglo XIX, periodo donde aparecieron las primeras fábricas de textiles en el norte de México (incluyendo la región lagunera), las haciendas de la Comarca de Durango producían mayor cantidad de fibra de algodón, en comparación con Coahuila, principalmente de *G. barbadense*, aunque también se cultivaba *G. hirsutum*. Para esta época se tenían contabilizadas entre 250 a 450 toneladas anuales para Durango, mientras que Coahuila producía aproximadamente 150. Dicha producción se realizaba mediante técnicas de cultivo y fechas de riego determinadas por la disponibilidad de agua. Las diferencias que se observaron en este periodo entre ambas lagunas se debieron a que en la porción de Durango existía mayor disponibilidad de agua (debido a la presencia del río Nazas) y mejor distribución de tierras con acceso a este recurso, mientras que, en La Laguna, la escasez de agua y el latifundio prevaleciente limitaban la actividad. Esta tendencia continuó durante dos tercios del siglo XIX, siendo el agua al principal factor limitante para el cultivo del algodónero (Corona-Páez, 2009).

A pesar de esta dinámica, la producción de algodón en la Comarca Lagunera sufrió fluctuaciones debido a los cambios de política exterior (al igual que otras regiones algodoneras de la época). En 1825 se permitía la importación de materiales y confecciones extranjeras de algodón, principalmente de EE. UU., principal productor de la época, cuyos niveles de producción permitían vender la fibra a menor costo, situación con la cual no podían competir los productores mexicanos, incluyendo los de La Laguna. No obstante, Schoonover (1975) señala que un factor que contribuyó al crecimiento de las regiones algodoneras en México fue el proceso de Guerra Civil en EE. UU. (1861-1867). Si bien este conflicto tuvo cercanía con dos procesos igualmente tortuosos para la política y economía mexicana: la guerra de reforma (1858-1861) y la segunda intervención francesa (1862-1867), el bloqueo de puertos de la utilizados por los Confederados (estados del sur) por parte de la Unión (estados del norte), motivó los Confederados a comercializar sus productos a través de Matamoros (Tamaulipas), lo que favoreció económicamente al país. Particularmente, durante este conflicto, la industria textil situada en su mayoría en los estados de la Unión estaba muy necesitada de algodón para cubrir su demanda, lo permitió la exportación de algodón mexicano. No obstante, dicho intercambio favoreció principalmente a los estados algodoneros controlados por Benito Juárez (liberales): Oaxaca, Guerrero, Michoacán y la Península de Yucatán.

Una vez que concluyó la guerra civil norteamericana, la industria textil del norte volvió a adquirir algodón de los estados sureños controlados por los Confederados, lo que afectó las exportaciones de México (Schoonover, 1975). Mientras los productores norteamericanos continuaban su recuperación como líderes mundiales, la única alternativa de los productores mexicanos para ser competitivos fue

incrementar la producción a partir de la innovación tecnológica: selección de mejores variedades<sup>31</sup>, mejoramiento de sistemas de riego y labranza. Lo anterior cristalizó los esfuerzos a inicios del *porfiriato*, periodo en el que el precio de la fibra mexicana era similar a la estadounidense, con la ventaja de que era más económico transportar algodón de La Laguna hacia las fábricas de textiles en el centro del país<sup>32</sup> que hacerlo desde Texas, aún con aranceles favorables para la importación (Cerutti, 1997; Corona-Páez, 2009). De acuerdo con Cerutti (1997), el desarrollo de la red ferroviaria en la Comarca Lagunera contribuyó de manera determinante para el crecimiento de esta región como productora de algodón. Este autor señala que, para la década de 1880, La Laguna llegó a generar cerca del 75 % de la producción nacional, correspondiente al 58 % del valor de la producción agrícola en el norte (Aguilar, 2013). En consecuencia, aun cuando La Comarca Lagunera fue fundada siglos atrás, dicha bonanza productiva en torno al algodón la convirtió en un imán migratorio<sup>33</sup>, tendencia que continuó durante el periodo porfiriano (Cerutti, 2010).

Además de la fibra, la extracción de aceite de la semilla de algodón contribuyó el desarrollo industrial del norte de México. En 1898 se creó la Compañía Industrial Jabonera de La Laguna<sup>34</sup>, dedicada a la extracción de aceite de semilla de algodón para la producción de jabón (Cerutti, 1997). En esta etapa del fin del siglo XIX, comenzaba a experimentarse un control empresarial hacia la actividad agrícola con el algodón, principalmente de las fábricas jaboneras, quienes evitaban a toda costa la organización de los agricultores para que ellos mismos aprovecharan la semilla generada del cultivo. Lo anterior se logró convenciendo a los agricultores de formar parte de la compañía jabonera, en lugar de ser competidores (Cerutti, 1997). Este vínculo condicionó de cierta manera el desarrollo de la actividad agrícola a la industria y dinámicas empresariales.

La Comarca Lagunera inició el siglo XX siendo la región más importante para el cultivo del algodón. En 1907 alcanzó una superficie de siembra 150 mil ha, extensión sobresaliente para la

---

<sup>31</sup> Miranda (2008) señala durante la década de 1850, el algodón cultivado en la región procedía de una variedad mexicana, común en muchas partes del país, pero con pérdida progresiva de calidad de la fibra, por lo que a partir de 1880 se comenzaron a introducir variedades de algodón americano a la región Lagunera. No obstante, Aguilar (2013) señala que la variedad de Algodón Acala fue introducida a La Laguna, con muy buenos resultados, aproximadamente en 1870. Dicha variedad era muy apreciada en Texas y California por su precocidad, buen rendimiento y longitud, pero en realidad era una variedad de Chiapas.

<sup>32</sup> El transporte fue posible gracias al desarrollo creciente de la red ferroviaria durante el *porfiriato*. Rosenzweig (1965) señala la importancia del ferrocarril para el transporte de mercancías, lo cual contribuyó al desarrollo de México durante el último cuarto del siglo XIX, así como en el siglo XX.

<sup>33</sup> La llegada de trabajadores y agricultores pobres, motivada por el cultivo de algodón, contrastó con las formas de acaparamiento de la tierra y con los antiguos patrones de asentamientos dominados por terratenientes. Aguilar (2013) señala que el algodón transformó la conformación de la Comarca Lagunera mediante este proceso.

<sup>34</sup> Cerutti (1997) señala que la conformación de la Compañía Industrial Jabonera de La Laguna reafirmó el eje empresarial Chihuahua-La Laguna-Monterrey. Este proceso inició años antes con la creación de fábricas para la extracción de aceite en La Laguna y Chihuahua.

época (Aguilar, 2013). En 1910, a pesar de la inestabilidad ocasionada por la Revolución<sup>35</sup>, la producción algodonera concretaba la transición de la economía agropecuaria a la industrial, con el uso de la semilla de algodono en la fabricación de aceites, jabones y alimentos para el ganado (Aguilar, 2013; Rocha-Munive et al., 2018). Entre 1925 y 1934, la laguna sembró en promedio el 45 % de la superficie algodonera nacional y aportó casi el 55 % de la producción<sup>36</sup> (Aguilar, 2013). La mayor parte de esta actividad la realizaban, hasta antes de la Reforma Agraria (1936), medianos productores a través de un sistema de arrendamiento y aparcería, dado que el suelo estaba concentrado en 12 grandes haciendas (Rivas, 2013). De esta manera, la gran actividad asociada al cultivo de algodón propició la reconfiguración de La Laguna, al motivar el fraccionamiento de viejos latifundios coloniales por pequeñas unidades (Aguilar, 2013).

En este escenario de reconfiguración agraria, la economía algodonera en La Laguna (y el resto del norte) continuó avanzando, fortaleciendo su vinculación con el mercado interno de la industria textil (Rocha-Munive *et al.*, 2018). En dicha década, la mayor parte del algodón lagunero se destinaba a la industria textil del corredor México-Puebla-Orizaba, en contraste con el algodón de Mexicali, que en su mayoría era exportado a EE. UU. (Aguilar, 2013). Rocha-Munive y colaboradores (2018) señalan que en 1944 se registró una siembra de 142 777 ha, constituyéndose la Comarca Lagunera en una zona de gran bonanza económica asociada al “oro blanco”. La posición de la Comarca Lagunera como principal productor continuó durante toda la década de 1940 y continuó con una posición importante durante las décadas posteriores.

El desarrollo hidráulico en la región y la dinámica de gestión de recursos experimentó modificaciones significativas asociadas al cultivo de algodón y posteriormente a la reforma agraria. Para 1891 ya existían de manera legal siete presas sobre este río, cuya norma para la distribución de agua lo ejecutaba la Comisión Inspectora del Nazas, construidas con recursos privados por lo que beneficiaban particularmente a los grandes agricultores y hacendados (Chairez & Palerm, 2002). Este sistema hidráulico era además compuesto por tajos, sangrías y vegas, las cuales conducían grandes cantidades de agua para los aniegos. En esta época, el método para aprovechar las venidas de los ríos durante la época de lluvias, tanto el Nazas como el Aguanaval, consistía en la construcción de cajas de agua, que permitían contar con el recurso por varios meses para humedecer el suelo agrícola (Aguilar, 2013; Chairez, 2002). Tras el reparto agrario decretado por el presidente Lázaro Cárdenas, que culminó con el fraccionamiento de las haciendas de la Comarca Lagunera (1936), se dispuso la

---

<sup>35</sup> Varias ciudades de la Laguna son señaladas como “cuna” de la Revolución.

<sup>36</sup> Este dato es relevante considerando que entre 1900 y 1930, el Valle de Mexicali arribó y creció como una de las zonas algodoneras más importantes del país, con el aporte de capital extranjero; no obstante, la Comarca Lagunera aún conservaba su dinámica y estatus de la región algodonera más importante del país.

Comisión Nacional de irrigación se hiciera cargo de la conservación del sistema del sistema del río Nazas y Aguanaval, creándose el Distrito de Riego 017 (abril de 1938) (Chairez & Palerm, 2002). Los derechos sobre el agua influyeron de manera relevante sobre los costos de producción entre agricultores privados y ejidatarios, toda vez que los ejidatarios contaban con derechos sobre este recurso, mientras que los privados eran obligados a usar riego por bombeo, lo cual incrementaba sus costos de producción hasta siete veces más (Aguilar, 2013). Debido a esto, se señalaba la necesidad de contar con una gran presa sobre el Nazas, desarrollo que inició durante la administración del presidente Lázaro Cárdenas, la cual lleva su nombre (también conocida como presa El Palmito), inaugurándose en 1944 (Aguilar, 2013; Chairez, 2002). Con esta dinámica, para 1962 el 70 % del algodón en La Laguna se cultivaba en superficie de riego (Aguilar, 2013). Actualmente, no existe algodón de temporal en la Comarca Lagunera.

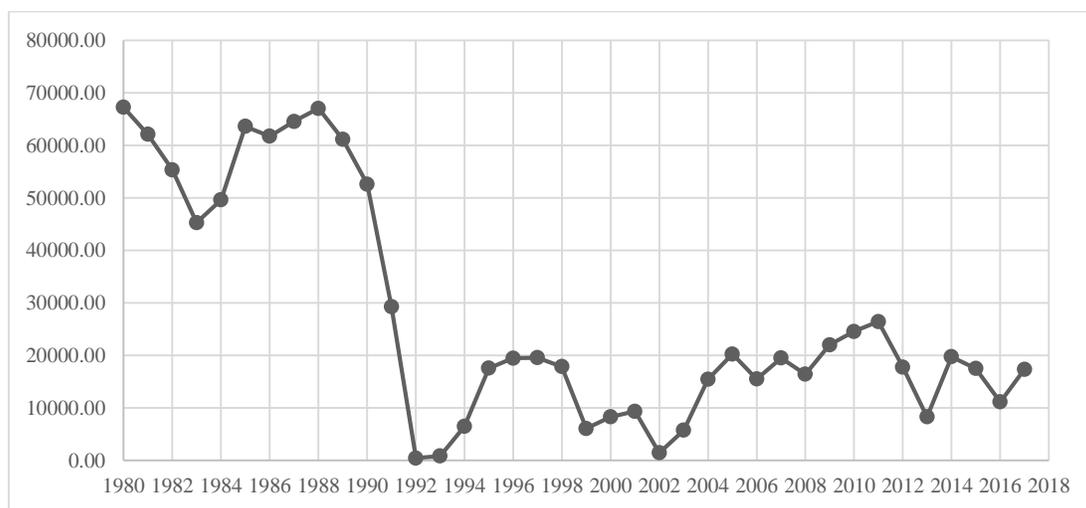
Asociado al incremento de la superficie de cultivo, el desarrollo de la cadena productiva implicó la instalación de plantas despepitadoras, la creación de instituciones de investigación y la introducción de mejores variedades y técnicas de cultivo, la profesionalización de técnicos agrícolas, así como el desarrollo de infraestructura de riego. En 1949 la Comarca Lagunera contaba con 73 despepitadoras y tres más en construcción. Rivas (2013) señala que entre 1920 y 1960, el desarrollo científico y tecnológico jugó un papel fundamental para elevar la productividad y calidad del algodón, mediante la introducción de semillas mejoradas, fertilizantes y plaguicidas sintéticas, tractores y equipo agrícola, infraestructura hídrica y conocimientos empíricos. Este momento de irrupción y adopción tecnológica de alto impacto, parte de revolución verde, marcó el último auge de la especialización de la Comarca Lagunera en el algodón. Durante este episodio, el campo mexicano experimentó la llegada de nuevos profesionales, como los “ingenieros agrónomos” y “técnicos en agricultura mecanizada y agronomía”, los cuales, a partir de la década de 1920, participaron en programas de mejoramiento de algodón, entre otros cultivos (Baraona, 2008). En la década de 1950, surgieron centros de investigación agrícola, tanto públicos como privados, que emplearon un buen número de ingenieros y técnicos agrónomos. Al mismo tiempo, surgieron negocios especializados en la venta de una creciente variedad de venenos en polvo y líquidos, para el control de plagas, cuya presencia iba en aumento, particularmente del picudo de algodón (*Anthonomus grandis*).

Precisamente, uno de los factores que influyó en el incremento de los costos de producción fue el manejo de plagas. Una de las plagas más importantes del algodón, el gusano rosado, advertida desde inicios del siglo XX<sup>37</sup>, se combatía en 1930 con arsénico, la única sustancia disponible para la época.

---

<sup>37</sup> En 1911 se registró la entrada accidental del gusano rosado (*Pectinophora gossypiella* Saund.) a la Comarca Lagunera de un cargamento de semilla proveniente de Egipto (Rocha-Munive *et al.*, 2018).

Para 1946 iniciaron las pruebas de efectividad biológica del DDT, uno de los plaguicidas más tóxicos utilizados (Aguilar, 2013; Rocha-Munive, et al., 2018), que a la largo abonó no solo al incremento en los costos de producción, sino al costo ambiental. El incremento del problema fitosanitario ocasionó que para para finales de la década de 1950 ya no existieran sembradíos de algodón sin el uso de insecticida (Aguilar, 2013). Diversas estrategias se pusieron en marcha, incluyendo el control biológico para contrarrestar los efectos del gusano rosado<sup>38</sup>. No obstante, la presión de plagas, tanto del gusano rosado como del picudo del algodonerero (además del bajo costo de la fibra), ocasionó que para el ciclo agrícola de 1992 y 1993 el algodón casi desapareciera de la región, periodo conocido como el colapso algodonerero. En respuesta, el 1997 inició el cultivo de algodón genéticamente modificado (GM) resistente al ataque gusano rosado (así como tolerante a herbicidas con ingrediente activo glifosato) en La Laguna (Rocha-Munive, 2018). No obstante, la información del SIAP demuestra que después del colapso algodonerero, la superficie de siembra en La Laguna no se recuperó, toda vez que del año 2000 al 2017, no se han sobrepasado las 30 mil ha (Figura 30), aun con la implementación del programa binacional de erradicación de gusano rosado y picudo del algodonerero en el 2014. En el Cuadro 5 se presenta un resumen de la evolución de la siembra de algodonerero en La Laguna.



**Figura 30. Evolución de la superficie sembrada con algodonerero en la Comarca Lagunera durante el periodo de 1980 a 2017.**

Fuente: SIAP, 2008.

<sup>38</sup> En 1963 se construyó en Torreón, Coahuila, el primer laboratorio para la cría de insectos benéficos en toda Latinoamérica (CEROB-Torreón).

**Cuadro 5. Resumen de eventos asociados al cultivo de algodnero en La Laguna.**

Periodo / Año	Evento
Finales del siglo XVIII	Primeras siembras de algodón en el distrito de Parres.
Primera década del siglo XIX	Inicio de siembra de algodón en los márgenes del río Nazas debido a incrementos en la demanda de la fibra.
1811-1825	Inicio de la sistematización de la producción de algodón en la región, determinando periodos de cultivo.
Mediados del siglo XIX	Instalación de primeras fábricas textiles y mayor predominio productivo de las haciendas algodneras de Durango.
Inicio del <i>porfiriato</i> (1876)	El precio de la fibra de algodón mexicana iguala al precio de la fibra estadounidense.
Década de 1880	Desarrollo de la red ferroviaria que permitió transportar fibra de algodón de la región lagunera a otras partes del país. La Laguna produce cerca del 75 % del algodón en México.
Finales del siglo XIX (1898)	Instalación de la Compañía Industrial Jabonera de La Laguna, para la extracción de aceite de la semilla de algodón.
Década de 1910	Consolidación de la industria algodnora con la producción de fibra y la fabricación de aceites, jabones y alimento para ganado a partir de la semilla.
1911	Primer registro de la presencia del gusano rosado, una de las principales plagas que afecta el cultivo de algodnero.
1936	Fraccionamiento de haciendas a consecuencia del reparto agrario decretado por el presidente Lázaro Cárdenas.
1938	Creación del Distrito de Riego 017.
1944	Máxima superficie de algodnero sembrada en la región (142 777 ha).
1946	Inauguración de la Presa Lázaro Cárdenas (El Palmito).
Década de 1950	Se generaliza el uso de plaguicidas en el cultivo de algodnero en la región.
Década de 1960	El 70% del algodnero de la región se cultivaba bajo condiciones de riego.
1992-1993	Colapso algodnoro en la región debido a la presión de plagas y bajos precios de la fibra.
Finales siglo XX (1997)	Inicio de cultivo genéticamente modificado ( <i>Bt</i> ) resistente a plagas lepidópteras.

#### *vi) El cultivo de algodnero en el estado de Chihuahua*

El cultivo de algodnero en Chihuahua surge varias décadas después que, en la Comarca Lagunera, y es resultado de la dispersión del cultivo desde zonas como La Laguna. Durante el periodo colonial, el eje de la economía en Nueva Vizcaya<sup>39</sup> fue la extracción minera y entorno a esta actividad se articulaban el comercio y la producción ganadera. El antecedente del cultivo de algodón en esta entidad se da durante el auge del cultivo de la década de 1920, con la siembra de algodnero en el municipio de Praxedis G. Guerrero<sup>40</sup> por pedidos de la compañía Anderson Clayton, debido al alto precio de la fibra en el mercado internacional. La producción de algodón el Valle de Juárez se vio afectada en 1929 debido a la plaga de gusano rosado, lo que ocasionó una cuarentena en la siembra

<sup>39</sup> La provincia virreinal comprendía al actual estado de Chihuahua y parte de Durango, Sinaloa y Coahuila.

<sup>40</sup> Si bien contaba con un estatus de municipio autónomo desde 1922, hasta 1933 toma el nombre de Praxedis G. Guerrero, en honor al jefe revolucionario con ese nombre, muerto en acción en Janos el 29 de diciembre de 1910.

de este cultivo. No obstante, la conformación del Distrito de Riego 009 Valle de Juárez, en 1934 reactivó la dinámica agrícola, entre ella la del algodón (Armendáriz & Rendón, 2017).

Por esos años, la fundación en 1933 de Delicias, a quien Aguilar (2013) señala como una de las ciudades algodonerías, representó la incursión de la entidad en el panorama algodonerío. Este cultivo, como agente poblador, motivó la búsqueda de nuevas tierras para el desarrollo de la actividad de personas provenientes de La Laguna (entre otros puntos del norte y centro del país), con gran experiencia en este cultivo. El evento crucial para la fundación de esta ciudad algodonería fue el desarrollo del Distrito de Riego número 005 (Conchos-Delicias) en la década de 1930, cuyas obras corrieron a cargo de la Comisión Nacional de Irrigación (Jiménez, 2008). La creación del DR 005, desarrollado junto a líneas férreas, tuvo como objeto aprovechar lo más rápido posible la gran cantidad de agua de los afluentes del río Bravo (particularmente el río Conchos), con el propósito de negociar con EE. UU. el tratado de aguas, bajo el argumento jurídico del respecto a los usos preexistentes (Aguilar, 2013). Este distrito se constituye oficialmente en 1941. En este escenario, el desarrollo de esta región algodonería fue precoz; para 1936 en Delicias ya se sembraban 21 mil ha con este cultivo, cuyo principal destino era el centro del país, al igual que el algodón lagunero (Aguilar, 2013). La importante disponibilidad de agua proveniente del río Conchos permitió el crecimiento de la producción algodonería en este Valle durante las siguientes décadas.

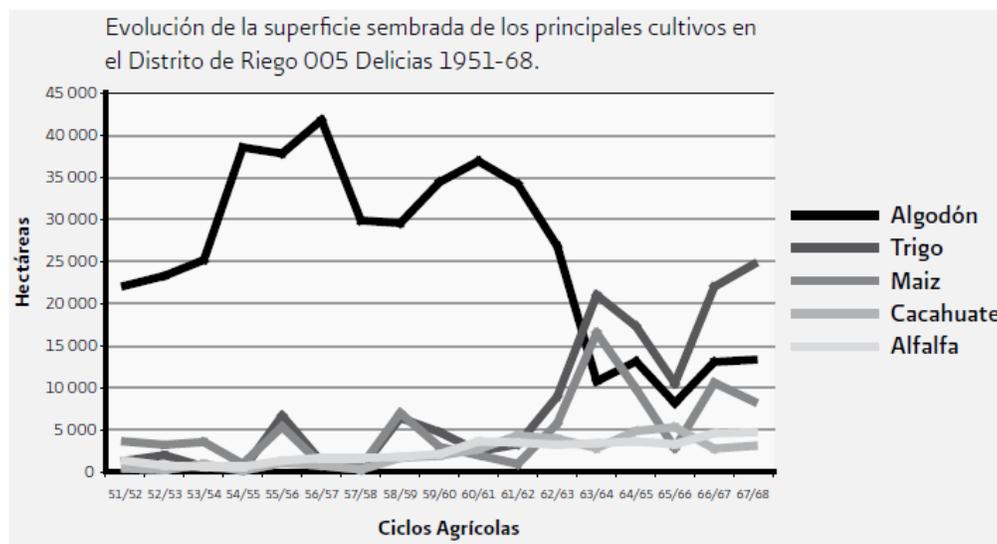
Aguilar (2013) señala que el auge del algodón en México se dio entre 1948 y 1955, cuando la superficie cosechada pasó de 400 mil a poco más de un millón de ha. El aporte de todas las regiones algodonerías fue crucial, en un momento en el que la superficie de producción en México había superado a la de EE. UU. y el precio de la fibra aumentó a consecuencia de eventos globales, como la segunda guerra mundial<sup>41</sup>. Para este periodo, la región de Bajo Río Bravo experimentó el mayor crecimiento como zona algodonería, dejando atrás a la Comarca Lagunera; no obstante, dado el auge del algodón en el panorama internacional, todas las regiones algodonerías del norte del país experimentaron incrementos importantes de producción, algunas veces acompañados de superficie de siembra.

De acuerdo con Jiménez (2008), el algodonerío en el Valle de Delicias experimentó un incremento importante en la superficie de cultivo a partir de 1951, y alcanzó más de 40 mil ha para el año ciclo 1956/1957. Una tendencia similar se observó en el Valle de Juárez, donde el 1953 la siembra de algodonerío era la actividad más fructífera de la región (Armendáriz & Rendón, 2017). No obstante,

---

<sup>41</sup> La segunda guerra mundial cambió el panorama algodonerío del planeta, al estimular la producción mediante la elevación de precios. La guerra provocó un alza en la demanda y por consiguiente el comercio internacional. Durante esta época, también con la influencia de la guerra en Corea (1950), los precios del algodón alcanzaron su punto más alto.

al inicio de la década de 1960, comienza el declive del episodio algodonnero en el norte del país, a consecuencia de la disminución del precio a casi la mitad del observado durante la postguerra. En el Valle de Delicias la disminución de la superficie de cultivo fue dramática, llegando en el ciclo 1965/1966 a niveles por debajo de las 10 mil ha (Figura 31). Esta tendencia es generalizada en el país, como parte de la disminución en el cultivo de algodonnero coincide con el incremento de la superficie de otros cultivos, como el de trigo, y en menor medida de maíz, que seguramente fueron opciones más rentables para los agricultores.



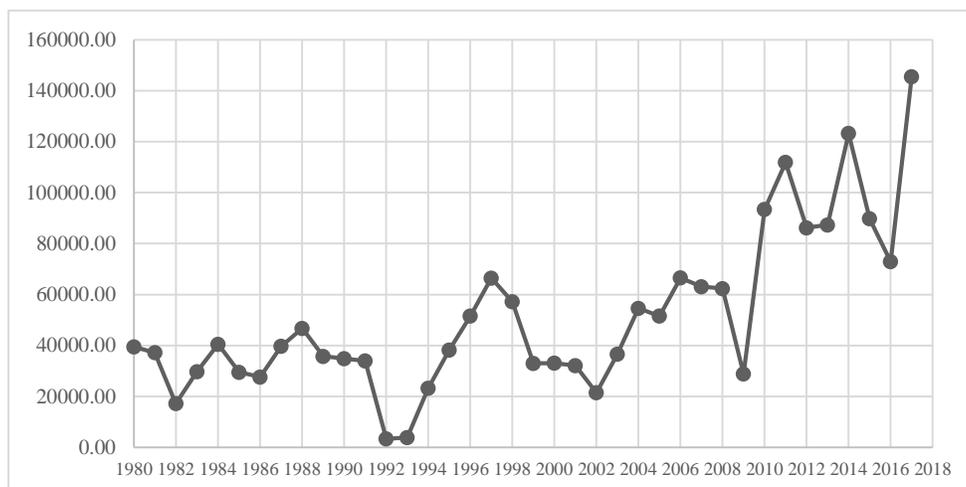
**Figura 31. Evolución de la superficie sembrada con los principales cultivos en el Distrito de Riego 005 Delicias, durante el periodo de 1951 a 1968.**

Fuente: Jiménez, 2008.

La quiebra del algodonnero se consumó en la década de 1970, propiciada en parte por el incremento en el uso de fibras sintéticas por parte de la industria textil, así como en la importante disminución de los precios de la fibra de algodón en el mercado internacional, ocasionando el *dumping*<sup>42</sup> algodonnero (Aguilar, 2013; Armendáriz & Rendón, 2017). De acuerdo con SIAP, en el periodo de 1980 al 1990 la superficie de siembra de algodonnero fluctuó en extensiones menores a las 40 mil ha. Posteriormente, en los ciclos agrícolas de 1992 y 1993, similar a lo ocurrido en La Laguna, en Chihuahua se registró la menor superficie de siembra de las últimas cuatro décadas, con solo 3 323 y 3 876 ha, respectivamente. A mediados de la década de 1990, los numerosos grupos menonitas asentados en diferentes regiones del estado y la introducción de algodón GM resistente a insectos lepidópteros (y tolerante a herbicidas) permitieron un repunte en la superficie de siembra. Finalmente, ya el presente siglo, el inicio del Programa Binacional de erradicación del gusano rosado y el picudo

<sup>42</sup> Práctica que consiste en vender un producto por debajo de su costo, especialmente en lo concerniente al comercio internacional.

del algodón en el 2002, así como la recuperación de precios en el mercado ocurrida en el 2010, contribuyeron para que actualmente el estado de Chihuahua sea el principal productor de la fibra (Figura 32). En el Cuadro 6 se presenta un resumen de la evolución del cultivo de algodón en Chihuahua.



**Figura 32. Evolución de la superficie sembrada con algodón en el estado de Chihuahua durante el periodo de 1980 a 2017.**

Fuente: SIAP, 2008.

**Cuadro 6. Resumen de eventos asociados al cultivo de algodón en Chihuahua.**

Periodo / Año	Evento
Década de 1920	Primeras siembras de algodón en Praxedis G. Guerrero (Valle de Juárez) por pedidos de la compañía Anderson Clayton.
1929	Producción de algodón afectada en el Valle de Juárez debido al gusano rosado.
1933	Fundación de Ciudad Delicias, una de las ciudades algodonerías del país.
1934	Inauguración del Distrito de Riego 009, Valle de Juárez, suceso que reactivó la actividad algodonería en la región.
Década de 1930	Desarrollo del Distrito de Riego 005, Conchos-Delicias, y de la red ferroviaria, lo que contribuyó al incremento de la actividad algodonería en Delicias.
1941	Constitución oficial del Distrito de Riego 005, Conchos-Delicias.
Década de 1950	Incremento de la superficie de cultivo de algodón en Delicias.
Década de 1960	Disminución de la superficie de cultivo de algodón debido al bajo precio de la fibra.
1992-1993	Colapso algodonería, registrando menos de 4 mil ha cultivadas en la entidad.
1997	Inicio de cultivo genéticamente modificado resistente a plagas lepidópteras.
2002	Inicio del Programa Binacional de erradicación del gusano rosado y el picudo del algodón.

## 1.2 Producción actual del algodón

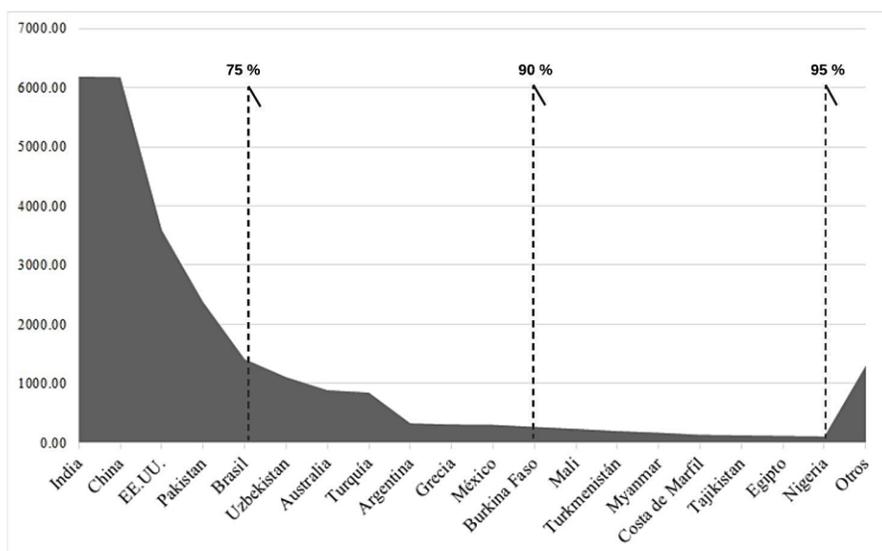
El algodónero *G. hirsutum* es uno de los cultivos agroindustriales más importantes a nivel mundial, por lo que es el producto agrícola no alimentario de mayor relevancia (FAO-SAGARPA, 2014). Su cultivo se realiza en más de 100 países de diferentes continentes por el valor y utilidad la fibra y en segundo término por el uso de su semilla. La fibra de algodón contribuye con el 31 % de la producción de fibras naturales, por lo que es un insumo importante en la industria textil para la producción de hilos y telas (entre otros productos). Por su parte, la semilla, con alto contenido de aceite y proteína, se aprovecha en la industria extractora de aceites para consumo humano y animal, y la cascarilla de esta se emplea como forraje crudo, como abono, como combustible y como fuente de celulosa para la industria papelera (FAO-SAGARPA, 2014; FND, 2014; Roth, 2014). Por esta razón, la producción de algodón tiene un papel relevante en el desarrollo económico y social de diferentes regiones de África, Asia y América, debido a las diversas actividades asociadas a este, que lo constituyen como un importante proveedor de empleo (Ajayi *et al.*; 2009; FAO, 2014).

En la actualidad, aproximadamente el 90 % de la producción mundial de algodón se realiza a partir de *G. hirsutum*, domesticado en Mesoamérica, una de las cuatro especies de algodón cultivables disponibles a la fecha (las otras tres corresponden a *G. barbadense*, *G. arboreum* y *G. herbaceum*) (Rocha Munive, *et al.*, 2017; Smith & Cothren, 1999). Hoy en día, el cultivo del algodónero de *G. hirsutum*, también conocido como algodón mexicano o algodón de tierras altas (*upland*), se extiende más allá de los trópicos, el rango natural de distribución de la especie. Esta posibilidad se debe al desarrollo de nuevas variedades, la implementación de infraestructura de riego y el avance en las técnicas de cultivo, que han permitido su siembra desde aproximadamente los 47 grados de la latitud Norte (Ucrania) hasta los 32 grados Sur (Australia) (Smith & Cothren, 1999). Como resultado de la amplitud geográfica de su producción, el cultivo de algodón es actividad importante en términos sociales y económicos, tanto en países desarrollados como en países en desarrollo.

En el periodo 2007-2008, de los 65 países productores de algodón, 52 países eran catalogados como en desarrollo. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas (ONU), 21 de estos se incluían en la categoría de las naciones menos desarrolladas (FAO, 2014). En el 2014, la Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés) registró 90 países productores de la fibra de algodón; no obstante, más del 75 % de la producción se concentró solo en cinco países: India, China, EE. UU., Paquistán y Brasil (Figura 33). México se ubicó el lugar

11, lejos de las primeras posiciones y aportando solo el 1.1 % de la producción mundial<sup>43</sup> (FAOSTAT, 2014). Si bien en términos porcentuales nuestro país no es un productor sobresaliente a nivel global, la amplia historia en el desarrollo del cultivo lo ubica como en una posición relevante para el propio cultivo.

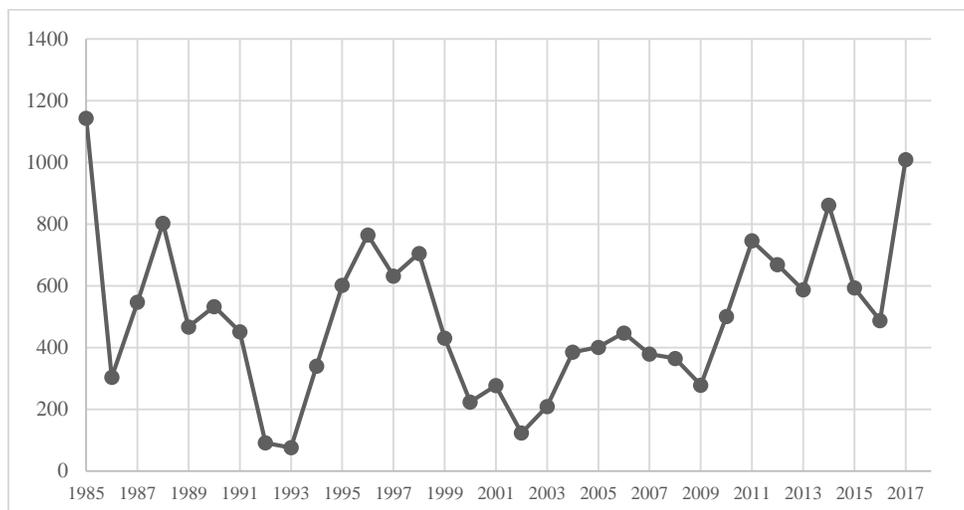
Con relación a la producción nacional, durante el periodo de 1985 al 2017 la producción de algodón hueso ha presentado fluctuaciones importantes, iniciando el periodo con más de un millón de toneladas. El principal declive registrado se da el periodo de 1992-1993, con menos de 100 mil toneladas, periodo conocido como el colapso algodonero ocasionado por la disminución abrupta en la superficie de cultivo y el ataque de plagas (Rocha-Munive, *et al.*, 2017). Más adelante, en el 2002, se registró una nueva caída en la producción con solo ~123 mil toneladas. A partir de 2011 se registra un nuevo repunte, finalizando en el 2017 nuevamente con más de un millón de toneladas producidas (Figura 34).



**Figura 33. Producción mundial de fibra de algodón (miles de toneladas) y porcentaje acumulado de la producción, 2014.**

Fuente: FAOSTAT, 2018

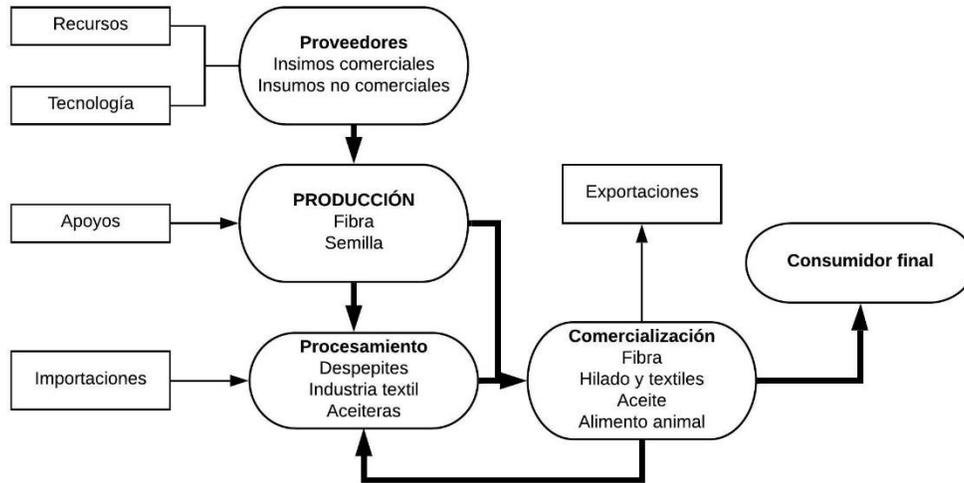
<sup>43</sup> La información del FAOSTAT sobre la producción de algodón en México en 2014, difiere de la información que presenta la SAGARPA a través del SIAP, debido a que la primera se refiere a toneladas de fibra de algodón (*lint*), mientras que el SIAP presenta toneladas de algodón hueso (incluye la semilla).



**Figura 34. Producción de algodón hueso (miles de toneladas) en México durante el periodo 1985 a 2017.**  
Fuente: SIAP, 2018.

### 1.3 Conceptualización del SSE de algodón

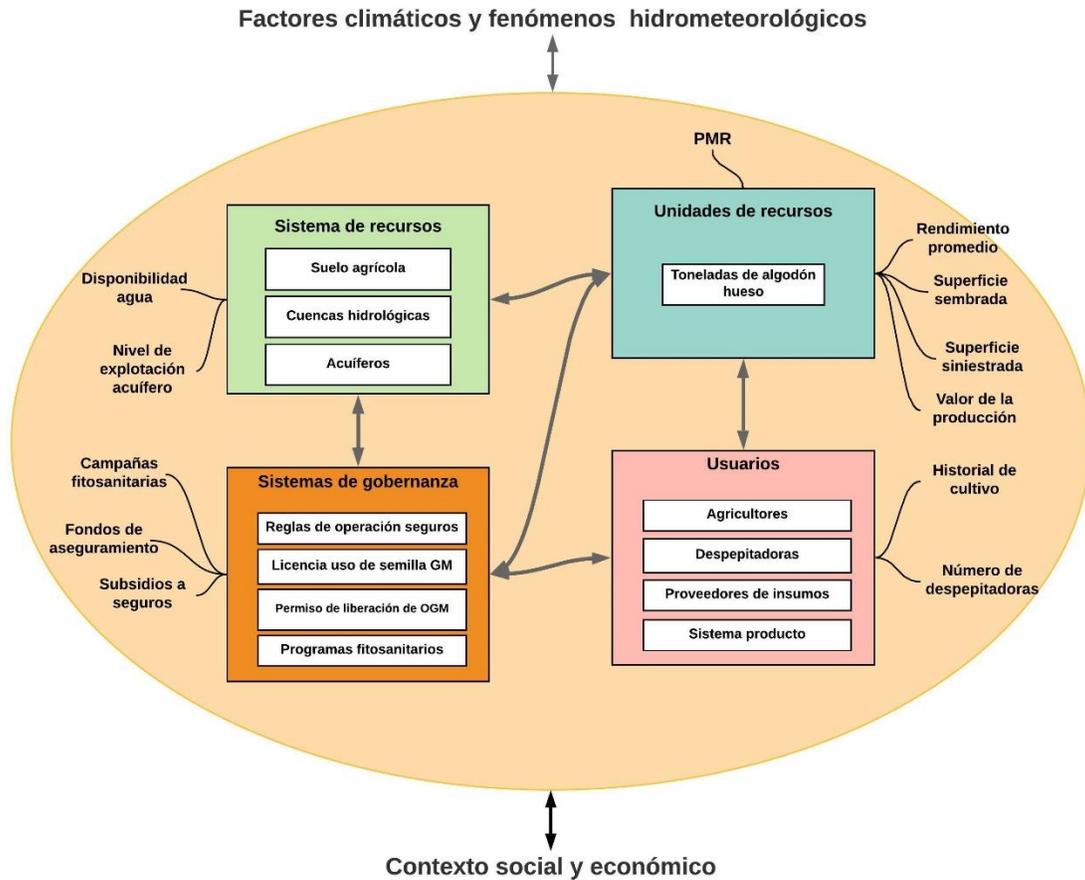
Generalmente el estudio o caracterización de los sistemas de producción agrícola se realiza con un enfoque de cadenas, con eslabones conformados por componentes y actores clave relacionados con un papel o función específica, en donde las interacciones se reflejan de forma unidireccional. La cadena de valor del algodón se caracteriza a partir de los procesos realizados, hasta llevar al consumidor final, destacando las etapas de producción, procesamiento y comercialización (Figura 35). No obstante, de acuerdo con lo señalado por el estudio de la cadena productiva realizada por la FAO y la SAGARPA (2014), en este proceso existe una interacción dinámica entre diferentes actores que integran el *sistema producto* (Cuevas *et al.*, 2011). No obstante, aun cuando el enfoque de cadenas de valor visualiza diferentes procesos, etapas y eslabones de la producción, mientras que los sistemas producto se refieren a la agrupación de actores, dichos enfoques no consideran explícitamente las condiciones de las diferentes esferas del socioecosistema y sus interacciones. Considerando lo anterior, el estudio de vulnerabilidad realizado desde un enfoque sistémico requirió en principio delimitar el sistema de estudio, definir su identidad y evaluar la relación entre sus componentes con el objeto de analizar su influencia sobre la vulnerabilidad.



**Figura 35. Cadena de valor del algodón.**

Fuente:

Con este propósito, el presente estudio utilizó el marco de los Sistemas Socio-Ecológicos (SES, por sus siglas en inglés), desarrollado por Ostrom (2007, 2009) y actualizado por McGinnis & Ostrom (2014), únicamente como marco de referencia para delimitar las variables y componentes del sistema de algodón, particularmente los subsistemas principales que integran la estructura jerárquica de los SES. (Binder *et al.*, 2013). Toda vez que es posible analizar a los subsistemas centrales del SSE de una forma heurística, para el caso del sistema del algodón los subsistemas centrales identificados mediante el SES corresponden a los subsistemas de recursos (el agroecosistema), las unidades de recursos (e.g. unidades de producción, unidades de riego), los usuarios (e.g. agricultores, proveedores) y los sistemas de gobernanza (e.g. normatividad, contratos comerciales), los cuales se encuentran relativamente separados pero en interacción constante, lo que genera resultados que afectan a todo el SSE (Figura 36). Los niveles inferiores se desagregan con mayor precisión en variables de los subsistemas centrales, con interacciones locales cuyo resultado (retroalimentación), afectan a los subsistemas y sus componentes. En el presente estudio, dado que utiliza una aproximación general, solo se enfocó en los subsistemas centrales. El resultado de esta aproximación se describe en los siguientes apartados.



**Figura 36. Sistema socio-ecológico del algodón.**  
Fuente: Modificado de Ostrom, 2009.

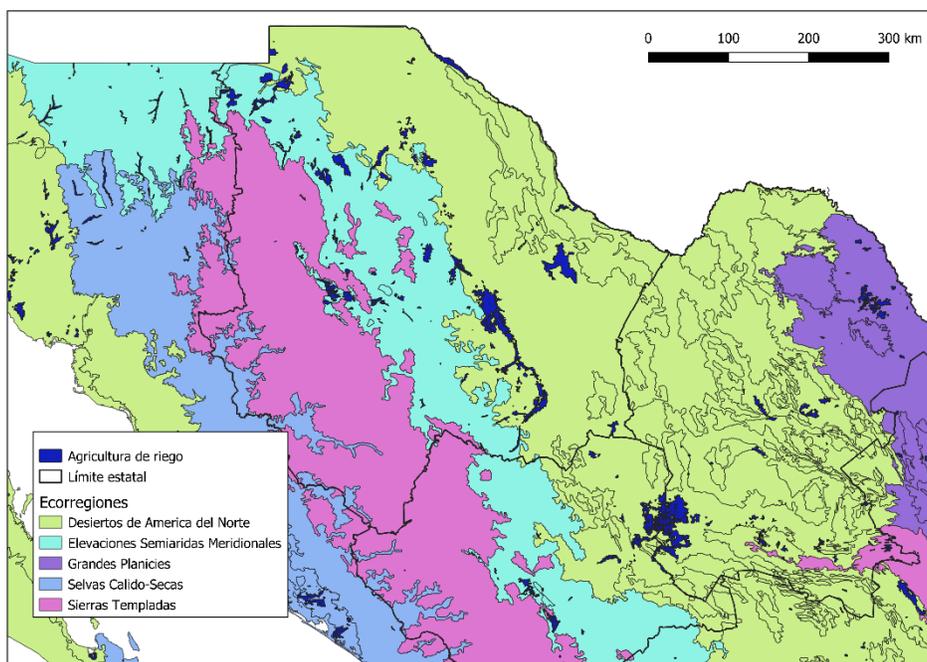
### *i) Subsistema de recursos*

El sistema de recursos comprende el conjunto de elementos naturales y aquellos creados por el hombre que son necesarios para el desarrollo de una actividad determinada. En el caso de los agroecosistemas, los recursos de mayor relevancia son las superficies de producción, el agua y las variedades cultivables. Además, existen otros recursos relevantes como la infraestructura desarrollada (e.g. sistemas de riego) y los recursos genéticos disponibles, que en el caso de la agricultura industrial se asocia a las variedades mejoradas disponibles para una región (semillas certificadas o no). El presente apartado se centra en el suelo agrícola y los recursos hídricos disponibles a través de la infraestructura de riego.

#### *a) Suelo agrícola*

Una porción importante del estado de Chihuahua y la región de la Comarca Lagunera forman parte la ecorregión denominada como Desiertos de América del Norte. Esta ecorregión comparte de manera

general, condiciones climatológicas, geológicas biológicas y edafológicas similares, por lo que a este nivel (ecorregión 1) representa un continuo (Challenger & Soberón, 2008). Las condiciones climáticas predominantes en la mayor parte de las zonas de interés para este estudio son de tipo seco árido, con una precipitación promedio anual entre 300 a 500 mm. El tipo de vegetación representativo de esta región es el matorral xerófilo, aunque puede presentar variaciones importantes de acuerdo con el nivel analizado (1 – 4).

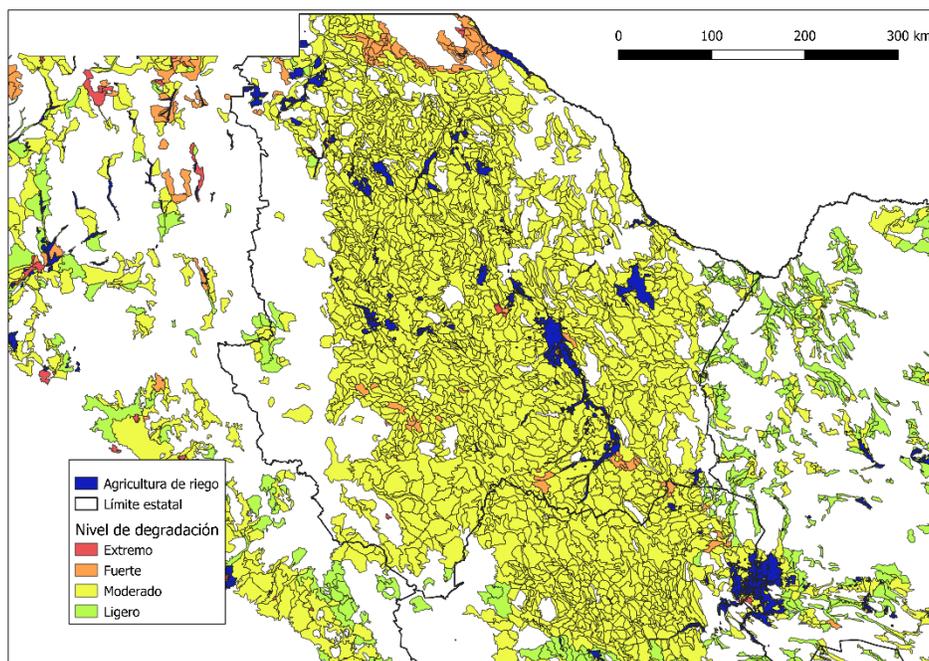


**Figura 37. Ecorregión de las zonas de estudio y suelo agrícola de riego.**

Fuente: CONABIO, 2008; INEGI, 2017.

Bajo estas condiciones, en las regiones áridas y semiáridas del país el desarrollo agrícola ha sido un reto importante, en gran parte por deficiencias en la disponibilidad de precipitación y por lo tanto de agua. El desarrollo de infraestructura de riego ha permitido el desarrollo de extensas zonas agrícolas en zonas áridas y semiáridas del norte del país (Figura 37). El cultivo de algodón presenta buen desarrollo en suelos aluviales, con pendientes ligeras, como los presentes en las regiones cercanas al río Nazas en la Comarca Lagunera y en la cuenca del río Conchos en Chihuahua. No obstante, el desarrollo de las regiones algodoneras en las zonas áridas que no cuentan con ramales de irrigación y por lo tanto de aporte de nutrientes, requirió la búsqueda de alternativas para mejorar y preservar la fertilidad de los suelos, llevando a utilizar fertilizantes naturales y posteriormente sintéticos (Aguilar, 2013; INIFAP, 2017a; INIFAP, 2017b; Rivas, 2011).

Dado el tipo de vegetación asociada a las zonas áridas y semiáridas, los impactos del desarrollo de la agricultura, particularmente las vinculadas al modelo agroindustrial, pueden resultar menos evidentes en cuanto a los impactos sobre el suelo que en el caso de las zonas forestales, en donde el desmonte de grandes extensiones es una práctica estudiada desde hace varias décadas (Ellis et al., 2017). No obstante, existe evidencia sobre los efectos ocasionados por el cambio de uso de suelo en las regiones áridas y semiáridas ocasionados por la expansión agrícola, las actividades ganaderas, así como por los sectores minero y turístico (Arriaga, 2009). La SEMARNAT (2004) señala que la mayor parte de los suelos en el estado de Chihuahua y la Comarca Lagunera presentan degradación moderada (Figura 38), a causa de actividades del sector agropecuario; algunos puntos de la zona norte de Chihuahua presentan degradación fuerte, mientras que en la Comarca Lagunera alguno se presentan degradación extrema. Si bien existen algunas evidencias, al presente no se cuenta con información actualizada de fuentes oficiales sobre el estatus del suelo en estas regiones con actividad agrícola intensiva.



**Figura 38. Degradación de suelo y suelo agrícola de riego.**

Fuente: INEGI, 2017; SEMARNAT, 2004.

#### b) Parcelas (terrenos y derechos de propiedad)

La configuración de las zonas rurales del país incluye superficies disponibles para el desarrollo de la actividad agrícola, entre otras actividades del sector primario<sup>44</sup>. El desarrollo histórico del territorio

<sup>44</sup> El sector primario incluye las actividades de agricultura, cría y explotación de animales, acuicultura, aprovechamiento forestal, pesca, caza y captura, servicios relacionados con las actividades agropecuarias y forestales y otros.

mexicano ha transitado por diversos tipos de derechos sobre la tierra, particularmente en la época colonial, cuando los espacios agrícolas experimentaron modificaciones importantes. Posterior a la colonia, la territorialidad formó parte de los ejes que motivaron los conflictos armados del país, particularmente el revolucionario. En cierta forma, el avance de la Reforma Agraria durante el cardenismo (1936) culminó con parte de este proceso, reconfigurando los espacios rurales del país, particularmente la Comarca Lagunera. En el presente, se experimenta la dinámica derivada de la Reforma constitucional al artículo 27 (1992) que representó una nueva base jurídica sobre los derechos de la tierra (Gallardo-Zúñiga, 1992).

La actualización del marco censal agropecuario del INEGI (2016) señala que, en los municipios del estado de Chihuahua incluidos en el estudio, el número total de terrenos es de 70 653. Este número considera terrenos en donde se lleva a cabo diferentes actividades del sector primario (agrícolas, ganaderas o forestales). Dichos terrenos no son exclusivos para la actividad agrícola, ni se dedican a la siembra del algodón, pero forman parte del sistema de recursos disponibles en cada municipio analizado. A nivel municipal la información muestra que Chihuahua cuenta con el mayor número de terrenos (8 914) y Nuevo Casas Grandes el menor (803). Cabe mencionar que la superficie asociada a los terrenos no es proporcional a su número, toda vez que en cada municipio existen diferentes niveles de fragmentación. La mayor fragmentación está en Meoqui, donde la superficie promedio por terreno es de solo 7.08 ha, mientras que Coyame del Sotol presenta el promedio más alto, con 879.1 ha (Tabla 7). Aun cuando se trata de información promedio, ésta es una aproximación a un componente central del subsistema de recurso, fundamental para el desarrollo de las actividades del sector primario.

**Tabla 7. Número de terrenos en los municipios de interés en Chihuahua.**

Clave	Municipio	Número Total	Superficie total (ha)	Superficie promedio (ha)
1	Ahumada	2115	1 678 199.13 **	793.47
2	Aldama	3613	915247.15	253.32
3	Allende	3041	210339.20	69.17
5	Ascensión	3279	1262540.60	385.04
10	Buenaventura	3606	767254.54	212.77
11	Camargo	3316	1 322 281.13	398.76
13	Casas Grandes	2072	373861.12	180.43
19	Chihuahua	8914 **	805225.94	90.33
14	Coronado	1263	186834.97	147.93
15	Coyame del Sotol	1303	1 145 482.34	879.11 **
21	Delicias	1205	48079.70	39.90

23	Galeana	1005	170171.39	169.32
28	Guadalupe	1626	592375.61	364.31
35	Janos	3344	735035.12	219.81
36	Jiménez	4797	1 054 732.10	219.87
37	Juárez	3604	315127.05	87.44
38	Julimes	1833	397325.58	216.76
16	La Cruz	1045	102429.53	98.02
45	Meoqui	5678	40224.31	7.08 *
50	Nuevo Casas Grandes	803 *	253421.31	315.59
52	Ojinaga	4120	667951.13	162.12
53	Praxedis G. Guerrero	1432	35641.61 *	24.89
55	Rosales	4244	189462.82	44.64
62	Saucillo	3395	299587.85	88.24
Valor mínimo		803 *	35 641.61 *	7.08 *
Valor máximo		8 914 **	1 678 199.13 **	879.11 **

Fuente: INEGI, Marco censal agropecuario, 2016.

Respecto del tipo de tenencia de la tierra, el censo lo divide en tres grandes categorías: social, privada y colonias. En los municipios de interés existen diferencias notables en la superficie promedio asociada al tipo de tenencia. Para la propiedad social, en promedio la mayor superficie corresponde a Coyame del Sotol (~393 ha) y la menor a Meoqui (4.7 ha). En contraste, la mayor superficie promedio de los terrenos privados la presenta Ahumada, con ~1 918 ha, mientras que la menor corresponde a Meoqui con 7.9 ha. Finalmente, con relación a la superficie promedio de las colonias<sup>45</sup>, la mayor extensión la presenta Jiménez con ~1 912 ha, mientras que Camargo, en el otro extremo, presenta una superficie promedio de 3.6 ha (Tabla 8). Nuevamente, se trata de aproximaciones que contribuyen a determinar la composición de este componente del subsistema de recursos.

**Tabla 8. Superficie promedio terrenos en Chihuahua de acuerdo con tipo de tenencia.**

Clave	Municipio	Superficie promedio terrenos (ha)		
		Social	Privado	Colonia
1	Ahumada	221.89	1 918.99 **	410.44
2	Aldama	98.29	921.62	132.80
3	Allende	30.44	235.99	
5	Ascensión	304.31	455.91	278.46
10	Buenaventura	79.55	554.34	297.81
11	Camargo	81.46	725.03	3.63 *
13	Casas Grandes	89.62	1 756.95	10.72

<sup>45</sup> La superficie de colonia agrícola corresponde al área perteneciente a tierras concedidas a grupos de población con base en las Leyes de Colonización y que se inscriben en el Registro Nacional Agrario (INEGI, 2016). Las colonias menonitas son un ejemplo de este tipo de tenencia de la tierra.

19	Chihuahua	41.56	243.78	50.14
14	Coronado	37.96	458.86	33.54
15	Coyame del Sotol	393.06 **	1 666.77	73.63
21	Delicias	13.23	49.59	8.19
23	Galeana	109.96	758.46	
28	Guadalupe	85.86	846.90	517.67
35	Janos	74.52	545.09	473.79
36	Jiménez	66.33	791.60	1 912.07 **
37	Juárez	35.02	368.79	
38	Julimes	155.83	242.32	618.93
16	La Cruz	28.04	436.56	
45	Meoqui	4.74 *	7.92 *	7.79
50	Nuevo Casas Grandes	227.51	1 461.38	31.04
52	Ojinaga	111.89	264.34	1 10.85
53	Praxedis G. Guerrero	26.27	18.55	
55	Rosales	26.25	161.56	
62	Saucillo	27.72	139.27	
Valor mínimo*		4.74	7.92	3.63
Valor máximo**		393.06	1918.99	1912.07

Fuente: INEGI, Marco censal agropecuario, 2016.

A continuación, se presenta la representatividad del número de terrenos y su superficie de acuerdo al tipo de tenencia. La mayor parte de los terrenos del municipio de Casas Grandes (94.4 %) corresponden a la figura de propiedad social (incluye a los ejidales y comunales), mientras que Meoqui cuenta con solo el 26.3 % de los terrenos bajo esta figura. En cuanto a la superficie correspondiente a la propiedad social, Práxedis G. Guerrero cuenta con el 86.6 % de su extensión bajo este rubro, mientras que Delicias solo presenta el 8.8 % (Tabla 7).

En concordancia con lo anterior, el municipio con mayor número de terrenos privados es Meoqui (quien cuenta con el menor porcentaje de terrenos en propiedad social), con el 73.5 %, mientras que el menor porcentaje de terrenos bajo este tipo de tenencia lo presenta Casas grandes (5.4 %). Con relación a la superficie privada, la mayor concentración la presenta Delicias (91.1 %), quien cuenta con el menor porcentaje de superficie social; en contraste, Práxedis G. Guerrero presenta el menor porcentaje de superficie destinada a terrenos privados: 13.3 % (este municipio también cuenta con un porcentaje alto de propiedad social) (Tabla 7).

Respecto a las colonias, este tipo de tenencia solo es representativo en el municipio de Nuevo Casas Grandes, donde 52.9 % de los terrenos presentan este tipo de derecho; no obstante, el porcentaje de

esta superficie es menor de 6% (en este municipio el porcentaje más alto lo presente la superficie de terrenos privados) (Tabla 9).

**Tabla 9. Número y superficie relativa de terrenos en Chihuahua de acuerdo con el tipo de tenencia.**

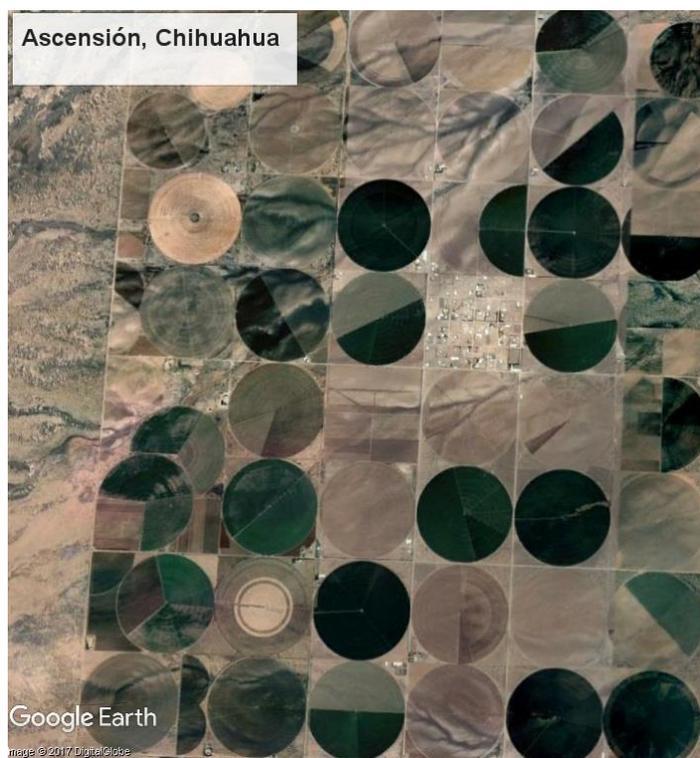
Clave	Municipio	Total terrenos social		Total terrenos privada		Total terrenos colonia	
		a	b	a	b	a	b
1	Ahumada	56.74	15.87	32.48	78.56	10.78	5.58
2	Aldama	75.28	29.21	18.57	67.57	6.14	3.22
3	Allende	81.16	35.71	18.84	64.29	0.00	0.00
5	Ascensión	45.72	36.13	53.40	63.23	0.88	0.64
10	Buenaventura	71.13	26.59	27.37	71.31	1.50	2.10
11	Camargo	50.66	10.35	49.31	89.65	0.03	0.00
13	Casas Grandes	94.40**	46.89	5.45*	53.10	0.14	0.01
19	Chihuahua	72.32	33.27	23.96	64.67	3.71	2.06
14	Coronado	73.71	18.92	26.13	81.05	0.16	0.04
15	Coyame del Sotol	29.01	12.97	44.74	84.83	26.25	2.20
21	Delicias	26.56	8.81*	73.36	91.18**	0.08	0.02
23	Galeana	90.85	59.00	9.15	41.00	0.00	0.00
28	Guadalupe	62.05	14.62	34.81	80.92	3.14	4.46
35	Janos	68.99	23.39	30.11	74.68	0.90	1.93
36	Jiménez	78.86	23.79	21.12	76.03	0.02	0.18
37	Juárez	84.30	33.76	15.70	66.24	0.00	0.00
38	Julimes	29.79	21.41	70.16	78.43	0.05	0.16
16	La Cruz	82.87	23.71	17.13	76.29	0.00	0.00
45	Meoqui	26.35*	17.61	73.58**	82.31	0.07	0.08
50	Nuevo Casas Grandes	31.51	22.71	15.57	72.08	52.93**	5.20
52	Ojinaga	58.30	40.24	33.01	53.82	8.69	5.94**
53	Práxedes G. Guerrero	82.12	86.68**	17.88	13.32*	0.00	0.00
55	Rosales	86.40	50.80	13.60	49.20	0.00	0.00
62	Saucillo	45.74	14.37	54.26	85.63	0.00	0.00
Valor mínimo*		26.35	8.81	5.45	13.32	0.00	0.00
Valor máximo**		94.40	86.68	73.58	91.18	52.93	5.94

Fuente: INEGI, Marco censal agropecuario, 2016.

a= número relativo (% respecto al total por municipio); b= superficie relativa (%)

Si bien este estudio no cuenta con información puntual sobre las superficies sembradas con algodón y el tipo de tenencia de la tierra, los antecedentes de la región de Delicias muestran que, en 1970, 61 % de la actividad se realizaba en predios privados y el resto en ejidos (Aguilar, 2013). Actualmente, este municipio presenta una proporción importante de predios privados, por lo que posible que al menos en esta región, la mayor parte de los agricultores cuenten con terrenos privados. En resumen, aun cuando en la entidad los terrenos agrícolas presentan diferentes características,

existen zonas al norte asociadas a la producción de algodón, con superficies importantes altamente tecnificadas, como las señaladas en la Figura 39, acondicionadas con pivotes centrales<sup>46</sup>.



**Figura 39. Aspecto de regiones algodonerías en el municipio de Ascensión, Chihuahua.**  
Fuente: Google Earth, 2019.

Por su parte, en la Comarca Lagunera el número total de terrenos en los municipios de interés (algodoneros) es de 91 723. San Pedro es el municipio con mayor número de terrenos (21 556), mientras que Nazas presenta el menor número de predios (3 589). La mayor fragmentación la presenta Matamoros, con una superficie promedio de 5 ha, mientras que Mapimí presenta el promedio más alto, con 100 ha (Tabla 10). Este último número contrasta con el promedio de Chihuahua, en donde la mayor superficie promedio rebasa las 800 ha. En este punto, es importante recordar lo señalado por

---

<sup>46</sup> Corresponde a uno de los equipos de mayor nivel tecnológico en la aplicación del agua mediante aspersión a los cultivos, con grandes ventajas que han incentivado su adopción durante los últimos años. Se trata de ramales autodesplazables, donde el agua es aplicada a través de emisores localizados sobre o bajo una tubería elevada (aspersores de alta presión tipo impacto, de media presión tipo spray, wobblers, rotadores, spiners y de baja presión, LDN y LEPA). La tubería se divide en tramos, que son soportados por un número variable de torres automotrices que se desplazan en círculo sobre el terreno, alrededor del punto fijo denominado punto pivote. Este último, integra el tablero de comando, la interconexión hidráulica proveniente del sistema de impulsión y las de suministro eléctrico que permiten el accionamiento de toda la unidad (Herrera & Correa, 2005).

Aguilar (2013), respecto a que la Comarca Lagunera fue una de las regiones en donde el reparto agrario de 1936 generó un gran número de medianos y pequeños productores.

**Tabla 10. Número de terrenos en los municipios de interés en La Comarca Lagunera.**

Entidad	Clave	Municipio	Número	Superficie total	Superficie
			total	(ha)	promedio (ha)
Coahuila	9	Francisco I. Madero	8 032	273953.56	34.11
Coahuila	17	Matamoros	14 504	72517.81*	5.00*
Coahuila	33	San Pedro	21 556**	701522.85**	32.54
Coahuila	35	Torreón	3 794	110467.24	29.12
Coahuila	36	Viesca	5 068	429253.88	84.70
Durango	7	Gómez Palacio	13 851	73797.42	5.33
Durango	12	Lerdo	7 163	206520.54	28.83
Durango	13	Mapimí	7 602	761379.60	100.16**
Durango	15	Nazas	3 589*	233313.34	65.01
Durango	36	Tlahualilo	6 564	465702.73	70.95
Valor mínimo*			3589.00	72517.81	5.00
Valor máximo**			21556.00	761379.60	100.16

Fuente: INEGI, Marco censal agropecuario, 2016.

En relación con el tipo de tenencia de la tierra en la Comarca Lagunera, la mayor superficie promedio de la propiedad social corresponde a Viesca, Coahuila (~78 ha), y la menor superficie a Gómez Palacio, Durango (3.9 ha). En contraste, la mayor superficie promedio de los terrenos privados la presenta Tlahualilo, con 256.5 ha, mientras que la menor superficie corresponde a Matamoros con 4.2 ha. Finalmente, con relación a la superficie promedio de las colonias, la mayor superficie la presenta Tlahualilo con 911.05 ha, y en el otro extremo se ubica Nazas, con una superficie promedio de 3.6 ha (Tabla 11).

**Tabla 11. Superficie promedio terrenos en La Laguna de acuerdo con tipo de tenencia.**

Entidad	Clave	Municipio	Superficie promedio terrenos (ha)		
			Social	Privado	Colonia
Coahuila	9	Francisco I. Madero	30.71	45.47	0.00
Coahuila	17	Matamoros	5.61	4.28*	0.00
Coahuila	33	San Pedro	30.74	48.99	15.81
Coahuila	35	Torreón	29.24	28.41	0.00
Coahuila	36	Viesca	78.40**	199.84	0.00
Durango	7	Gómez Palacio	3.99*	8.45	6.42
Durango	12	Lerdo	23.84	47.72	0.00
Durango	13	Mapimí	60.18	210.68	9.87

Durango	15	Nazas	64.21	78.98	2.39*
Durango	36	Tlahualilo	57.15	256.50**	911.05**
Valor mínimo*			3.99	4.28	0.00
Valor máximo**			78.40	256.50	911.05

La representatividad del número de terrenos y su superficie de acuerdo con el tipo de tenencia en la Comarca Lagunera cuenta con la siguiente información. La mayor parte de los terrenos del municipio de Viesca (94.8 %) corresponde a la propiedad social (incluye los espacios ejidales y comunales) y la menor (4.1%) a Matamoros, ambos municipios de Coahuila. La superficie correspondiente a la propiedad social es de 87.7 % y de 44.1% en Mapimí (Tabla 12). De esta información sobresale que, a diferencia de Chihuahua, en todos los municipios de la Comarca Lagunera bajo estudio, más del 50 % de los terrenos de son propiedad social.

El municipio con mayor número de terrenos privados es Matamoros (que cuenta con el menor porcentaje de terrenos en propiedad social), con 45.8 % y el menor es Viesca (5.1 %), municipio con un alto porcentaje de terrenos de propiedad social. Con relación a la superficie privada, la mayor concentración está en Mapimí (55.8 %), quien cuenta con el menor porcentaje de superficie social; en contraste, Viesca presenta el menor porcentaje de superficie destinada a terrenos privados (12.2 %) y un porcentaje alto de propiedad social). Con relación a las colonias, este tipo de tenencia solo es representativo en el municipio de Nazas, con 1.6 % de los terrenos y una superficie de 1 % (Tabla 12).

De acuerdo con Aguilar (2013), en la Comarca Lagunera previo al reparto agrario (1936), la superficie mínima de producción de algodón era de 100 ha, lo que permitía cubrir los gastos operativos (entre ellos la operación del riego agrícola) y obtener márgenes de rentabilidad por esta razón, no había pequeños productores. Posterior a la Reforma, los ejidatarios pequeños y medianos fueron ganando terreno en la producción de la fibra; no obstante, para la década de 1950 nuevamente los agricultores privados fueron los principales productores. Durante la época de declive de la producción de algodón, en la década de 1970, el cultivo quedó en manos de los ejidatarios, debido a los créditos que les impedían moverse a otros cultivos, a diferencia de productores con mayor capital (Aguilar, 2013). Esta dinámica contrasta con el caso de Chihuahua, pues al menos en el Valle de Delicias durante esa década la superficie que se redujo era principalmente privada. Actualmente, en el caso de La Comarca se puede observar una mayor fragmentación de los terrenos o predios dedicados al cultivo de algodón, con respecto a lo observado en Chihuahua (Figura 40). Además, en contraste con algunas regiones algodonerías de Chihuahua, en la Laguna la mayor proporción de las unidades de producción están

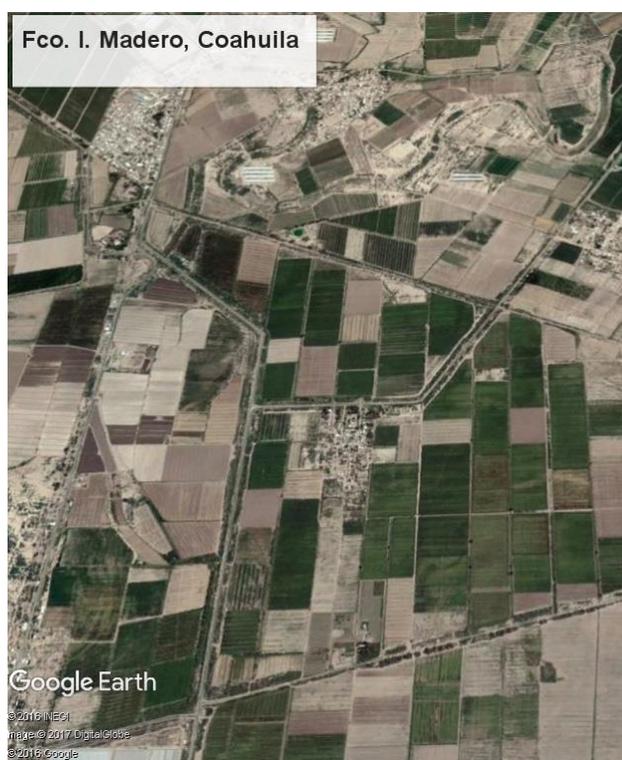
acondicionadas con sistemas de riego por gravedad (90 %) y en menor medida por bombeo (Miranda, 2008).

**Tabla 12. Número y superficie relativa de terrenos en La Laguna de acuerdo al tipo de tenencia.**

Entidad	Clave	Municipio	Total terrenos social		Total terrenos privada		Total terrenos colonia	
			a	b	a	b	a	b
Coahuila	9	Francisco I. Madero	76.97	69.30	23.03	30.70	0.00	0.00
Coahuila	17	Matamoros	54.16*	60.75	45.84**	39.25	0.00	0.00
Coahuila	33	San Pedro	89.76	84.79	10.04	15.12	0.19	0.09
Coahuila	35	Torreón	84.79	85.16	15.21	14.84	0.00	0.00
Coahuila	36	Viesca	94.81**	87.76**	5.19*	12.24*	0.00	0.00
Durango	7	Gómez Palacio	69.49	52.00	29.43	46.71	1.08	1.30**
Durango	12	Lerdo	79.10	65.41	20.90	34.59	0.00	0.00
Durango	13	Mapimí	73.40	44.10*	26.57	55.89**	0.03	0.00
Durango	15	Nazas	85.93	84.87	12.40	15.06	1.67**	0.06
Durango	36	Tlahualilo	93.13	75.02	6.86	24.79	0.02	0.20
Valor mínimo*			54.16	44.10	5.19	12.24	0.00	0.00
Valor máximo**			94.81	87.76	45.84	55.89	1.67	1.30

Fuente: INEGI, Marco censal agropecuario, 2016.

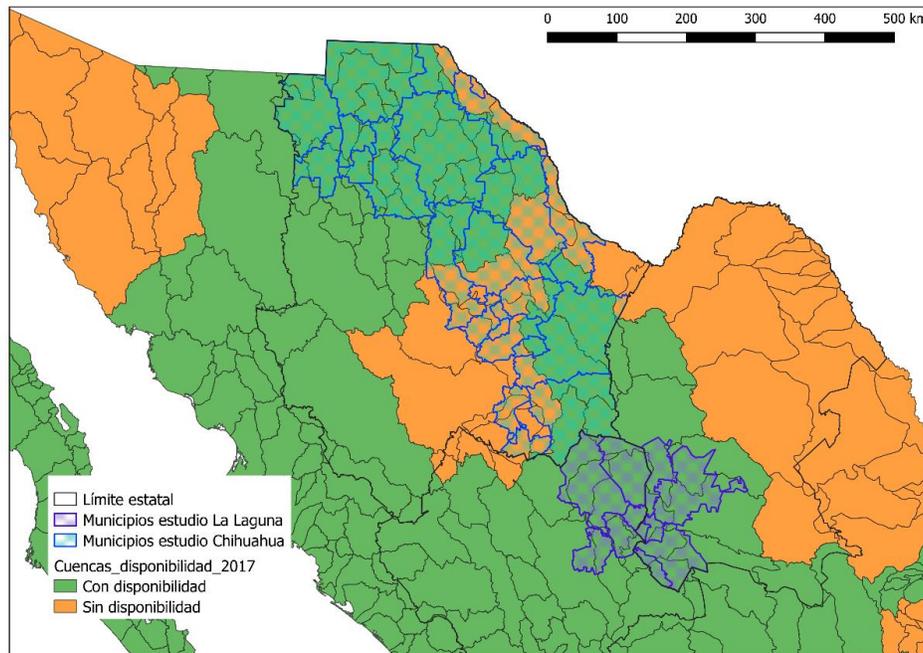
a= número relativo (% respecto al total por municipio); b= superficie relativa (%)



**Figura 40. Aspecto de regiones algodonereras en el municipio de Francisco I. Madero, Coahuila.**

### c) Cuencas hidrológicas

Los municipios de estudio en el estado de Chihuahua se ubican en la Región Hidrológica Administrativa (RHA) VI *Río Bravo*. De acuerdo con la CONAGUA (2018), en 2017 los municipios de Allende, Coronado, Delicias, Guadalupe, Meoqui, Práxedes G. Guerrero y Rosales, presentaban cuencas con no disponibilidad<sup>47</sup>. En contraste, otro grupo de municipios ubicados principalmente en la zona norte del estado presentan cuencas con disponibilidad para dicho año. Además, otro grupo de municipios cuentan con cuencas con y sin disponibilidad (Figura 41).



**Figura 41. Disponibilidad de cuencas en los municipios de interés en Chihuahua y La Laguna, 2017.**

Fuente: SINA, CONAGUA, 2018.

Para el caso de los municipios de estudio en la Comarca Lagunera, ubicada en la RHA VII *Cuencas Centrales del Norte*, la información de la CONAGUA señala que, en 2017, las cuencas presentaban disponibilidad (Figura 41), a diferencia de lo ocurrido en varios municipios del estado de Chihuahua. Es importante tomar en cuenta que, considerando las fluctuaciones en los niveles de precipitación y los volúmenes de escurrimiento (hacia dentro y fuera del sistema), así como los niveles de evapotranspiración, la disponibilidad puede variar de un año a otro como parte del ciclo hidrológico (CONAGUA). En el caso de la precipitación, se trata de un factor asociado a la disponibilidad de

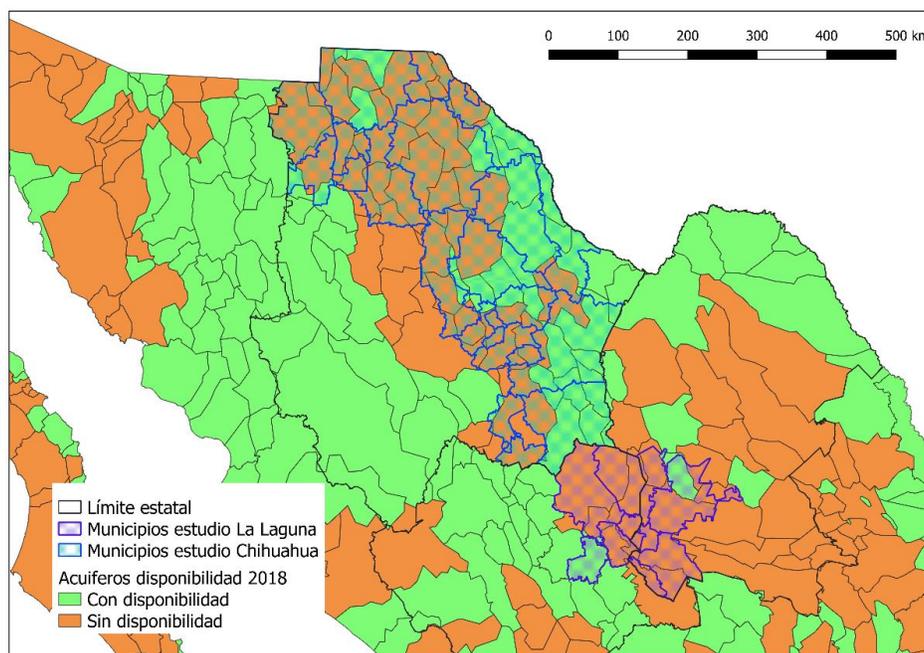
<sup>47</sup> La disponibilidad del agua representa el volumen de agua neto que existe en un territorio, y se calcula a partir de la suma de la precipitación y el volumen de agua escurrida proveniente del extranjero, menos el volumen correspondiente a la evapotranspiración y el que escurre a otros países (CONAGUA).

agua y con los fenómenos como la sequía, cuando los niveles de lluvia se reducen significativamente por un periodo importante. Dichos efectos pueden incrementarse como consecuencia del CC.

#### d) Acuíferos

Además de las fuentes de agua superficial para la actividad agrícola, otro elemento importante del componente hídrico son los acuíferos como fuentes subterráneas de este recurso. La Figura 42 muestra el estado de los acuíferos registrados en el año 2018; en ésta se observa que la mayor parte de los acuíferos ubicados en los municipios de estudio presentan sobreexplotación. Es importante mencionar que la información sobre la condición de los acuíferos varía en cada año, dependiendo de los factores que inciden en su recarga, como la precipitación de una zona en determinado periodo, los diferentes valores de infiltración básica de los suelos, la cobertura vegetal y la pendiente de suelo (Schosinsky, 2000).

A nivel municipal, los principales acuíferos incluidos las zonas de estudio en el Chihuahua presentan diferente grado de explotación y salinización, condición que se muestra en la Tabla 13. Con relación a la Comarca Lagunera, dicha condición se presenta en la Tabla 14.



**Figura 42. Disponibilidad de acuíferos en los municipios de interés en Chihuahua y La Laguna, 2017.**  
Fuente: SINA, CONAGUA, 2018.

**Tabla 13. Disponibilidad de los acuíferos en los municipios de estudio en Chihuahua.**

Clave municipio	Municipio	No. Acuíferos	Sobreexplotados	Salinización
1	Ahumada	6	1	0
2	Aldama	4	0	0
3	Allende	1	1	0
5	Ascensión	5	1	0
10	Buenaventura	5	3	0
11	Camargo	9	2	0
13	Casas Grandes	2	1	0
19	Chihuahua	4	2	0
14	Coronado	1	1	0
15	Coyame del Sotol	3	0	0
21	Delicias	1	1	0
23	Galeana	1	1	0
28	Guadalupe	4	1	1
35	Janos	2	1	1
36	Jiménez	5	2	1
37	Juárez	3	1	1
38	Julimes	4	2	0
16	La Cruz	2	1	0
45	Meoqui	1	1	0
50	Nuevo Casas Grandes	2	1	0
53	Ojinaga	4	1	0
52	Práxedes G. Guerrero	1	1	1
55	Rosales	2	0	0
62	Saucillo	2	1	0

Fuente: SINA, CONAGUA, 2018.

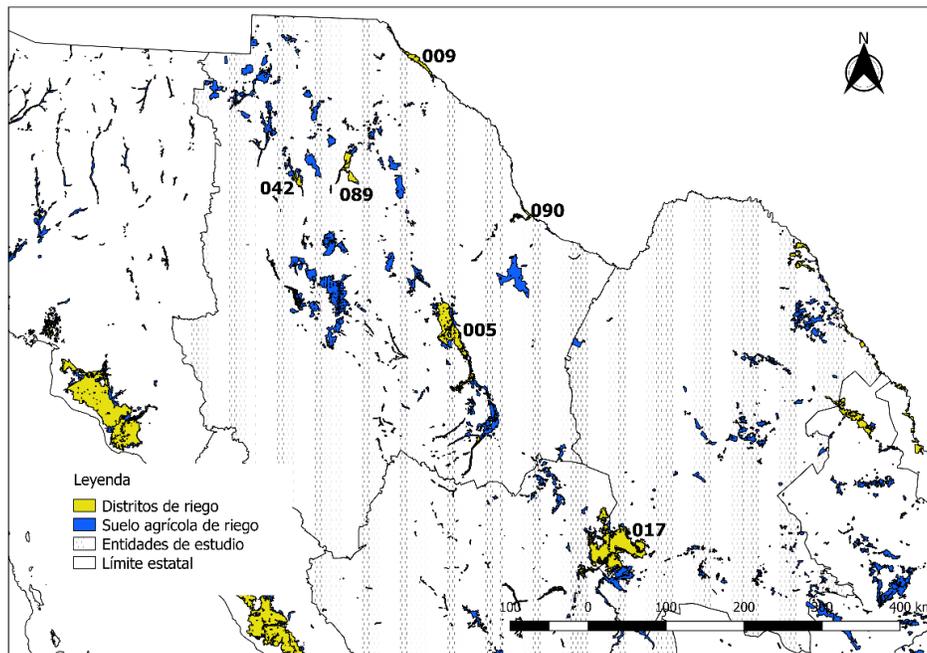
**Tabla 14. Disponibilidad de los acuíferos en los municipios de estudio La Laguna.**

Entidad	Clave municipio	Municipio	No. Acuíferos	Sobreexplotados	Salinización
Coahuila	9	Francisco I. Madero	2	1	1
Coahuila	17	Matamoros	1	1	1
Coahuila	33	San Pedro	4	4	4
Coahuila	35	Torreón	2	2	2
Coahuila	36	Viesca	2	2	2
Durango	7	Gómez Palacio	1	1	1
Durango	12	Lerdo	2	1	1
Durango	13	Mapimí	3	3	3
Durango	15	Tlahualilo	2	2	2
Durango	36	Nazas	1	1	1

Fuente: SINA, CONAGUA, 2018.

e) Unidades de riego

Adicional a la disponibilidad de agua, la infraestructura de riego ha sido otro factor principal que permitió el desarrollo de la agricultura en el norte del país, en las dimensiones que actualmente conocemos. En Chihuahua, la asignación con de agua con fines agrícolas alcanza 97 % del agua disponible, en donde la extracción de agua de los acuíferos se ha convertido en una estrategia que posibilita la operación de los desarrollos agrícolas de alto rendimiento, como el algodón, dentro otros cultivos agroindustriales (Manzanares, 2016). Actualmente en las regiones aldoneras del estado operan cinco distritos de riego (DR) (Figura 43). En la Comarca Lagunera, las aguas del DR 017 irrigan a esta región desde la segunda mitad del siglo XX (Aguilar, 2013), por lo que diversos autores han señalado las condiciones de sobreexplotación debido a la superficie irrigada y el número de usuarios que dependen de este recurso (Tabla 15).



**Figura 43. Distritos de riego y suelo agrícola de riego en el estado de Chihuahua y la Comarca Lagunera.**

Fuente: INEGI, 2017; CONAGUA, 2017.

**Tabla 15. Distritos de Riego en las zonas de estudio en el estado de Chihuahua y la Comarca Lagunera.**

Clave	Nombre	RHA	Superficie regada total (ha)	Número de usuarios	Entidad
005	Delicias	VI Río Bravo	62 218.64	8 107	Chihuahua
009	Valle de Juárez	VI Río Bravo	8 885.00	1 017	Chihuahua
042	Buenaventura	VI Río Bravo	4 800.32	1 077	Chihuahua

089	El Carmen	VI Río Bravo	9 705.00	662	Chihuahua
090	Bajo Río Conchos	VI Río Bravo	3 865.00	540	Chihuahua
017	Región Lagunera	VII Cuencas Centrales del Norte	64 173.00	33 387	Coahuila de Zaragoza y Durango

Fuente: CONAGUA, 2017.

#### f) Variedades de algodón

En el presente estudio no se incluye a los recursos genéticos del algodón como una variable para el análisis de la vulnerabilidad, dado que la totalidad de la actividad se realiza actualmente mediante el uso de variedades mejoradas convencional o genéticamente (Rocha *et al.*, 2018). Además, no cuenta con información sobre el uso diferencial de variedades de algodón GM a nivel municipal, por lo que no es posible obtener información relevante sobre esta variable para la estimar la vulnerabilidad asociada a la dependencia de un tipo de tecnología. No obstante, dada su importancia, es pertinente señalar la actual condición de este componente del sistema de recursos. De acuerdo con Rocha-Munive y colaboradores (2018), en algunas regiones del país cerca de 90 % de las semillas de algodón sembradas son GM, con características de resistencia a insectos y tolerancia a herbicidas. Por su parte, 10 % de las semillas utilizadas corresponden a variedades convencionales<sup>48</sup>. La agenda técnica del INFAP (2017) para el estado de Chihuahua y la Comarca Lagunera recomienda las variedades señaladas en la Tabla 3. De las 14 variedades recomendadas, 12 corresponden a variedades con rasgos GM resistentes a insectos (RI), tolerantes a herbicidas (TH) o ambos fenotipos. Solo dos de las variedades recomendadas son convencionales (Tabla 16).

**Tabla 16. Variedades de algodón disponibles para Chihuahua y La Laguna.**

Genotipo	Tipo	Chihuahua	La Laguna
FM 1880 B2F	GM RI x TH	X	
FM 989	Convencional	X	X
DP 0935 B2RF	GM RI x TH	X	
DP 0924 B2RF	GM RI x TH	X	
FM 1740 B2F	GM RI x TH	X	X
DP 0912 B2RF	GM RI x TH	X	
FM 9180 B2F	GM RI x TH	X	
DP 393	Convencional	X	X
DP 104 B2 RF	GM RI x TH	X	
DP 1034 B2RF	GM RI x TH		X
DP 167 RF	GM TH		X
FM 1830 GLT	GM RI x TH		X
FM 9250 GL	GM TH		X

<sup>48</sup> El SIAP reporta que para este cultivo 100 % de las semillas son mejoradas, sin especificar el tipo de mejoramiento.

Un aspecto relevante de las variedades señaladas en la tabla anterior es que todas son comercializadas por compañías transnacionales: las variedades Deltapine (DP) por Monsanto y las Fiber Max (FM) por Bayer. La Gaceta Oficial de los Derechos de Variedades Vegetales (2018), publicada por el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS), órgano desconcentrado de la SAGARPA (actual SADER), presenta información para 69 variedades de algodón registradas durante el periodo de 1998 a 2008<sup>49</sup>. Durante el periodo señalado únicamente se cuenta con un registro para México, la variedad JUAREZ91, tramitada por el INIFAP en 2001 pero actualmente con un estatus de desistimiento del título de obtentor que imposibilita su disponibilidad en el mercado de semillas. Por otra parte, con excepción de siete registros promovidos por la empresa Bayer Cropscience (Australia/Alemania), los 61 registros restantes fueron promovidos principalmente las empresas Delta & Pine Land Company y Monsanto Technology, ambas estadounidenses.

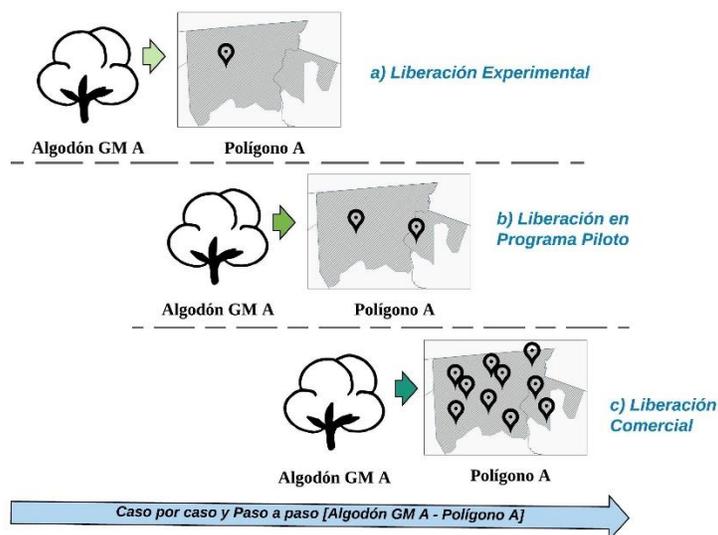
En México se distribuyen, además de *G. hirsutum*, 12 especies silvestres del género *Gossypium*, lo que representa un acervo genético importante; no obstante, debido a la incompatibilidad entre las especies silvestres del algodón (diploides) y *G. hirsutum* (tetraploide) (Rocha *et al.*, 2018), se limita el uso de este acervo genético por medio de mejoramiento tradicional Pérez-Mendoza y colaboradores (2016) señalan que en México el desarrollo de variedades mejoradas de algodón convencional (*G. hirsutum*) requiere entre 12 y 15 años de investigación, a partir de la gran variabilidad genética que presentan las formas silvestres de esta especie. Cabe resaltar que las colectas realizadas de varios algodones semi domesticados y silvestres de la especie *G. hirsutum* han sido la base para el desarrollo de variedades como la Acala, Deltapine y Coker, entre otras (Pérez-Mendoza *et al.*, 2016). Actualmente, la innovación en el mejoramiento vegetal posibilita el aprovechamiento del acervo genético mediante técnicas como la cisgénesis, la intragénesis o la mutagénesis dirigida por endonucleasas, como el sistema CRISPR-CAS (Chaudhry, 2016; Gao *et al.*, 2017). No obstante, actualmente no se cuentan variedades comerciales desarrolladas por instituciones de investigación o empresas mexicanas, por lo que la oferta para los productores del norte se basa en las variedades desarrolladas por empresas transnacionales.

En el caso de las variedades con rasgos GM, su disponibilidad está sujeta al proceso regulatorio establecido en el marco mexicano para el uso de organismos genéticamente modificados (OGM), en donde requieren evaluar los posibles riesgos al medio ambiente y la diversidad biológica, su

---

<sup>49</sup> La Ley Federal de Variedades Vegetales (publicada en 1996 y reformada en 2012), instruye el Registro Nacional de Variedades Vegetales.

comportamiento agronómico y viabilidad económica, a través de diferentes etapas<sup>50</sup> (Figura 44). En México, los antecedentes de uso de este tipo de tecnologías en el campo mexicano datan de 1996, previo a la publicación de la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados (2005). Actualmente, se puede mencionar que la tecnología Bollgard/Solució Faena, la de mayor historial, se encuentra en su tercera generación en el país. Es importante señalar que la disponibilidad de este tipo de semillas c puede tomar un tiempo considerable, dependiendo del número de ciclos agrícolas que se requieran para pasar de una etapa o fase a la siguiente contemplada en el marco regulatorio de bioseguridad de OGM. Por lo tanto, además de no contar con opciones nacionales, los agricultores de algodón en el país están sujetos a que las empresas pongan a disposición variedades, y el caso de las GM, que están superen el proceso regulatorio para ser comercializadas.



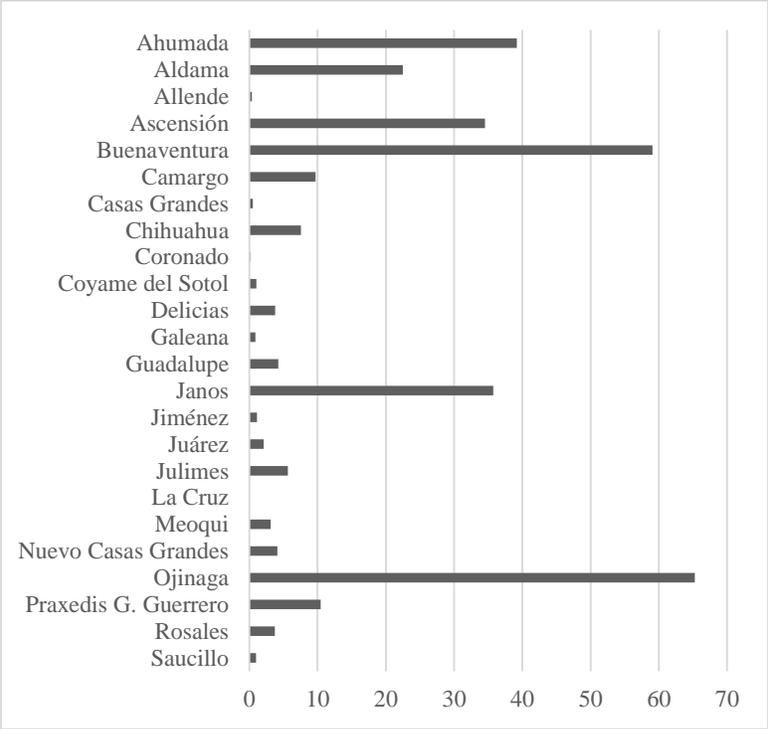
**Figura 44. Etapas de liberación de algodón GM.**  
Fuente: Elaboración propia.

## ii) Unidades de recursos

En el caso del SSE del algodón, con prácticas de producción intensiva, las unidades de recursos se relacionan con la producción derivada del cultivo del algodón. En este caso, dado que el estudio se enfoca en el agroecosistema, con énfasis en superficies de cultivo a nivel municipal, las unidades

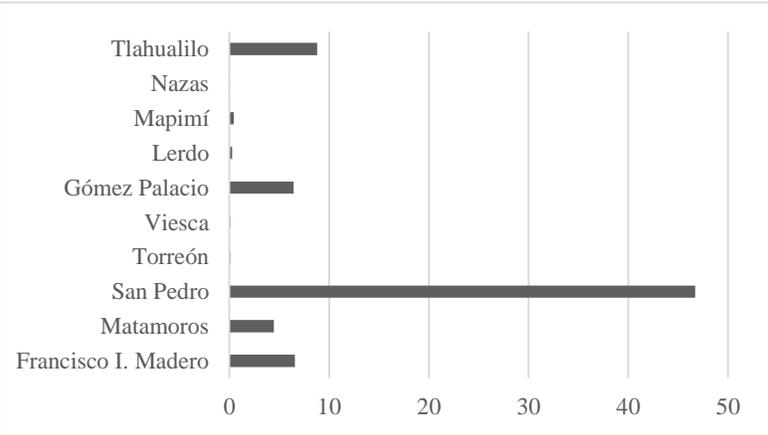
<sup>50</sup> Bajo el enfoque del paso a paso y caso por caso señalado en la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados, cada evento de modificación genética debe pasar por las etapas de liberación experimental, piloto y comercial, así como sujetarse al principio caso por caso, evento-cultivo-sitio de liberación.

de recursos se refieren a la cantidad de fibra producida por área. En la figura 45 se presenta la producción promedio registrada en los municipios algodoneeros del estado de Chih., durante el periodo de 2003 a 2018. Por su parte, la producción registrada para los municipios que conforman la Comarca Lagunera, durante el mismo periodo, se presentan en la figura 46.



**Figura 45. Producción promedio (miles de T) de algodón en el estado de Chih., registradas durante el periodo de 2003 a 2018.**

Fuente: SIAP, 2019.



**Figura 46. Producción promedio (miles de T) de algodón en La Laguna, registradas durante el periodo de 2003 a 2018.**

Fuente: SIAP, 2019.

### *iii) Sistemas de gobernanza*

Tanto el sistema de recursos con otros subsistemas del SSE son gestionados y regulados por complejos arreglos institucionales locales (e.g. reglas de operación de unidades de riego, contratos de arrendamiento de tierras), regionales (e.g. sistemas producto) y nacionales (e.g. leyes, normas y reglamentos). Si bien la mayoría de estos arreglos son formales, pueden existir otros informales relacionados con las labores agrícolas, como la renta de terrenos o maquinaria. Dentro de aquellos que dependen de la federación y que forman parte de la base legal, se encuentran regulaciones importantes como la tenencia de la tierra que permite la gestión de las unidades de producción, así como la legislación sobre el manejo de recursos. En la Cuadro 7 se mencionan algunos de los instrumentos que norman o tienen relación con la gestión de diferentes recursos en el SSE de algodón.

**Cuadro 7. Normatividad e instrumentos de operación relacionados con la gestión de recursos.**

<b>Instrumento</b>	<b>Descripción</b>
Ley de Desarrollo Rural Sustentable DOF, 2001 Última reforma publicada. DOF, 2012	Reglamenta la Fracción XX del Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. En esta Ley el desarrollo rural sustentable incluye la planeación y organización de la producción agropecuaria, su industrialización y comercialización, y de los demás bienes y servicios, y todas aquellas acciones tendientes a la elevación de la calidad de vida de la población rural, según lo previsto en el artículo 26 de la Constitución. Son sujetos de esta Ley los ejidos, comunidades y las organizaciones o asociaciones de carácter nacional, estatal, regional, distrital, municipal o comunitario de productores del medio rural, que se constituyan o estén constituidas de conformidad con las leyes vigentes y, en general, toda persona física o moral que, de manera individual o colectiva, realice preponderantemente actividades en el medio rural.
Programa Especial Concurrente	Se refiere al Programa Especial Concurrente para el Desarrollo Rural Sustentable señalado en la Ley de Desarrollo Rural Sustentable. Incluye el Programa Sectorial de Desarrollo Agropecuario, Pesquero y Alimentario. Los recursos financieros se establecen en el Presupuesto de Egresos de la Federación, de conformidad con la Ley Federal de Presupuesto y Responsabilidad Hacendaria.

<p>Reglas de Operación de programas del sector agrícola</p>	<p>Instrumentan las líneas estratégicas del Programa Sectorial de Desarrollo Agropecuario, Pesquero y Alimentario, relacionada con los mecanismos de administración de riesgos. Los recursos para la operación de programas se establecen en el Presupuesto de Egresos de la Federación. Destacan para los fines de este estudio los siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Programa de aseguramiento agropecuario componente del subsidio para el ramo agrícola.</li> <li>b) Programa de subsidio a la prima de seguro agropecuario.</li> </ul>
<p>Ley de Bioseguridad de OGM (DOF, 2005)</p>	<p>Regula las actividades de utilización confinada, liberación experimental, liberación en programa piloto, liberación comercial, comercialización, importación y exportación de organismos genéticamente modificados (OGM), con el fin de prevenir, evitar o reducir los posibles riesgos que estas actividades pudieran ocasionar a la salud humana o al medio ambiente y a la diversidad biológica o a la sanidad animal, vegetal y acuícola. En el caso del algodón, este instrumento es relevante considerando que actualmente un porcentaje alto del algodón en México es GM, por lo que la disposición de semillas está sujeta al cumplimiento de las disposiciones señaladas en esta Ley. Actualmente la LBOGM se instrumenta a través de su Reglamento y las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) relativas los estudios de riesgos que se deben realizar previo a la liberación de OGM y los reportes de resultados de dichas liberaciones.</p>
<p>NOM-026-FITO-1995</p>	<p>Establece las regulaciones de carácter obligatorio que se deben cumplir para prevenir la dispersión y controlar las poblaciones de las plagas: gusano rosado (<i>Pectinophora gossypiella</i> Saunders) y picudo del algodnero (<i>Anthonomus grandis</i> Boheman) que afectan al cultivo del algodnero, okra y kenaf; así como, las medidas fitosanitarias para evitar la dispersión de estas plagas a zonas libres. Orienta las acciones a las áreas de producción establecidas en los estados de de Baja California, Chihuahua, Coahuila, Durango, Sinaloa, Sonora,</p>

<p>Ley de Aguas Nacionales</p>	<p>Tamaulipas y demás Entidades Federativas donde se establezca el cultivo de algodón, okra y kenaf.</p> <p>Regula la explotación, uso o aprovechamiento de dichas aguas, su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral sustentable.</p> <p>Establece las concesiones respecto al derecho de los ejidatarios, comuneros y pequeños propietarios, así como los ejidos, comunidades, sociedades y demás personas que sean titulares o poseedores de tierras agrícolas, ganaderas o forestales, para la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales.</p>
<p>Reglas de operación de programas del sector ambiental.</p>	<p>Instrumentan las líneas estratégicas del Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales, relacionada con los mecanismos para la gestión de recursos hídricos. Los recursos para la operación de programas se establecen en el Presupuesto de Egresos de la Federación. Destacan para los fines de este estudio los siguientes:</p> <p>a) Programa de Apoyo a la Infraestructura Hidroagrícola.</p>

#### *iv) Usuarios*

La producción de algodón es un insumo primario para la industria textil (y otras industrias), implica diferentes etapas y la interacción de distintos eslabones y actores (FAO-SAGARPA, 2014). El estudio realizado se enfocó en la primera fase de la cadena productiva, relacionada con la producción primaria en el campo. En dicha etapa, los principales usuarios del SSE son los agricultores, los cuales interactúan de manera directa o en grupo con proveedores de insumos, prestadores de servicios y agentes gubernamentales. No obstante, dado el enfoque utilizado, no se caracteriza de manera directa a los agricultores y otros usuarios, por lo que no se integraron como parte de las variables que definen la vulnerabilidad de este SSE.

Si bien la producción de algodón es una actividad que se remonta a periodos prehispánicos, existe poca información sobre el perfil de los agricultores que han desarrollado la actividad, así como de los

que actualmente la llevan a cabo. La mayor parte de los estudios históricos se centran en el florecimiento de la actividad empresarial vinculada al cultivo del algodón, enfocando los análisis en los eslabones industriales, como la textil, jabonera o de aceites (Aguilar, 2013; Cerutti, 2010; Corona-Páez, 2015). Aguilar (2013) señala que el desarrollo de las zonas algodonerías en La Laguna y Chihuahua fue propiciado por pequeños y grandes agricultores, con diferentes derechos sobre la tierra (particular o social). La información oficial al respecto es nula, y durante este estudio la solicitud realizada a través de la Plataforma Nacional de Transparencia no aportó elementos que permitieran caracterizar a este sector.

## **2. La vulnerabilidad del sistema socio-ecológico del algodón**

### **2.1 Subíndice de exposición**

La exposición se refiere a la presencia de personas, infraestructura o actividades económicas y productivas en sitios con el potencial de ser afectados por la ocurrencia de eventos extremos, o por la presión de variaciones que induzcan estrés al sistema. En el presente trabajo se analizó la ocurrencia de eventos de sequía, así como de otros eventos extremos considerados por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) (e.g. granizada, heladas, inundaciones), que por su magnitud hayan detonado la declaratoria de desastre. Además, se consideraron factores de estrés sobre el sistema, como la temperatura máxima registrada durante el ciclo de cultivo (de abril a noviembre), así como la precipitación promedio. Por último, para la estimación de la exposición se integra la condición de los acuíferos (grado de explotación), como variables relacionadas con la degradación ambiental, factor considerado por diversos autores en los estudios de vulnerabilidad (Monterroso *et al.*, 2014; Ahumada-Cervantes *et al.*, 2014).

#### ***i) Exposición del sistema de producción de algodón en Chihuahua***

La conjunción de estos factores de impacto y estrés resulta en las diferentes condiciones de exposición para los municipios del estado de Chihuahua que producen algodón (Tabla 17). El subíndice de exposición indica que 12 municipios presentan una exposición baja o muy baja a los factores y fenómenos hidrometeorológicos considerados. Nueve municipios muestran niveles muy bajos de exposición debido a la combinación de diversos factores analizados: la frecuencia de sequías y las declaratorias de desastres son menores que en los otros municipios; los niveles de precipitación promedio son mayores, lo que podría relacionarse con menor posibilidad de experimentar sequías y permitir la recarga de acuíferos; la temperatura máxima promedio es menor, lo que disminuye la presión sobre el cultivo en etapas críticas, como la fase de formación de botones florales y cuadros;

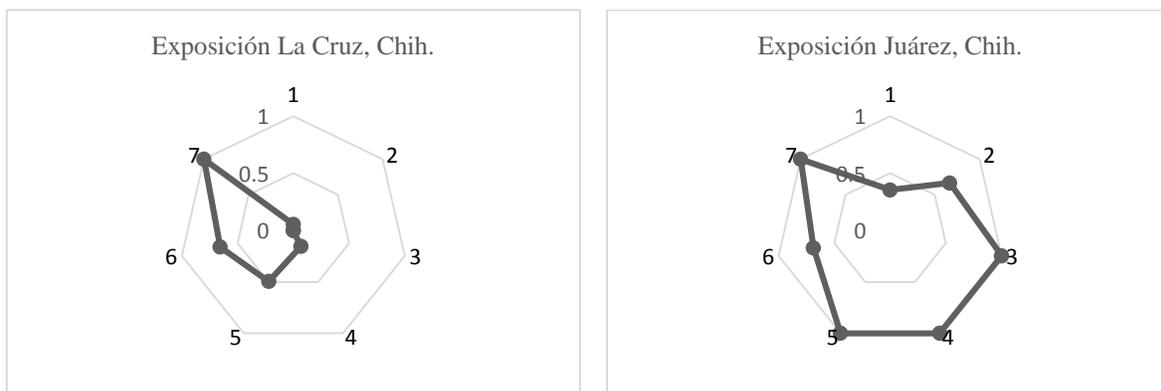
así como a la condición de acuíferos no sobreexplotados. La combinación de dichas condiciones dio como resultado que el municipio de La Cruz sea el menos expuesto (Tabla 17, Figura 47).

En contraste, el municipio Juárez muestra un nivel de exposición muy alta. Este municipio presentó las mayores frecuencias de periodos con algún grado de sequía (Monitor de Sequía en México); cuentan con registros de declaratorias de desastres; el riesgo de granizo es el más alto para los municipios analizados; la precipitación promedio presenta los niveles más bajos, mientras que la temperatura máxima promedio se encuentra dentro de los valores más elevados. En este caso, es importante señalar que la condición de los acuíferos presenta un estado de explotación menos crítico que en otros municipios; no obstante, el aporte de los factores antes señalados determina la condición de alta exposición (Figura 47).

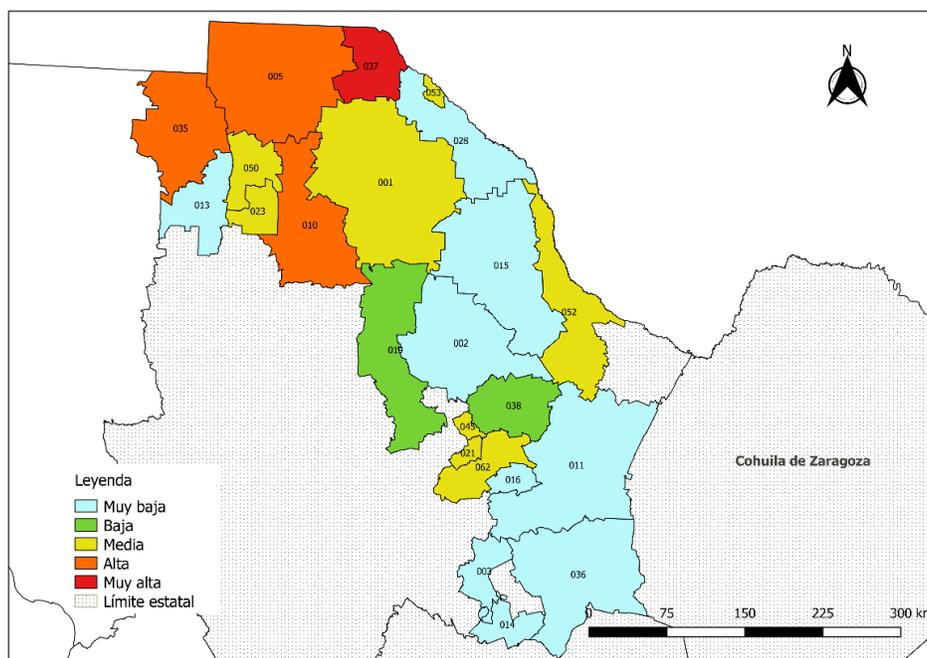
**Tabla 17. Niveles de exposición de los municipios que cultivan algodón en Chihuahua.**

Entidad	Clave	Municipio	Sub_Exposición	Categoría
Chihuahua	016	La Cruz	0.00	Muy baja
Chihuahua	036	Jiménez	0.09	Muy baja
Chihuahua	003	Allende	0.29	Muy baja
Chihuahua	013	Casas Grandes	0.46	Muy baja
Chihuahua	002	Aldama	0.62	Muy baja
Chihuahua	015	Coyame del Sotol	0.72	Muy baja
Chihuahua	014	Coronado	0.72	Muy baja
Chihuahua	011	Camargo	0.82	Muy baja
Chihuahua	028	Guadalupe	0.91	Muy baja
Chihuahua	038	Julimes	1.02	Baja
Chihuahua	055	Rosales	1.24	Baja
Chihuahua	019	Chihuahua	1.35	Baja
Chihuahua	001	Ahumada	2.12	Media
Chihuahua	053	Praxedis G. Guerrero	2.16	Media
Chihuahua	050	Nuevo Casas Grandes	2.23	Media
Chihuahua	062	Saucillo	2.40	Media
Chihuahua	052	Ojinaga	2.43	Media
Chihuahua	045	Meoqui	2.56	Media
Chihuahua	023	Galeana	2.76	Media
Chihuahua	021	Delicias	2.81	Media
Chihuahua	010	Buenaventura	3.12	Alta
Chihuahua	005	Ascensión	3.66	Alta
Chihuahua	035	Janos	3.69	Alta
Chihuahua	037	Juárez	5.00	Muy alta

En total, cerca del 50 % de los municipios, presentan una exposición de media a muy alta, de acuerdo con las variables evaluadas, mientras que cinco presentan un estatus de alta a muy alta (~20 %). En la Figura 48 se muestra la distribución espacial de esta condición, agrupándose en la región norte del estado.



**Figura 47. Asociación de las variables con el subíndice de exposición en Chihuahua.**



**Figura 48. Distribución de los niveles de exposición en los municipios que siembran algodón en Chihuahua.**

Es importante señalar que el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) para la mayor parte de las variables analizadas presenta un ajuste menor al 0.5 (Tabla 18). El mejor ajuste se observa en el caso de las variables de riesgo a granizo ( $R^2=0.50$ ); sin embargo, es necesario considerar que de acuerdo al CENAPRED, el riesgo de granizo para los municipios de estudio es muy bajo. Por otra parte, se

analizó la posible colinealidad entre las variables independientes seleccionadas para determinar el subíndice de exposición, mediante el programa Gretl, encontrando que para este modelo no existen problemas de colinealidad entre las variables (Figura 49).

**Tabla 18. Coeficiente determinación del subíndice de exposición para el estado de Chihuahua.**

ID variable	Variable	R <sup>2</sup>
4	Riesgo de granizo	0.500403
7	Acuíferos sobreexplotados	0.276853
5	Precipitación promedio	0.19485
1	Sequía promedio	0.192031
3	Declaratorias otros desastres	0.179767
2	Declaratorias sequía	0.166641
6	Temperatura máxima promedio	0.07244

```

Factores de inflación de varianza (VIF)
Mínimo valor posible = 1.0
Valores mayores que 10.0 pueden indicar un problema de colinealidad

  DeclaratoriassequAa    1.558
  Declaratoriasotros    2.191
    Tempmaxpromedio    2.465
      Ppromedio        2.253
AcuAferossobreexplotado 1.566
  Riesgogranizo        2.412

VIF(j) = 1/(1 - R(j)^2), donde R(j) es el coeficiente de correlación múltiple
entre la variable j y las demás variables independientes
  
```

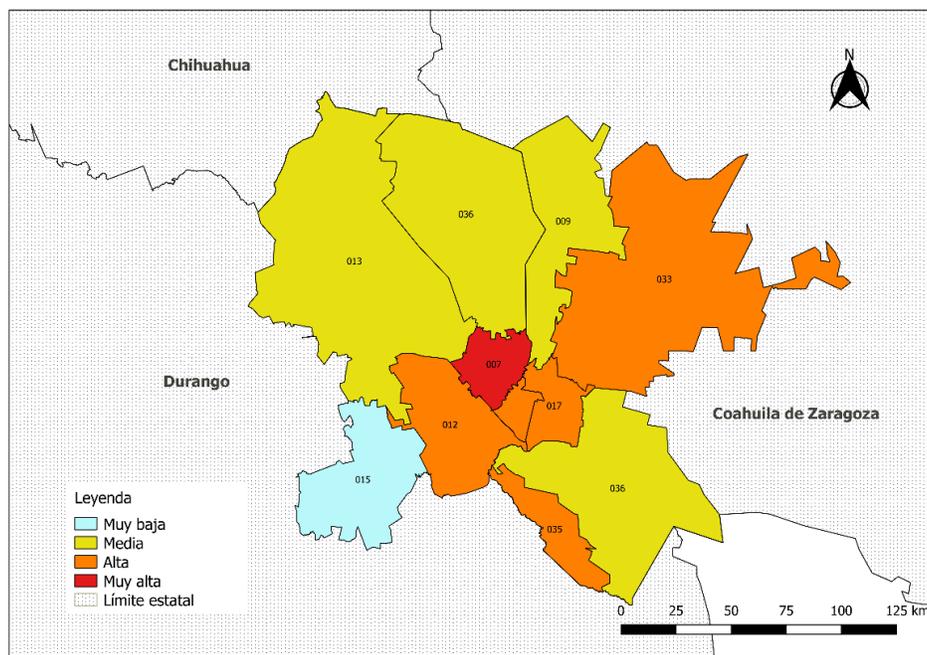
**Figura 49. Análisis de colinealidad entre las variables del subíndice de exposición para Chihuahua.**

Nota: Se muestra el resultado considerando la relación entre la variable “sequía promedio” con las demás variables consideradas.

### *ii) Exposición del sistema de producción de algodónero en La Laguna*

Para el caso de la Comarca Lagunera, 90 % de los municipios analizados presentan niveles de exposición de media a muy alta, de los que cinco presentan exposición de alta a muy alta, siendo el municipio de Gómez Palacio, Dgo. el más expuesto (Tabla 19). En la figura 50 se muestra la distribución espacial de la exposición estimada para los municipios de la Comarca Lagunera que siembran algodónero. Con relación a Gómez Palacio Dgo., la condición de mayor exposición se asocia con el número de declaratorias de desastre, debido al número de sequías y otras contingencias climatológicas que impactaron al municipio durante el periodo de 2000 al 2016. Dicho factor es relevante considerando que la frecuencia de periodos de sequía registrada en el MSM es menor que para otros municipios. Por otra parte, el municipio de Nazas se ubica en el nivel más bajo de exposición, debido a que presenta menor frecuencia de ocurrencia de periodos de sequía; menor

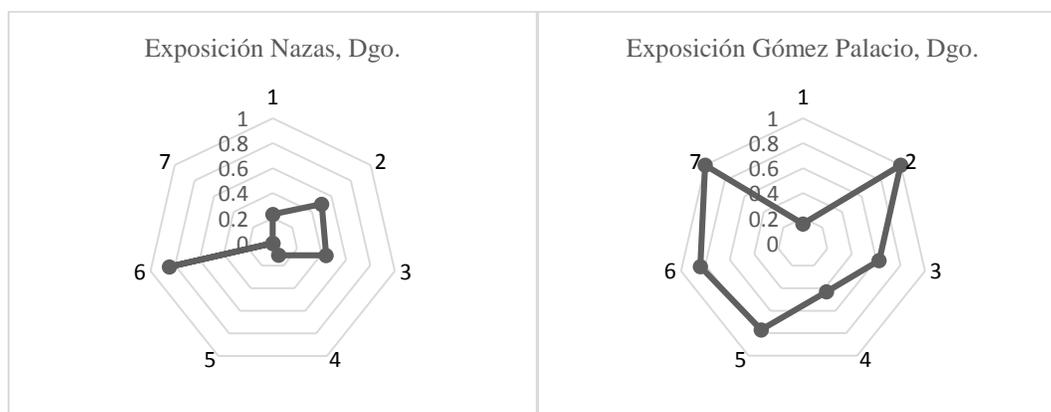
número de declaratorias registradas por el CENAPRED, niveles de precipitación promedio y temperatura máxima promedio que suponen menor estrés para el cultivo y el sistema, y de manera relevante, acuíferos no sobreexplotados (Figura 51).



**Figura 50. Distribución de los niveles de exposición en los municipios que siembran algodón en La Laguna.**

**Tabla 19. Niveles de exposición de los municipios que cultivan algodón en La Laguna.**

Entidad	Clave	Municipio	Sub_Exposición	Categoría
Durango	015	Nazas	0.00	Muy baja
Coahuila de Zaragoza	036	Viesca	2.08	Media
Coahuila de Zaragoza	009	Francisco I. Madero	2.10	Media
Durango	036	Tlahualilo	2.70	Media
Durango	013	Mapimí	2.91	Media
Coahuila de Zaragoza	035	Torreón	3.10	Alta
Coahuila de Zaragoza	017	Matamoros	3.18	Alta
Coahuila de Zaragoza	033	San Pedro	3.42	Alta
Durango	012	Lerdo	3.94	Alta
Durango	007	Gómez Palacio	5.00	Muy alta



**Figura 51. Asociación de las variables con el subíndice de exposición en La Laguna.**

A diferencia de lo que ocurre con el estado de Chihuahua, la principal variable para la determinación de la exposición no se relaciona con variaciones o fenómenos hidrometeorológicos, sino con la condición de los recursos, particularmente los hídricos. La variable “condición de los acuíferos” presenta una  $R^2$  con mayor ajuste (0.45), respecto de las demás variables que presentan un coeficiente menor a 0.2 (Tabla 20). Este aspecto es importante considerando que la sobreexplotación de acuíferos es una de las principales problemáticas ambientales señaladas para la Comarca Lagunera (Godínez-Montoya *et al.*, 2007; Wolfe, 2014), por lo que, en este estudio, tiene sentido que sea uno de los principales factores que indiquen niveles altos de exposición, como se puede observar para el caso de Gómez Palacio, Dgo.

**Tabla 20. Coeficiente determinación del subíndice de exposición, para La Laguna.**

ID Variable	Variable	$R^2$
7	Acuíferos sobreexplotados	0.453667
5	Precipitación promedio	0.181466
4	Riesgo de granizo	0.083757204
3	Declaratorias otros desastres	0.05171417
6	Temperatura máxima promedio	0.045609705
2	Declaratorias de sequía	0.042869
1	Sequía promedio	2.1372E-05

El análisis de colinealidad entre las variables independientes seleccionadas para determinar el subíndice de exposición de los municipios algodonereros en la Comarca Lagunera determinó que no existen problemas de esta naturaleza en el modelo. (Figura 52).

Factores de inflación de varianza (VIF)	
Mínimo valor posible = 1.0	
Valores mayores que 10.0 pueden indicar un problema de colinealidad	
DeclaratoriassequAa	4.690
Declaratoriasotros	3.833
Riesgogranizo	1.520
Pppromedio	3.462
Tempmaxpromedio	1.450
AcuAferossobreexplotado	2.425
VIF(j) = 1/(1 - R(j)^2), donde R(j) es el coeficiente de correlación múltiple entre la variable j y las demás variables independientes	

**Figura 52. Análisis de colinealidad entre las variables del subíndice de exposición para La Laguna.**

Nota: Se muestra el resultado considerando la relación entre la variable “sequía promedio” con las demás variables consideradas.

## 2.2 Subíndice de sensibilidad

La sensibilidad considera el nivel de respuesta del sistema ante los factores de estrés y de impacto, lo que se relaciona directamente con el nivel de daño. Bajo la lógica de la dosis (factor de exposición) –respuesta (sensibilidad), es posible estimar cómo responde el sistema de acuerdo con su contexto, condiciones y las interacciones de los diferentes componentes del sistema. Dicha respuesta tiene relación con la disponibilidad de recursos naturales y humanos, las dinámicas propias del sistema, las condiciones económicas, entre otros factores. En el caso particular del SSE del algodón, se consideraron variables relacionadas con la fuente de recursos hídricos (superficial o subterránea), la superficie de cultivo siniestrada (ha), el precio medio rural por la producción de algodón, valor que aporta la producción de algodón a la actividad agrícola, así como los rendimientos, la superficie sembrada y su prelación a nivel municipal.

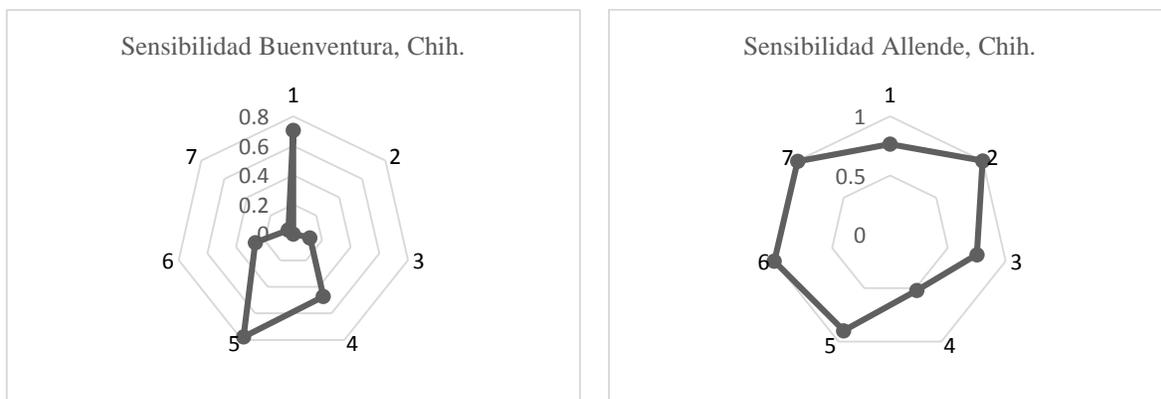
### *i) Sensibilidad del sistema de producción de algodono en Chihuahua*

Con base en dichas variables, se estimó que más de la mitad de los municipios analizados en el estado de Chihuahua (~54 %) presentan niveles de sensibilidad de media a muy alta, mientras que en seis municipios (25 %) la condición de sensibilidad es de alta a muy alta, de éstos, Galeana y Allende presentan las mayores estimaciones. En el otro extremo, aproximadamente 45 % de los municipios presentan niveles de sensibilidad de muy baja a baja, de lo que cinco municipios (~20 %), Buenaventura, Ojinaga, Ahumada, Julimes y Coyame del Sotol, presentan sensibilidad muy baja (Tabla 21).

**Tabla 21. Niveles de sensibilidad de los municipios que cultivan algodón en Chihuahua.**

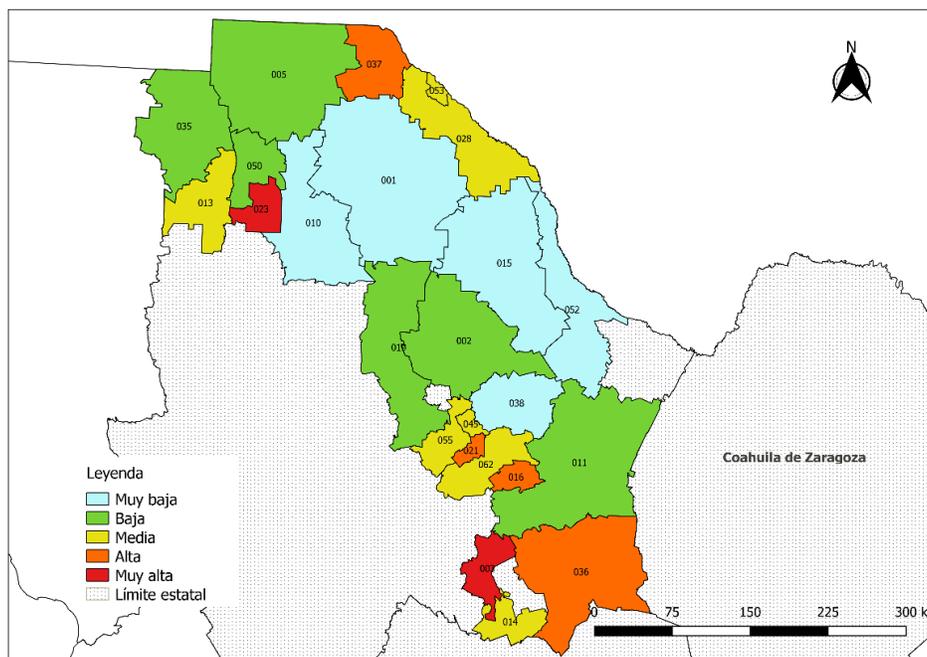
Entidad	Clave	Municipio	Sub_Sensibilidad	Categoría
Chihuahua	010	Buenaventura	0.00	Muy baja
Chihuahua	052	Ojinaga	0.18	Muy baja
Chihuahua	001	Ahumada	0.34	Muy baja
Chihuahua	038	Julimes	0.49	Muy baja
Chihuahua	015	Coyame del Sotol	0.62	Muy baja
Chihuahua	035	Janos	1.17	Baja
Chihuahua	050	Nuevo Casas Grandes	1.23	Baja
Chihuahua	019	Chihuahua	1.41	Baja
Chihuahua	011	Camargo	1.49	Baja
Chihuahua	005	Ascensión	1.51	Baja
Chihuahua	002	Aldama	1.71	Baja
Chihuahua	028	Guadalupe	2.03	Media
Chihuahua	062	Saucillo	2.28	Media
Chihuahua	055	Rosales	2.42	Media
Chihuahua	053	Praxedis G. Guerrero	2.71	Media
Chihuahua	014	Coronado	2.71	Media
Chihuahua	045	Meoqui	2.73	Media
Chihuahua	013	Casas Grandes	2.92	Media
Chihuahua	021	Delicias	3.24	Alta
Chihuahua	016	La Cruz	3.36	Alta
Chihuahua	037	Juárez	3.55	Alta
Chihuahua	036	Jiménez	3.85	Alta
Chihuahua	023	Galeana	4.35	Muy alta
Chihuahua	003	Allende	5.00	Muy alta

En el caso de Buenaventura, el municipio con la menor sensibilidad registrada, esta condición se relaciona principalmente con el PMR, que es el precio pagado al productor en la venta de primera mano en su parcela o predio y/o en la zona de producción. Por su parte, la mayor sensibilidad registrada para el municipio de Allende tiene relación con las variables asociadas a la importancia del cultivo y a la disponibilidad de recursos hídricos para su desarrollo (Figura 53).



**Figura 53. Asociación de las variables con el subíndice de sensibilidad en Chihuahua.**

En la figura 54 se muestra la distribución espacial del subíndice de sensibilidad estimado para los municipios que cultivan algodón en el estado de Chihuahua.



**Figura 54. Distribución de los niveles de sensibilidad en los municipios que siembran algodón en Chihuahua.**

De acuerdo al coeficiente de correlación, la variable “superficie sembrada” cuenta con el mayor ajuste al modelo ( $R^2= 0.4$ ), considerando que para esta variable se tomó una relación inversa, en donde a menor superficie sembrada mayor sensibilidad a los efectos de factores de estrés e impacto (Tabla 22). Por su parte, la variable “uso consuntivo de agua subterránea” cuenta con el menor ajuste para este modelo ( $R^2= 0.01$ ).

**Tabla 22. Coeficiente determinación del subíndice de sensibilidad para los municipios de Chihuahua.**

ID Variable	Variable	R <sup>2</sup>
7	Superficie sembrada	0.407071
6	Valor producción algodón (%)	0.369297
2	% cuencas con disponibilidad	0.230243
3	Superficie promedio siniestrada (%)	0.184652
5	PMR promedio	0.142655
4	Rendimiento promedio	0.105467
1	Uso consuntivo de agua subterránea (%)	0.018902

Con relación a la posible colinealidad de las variables seleccionadas para la construcción del subíndice de sensibilidad, el análisis realizado muestra que no presentan problemas de este tipo, aún para variables que pudieran suponer cierta relación, con es el caso de la superficie sembrada y el valor de la producción (Figura 55).

Factores de inflación de varianza (VIF)	
Mínimo valor posible = 1.0	
Valores mayores que 10.0 pueden indicar un problema de colinealidad	
Usoconsuntivoaguasubterranea	1.282
Cuencasdisponibilidad2017	1.211
SupPromsiniestrada	1.469
Rendimientopromedio	2.016
PMRpromedio	1.883
ValorproduccionAlgodonAn	1.212
VIF(j) = 1/(1 - R(j)^2), donde R(j) es el coeficiente de correlación múltiple entre la variable j y las demás variables independientes	

**Figura 55. Análisis de colinealidad entre las variables del subíndice de sensibilidad para Chihuahua.**

Nota: Se muestra el resultado considerando la relación entre la variable “superficie sembrada” con las demás variables consideradas.

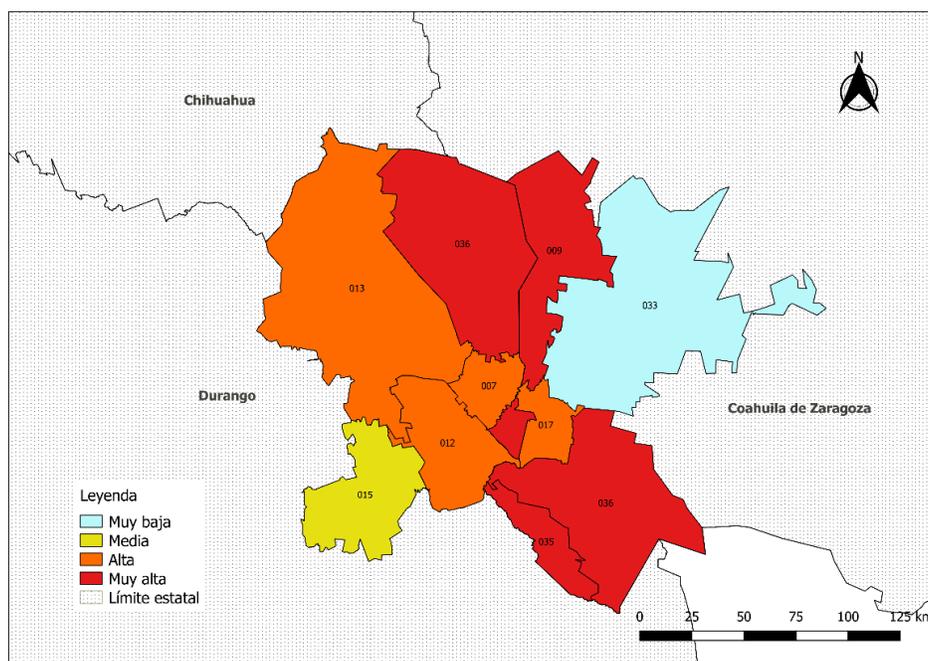
### *ii) Sensibilidad del sistema de producción de algodón en La Laguna*

Para el caso de la Comarca Lagunera, 90 % de los municipios analizados presentan niveles de sensibilidad de media a muy alta, mientras que ocho de los 10 municipios analizados presenta niveles de altos a muy altos (Tabla 23). En la figura 56 se muestra la distribución espacial del subíndice de sensibilidad estimado para los municipios que cultivan algodón en la región de La Laguna. Con excepción de San Pedro, Coah. (muy baja) y Nazas, Dgo. (media), la sensibilidad en los demás municipios se asocia con la combinación de diversos factores, en donde la producción de algodón no es una actividad preponderante del sector, situación que se observa en el porcentaje que aporta esta fibra al valor de la producción agrícola municipal, así como la extensión de la superficie de cultivo (Figura 57). No obstante, el factor relevante que influye en la sensibilidad para el caso de La Laguna es el efecto del uso de agua subterránea; considerando la condición crítica que presenta la Comarca

Lagunera respecto a la explotación de acuíferos, al grado de representar el factor de mayor exposición, como se evidenció en la sección anterior. Teóricamente, un mayor uso de agua de estas fuentes se relaciona con daños potenciales mayores a consecuencia del impacto de fenómenos como la sequía. En el caso del municipio de San Pedro, Coah., la sensibilidad se ubica en el menor nivel estimado debido, entre otros factores, a que es el principal productor de la fibra en la Comarca.

**Tabla 23. Niveles de sensibilidad de los municipios que cultivan algodón en La Laguna.**

Entidad	Clave	Municipio	Sub_sensibilidad	Categoría
Coahuila	033	San Pedro	0.00	Muy baja
Durango	015	Nazas	2.49	Media
Durango	013	Mapimí	3.32	Alta
Durango	012	Lerdo	3.43	Alta
Durango	007	Gómez Palacio	3.96	Alta
Coahuila	017	Matamoros	3.99	Alta
Coahuila	009	Francisco I. Madero	4.05	Muy alta
Durango	036	Tlahualilo	4.36	Muy alta
Coahuila	035	Torreón	4.66	Muy alta
Coahuila	036	Viesca	5.00	Muy alta



**Figura 56. Distribución de los niveles de sensibilidad en los municipios que siembran algodón en La Laguna.**



**Figura 57. Asociación de las variables con el subíndice de sensibilidad en La Laguna.**

Similar a lo que ocurre en el caso de Chihuahua, la  $R^2$  presenta mayor ajuste para las variables relacionadas con la superficie sembrada y el valor proporcional que representa la producción de algodón en cada municipio (Tabla 24). Además, para la Comarca Lagunera la variable “uso consuntivo de agua subterránea” presenta un coeficiente de determinación similar al de las variables antes referidas ( $R^2= 0.78$ ). El porcentaje de cuencas con disponibilidad de recursos hídricos no aporta información dado que presentó la misma condición de disponibilidad para los municipios de estudio en la Comarca Lagunera. De acuerdo al valor de la  $R^2$ , las demás variables consideradas presentan un menor ajuste con el modelo.

**Tabla 24. Coeficiente determinación del subíndice de sensibilidad para los municipios de La Laguna.**

ID Variable	Variable	$R^2$
7	Superficie sembrada	0.786558
1	Uso consuntivo de agua subterránea (%)	0.78111
6	Valor de la producción de algodón (%)	0.764964
4	Rendimiento promedio	0.175283
3	Superficie promedio siniestrada (%)	0.019076
5	PMR promedio	0.018244
2	% Cuencas con disponibilidad	-----

Respecto a la posible colinealidad de las variables seleccionadas para analizar la sensibilidad del sistema de producción de algodón en la Comarca Lagunera, el análisis realizado con el programa Gretl muestra que no existen problemas de este tipo, particularmente entre variables que guardan relación con la producción, como es la superficie sembrada, el rendimiento promedio y el porcentaje del valor de la producción de algodón (Figura 58).

Factores de inflación de varianza (VIF)	
Mínimo valor posible = 1.0	
Valores mayores que 10.0 pueden indicar un problema de colinealidad	
Usoconsuntivoaguasubterranea	6.988
SupPromsinestrada	2.526
PMRpromedio	3.489
ValorproducciAnalgodän	7.725
Rendimientopromedio	1.859
VIF(j) = 1/(1 - R(j)^2), donde R(j) es el coeficiente de correlación múltiple entre la variable j y las demás variables independientes	

**Figura 58. Análisis de colinealidad entre las variables del subíndice de sensibilidad para La Laguna.**

Nota: Se muestra el resultado considerando la relación entre la variable “superficie sembrada” con las demás variables consideradas.

Respecto al sentido o relación de las variables con la sensibilidad, es importante señalar que a priori, el investigador asigna una dirección o sentido para cada variable; es decir, relaciona directa o inversamente cada una con la sensibilidad mediante el desarrollo de hipótesis. Si bien dicha relación puede ser establecida de manera arbitraria, toma como base una hipótesis con cierta lógica empírica o sustentada en observaciones previas.

Para la estimación de la sensibilidad del SSE del algodón, se consideró que algunas variables eran inversamente proporcionales a este subíndice. Es el caso del valor porcentual que representa la producción de algodón, para el sector agrícola municipal se consideró que, a mayor valor, menor sensibilidad, toda vez que esta variable refleja la importancia del cultivo. En el caso contrario, un menor valor puede hacer que el sistema sea más sensible, dado que en estos casos el cultivo de algodón es menos relevante para la actividad agrícola.

### 2.3 Subíndice de capacidad adaptativa

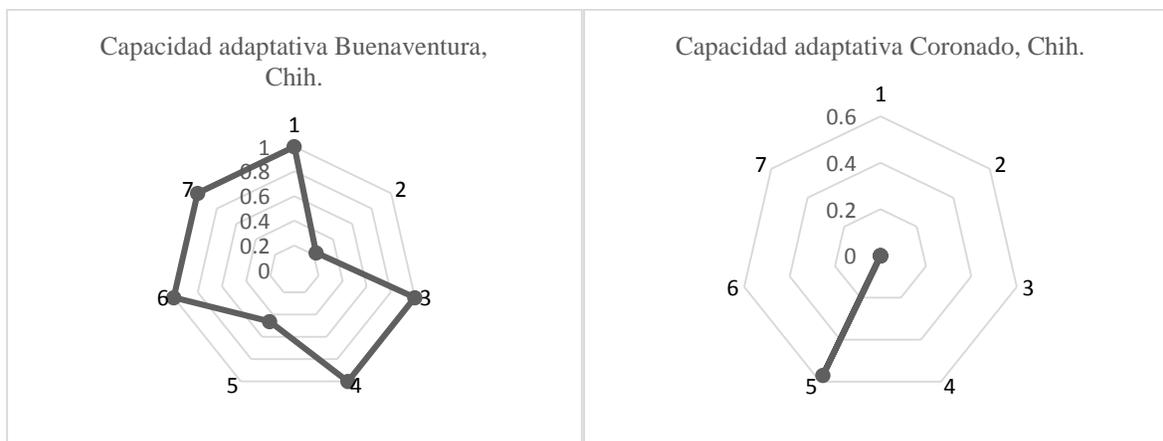
La capacidad adaptativa, en contraste con los subíndices de exposición y sensibilidad, presenta una relación inversamente proporcional con la vulnerabilidad, toda vez que un nivel alto en este subíndice disminuye la condición de vulnerable. Conceptualmente, la capacidad adaptativa considera una serie de acciones y estrategias para mitigar, afrontar y adaptarse ante los efectos adversos ocasionados por la ocurrencia de fenómenos que impacten los sistemas. En el presente estudio la capacidad adaptativa se relacionó con la infraestructura para la comercialización (específicamente las despepitadoras), los fondos de aseguramiento y subsidios, las actividades de control de plagas y los recursos invertidos en las campañas fitosanitarias, así como el número de años realizando el cultivo de algodón, lo que se asocia con la experiencia y conocimiento sobre este sistema productivo. Con base en estos elementos se estimó la capacidad adaptativa del SSE del algodón en los municipios de estudio.

*i) Capacidad adaptativa del sistema de producción de algodón en Chihuahua*

Con los parámetros antes señalados, se estimó que aproximadamente 20 % de los municipios en Chihuahua cuentan con una capacidad adaptativa de alta a muy alta, de los que Buenaventura y Ojinaga (~8 % de los municipios analizados) resultaron con los mayores niveles para esta habilidad (Tabla 25). En este par de casos, dicha capacidad resulta de la mayor cantidad de despepitadoras establecidas en su territorio, montos altos de subsidios para el aseguramiento y para la implementación de campañas fitosanitarias, así como en número de años realizando la actividad (Figura 59).

**Tabla 25. Niveles de capacidad adaptativa de los municipios que cultivan algodón en Chihuahua.**

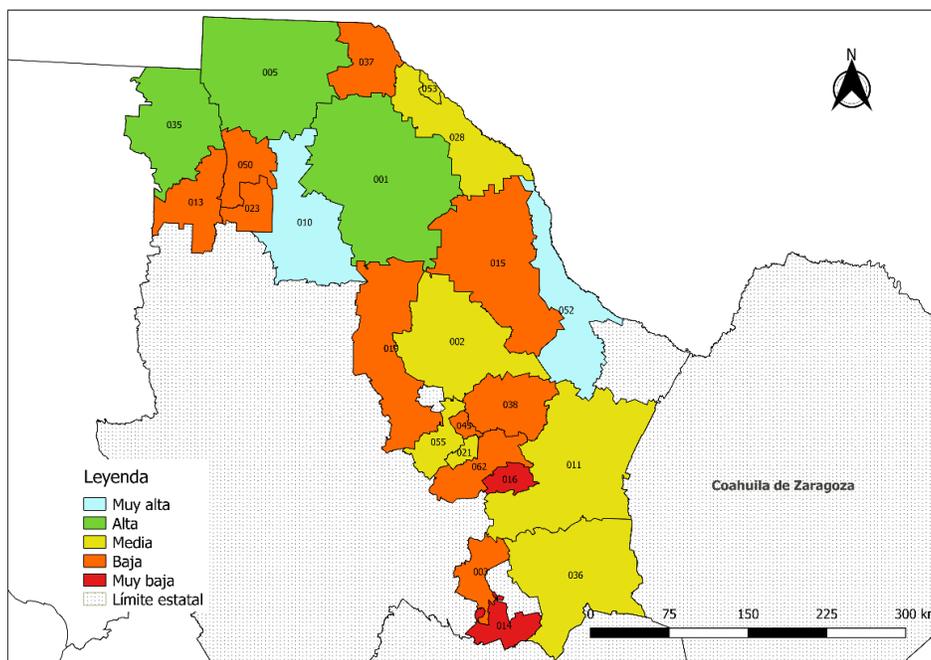
Entidad	Clave	Municipio	Subíndice CA	Nivel
Chihuahua	014	Coronado	0.00	Muy baja
Chihuahua	016	La Cruz	0.97	Muy baja
Chihuahua	015	Coyame del Sotol	1.22	Baja
Chihuahua	023	Galeana	1.30	Baja
Chihuahua	062	Saucillo	1.54	Baja
Chihuahua	003	Allende	1.58	Baja
Chihuahua	038	Julimes	1.61	Baja
Chihuahua	013	Casas Grandes	1.63	Baja
Chihuahua	045	Meoqui	1.63	Baja
Chihuahua	019	Chihuahua	1.71	Baja
Chihuahua	037	Juárez	1.89	Baja
Chihuahua	050	Nuevo Casas Grandes	1.92	Baja
Chihuahua	036	Jiménez	2.01	Media
Chihuahua	002	Aldama	2.08	Media
Chihuahua	055	Rosales	2.12	Media
Chihuahua	028	Guadalupe	2.17	Media
Chihuahua	011	Camargo	2.24	Media
Chihuahua	053	Praxedis G. Guerrero	2.37	Media
Chihuahua	021	Delicias	2.98	Media
Chihuahua	035	Janos	3.25	Alta
Chihuahua	001	Ahumada	3.66	Alta
Chihuahua	005	Ascensión	3.94	Alta
Chihuahua	052	Ojinaga	4.28	Muy alta
Chihuahua	100	Buenaventura	5.00	Muy alta



**Figura 59. Asociación de las variables con el subíndice de capacidad adaptativa en Chihuahua.**

En contraste, 50 % de los municipios que cultivan algodón en la entidad presentan baja a muy baja capacidad adaptativa, destacando los casos de Coronado y La Cruz, municipios con menor infraestructura y reducidos montos asociados al aseguramiento y desarrollo de campañas para el control y erradicación de plagas de importancia económica, lo que resulta en niveles de capacidad adaptativa muy bajos. En el caso de Coronado, la única variable relacionada positivamente con la capacidad adaptativa es el número de años bajo el control de campañas, factor que en sí mismo es relevante para la continuidad del SSE a nivel entidad, dado que esta acción garantiza que no existan brotes de plagas reglamentadas que pudieran amenazar otros municipios con mayor importancia económica (NOM-FITO-026-1995, DOF 2014), además de que esto permite que el estado conserve el estatus de libre de plagas (Figura 58).

En la figura 60 se muestra la distribución espacial del subíndice de capacidad adaptativa estimado para los municipios que cultivan algodón en el estado de Chihuahua.



**Figura 60. Distribución de los niveles capacidad adaptativa en los municipios que siembran algodón en Chihuahua.**

Por su parte, el coeficiente de determinación muestra un ajuste mayor para las siguientes variables: número de despepitadoras por municipio, monto destinado al subsidio de aseguramiento, así como el recurso promedio asignado a la operación de campañas fitosanitarias (Tabla 26). Estos factores tienen gran importancia para afrontar diversos factores de estrés e impacto, y posiblemente, el potencial para adaptarse a condiciones cambiantes. En el caso de los recursos relacionados con el aseguramiento agrícola, estos funcionan a través de la transferencia de los riesgos de pérdidas potenciales ocasionadas por riesgos hidrometeorológicos a los mercados de seguros. Desde la apertura al sector privado de aseguramiento ocurrida en 2001, AGROASEMEX ha constituido un instrumento de la política de gobierno que contribuyó a un sistema nacional de administración de riesgos para la protección integral del sector rural (Aragón-Durand, 2012). Toda vez que los principales factores que ponen en peligro el desarrollo de la actividad se asocian con amenazas climáticas y biológicas, la cobertura de seguros, los subsidios para el aseguramiento y las acciones para el control de plagas representan elementos fundamentales de la capacidad adaptativa del algodón en el estado de Chihuahua.

**Tabla 26. Coeficiente determinación del subíndice de la capacidad adaptativa para los municipios de Chihuahua.**

ID Variable	Variable	R2
1	No. de despepitadoras por municipio	0.780986
3	Subsidio al seguro agrícola	0.769566

6	Monto promedio de campañas fitosanitarias	0.757569
7	No. años de cultivo de algodón	0.40124
4	Años con campañas fitosanitarias	0.235449
2	Fondos de aseguramiento	0.139208
5	Superficie promedio atendida por campañas (%)	0.001014

Con relación a la colinealidad de las variables seleccionadas para construir el subíndice de capacidad adaptativa del SSE de algodón en el estado de Chihuahua, el análisis muestra posibles problemas entre las variables relacionadas con la disponibilidad de recursos económicos para la gestión de riesgos, como los fondos de aseguramiento o monto destinado al desarrollo de campañas fitosanitarias (Figura 61).

```
Factores de inflación de varianza (VIF)
Mínimo valor posible = 1.0
Valores mayores que 10.0 pueden indicar un problema de colinealidad

NoDespepitadoramunicipio      6.669
Subsidioseguro                 26.849
AAoscampaAafitosanitaria      3.337
SupPromatendidacamp           1.375
MontopromediocampaAas        18.134
NoAAoscultivo                  3.274

VIF(j) = 1/(1 - R(j)^2), donde R(j) es el coeficiente de correlación múltiple
entre la variable j y las demás variables independientes
```

**Figura 61. Análisis de colinealidad entre las variables del subíndice de capacidad adaptativa para Chihuahua.**

Nota: Se muestra el resultado considerando la dependencia de la variable “fondos de aseguramiento” con las demás variables consideradas.

*ii) Capacidad adaptativa del sistema de producción de algodón en La Laguna*

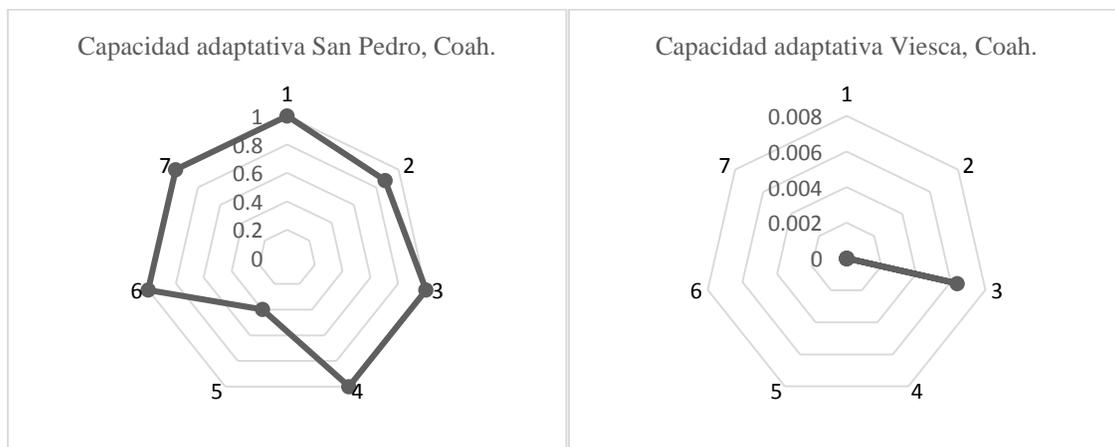
Respecto a la Comarca Lagunera, en 30 % de los municipios estudiados se estimó una capacidad adaptativa de alta a muy alta, destacando el mayor nivel en San Pedro, Coah. (Tabla 27).

**Tabla 27. Niveles de capacidad adaptativa de los municipios que cultivan algodón en La Laguna.**

Entidad	Clave_mun	Municipio	CA	Categoría
Coahuila	036	Viesca	0.00	Muy baja
Durango	012	Lerdo	1.16	Baja
Coahuila	035	Torreón	1.34	Baja
Durango	013	Mapimí	1.50	Baja
Durango	036	Tlahualilo	1.91	Baja
Coahuila	017	Matamoros	2.29	Media
Coahuila	009	Francisco I. Madero	2.40	Media
Durango	015	Nazas	3.25	Alta
Durango	007	Gómez Palacio	3.39	Alta

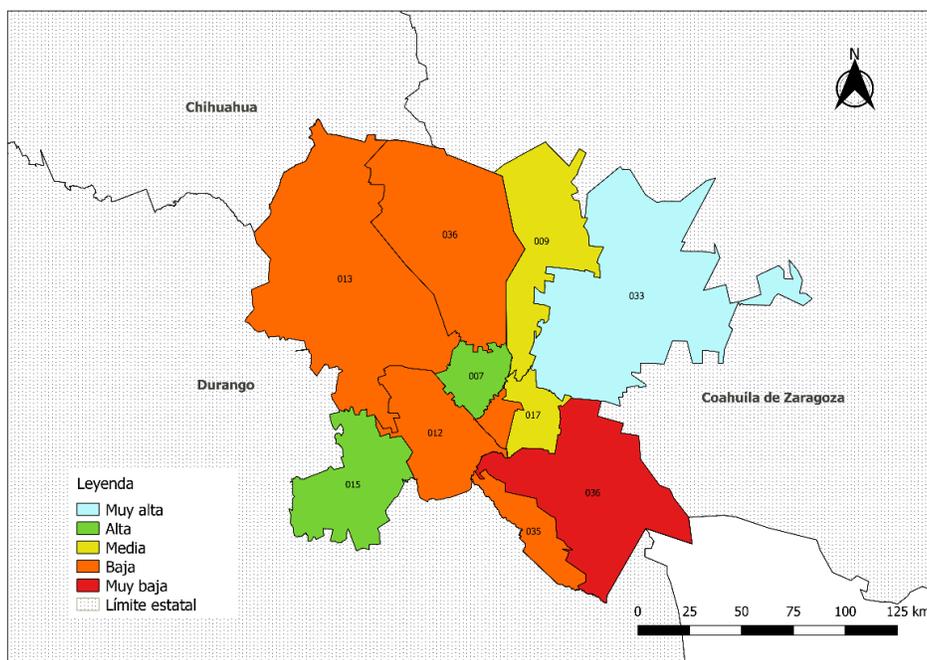
En los casos de mayor capacidad adaptativa, los niveles se explican por la disponibilidad de recursos económicos a través de subsidios que garantizan la integridad y operación del SSE. Al igual que los municipios del estado de Chihuahua con mayor capacidad adaptativa, el municipio de San Pedro cuenta con el mayor número de despepitadoras, al igual que los fondos de aseguramiento y subsidios, así como un mayor número de años realizando la actividad con la implementación de campañas fitosanitarias (Figura 61).

En el otro extremo, 50 % de los municipios presentan una capacidad adaptativa de baja a muy baja, de los que Viesca, Coah., presenta la menor capacidad adaptativa a consecuencia de su reducida infraestructura y acceso a recursos financieros para el aseguramiento o para la implementación de las campañas de control de plagas reglamentadas. Es importante mencionar que el municipio de Viesca presenta la menor superficie sembrada con algodón en la Comarca Lagunera, caso contrario del San Pedro, Coah., mayor productor de la región. En este caso, la relación entre la importancia de la actividad y los recursos asignados no solo para su desempeño, sino para minimizar los riesgos climatológicos y biológicos, es evidente (Figura 62).



**Figura 62. Asociación de las variables con el subíndice de capacidad adaptativa en La Laguna.**

En la figura 63 se muestra la distribución espacial del subíndice de capacidad adaptativa estimado para los municipios que cultivan algodón en La Comarca Lagunera.



**Figura 63. Distribución de los niveles de capacidad adaptativa en los municipios que siembran algodón en La Laguna.**

Los valores la  $R^2$  presentan mayor ajuste con las variables “número despepitadoras por municipio”, “monto promedio de campañas fitosanitarias” y “subsidio al seguro agrícola (Tabla 28). De manera contraria, el menor ajuste se presenta para la variable “superficie atendida en campañas”, destacando además en este grupo la variable “fondos de aseguramiento” considerando su asociación con el aporte de recursos económicos destinados a la gestión de riesgos.

**Tabla 28. Coeficiente determinación del subíndice de la capacidad adaptativa para los municipios de la Comarca Lagunera.**

ID Variable	Variable	$R^2$
1	No. de despepitadora por municipio	0.806393
6	Monto promedio de campañas fitosanitarias	0.793293
3	Subsidio al seguro agrícola	0.626030
4	Años de campañas fitosanitarias	0.592606
7	No. de años de cultivo de algodón	0.574961
2	Fondos de aseguramiento	0.146256
5	Superficie promedio atendida en campañas (%)	0.041102

Las variables seleccionadas para construir el subíndice de capacidad adaptativa del SSE de algodón en La Laguna presenta posibles problemas de colinealidad entre aquellas relacionadas con la disponibilidad de recursos económicos para la gestión de riesgos, como los fondos de aseguramiento y los subsidios monto destinado al desarrollo de campañas fitosanitarias (Figura 64). Además, de

acuerdo con este análisis, el número de despepitadoras por municipio y así como el número de años practicando la actividad y los años implementado campañas fitosanitarias también presenta esta condición.

Factores de inflación de varianza (VIF)	
Mínimo valor posible = 1.0	
Valores mayores que 10.0 pueden indicar un problema de colinealidad	
NoDespepitadoramunicipio	25.739
Subsidioseguro	12.715
AAoscampaAafitosanitaria	17.622
SupPromatendidacamp	1.503
MontopromediocampaAas	6.891
NoAAoscultivo	13.169

VIF(j) = 1/(1 - R(j)^2), donde R(j) es el coeficiente de correlación múltiple entre la variable j y las demás variables independientes

**Figura 64. Análisis de colinealidad entre las variables del subíndice de capacidad adaptativa la Comarca Lagunera.**

Nota: Se muestra el resultado considerando la dependencia de la variable “fondos de aseguramiento” con las demás variables consideradas.

## 2.4 Índice de vulnerabilidad

La vulnerabilidad, entendida en este trabajo como la susceptibilidad del sistema de algodón a ser dañado debido a diferentes factores de impacto y estrés; por lo tanto es una condición que depende de los niveles de exposición a dichos factores, del nivel de sensibilidad y es inversamente proporcional a la capacidad del sistema para afrontar, recuperarse de los efectos negativos ocasionados por el estrés e impacto recibido.

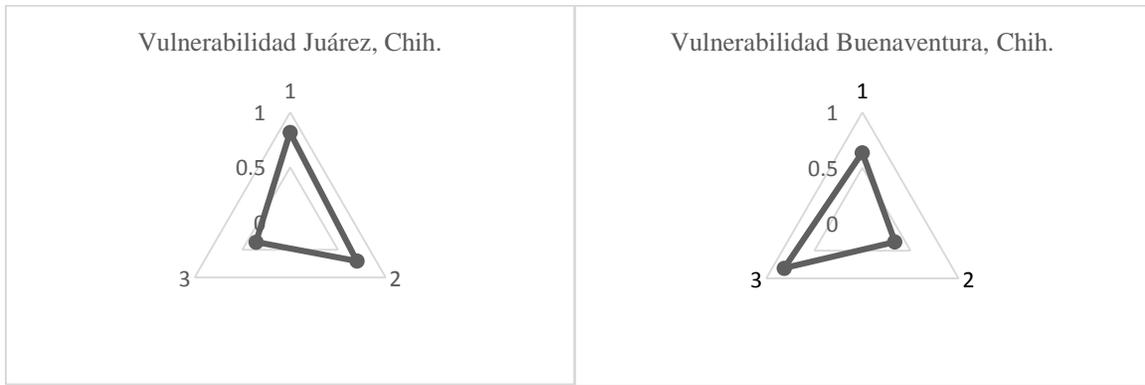
### *i) Vulnerabilidad del sistema de producción de algodón en Chihuahua*

En el presente estudio, los niveles de vulnerabilidad del SSE de algodón en los diferentes municipios de Chihuahua se presentan en la tabla 29. En más de la mitad (~66 %) de los municipios se estimó una vulnerabilidad de media a muy alta, de los que aproximadamente 30 % son alta o muy altamente vulnerables. En esta condición, destacan los municipios de Galeana y Juárez, que resultaron con niveles muy altos de vulnerabilidad, mientras que La Cruz, Saucillo, Meoqui, Allende y Coronado presentan vulnerabilidad alta. En estos casos siete casos, la capacidad adaptativa es baja, mientras que el subíndice de sensibilidad es alto (Figura 65). Además, este grupo de municipios tiene en común que el cultivo de algodón es menos representativo, en términos de la superficie destinada para su cultivo.

**Tabla 29. Niveles estimados de vulnerabilidad en los municipios de Chihuahua que cultivan algodón.**

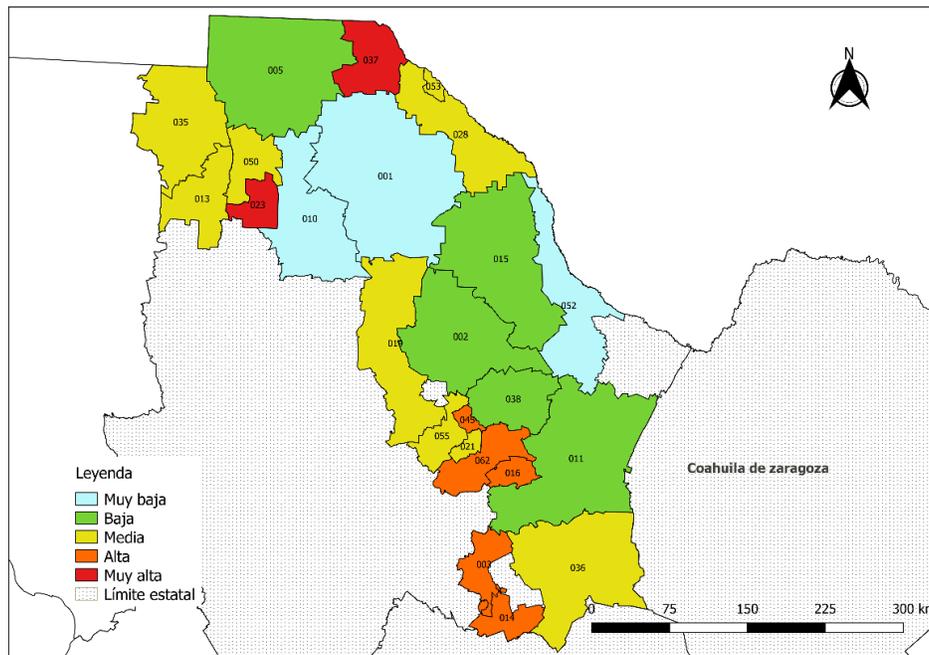
Entidad	Clave	Municipio	Vulnerabilidad	Categoría
Chihuahua	010	Buenaventura	0.00	Muy baja
Chihuahua	052	Ojinaga	0.29	Muy baja
Chihuahua	001	Ahumada	0.68	Muy baja
Chihuahua	011	Camargo	1.68	Baja
Chihuahua	038	Julimes	1.73	Baja
Chihuahua	005	Ascensión	1.81	Baja
Chihuahua	002	Aldama	1.81	Baja
Chihuahua	015	Coyame del Sotol	1.94	Baja
Chihuahua	028	Guadalupe	2.05	Media
Chihuahua	035	Janos	2.15	Media
Chihuahua	019	Chihuahua	2.29	Media
Chihuahua	055	Rosales	2.44	Media
Chihuahua	050	Nuevo Casas Grandes	2.46	Media
Chihuahua	013	Casas Grandes	2.69	Media
Chihuahua	036	Jiménez	2.70	Media
Chihuahua	053	Praxedis G. Guerrero	2.85	Media
Chihuahua	021	Delicias	2.98	Media
Chihuahua	016	La Cruz	3.17	Alta
Chihuahua	062	Saucillo	3.36	Alta
Chihuahua	045	Meoqui	3.60	Alta
Chihuahua	003	Allende	3.70	Alta
Chihuahua	014	Coronado	3.90	Alta
Chihuahua	023	Galeana	4.76	Muy alta
Chihuahua	037	Juárez	5.00	Muy alta

En contraste, 33 % de los municipios algodonereros en Chihuahua presentan baja o muy baja vulnerabilidad, siendo Buenaventura, Ojinaga y Ahumada los de muy baja vulnerabilidad, como resultado de una sensibilidad en el rango de muy baja a baja y una capacidad adaptativa en el rango de alta a muy alta. Destaca que en estos municipios la exposición a factores de impacto y estrés fue de media a alta, por lo que a priori puede señalarse que de alta capacidad adaptativa y baja sensibilidad, la exposición es un determinante menor para la vulnerabilidad del SSE (Figura 65).



**Figura 65. Asociación de los subíndices con la vulnerabilidad en Chihuahua.**

En la figura 66 se muestra la distribución espacial del índice de vulnerabilidad estimado para los municipios que cultivan algodón en el estado de Chihuahua.



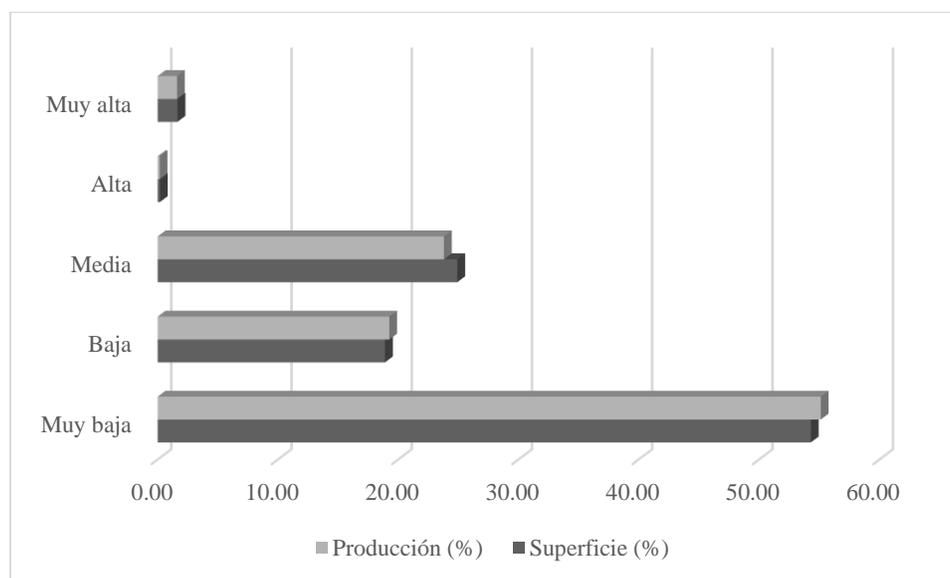
**Figura 66. Distribución de los niveles vulnerabilidad en los municipios que siembran algodón en Chihuahua.**

Acorde a lo señalado anteriormente, el coeficiente de determinación muestra que el mejor ajuste de la vulnerabilidad se presenta con el subíndice de sensibilidad y en segundo lugar la capacidad adaptativa. Aun cuando la  $R^2$  para el subíndice de exposición es muy bajo, los municipios de Juárez y Galeana, con alta vulnerabilidad, también presentan niveles altos de exposición (Tabla 30).

**Tabla 30. Coeficiente determinación del índice de vulnerabilidad para los municipios de Chihuahua.**

ID Subíndice	Subíndice	R <sup>2</sup>
2	Sensibilidad	0.699169
3	Capacidad adaptativa	0.491676
1	Exposición	0.007063

Con base en estos resultados, es relevante conocer la relación entre la importancia del cultivo y la vulnerabilidad. La figura 67 muestra que a nivel que en el ciclo agrícola 2017 en Chihuahua, más de la mitad de la superficie sembrada (54.3 %) y de las toneladas producidas (55.1 %) se ubicaron en municipios con vulnerabilidad muy baja: Buenaventura, Ahumada y Ojinaga. Por otra parte, respecto de los municipios que se ubican en la escala de vulnerabilidad de alta a muy alta, estos solo aportaron 1.8 % de la producción de algodón en la entidad, a partir de 1.7 % de la superficie de cultivo. Lo anterior es relevante ya que, si bien más de la mitad de los municipios analizados presentan un nivel de vulnerabilidad considerable, es posible señalar que en el estado de Chihuahua el 73 % de la superficie sembrada (~106 254 ha), se cultivó en un escenario de baja vulnerabilidad.



**Figura 67. Vulnerabilidad y dinámica productiva de algodón en Chihuahua durante el ciclo agrícola 2017.**

Fuente: Elaboración propia con información del SIAP, 2018.

Por otra parte, los municipios con vulnerabilidad media concentran aproximadamente 25 % de la superficie de cultivo y 24 % de la producción de algodón en la entidad. Si bien vulnerabilidad en éstos no es crítica, se considera recomendable implementar acciones que se disminuya la sensibilidad del SSE y se incremente su capacidad adaptativa. Por último, cinco de los municipios con

vulnerabilidad de alta a muy alta que cultivaron algodónero durante el ciclo agrícola 2017, concentraron solo 1.8 % de las hectáreas para esta planta y produjeron 1.7 % de la fibra.

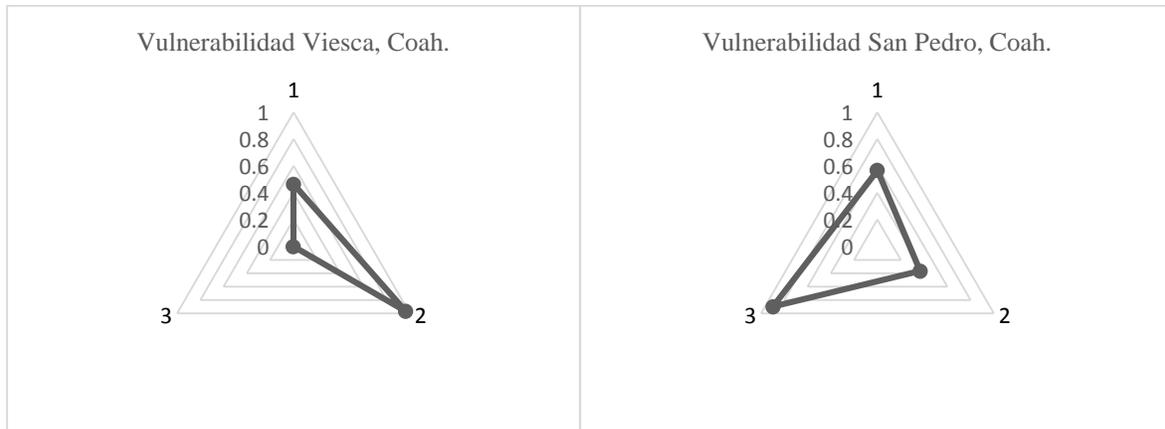
### *ii) Vulnerabilidad del sistema de producción de algodónero en La Laguna*

Respecto a la Comarca Lagunera, esta presenta en general niveles de vulnerabilidad importantes, dado que en el 80 % de los municipios se estimó una vulnerabilidad de alta a muy alta. En este escenario, los municipios de Viesca, Torreón y Lerdo cuentan con una vulnerabilidad estimada como muy alta, mientras que Gómez Palacio, Mapimí y Tlahualilo, Dgo, y Gómez Palacio y Matamoros, Coah., presentan niveles de vulnerabilidad alta (Tabla 31). En el caso contrario, solo dos de 10 municipios presentan baja y muy baja vulnerabilidad, siendo San Pedro (Coah.) el municipio con muy baja vulnerabilidad y Nazas (Dgo.) el de vulnerabilidad baja. Al igual que en los municipios de Chihuahua, la vulnerabilidad en estos casos se asocia con niveles altos de sensibilidad y baja capacidad adaptativa (Figura 68).

Específicamente, el nivel de vulnerabilidad de San Pedro, Coah., se relaciona inversamente con la capacidad adaptativa alta registrada para este municipio (Figura 68), mientras que el subíndice de sensibilidad es menor que para los casos en donde la vulnerabilidad es alta.

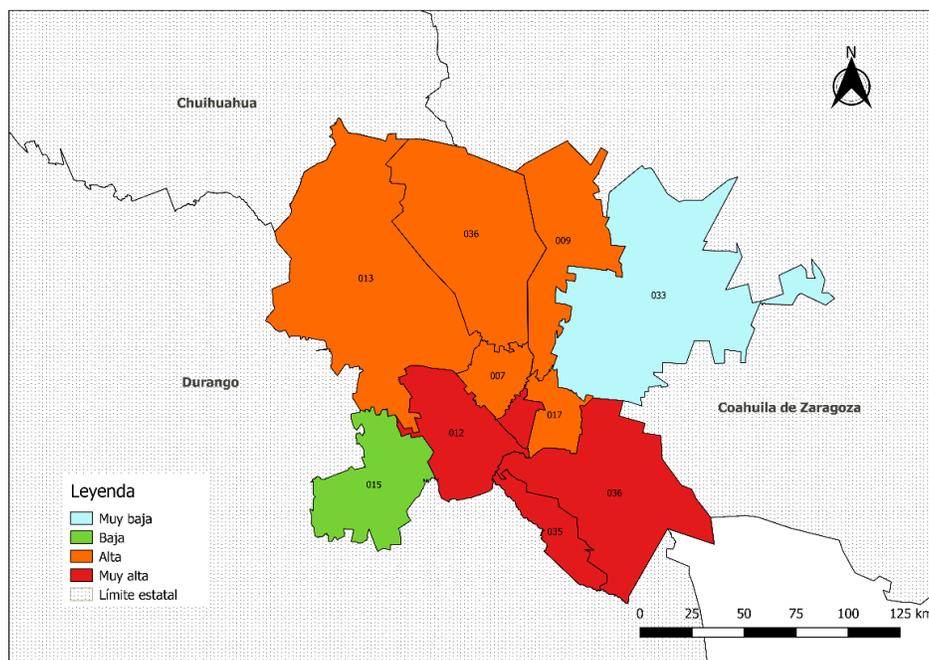
**Tabla 31. Niveles de vulnerabilidad de los municipios que cultivan algodón en La Laguna.**

Entidad	Clave_mun	Municipio	Vulnerabilidad	Categoría
Coahuila	033	San Pedro	0.00	Muy baja
Durango	015	Nazas	1.25	Baja
Coahuila	009	Francisco I. Madero	3.05	Alta
Durango	007	Gómez Palacio	3.18	Alta
Coahuila	017	Matamoros	3.39	Alta
Durango	013	Mapimí	3.54	Alta
Durango	036	Tlahualilo	3.66	Alta
Durango	012	Lerdo	4.09	Muy alta
Coahuila	035	Torreón	4.28	Muy alta
Coahuila	036	Viesca	5.00	Muy alta



**Figura 68. Asociación de los subíndices con la vulnerabilidad en La Laguna.**

La distribución geográfica de la vulnerabilidad estimada para los municipios algodoneros que conforman la Comarca Lagunera, se presenta en la figura 69.



**Figura 69. Distribución de los niveles de vulnerabilidad en los municipios algodoneros de La Laguna.**

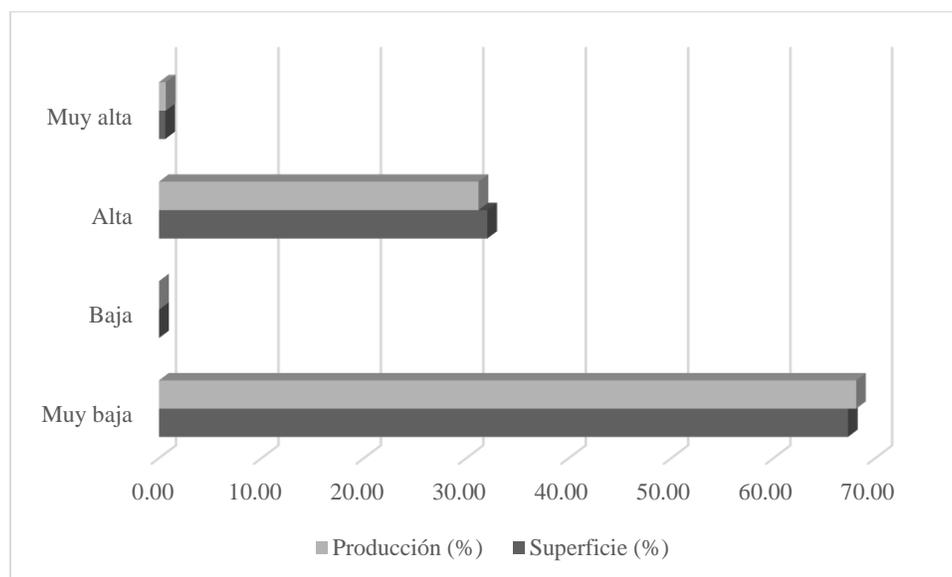
Respecto al coeficiente de correlación, el modelo de vulnerabilidad para el caso del SSE de algodón en La Laguna muestra que el mayor ajuste se da con el subíndice de capacidad adaptativa, seguido sin mucha diferencia por la sensibilidad (Tabla 32). Este resultado implica que, en la Comarca Lagunera, la vulnerabilidad observada se explica en mayor medida por una capacidad reducida de respuesta ante los efectos de los factores de impacto y estrés, así como por la alta sensibilidad del sistema ante dichos efectos. Por su parte, el modelo no presenta un ajuste con la exposición, de

acuerdo con la información aportada por el coeficiente de determinación. La vulnerabilidad por lo tanto depende de la disponibilidad de agua, lo que se puede relacionar con las evidencias de explotación de recursos hídricos en la región, con énfasis en las fuentes subterráneas.

**Tabla 32. Coeficiente determinación del índice de vulnerabilidad para los municipios La Laguna.**

ID Subíndice	Subíndice	R <sup>2</sup>
3	Capacidad adaptativa	0.839672
2	Sensibilidad	0.820380
1	Exposición	0.043789

En contraste con Chihuahua, donde menos de 2 % de la producción se realiza en municipios altamente vulnerables, la figura 70 muestra que en La Laguna 31.8 % de la producción de algodnero se lleva a cabo en estas condiciones, producción asociada a aproximadamente 33 % de la superficie sembrada en la región. No obstante, similar a Chihuahua, 68 % de la producción total de la región se realiza en condiciones de baja vulnerabilidad, con la problemática de que prácticamente este escenario corresponde a un solo municipio: San Pedro, Coah, ya que Nazas, Dgo, si bien presenta baja vulnerabilidad, su aporte a la producción regional de algodón es mínima.



**Figura 70. Vulnerabilidad y dinámica productiva de algodnero en La Laguna durante el ciclo agrícola 2017.**

Fuente: Elaboración propia con información del SIAP, 2018.

## DISCUSIÓN

El sistema socioecológico del algodón presenta una dinámica agroindustrial que se ubica en el centro de la discusión sobre diversos temas relacionados con la sostenibilidad del sector agrícola. Dentro de este debate, se ha señalado que la agricultura industrializada representa el extremo opuesto a los sistemas tradicionales (e.g. milpa) (Frison, 2016; Woodhouse, 2010), lo que ha orillado la discusión en algunos casos hacia el uso insustancial del concepto de sostenibilidad para este sector (Thompson, 2007). Como ejemplo, se tiene que el maíz y otras especies agrícolas cuyo centro de origen es México y que se cultivan a pequeña escala, generalmente se asocian con la “buena agricultura” debido al manejo de recursos a partir de conocimientos ancestrales (Toledo, 2002; Trigo & Montenegro, 2002); mientras que los sistemas productivos altamente tecnificados se alejan diametralmente de esta percepción (Frison, 2016). En este contexto, el caso del SSE del algodón resulta interesante, toda vez que se trata de una planta cultivable de origen mesoamericano, cuyo desarrollo actual se relaciona con la agroindustria más que con los sistemas tradicionales.

De acuerdo con la información histórica del cultivo de algodón en México y los datos derivados de los modelos de nicho ecológico, el auge del oro blanco y la producción actual de algodono se realiza en regiones que están fuera de los nichos con las condiciones ambientales requeridas para *G. hirsutum*, particularmente las formas silvestres (Rocha-Munive *et al.*, 2018). Acorde con Aguilar (2013), uno de los factores que permitió el desarrollo de este cultivo a finales del siglo XVIII en la Comarca Lagunera y posteriormente en otras regiones del norte, fue la implementación de diferentes avances tecnológicos. En otras palabras, la agricultura en el norte del país ha sido posible debido a la implementación de infraestructura agrícola y la adaptación de variedades de algodono para estas regiones áridas y semiáridas (así como insumos de nutrición y sanidad vegetal), que presentan diferentes dinámicas climáticas y ecológicas a las que imperan en las zonas costeras. En términos de vulnerabilidad, estos factores forman parte de recursos con los que cuenta el SSE para afrontar distintos factores de impacto y estrés. En consecuencia, si bien existe consenso en que las prácticas agroindustriales, como aquellas involucradas en la producción de algodono, son insostenibles, hay pocos trabajos que estudien el nivel de vulnerabilidad de este tipo de SSE en particular, y los factores de ese modelo que han permitido el desarrollo de la actividad en ambientes poco aptos para algunos cultivos.

En principio, este estudio abordó la conceptualización del cultivo de algodón como un SSE, partiendo del hecho de que como agroecosistema, el algodono presenta múltiples interacciones con diferentes componentes de naturaleza social, biofísica y económica. Dada la condición de México como centro

de origen y diversidad de la especie de algodón más cultivada (*G. hirsutum*), las dinámicas ecológicas, sociales y económicas han moldeado el desarrollo de la actividad en diferentes regiones desde periodos precolombinos. El estatus actual de las zonas productoras de algodón en México es resultado de diferentes procesos históricos, los cuales han operado a escalas locales y regionales, incluyendo al ámbito global, toda vez que el algodón ha sido una materia de gran importancia en el comercio internacional. Debido a esta complejidad, se consideró a Chihuahua y a la Comarca Lagunera como regiones características tanto del cultivo como del sistema agroindustrial, en donde los municipios fungieron como unidades operativas para el análisis del SSE de algodón.

Luego del análisis de la información histórica, no queda claro qué factores ecológicos, económicos o sociales, motivaron la movilización de las zonas de cultivo en regiones de distribución natural de *G. hirsutum* hacia el norte del país, y si dicho evento se asoció con condiciones pasadas de vulnerabilidad en los SSE. En el caso del periodo prehispánico, mientras que no existe información precisa respecto al efecto de variaciones climáticas en las regiones costeras que afectara la producción de la fibra<sup>51</sup>, la demanda de algodón por parte de los grupos dominantes en el centro del país pudo motivar el inicio del cultivo en otras regiones cercanas a los centros de poder político, religioso y militar (Ávila Sandoval, 2003; De Rojas, 1987; García, 1949; Smith & Hirth, 1988; Wegier et al., 2016). Durante la colonia tampoco se registraron datos sobre los factores que impactaban la producción de algodón; solo se tiene evidencia, nuevamente, de que la centralización de la actividad económica y el establecimiento de la industria textilera (obrajes) en el centro del territorio (la actual Ciudad de Mexico, Querétaro y Puebla), propició el desarrollo de grandes zonas algodonerías en regiones costeras del Golfo (actualmente Tamaulipas y Veracruz) y el Pacífico (Oaxaca y Guerrero). Concluido el periodo colonial, con el incipiente desarrollo de la actividad algodonería en La Laguna, los motivos que llevaron a la reducción paulatina de esta actividad en las regiones costeras no están definidos; la literatura disponible refiere periodos de sequía que afectaron a la agricultura después de la mitad del siglo XIX, pero dicho fenómeno se dio en distintas regiones del país, incluyendo el norte (Domínguez, 2016; Florescano *et al.*, 1980; García, 1993). Por lo tanto, es relevante mencionar que, hasta este punto, los factores que inciden en la vulnerabilidad del algodonerío no se encuentran analizados de manera formal.

---

<sup>51</sup> Diversos autores han realizado importantes esfuerzos por determinar la ocurrencia de periodos de sequía en diferentes regiones del país durante el periodo prehispánico (Domínguez, 2016; Florescano *et al.*, 1980; García, 1993); si bien es posible suponer que estos fenómenos afectaron de manera general la actividad agrícola, no existen elementos que puedan determinar su influencia para reconfigurar dichos agroecosistemas y su desarrollo en otras regiones.

El cultivo de algodnero en la Comarca Lagunera tiene un historial de más de 150 años, mientras que en Chihuahua el historial de este cultivo cuenta con aproximadamente un siglo a partir del inicio de la actividad el municipio de Práxedes G. Guerrero (aunque el cultivo a gran escala se dio a partir de la década de 1930). En este periodo, tanto en la Comarca Lagunera como en el estado de Chihuahua, el cultivo de algodnero ha sido una actividad que permitió el establecimiento de nuevos centros de población o el crecimiento de los ya existentes, por lo que se reconoce como un agente poblador, con una influencia tal que para mediados del siglo XX se estima que, en algunas regiones, una cuarta parte de los habitantes vivía directamente del cultivo de la fibra (Aguilar, 2013). Al presente, no es raro encontrar habitantes de las actuales regiones algodneras que recuerdan la época de bonanza del oro blanco y el impacto positivo para las comunidades en donde se desarrolló este cultivo (comunicación personal<sup>52</sup>), ya sea porque representaban una fuente de trabajo directo o debido a los ingresos indirectos.

A pesar del desarrollo económico, de acuerdo con los antecedentes históricos y naturales, al presente existe un apego menor de la población de estas regiones agroindustriales hacia la planta, a diferencia de lo que ocurre en otras regiones con las comunidades indígenas (Pérez Mendoza *et al.*, 2012). Aguilar (2013) señala que durante la época de mayor auge del algodón en el norte hubo ferias, reinas de belleza, cantinas y equipos de béisbol que aludían cultivo<sup>53</sup>, reflejo de lo que fue su importancia social en dichas regiones. La FAO señala la estrecha relación que existe entre algunos cultivos y la cultura local, como el caso del arroz en el sureste asiático, la papa en la región andina de Sudamérica y por supuesto el maíz en México<sup>54</sup>. A pesar de la relevancia del algodón en las culturas mesoamericanas, en donde se relacionó incluso con algunas deidades<sup>55</sup>, su cultivo industrial en el norte de México estuvo (y está) desprovisto de simbolismos de esta naturaleza. El caso del algodón en La Laguna y Chihuahua representa un ejemplo interesante, toda vez que su desarrollo en estas regiones no está directamente relacionado con los conocimientos ancestrales o tradicionales asociados a su domesticación (como en los ejemplos anteriores), sino que surge como parte de la agroindustria característica del norte del país, basada en conocimientos técnicos y científicos que hicieron posible

---

<sup>52</sup> El autor del estudio participó en diferentes procesos de consulta indígena respecto a la liberación de algodón GM en las regiones algodneras del país (2017-2018). En dicha actividad, miembros de mayor edad de las comunidades indígenas manifestaron que en su momento las plantaciones de algodnero eran una de las principales fuentes de empleo.

<sup>53</sup> En 1940 se crea el equipo de beisbol “Unión Laguna de Torreón”, durante el periodo de mayor productividad de esta fibra, ya que de acuerdo a diferentes autores, durante este periodo se alcanza la mayor superficie de cultivo y producción registrada para la región lagunera (Aguilar, 2013; Rocha Munive *et al.*, 2018). Después de diferentes etapas, actualmente el equipo continúa activo bajo el nombre de “Algodoneros de Unión Laguna”.

<sup>54</sup> <http://www.fao.org/in-action/accenting-the-culture-in-agriculture/es/>

<sup>55</sup> De acuerdo con Gajewsk (2015), la cultura huasteca nombra *Ixcuina*, señora del maguey o del algodón, a la diosa Tlazolteotl.

la “agriculturización<sup>56</sup>” del desierto (Aguilar, 2013; Cerutti, 2015; Corona-Páez, 2009; Manzanares, 2016; Muro-Perez *et al.*, 2012).

En este escenario, no resulta extraña la necesidad (o dependencia) tecnológica del sector agrícola (e.g. infraestructura, maquinaria, fertilizantes), por lo que algunos autores señalan que no se puede concebir a la agricultura nortea del país sin tecnología (Aguilar, 2013; Cerutti, 2015), en parte por la estrecha relación con EE. UU. (Cerutti, 1994). No obstante, la pregunta de en qué medida es vulnerable un sistema que cuenta con diversos elementos para adaptarse a condiciones poco favorables, se basa en el hecho de que la agricultura es uno de los sectores con mayor grado de vulnerabilidad a factores de impacto y estrés ocasionados por disturbios climáticos, biológicos y económicos (Baethgen, 1997). Como se mencionó anteriormente, la literatura especializada señala la relevancia de la exposición que sufre de esta actividad a diferentes perturbaciones de origen hidrometeorológico (e.g. lluvias intensas, heladas, granizadas o sequías), que, en caso de ocurrencia, pueden tener dimensiones catastróficas. Esta es la razón por la que el análisis de la vulnerabilidad ha cobrado especial relevancia en los últimos años, alcanzando su inserción en el diseño de estrategias y políticas públicas<sup>57</sup> para afrontar los retos ocasionados por el cambio global (IPCC, 2014; Nazari *et al.*, 2015). Sin embargo, en un escenario donde los sistemas altamente tecnificados se conceptualizan como unidades con mayor disponibilidad de recursos, el estudio de su vulnerabilidad ha sido poco profundizado.

En este trabajo, se plantea que la vulnerabilidad de los SSE representa una de las aristas de la condición no sostenibilidad ampliamente señalada para la agricultura industrial. Si se conceptualiza a la sostenibilidad como un estado en el que se conserva la integridad estructural y funcional del ecosistema, el bienestar es mayor y la equidad social es avanzada (Redman, 2014), diversos factores asociados a la vulnerabilidad y sus dimensiones pueden afectar directamente dicho estado. La degradación del ecosistema puede derivar en factores de mayor exposición (e.g. incremento de temperaturas asociadas al cambio climático, acuíferos sobreexplotados) y sensibilidad (e.g. menor disponibilidad de agua para riego, pérdida de fertilidad del suelo); mientras que, por su parte, la distribución desigual de recursos impacta directamente en la capacidad de los sistemas para responder ante factores de impacto y estrés. En conjunto, el nivel de vulnerabilidad puede visualizarse como una condición contraria a la sostenibilidad, en donde si bien un menor nivel de vulnerabilidad no

---

<sup>56</sup> Cerutti (2015) acuña este término para referirse al periodo de gran expansión de la infraestructura agrícola en el norte del país, particularmente durante el siglo XX.

<sup>57</sup> EL instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático ha abordado la metodología del IPCC para el desarrollo del Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático, con cobertura nacional: <https://atlasvulnerabilidad.inecc.gob.mx/>.

implica directamente un estado sostenible, la vulnerabilidad alta si se asocia con un estado de “insostenibilidad”.

La experiencia sobre los estudios de vulnerabilidad en sistemas altamente tecnificados señala que las limitaciones de recursos son un factor relevante, particularmente en ambientes poco favorables. Ahumada-Cervantes y colaboradores (2014b), analizaron la vulnerabilidad local (áreas geoestadísticas básicas) en un municipio con alta productividad agrícola del norte de México, encontrando que menos del 50 % de las unidades de estudio son vulnerables al CC, dada la combinación de factores sociales y climáticos que reducen la vulnerabilidad. En el caso de los sistemas agrícolas del sureste de Arizona, EE.UU., desarrollados en condiciones de alta tecnificación, el estudio realizado por Coles & Scott (2009) señala que la vulnerabilidad se relaciona principalmente con las restricciones para obtener agua de riego, particularmente en periodos de sequía. Estos ejemplos muestran que aun en condiciones de alta tecnificación, existen factores con el potencial para limitar la actividad agrícola (e.g. fenómenos hidrometeorológicos y escasez de recursos).

En el caso particular del algodón, Rivas (2013) menciona que es uno de los cultivos comerciales más vulnerables desde el punto de vista biológico, ya que de acuerdo con los expertos se han detectado múltiples fitopatologías asociadas a este cultivo. Andrews (1950) señala que las pérdidas ocasionadas por el picudo del algodonnero en el llamado *cotton belt*<sup>58</sup>, durante el periodo de 1909 a 1929, superaron los 250 millones de dólares. En el caso de México, esta fue una de las principales causas del colapso algodonnero en los ciclos 1965/1966 y 1992/1993<sup>59</sup> (Rocha Munive *et al.*, 2018), aun cuando en otras regiones el colapso inició prematuramente debido a cuestiones económicas e hídricas (Aguilar, 2013). No obstante, la implementación de diferentes herramientas tecnológicas y programas de cooperación internacional, han reducido el impacto de las principales plagas del algodonnero: el picudo y el gusano rosado. Actualmente, tanto Chihuahua como la Comarca Lagunera se encuentran libres de estas plagas y cuentan con el estatus de zonas libres (SENASICA)<sup>60</sup>; debido a lo anterior, esta variable asociada a la vulnerabilidad del SSE no fue considerada de manera directa, sino a través de las acciones de control y recursos destinados a su operación.

---

<sup>58</sup> El cotton belt (cinturón algodonnero) del sur de EE. UU. comprendió en su primera etapa desde Carolina del Norte hasta la parte central de Texas, incluyendo Georgia, Alabama, Mississippi, gran parte de Arkansas, Luisiana y Oklahoma; en su segunda etapa (después de 1920) se incorporaron los estados con sistemas de riego de pozos profundos: Nuevo México, Arizona y California (Grijalva, 2014).

<sup>59</sup> El Picudo del algodonnero (*A. grandis*) es un coleóptero cuya distribución natural sugiere una historia evolutiva estrecha con *G. hirsutum* (Jones, 2001).

<sup>60</sup> Mediante Acuerdos diversos publicados en el Diario Oficial de la Federación, el SENASICA ha establecido zonas libres de picudo de algodonnero y gusano rosado en diferentes entidades del norte del país, incluyendo las regiones de estudio: <https://www.gob.mx/senasica/documentos/picudo-del-algodonnero>.

Por lo tanto, el análisis de la vulnerabilidad se realizó con base en diferentes variables que son relevantes para el cultivo del algodón de acuerdo con la unidad de estudio (municipio); no obstante, el primer reto fue precisamente obtener información para dicha escala. En el caso del SSE del algodón, no existe información desagregada por municipio para variables relevantes que pueden contribuir a determinar la vulnerabilidad del sistema. Dentro estas se encuentra el número de agricultores que llevan a cabo la actividad<sup>61</sup>, la maquinaria específica con la que se cuenta para el desarrollo del cultivo (e.g. sembradoras, cosechadoras), las características de las unidades de producción (e.g. superficie, tenencia de la tierra, extensión, tipo de infraestructura de riego), las prácticas de manejo (e.g. tipo de manejo fitosanitario, tipo de semillas, costo de producción) y la rentabilidad, así como dinámicas o condiciones particulares de los ecosistemas (e.g. interacciones ecológicas, degradación del suelo). En consecuencia, es importante señalar que para la elección de las variables que construyeron las dimensiones de la vulnerabilidad (subíndices), el criterio de filtrado primario fue la disponibilidad de información, dada la falta de datos puntuales y el reto de generar esta información en campo para los 34 municipios analizados.

Con base en lo anterior, el subíndice de exposición, construido a partir de 7 variables que consideran eventos extremos, factores climáticos y problemáticas ambientales (Monterroso *et al.*, 2014), determinó que la mitad de los municipios analizados para Chihuahua (12) y nueve de los 10 municipios en La Laguna presentan un grado de exposición de media a alta. En estos resultados, a pesar de que la literatura especializada señala a la sequía como uno de los principales factores de mayor impacto para la agricultura, en el caso de Chihuahua el modelo analizado presentó mejor ajuste respecto a la variable “riesgo de granizadas”, mientras que en la laguna el principal factor de exposición fue la “sobreexplotación de acuíferos”. Juárez resultó el municipio con mayor grado de exposición en Chihuahua, y al menos para este caso, el resultado obtenido puede ser justificado debido a que el granizo es uno de los factores asociados a pérdidas importantes durante la etapa reproductiva del algodón (Chávez, 2017), y forma parte de los fenómenos hidrometeorológicos considerados por el CENAPRED para la emisión de declaratorias de desastres. Por su parte, el tema de la sobreexplotación de acuíferos en La Laguna ha sido abordado en diferentes investigaciones, las cuales reconocen a éste como el principal problema de dicha región agrícola (Boochs *et al.*, 2014; García-Salazar *et al.*, 2006; Wolfe, 2014). Cabe resaltar que en concordancia con lo señalado por algunos autores, los resultados obtenidos muestran que la exposición es una condición espacio-

---

<sup>61</sup> La información fue solicitada al SIAP, mediante la Plataforma Nacional de Transparencia (PNT); no obstante, pese a que la fracción VIII del artículo 2 de dicho Servicio señala que cuenta con la atribución de actualizar y validar directorios y padrones de productores agroalimentario, la información no fue proporcionada bajo el argumento de que no se contaba con dichos insumos.

temporal (Adger, 2006; Eakin & Leurs, 2006; IPCC, 2012), toda vez que dependiendo de la ubicación del sistema, existirá mayor probabilidad de experimentar impactos o estrés a determinados factores. Además de los fenómenos hidrometeorológicos que impactan sobre el SSE, la asociación de la exposición con la sobreexplotación de acuíferos, como problema ambiental, muestra que las condiciones del subsistema de recursos tienen gran relevancia para la vulnerabilidad, principalmente con el *stock* o suficiencia de recursos (Barratt & Allison, 2014).

En el caso del SSE de algodón en las regiones de estudio, con climas árido y semiárido, la ocurrencia de fenómenos de sequía no resultó el principal factor de exposición, de acuerdo al coeficiente de correlación; no así para a nivel municipal, en donde los municipios con mayor exposición experimentan los efectos de este fenómeno. En concordancia, el estudio realizado por Monterroso y colaboradores (2014) determinó que la sequía es uno de los factores de exposición con mayor impacto para el sector agrícola; mientras que la CONAGUA, dado su objetivo, ha elaborado diferentes estudios sobre la vulnerabilidad a este fenómeno en diferentes zonas del país, demostrando que para gran parte del estado de Chihuahua, la exposición del sector agrícola a este fenómeno es alta; mientras que para la Comarca Lagunera la influencia de la sequía es menor (SEMARNAT, sin año). En estos escenarios, resulta interesante señalar que el algodonnero, a diferencia de otros cultivos, presenta cierta tolerancia al estrés hídrico (Quisenberry *et al.*, 1981); no obstante, en La Laguna y en menor medida en Chihuahua, esta condición de tolerancia puede perder relevancia dadas las limitaciones de recursos hídricos, particularmente ocasionados por la sobreexplotación de fuentes subterráneas. De esta manera es importante señalar que, en este estudio, las variaciones climáticas y fenómenos extremos tienen menor relevancia para el SSE de algodón que las problemáticas relacionadas con los recursos hídricos; sin embargo, un análisis que integre escenarios de CC y proyecciones sobre la sequía, podría modificar la relevancia de este fenómeno.

Con relación a la sensibilidad del SSE, a priori, la elección de variables debe suponer una asociación con el nivel de respuesta y susceptibilidad del sistema; no obstante, las hipótesis pueden verse afectadas por la disponibilidad de información a la escala requerida. Por ejemplo, las características de la población frecuentemente son utilizadas como variables relacionadas con la sensibilidad, particularmente el grado de escolaridad bajo el supuesto de que un mayor grado puede contribuir a disminuir el nivel de afectación debido a la exposición a factores de estrés e impacto (Ahumada-Cervantes *et al.*, 2014b; Monterroso *et al.*, 2014). No obstante, este tipo de información es difícil de obtener, particularmente para el sector de productores de algodón en cada municipio, además de que no solo debería ser considerado el grado escolar, si no el tipo de conocimiento o perfil de los productores. En este sentido, es importante mencionar que aun cuando pudieran existir otros

descriptores de la sensibilidad del SSE de algodón (e.g. la dependencia de los agricultores sobre la producción de algodón, el tipo de sistema de riego, la propiedad de las parcelas agrícolas), en el presente trabajo se seleccionaron aquellos atributos que describen las condiciones o contexto en el que se desarrolla el sistema, tomando en cuenta que las variables seleccionadas no presentaran algún tipo de relación redundante para el resultado (colinealidad).

De esta manera, la sensibilidad del SSE del algodón, evaluada a partir de siete variables relacionadas con el desempeño agronómico, económico y la disponibilidad de recursos hídricos, muestra la susceptibilidad del sistema y grado de respuesta ante los factores de estrés e impacto. La sensibilidad de seis de 24 municipios en Chihuahua fue de alta a muy alta, y se asoció en mayor medida con la superficie sembrada (promedio) y en segundo término con el valor de la producción, ambas proporcionalmente inversas a la sensibilidad (e.g. a menor superficie sembrada mayor sensibilidad). Por su parte, en la Comarca Lagunera ocho de 10 municipios presentaron sensibilidad de alta a muy alta, con mayor ajuste a las variables superficie sembrada, uso consuntivo de agua subterránea y el valor de la producción. Es importante señalar que la sensibilidad por municipio es producto del aporte individual de cada variable considera en el estudio, de acuerdo con el método empleado, el cual asigna pesos iguales a cada una de éstas (Monterroso *et al.*, 2014; Ahumada-Cervantes *et al.*, 2014b). En el caso de los municipios con mayor sensibilidad, además de aquellas variables que presentan un coeficiente de correlación mayor, la variable relacionada con la disponibilidad de los recursos hídricos debe considerarse relevante en ambientes con precipitaciones escasas, particularmente en las unidades de recursos con problemas documentados de disponibilidad.

Por su parte, la capacidad adaptativa del SSE de algodón dependió de aquellos recursos o elementos que le permiten llevar acabo determinadas etapas de la cadena productiva afrontando el efecto de factores de estrés e impacto. En este estudio se consideró principalmente la infraestructura para la comercialización y los recursos económicos para afrontar contingencias climáticas y sanitarias, como aquellas variables relacionadas directamente con la habilidad del sistema para enfrentar, recuperarse y posiblemente adaptarse ante diferentes retos. Con estos parámetros, en el caso de Chihuahua el número de despepitadoras, los subsidios de aseguramiento y los recursos destinados a la operación de campañas fitosanitarias fueron las variables con mayor ajuste al modelo desarrollado; al igual que en el caso de la Comarca. Las despepitadoras son el eslabón que vincula la producción en campo con la industria textil, por lo que su ubicación en las áreas de producción permite la comercialización, disminuyendo costos de transporte y posible merma en la calidad de la fibra, toda vez en los despepites ésta se selecciona y se empaca (FAO-SAGARPA, 2014). Las campañas fitosanitarias por su parte, corresponden a acciones del gobierno federal, en coordinación con autoridades fitosanitarias

de EE.UU. (SENASICA-USDA), que han permitido controlar y en algunos casos erradicar las dos plagas que en otras décadas colapsaron a la industria debido al elevado costo de control: el gusano rosado y el picudo del algodnero (SENASICA<sup>62</sup>) Por otra parte, los fondos y subsidios de aseguramiento representan uno de los principales mecanismos para afrontar la incidencia de los factores de riesgo como fenómenos naturales, biológicos, tecnológicos, de aprovisionamiento de insumos y comercialización. Considerando lo anterior, es notable señalar que solo cinco municipios en Chihuahua y tres en La Laguna presentan una capacidad adaptativa de alta a muy alta, mientras que el resto presenta una habilidad de respuesta de media a baja, lo que resulta notable en escenarios agrícolas que se perciben como altamente financiados y tecnificados.

El punto sobre qué otras variables en un sistema industrial tienen relevancia para afrontar diversos factores de cambio y estrés puede considerarse redundante, pero es relevante si tomamos en cuenta que existen cultivos que en la actualidad solo se desarrollan en este tipo de sistemas altamente expuestos. En un sistema productivo que se desarrolla completamente bajo riego, la diferencia entre unidades puede depender no solo de la disponibilidad de líquido, sino del tipo de sistema de riego implementado, con énfasis en la eficiencia de esta práctica. De igual manera, la mano de obra necesaria para labores de siembra y cosecha (pizca), una de las principales fuentes de empleo en el llamado episodio algodnero (Aguilar, 2013), actualmente es sustituida por maquinaria agrícola en muchas regiones, por lo que es relevante conocer si existen diferencias en su empleo. Por otra parte, la diversidad de variedades de algodnero, diversidad de obtentores y tecnologías, son variables que puede abonar a un análisis más profundo de la capacidad adaptativa del SSE a nivel municipal o cuando menos regional. Por lo tanto, si bien en el presente estudio se consideraron variables relacionadas con la capacidad del sistema para afrontar diversos factores de estrés e impacto, existen otros elementos que pueden caracterizar de manera robusta dicha habilidad del SSE, incluyendo los propios sistemas de gobernanza que rigen el desarrollo de la actividad.

Finalmente, destaca que la vulnerabilidad del SSE en ambas regiones presentó mayor relación con la capacidad adaptativa y la sensibilidad del sistema que con la exposición a factores de impacto y estrés. En Chihuahua, se estimó que en cerca de 30 % de los municipios que realizan el cultivo de algodnero, la vulnerabilidad fue alta y muy alta, en los cuales las dimensiones determinantes para dicha condición corresponden a la sensibilidad y capacidad adaptativa, incluso en escenarios de baja exposición, como en el caso de La Cruz, Coronado y Galeana. No obstante, sobresale el hallazgo de que 33 % de los municipios en la entidad que presentan vulnerabilidad baja, concentran cerca del 70

---

<sup>62</sup> <https://www.gob.mx/senasica/documentos/plagas-reglamentadas-del-aldonero-110920>.

% de la producción de la fibra, algunos de ellos con condiciones de alta exposición a la sequía, como el caso de Buenaventura y Ascensión. Por su parte la Comarca Lagunera, con mayor vulnerabilidad que Chihuahua (en términos de porcentaje de municipios), su condición vulnerable tiene estrecha relación con la alta sensibilidad y baja capacidad adaptativa del sistema, destacando el caso de San Pedro y Nazas, los dos municipios de la región Lagunera con baja vulnerabilidad asociada a una capacidad adaptativa alta. No obstante, aun cuando existen similitudes en los determinantes de la vulnerabilidad entre regiones, las condiciones o factores de exposición son diferentes y mayores en el caso de la Comarca Lagunera, particularmente con relación a la sobreexplotación de acuíferos, situación que influye en gran medida para que el 80 % de los municipios que producen algodón en esta región presenten vulnerabilidad alta o muy alta. Sin embargo, destaca que el 68 % de la producción de algodón se realice en condiciones de baja vulnerabilidad, en el principal municipio algodónero de la región: San Pedro, Coah., con alta frecuencia de sequía y problemas de acuíferos sobre explotados.

Considerando que la vulnerabilidad del SSE de algodónero es el grado de susceptibilidad o predisposición para ser adversamente afectado (IPCC, 21014), incluyendo cambios en su trayectoria que afecten su identidad, en el presente estudio se trató de determinar además de los factores de impacto y estrés, aquellos relacionados con las condiciones del sistema que influyen en el grado potencial de daño, es decir la sensibilidad. Por ejemplo, en cuanto a la superficie sembrada, se consideró que las extensiones de algodónero con menor representatividad a nivel municipal son más susceptibles al daño debido a que cuentan con un menor número de productores asociados, los cuales, ante ciertas condiciones desfavorables, tienen mayor posibilidad de abandonar la actividad, comprometiendo la continuidad del sistema. Al respecto, una variable asociada con la superficie de cultivo que no fue incluida por falta de datos es el número de familias que dependen directamente de la producción de la fibra, ya sea como agricultores, prestadores de servicios o jornaleros. A priori, pudiera suponerse que una mayor dependencia de la actividad a nivel municipal resultaría en una mayor susceptibilidad dada la extensión de cultivo y el número de familias dañadas por diversos factores. Pereira y colaboradores (2014) relacionaron positivamente el porcentaje de población vinculada a la actividad agrícola con un nivel mayor de susceptibilidad; no obstante, el estudio se dirigió a pequeños agricultores con menor grado de tecnificación. De manera contrastante, en este estudio se plantea que dado el enfoque de la política pública aplicada en las últimas décadas a favor de la agricultura empresarial o industrial (Cuevas *et al.*, 2011), una mayor extensión agrícola o de valor de la producción (o en su caso, un mayor número de agricultores) representa un sector de mayor preponderancia (Fox & Haight, 2010), con mayor peso para la demanda de recursos a través de escalas locales, regionales e incluso nacional, dinámica que abona a la capacidad adaptativa.

Por otra parte, en este estudio la relación entre vulnerabilidad del SSE del algodón con la sostenibilidad se reflejó particularmente a través de las condiciones de los recursos hídricos. El agua es un elemento fundamental para el desarrollo de la actividad agrícola, su disponibilidad es un factor que permite incrementar la intensificación y productividad de los cultivos. En el caso del algodón lagunero, el desarrollo del SSE fue posible en gran medida por la disponibilidad del recurso a partir de los afluentes de los ríos Aguanaval y Nazas (Aguilar, 2013; Cerutti & Rivas, 2018), fuentes importantes para la recarga de acuíferos (Araiza & Palern, 2008; Salas Quintanal, 2015). Si bien es un recurso renovable, diferentes autores señalan que en realidad se trata de un recurso finito, dado que su sobreexplotación ha impactado en su disponibilidad y calidad en distintas regiones agrícolas (Wolfe, 2013; Troyo-Diéguez et al., 2010); La Laguna es un ejemplo notorio de dicha problemática (Guijarro *et al.*, 2009). En México, las superficies de producción del algodónero forma parte de los 6.46 millones de ha equipadas con algún tipo de sistema de riego, cifra que representa aproximadamente 30 % de la superficie agrícola del país (INEGI; CONAGUA); no obstante, Chihuahua, Coahuila y Durango, junto con Baja California, Sinaloa y Sonora, concentran la mayor proporción de superficie de riego a nivel nacional.

En un escenario donde 77 % del agua que se utiliza en el país se destina a la agricultura y 12 % de ésta corresponde a fuentes subterráneas, la producción de algodónero en determinadas regiones puede ser no solo vulnerable, sino insostenible. Diferentes trabajos señalan que el modelo agroindustrial se relaciona con procesos de agotamiento de acuíferos (y la salinización de suelos resultantes), particularmente en regiones áridas y semiáridas (Muro-Pérez & Sánchez-Salas, 2012; Rodríguez, 2003; Soto Mora, 1981). De acuerdo con los índices de productividad, la eficiencia del uso de agua para riego en general es baja debido al tipo de infraestructura y al manejo de la práctica (Saénz *et al.*, 2002). Aun cuando existe la percepción de mayor productividad asociada a la agricultura de riego, Montesillo-Cedillo señala que no hay diferencias en el rendimiento de maíz por hectárea en sistemas de riego y temporal (2016), de igual manera que en el sorgo y el frijol en ambos sistemas (2017). Sin embargo, en el caso del algodónero no hay comparadores ya que el último registro del SIAP sobre la producción del algodón de temporal, corresponde al 2015 en Coahuila, donde el rendimiento bajo riego fue 2.6 veces mayor que el de secano. Por lo tanto, cuando se habla de la vulnerabilidad (e insostenibilidad) del modelo agroindustrial, es necesario considerar las alternativas para un cultivo que actualmente depende completamente de la infraestructura de riego, ubicado en regiones áridas y semiáridas con problemáticas como la sobreexplotación de acuíferos y recurrencia de sequías.

Profundizando en este punto, ya se señaló que de acuerdo con el desarrollo histórico del algodónero en el norte de México, así como la vulnerabilidad del SSE estimada el recurso más importante es el

agua. Aun cuando el SIAP reportó que para el año 2000 se sembraron aproximadamente 3 700 ha de algodón de temporal en San Luis Potosí y Veracruz, después de ese año todo al algodoneo se ha cultivado en los estados norteños del país<sup>63</sup>. La tolerancia de la planta a las condiciones de estrés hídrico puede ser limitada en climas áridos y semiáridos, con recurrentes periodos de sequías. En este sentido, la posibilidad de reubicar la producción de algodón a las otrora zonas de cultivo presenta dos complicaciones evidentes: los aspectos sanitarios y la disponibilidad de variedades adaptadas a otras regiones agrícolas. En el caso de los aspectos sanitarios, Jones (2011) señala que, en la Península de Yucatán, en Oaxaca y en las zonas costeras del Golfo de México, se distribuyen varias especies del género *Hampea*, malvácea que se considera hospedero natural del picudo del algodoneo, la plaga cuyo control es la más costosa económica y ambientalmente (García *et al.*, 2017; Rocha-Munive, 2018). Con relación a la disponibilidad de variedades de algodón, en la actualidad los materiales son provistos por empresas transnacionales cuyos híbridos están adaptados a regiones ecológicas que México comparte con EE. UU., lo que puede dificultar su desarrollo en zonas del trópico mexicano. Además, tomando en cuenta que la mayor parte del cultivo se realiza con variedades transgénicas, es importante señalar que, de acuerdo con la normatividad vigente, su uso en regiones consideradas centro de origen y diversidad de *G. hirsutum* no está permitido<sup>64</sup>. Dada la complejidad señalada, la SAGARPA (actualmente SADER), en su diagnóstico del algodón mexicano realizado en 2017, señala como áreas potenciales para la expansión del cultivo solo a los estados de Jalisco, Nayarit y San Luis Potosí. Por lo tanto, en la actualidad sigue vislumbrándose al norte como la principal zona algodonea, mediada por factores ecológicos, tecnológicos y socioeconómicos, toda vez que a pesar del estrés hídrico que experimenta esta región, el requerimiento de agua para el cultivo algodoneo es menor que el de los granos, forrajes, hortalizas y frutales (INIFAP, 2017a, 2017b), por lo que es una opción viable en este tipo de agroecosistemas.

Por otra parte, si bien la sostenibilidad del sistema se encuentra amenazada por el estado de los recursos hídricos, un factor relevante de vulnerabilidad que no fue posible analizar (dado que no se cuenta con datos a nivel municipal<sup>65</sup>), es la dependencia tecnológica respecto a las variedades

---

<sup>63</sup> En el 2011 el SIAP reportó la siembra de 21 ha en Yucatán, mientras que en el 2013 se registraron siete ha en Colima, ambos bajo riego.

<sup>64</sup> El artículo 88 de la LBOGM señala que en los centros de origen y de diversidad genética de especies vegetales solo se permitirá la realización de actividades con OGMs cuando se trate de OGMs distintos a las especies nativa. Si bien estas zonas no están determinadas para el algodón, existe elementos para señalar diversas regiones del país como centros de origen y de diversidad biológica de este cultivo (Rocha-Munive *et al.*, 2018; Wegier *et al.*, 2011).

<sup>65</sup> En el caso de las variedades no GM disponibles en las regiones de estudio, de acuerdo a lo señalado en las agendas técnicas del INIFAP, éstas corresponden a híbridos desarrollados o comercializados por las mismas compañías y pueden ser utilizarse en las mismas parcelas donde se cultiva algodón GM, como refugios para evitar el desarrollo de resistencia a las proteínas Bt.

utilizadas. Como se mencionó, la totalidad del algodónero corresponde a híbridos, en su mayoría con rasgos transgénicos de resistencia a insectos lepidópteros (gusano rosado) y/o tolerancia a herbicidas (glifosato, glufosinato de amonio y dicamba) (Rocha-Munive *et al.*, 2018), los cuales son comercializados solo por dos empresas transnacionales: Bayer y BASF. A pesar de los esfuerzos de conservación *in situ* de algodón semidomesticado en diferentes regiones de México (Pérez-Mendoza *et al.*, 2016), el “abandono” de la investigación e innovación nacional para un cultivo del que México es centro de origen y diversidad (Suárez, 1982), aunado a la percepción negativa de la biotecnología agrícola (Álvarez-Buylla & Piñeyro, 2014; Lapegna & Otero, 2016; Serrano, 2013), pone en riesgo la disponibilidad de semillas en caso de que las políticas públicas sobre la bioseguridad de OGMs den un vuelco hacia la restricción de la tecnología<sup>66</sup>. Por lo tanto, aun cuando se podría mencionar que el algodón transgénico ha contribuido de manera positiva sobre el control de plagas, la reducción del uso de agroquímicos y por ende en la rentabilidad del cultivo (Rocha-Munive *et al.*, 2018; Traxler & Godoy-Ávila, 2004; Traxler *et al.*, 2001), el costo actual es la total dependencia sobre variedades desarrolladas por empresas transnacionales, lo que puede abonar a la vulnerabilidad del SSE.

---

<sup>66</sup> En el caso del algodón transgénico, la tecnología ha presentado menor resistencia que el maíz GM y cuenta con 20 años de uso en México; no obstante, la transición del ejecutivo federal ocurrida a finales de 2018 se acompañó de un posicionamiento contrario a la biotecnología agrícola, postura manifestada desde la toma de posesión del actual presidente de México: <https://invdes.com.mx/los-investigadores/transgenicos-o-no-transgenicos-en-mexico-impacto-del-algodon-geneticamente-modificado/>.

## CONCLUSIONES

- El algodonerero en el norte de México puede ser considerado con un SSE que contribuyó al desarrollo de la actividad agrícola y al asentamiento de centros de población. Dicho desarrollo fue posible en gran medida por la implementación de diferentes elementos y prácticas vinculadas al modelo de la agricultura industrial, sin las cuales podría no ser posible llevar a cabo la producción actual de la fibra, considerando que la distribución natural y las regiones históricas de cultivo de la planta se encuentran fuera de las zonas de estudio.
- Aun en escenarios de alta tecnificación, el SSE del algodón en Chihuahua y la Comarca Lagunera presenta diferentes grados de vulnerabilidad, particularmente a la sobreexplotación de recursos hídricos; no obstante, en la mayor parte de los municipios con alta exposición, la recurrencia de sequía fue un factor de gran relevancia. La combinación de dichos factores de estrés e impacto, puede ser un conductor que afecte la trayectoria actual de SSE y comprometer su continuidad, toda vez que el cultivo agroindustrial del algodonerero depende de la disponibilidad de agua para riego, a pesar de ser una planta con cierta tolerancia al estrés hídrico.
- En Chihuahua, la mitad de los municipios son considerablemente vulnerables; sin embargo, la mayor parte de la producción de algodón se realiza en un contexto de baja vulnerabilidad, aun cuando cerca de la mitad de dicha producción se lleva a cabo en tres municipios con condiciones de alta exposición. En estos casos, la baja sensibilidad y alta capacidad adaptativa, asociada a la relevancia de la actividad y la disponibilidad de recursos, permiten al SSE afrontar los factores de impacto y estrés. En general, se puede señalar que la capacidad de respuesta del sistema influye para que la entidad se ubique como el principal productor de la fibra.
- En la Comarca Lagunera la mayor parte de los municipios son altamente vulnerables; a pesar de ello, gran parte de la producción se realiza en condiciones de baja vulnerabilidad, aunque ésta se realiza en un solo municipio con exposición alta a la recurrencia de sequía, principalmente. Dicho municipio presenta baja sensibilidad y alta capacidad adaptativa. El hecho de que un solo municipio concentre la mayor parte de la producción es un factor de riesgo para la continuidad del SSE para una región que por más de un siglo se ha identificado como algodонера. Las condiciones relacionadas con la suficiencia de recursos hídricos pueden ser un factor relevante para el declive de la actividad en esta región.

- La vulnerabilidad del SSE del algodón, como condición multifactorial y multidimensional, aporta elementos para señalar que, con independencia del modelo productivo, la agricultura es una actividad con alta sensibilidad a las variaciones climáticas, eventos extremos, pero también a las condiciones de los recursos con lo que cuenta para su desarrollo. En este sentido, los contextos de alta vulnerabilidad pueden ser relacionados directamente con un estado no sostenible; sin embargo, en el caso del SSE del algodón, un contexto de baja vulnerabilidad no necesariamente se relaciona con un estatus sostenible, toda vez que la concentración de recursos y la dependencia tecnológica son factores con el potencial de impactar negativamente a los ejes de la sostenibilidad.

## Referencias

- Adger, W. N. (2006). Vulnerability. *Global environmental change*, 16(3), 268-281.
- Aguilar, L. A. (2013). *El norte entre algodones: población, trabajo agrícola y optimismo en México, 1930-1970*. El Colegio de Mexico AC.
- Ahumada-Cervantes, R., Velázquez Angulo, G., Flores Tavizón, E., & Romero González, J. (2014a). Impactos potenciales del cambio climático en la producción de maíz. *Investigación y ciencia*, 22(61).
- Ahumada-Cervantes, R., Velázquez-Angulo, G., Rodríguez-Gallegos, H. B., Flores-Tavizón, E., Félix-Gastélum, R., Romero-González, J., & Granados-Olivas, A. (2014). An indicator tool for assessing local vulnerability to climate change in the Mexican agricultural sector. *Mitigation and adaptation strategies for global change*, 22(1), 137-152.
- Ajayi, O. C., Akinnifesi, F. K., Sileshi, G., & Ajayi, A. O. (2009). Agricultural policies and the emergence of cotton as the dominant crop in northern Côte d'Ivoire: Historical overview and current outlook. In *Natural Resources Forum* (Vol. 33, No. 2, pp. 111-122). Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd.
- Almanza Sánchez, M. (2008). Las organizaciones del sector social del Valle del Yaqui: Retrocesos de política agraria. *Frontera norte*, 20(40), 135-167.
- Alquicira, E. A. (2015). Limosna forzosa y la organización familiar maya en Yucatán durante la época colonial. *Dos puntas*, (12), 37-58.
- Altaweel, M. (2008). Investigating agricultural sustainability and strategies in northern Mesopotamia: results produced using a socio-ecological modeling approach. *Journal of Archaeological Science*, 35(4), 821-835.
- Alvarez-Buylla, E., & Piñeyro, A. (2014). El maíz en peligro ante los transgénicos. *Un análisis integral sobre el caso de México. México: uccs*.
- Álvarez Gordillo, G. D. C., Vera Cortés, G., & Ramos Muñoz, D. E. (2016). Vulnerabilidad y patrimonio biocultural en Tacotalpa, Tabasco. *Política y cultura*, (45), 211-239.
- Aparicio, C. A. (2013). Historia económica mundial siglos XVII-XIX: revoluciones burguesas y procesos de industrialización. *Economía Informa*, 378, 60-73.
- Aragón-Durand, F. (2012). Análisis y diseño de medidas e instrumentos de respuesta del sector asegurados ante la variabilidad climática y el cambio climático. Informe Final. Estudio realizado en el marco del Proyecto de la Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (UNFCCC), coordinado por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) con recursos del Global Environment Facility (GEF), a través del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). México.
- Araiza, C. C., & Palerm, J. (2008). Aniegos y agricultura en la parte baja del río Aguanaval. *Boletín del Archivo Histórico del Agua*, (40), 55-63.
- Arias, E. W. O. (2010). Desarrollo textil en la Ciudad de México 1790-1817: La fábrica de Pintados de Francisco Iglesias i Capdevila. In *XIV Encuentro de Latinoamericanistas Españoles: congreso*

*internacional* (pp. 509-515). Universidad de Santiago de Compostela, Centro Interdisciplinario de Estudios Americanistas Gumersindo Busto; Consejo Español de Estudios Iberoamericanos.

Arcos, C., & Varela, G. (1982). Organizaciones gremiales de los empresarios agrícolas. CEPAL.

Armendáriz, G. M., & Rendón, E. C. (2017). Desarrollo histórico del valle de Juárez. *El Colegio de Chihuahua Calle Partido Díaz# 4723 Colonia Progresista, CP 32310 Ciudad Juárez, Chihuahua, México*, 9.

Armillas, P. (1949). Notas sobre sistemas de cultivo en Mesoamérica; cultivos de riego y humedad en la cuenca del Río de las Balsas. In *Anales del Instituto Nacional de Antropología e Historia* (Vol. 6, No. 3, pp. 85-113).

Arriaga, C. L. B. (2009). Implicaciones del cambio de uso de suelo en la biodiversidad de los matorrales xerófilos: un enfoque multiescalar. *Investigación ambiental Ciencia y política pública*, 1(1).

Ávila, G. R., Ríos, P. C., Castillo, I. O., Arellano, J. D. J. E., & Segoviano, R. R. (2017). Establecimiento de la línea base para la evaluación del impacto técnico y socioeconómico de la campaña contra plagas reglamentadas del cultivo del algodón (*Gossypium hirsutum* L.) en el estado de Coahuila, México. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 41(1345-2018-032), 720-731.

Ávila Sandoval, S. (2003). Una reflexión sobre la historia de la economía prehispánica. *Análisis Económico*, 18(39).

Baethgen, W. E. (1997). Vulnerability of the agricultural sector of Latin America to climate change. *Climate Research*, 9(1-2), 1-7.

Balvanera, P., Astier, M., Gurri, F. D., & Zerméño-Hernández, I. (2017). Resiliencia, vulnerabilidad y sustentabilidad de sistemas socioecológicos en México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 88, 141-149.

Barahona, A. (2008). Mendelism and agriculture in the first decades of the XXth Century in Mexico. *A cultural history of heredity IV: Heredity in the century of the gene*, 343.

Barratt, C., & Allison, E. H. (2014). Vulnerable people, vulnerable resources? Exploring the relationship between people's vulnerability and the sustainability of community-managed natural resources. *Development Studies Research. An Open Access Journal*, 1(1), 16-27.

Bartra, R. (1978). *Modos de producción en América Latina*. Cultura Popular.

Bartra, R., & Huerta, E. (1978). *Caciquismo y poder político en el México rural*. Siglo xxi.

Bazant, J. (1964a). Evolución de la industria textil poblana (1544-1845). *Historia Mexicana*, 13(4), 473-516.

Bazant, J. (1964b). Industria algodonera poblana de 1800-1843 en números. *Historia mexicana*, 14(1), 131-143.

Bazdresch-Parada, M. (1994). "Gestión municipal y cambio político", en "Gestión municipal y cambio político", en busca de la democracia municipal, Mauricio Merino (coord.), México, El Colegio de México.

Bezner-Kerr, R., McGuire, K. L., Nigh, R., Rocheleau, D., Soluri, J., & Perfecto, I. (2012). Effects of industrial agriculture on climate change and the mitigation potential of small-scale agro-ecological farms. *Animal Science Reviews* 2011, 69.

Berdan, F. F. (1987). Cotton in Aztec Mexico: production, distribution and uses. *Mexican Studies/Estudios Mexicanos*, 235-262.

- Berkes, F., & Folke, C. (1998). Linking sociological and ecological systems: management practices and social mechanisms for building resilience.
- Berkes, F., Folke, C., & Colding, J. (Eds.). (2000). *Linking social and ecological systems: management practices and social mechanisms for building resilience*. Cambridge University Press.
- Bernecker, W. L. (2005). "La principal industria del país": contrabando en el México decimonónico. *América Latina en la historia económica*, (24), 133-151.
- Binder, C., Hinkel, J., Bots, P., & Pahl-Wostl, C. (2013). Comparison of frameworks for analyzing social-ecological systems. *Ecology and Society*, 18(4).
- Binswanger, H. P., Deininger, K., & Feder, G. (1995). Power, distortions, revolt and reform in agricultural land relations. *Handbook of development economics*, 3, 2659-2772.
- Bodin, Ö., & Tengö, M. (2012). Disentangling intangible social–ecological systems. *Global Environmental Change*, 22(2), 430-439.
- Boochs, P. W., Billib, M., Gutiérrez, C., & Aparicio, J. (2014). Groundwater contamination with arsenic, Región Lagunera, México. *Once Century of the Discovery of Arsenicosis in Latin America (1914-2014) As2014. Interdisciplinary book series: Arsenic in the Environment-Proceedings. Series Editors: J. Bundschuh & P. Bhattacharya, CRC Press/Taylor and Francis*, 132-134.
- Borlaug, N. E., Narvaez, I., Aresvik, O., & Anderson, R. G. 1969. A green revolution yields a golden harvest. *Columbia Journal of World Business*, 4(5), 9-19.
- Brondizio, E. S., & Moran, E. F. (2008). Human dimensions of climate change: the vulnerability of small farmers in the Amazon. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1498), 1803-1809.
- Brubaker, C. L., & Wendel, J. F. (1994). Reevaluating the origin of domesticated cotton (*Gossypium hirsutum*; Malvaceae) using nuclear restriction fragment length polymorphisms (RFLPs). *American journal of botany*, 1309-1326.
- Bunge, M. (2000). *La investigación científica: su estrategia y su filosofía*. Siglo XXI.
- Cáceres, D. (2003). Agricultura orgánica versus agricultura industrial: su relación con la diversificación productiva y la seguridad alimentaria. *Agroalimentaria*, 8(16), 29-39.
- Camiro-Pérez, M. A., Altamirano Cárdenas, R., & Rojas Herrera, J. J. (2009). Retos del crédito agrícola: Estudio de caso de la intermediación financiera en el sur de Sonora, México. *Región y sociedad*, 21(46), 53-78.
- Campos, M., Velázquez, A., & McCall, M. (2014). Adaptation strategies to climatic variability: A case study of small-scale farmers in rural Mexico. *Land Use Policy*, 38, 533-540.
- Campos-Aranda, D. F. (2014). Comparación de tres métodos estadísticos para detección y monitoreo de sequías meteorológicas. *Agrociencia*, 48(5), 463-476.
- Cannon, T. (1994). Vulnerability analysis and the explanation of 'natural' disasters'. En *Disasters, development and environment*, 1, 13-30.
- Cerutti, M. (1994). Empresarios y sociedades empresariales en el norte de México (1870-1920). *Revista de Historia Industrial*, (6), 95-115.

- Cerutti, M. (1997). La Compañía Industrial Jabonera de La Laguna. Comerciantes, agricultores e industria en el norte de México (1880-1925). *Historia de las grandes empresas en México, 1850-1930*, 167-199.
- Cerutti, M. (2015). La agriculturización del desierto: Estado, riego y agricultura en el norte de México (1925-1970). *Apuntes*, 42(77), 91-127.
- Cerutti, M., & Rivas, E. (2018). Especialización agrícola e innovación tecnológica en el norte de México. La comarca de La Laguna en vísperas de la reforma agraria (1920-1936). *Anuario Centro de Estudios Económicos de la Empresa y el Desarrollo*, 4(4).
- Cháirez, A. C., & Palerm, V. J. (2012). Organizaciones autogestivas en los Distritos de Riego: El caso del módulo III San Jacinto en el Distrito de Riego 017. In *Memorias II Congreso de la Red-ISSA, Chapala, 21 al 23 de marzo de 2012*.
- Chakraborty, J., Tobin, G. A., & Montz, B. E. (2005). Population evacuation: assessing spatial variability in geophysical risk and social vulnerability to natural hazards. *Natural Hazards Review*, 6(1), 23-33.
- Challenger, A., Bocco, G., Equihua, M., Chavero, E. L., & Maass, M. (2015). La aplicación del concepto del sistema socio-ecológico: alcances, posibilidades y limitaciones en la gestión ambiental de México. *Investigación ambiental Ciencia y política pública*, 6(2).
- Challenger, A., y J. Soberón. (2008). Los ecosistemas terrestres, en *Capital natural de México*, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. Conabio, México, pp. 87-108.
- Chase, A. F., Chase, D. Z., Zorn, E., & Teeter, W. (2008). Textiles and the Maya archaeological record: Gender, power, and status in Classic period Caracol, Belize. *Ancient Mesoamerica*, 19(1), 127-142.
- Chaudhry, M. R. (2016, March). Cotton breeding: Developments and opportunities. In *33rd International Cotton Conference Bremen* (pp. 16-18).
- Chávez, C. C. R., Picasso, T. C., & Padilla, G. (2017). Economía del valle de Juárez. *El Colegio de Chihuahua Calle Partido Díaz# 4723 Colonia Progresista, CP 32310 Ciudad Juárez, Chihuahua, México*, 21.
- Chowning, M. (1997). Reassessing the Prospects for Profit in Nineteenth-Century Mexican Agriculture from a Regional Perspective: Michoacan, 1810-60. *Stephen Harber,,How Latin America Fell Behind “, Stanford University Press, California*, 179-215.
- Clunies-Ross, T., & Hildyard, N. (2013). *The politics of industrial agriculture*. Routledge.
- Coles, A. R., & Scott, C. A. (2009). Vulnerability and adaptation to climate change and variability in semi-arid rural southeastern Arizona, USA. In *Natural Resources Forum* (Vol. 33, No. 4, pp. 297-309). Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd.
- Colunga-GarcíaMarín, P., & Zizumbo-Villarreal, D. (2004). Domestication of plants in Maya lowlands. *Economic Botany*, 58(sp1), S101-S110.
- CONAGUA, 2017. Estadísticas del agua en México, edición 2016. SEMARNAT.

- Conde, C., Ferrer, R. M., & Liverman, D. (2000). Estudio de la vulnerabilidad de la agricultura de maíz de temporal mediante el modelo CERES-MAIZE. *México: Una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México*, 119-141.
- Corona-Páez S. A. (2009). Producción de algodón en la Comarca Lagunera. De la era virreinal a principios del porfiriato. En Alvarado, A. A., & Rodríguez, M. G. (2009). Relaciones productivas y finanzas en la región centro norte de México, siglos XIX-XX.
- Cotler, H., & Lura, G. D. (2010). Contaminación potencial difusa por actividad agrícola. *Cotler, H.(coord.). Las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y Priorización. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)*.
- Cuevas, R. V., del Moral, J. B., & Ávila, J. A. (2011). El concepto de Sistema Producto como eje de las políticas agropecuarias en México. *Políticas Públicas y Economía*.
- Cutter, S. L. (1996). Vulnerability to environmental hazards. *Progress in human geography*, 20(4), 529-539.
- Cutter, S. L., & Finch, C. (2008). Temporal and spatial changes in social vulnerability to natural hazards. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(7), 2301-2306.
- Cutter, S. L., Boruff, B. J., & Shirley, W. L. (2003). Social vulnerability to environmental hazards. *Social science quarterly*, 84(2), 242-261.
- Da Silva, Carlos et al (Ed), *Agroindustrias para el desarrollo*, FAO, Roma, 2013.
- Dai, A. (2011). Drought under global warming: a review. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 2(1), 45-65.
- Daneels, A. (2015). Archaeological data as evidence of sustainable development: cases from the Gulf Coast of Mexico. *Global Bioethics*, 26(2), 94-106.
- Dasgupta, P., J.F. Morton, D. Dodman, B. Karapinar, F. Meza, M.G. Rivera-Ferre, A. Toure Sarr, and K.E. Vincent, 2014: Rural areas. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 613-657.
- DeLonge, M. S., Miles, A., & Carlisle, L. (2016). Investing in the transition to sustainable agriculture. *Environmental Science & Policy*, 55, 266-273.
- De Rojas, J. L. (1987). La moneda indígena en México. *Revista Española de antropología americana*, (17), 75-88.
- Dicken, S. N. (1938). Cotton regions of Mexico. *Economic Geography*, 14(4), 363-371.
- Domínguez, J. (2016). Revisión histórica de las sequías en México: de la explicación divina a la incorporación de la ciencia. *Tecnología y ciencias del agua*, 7(5), 77-93.

- Drennan, R. D. (1984). Long-distance transport costs in pre-Hispanic Mesoamerica. *American Anthropologist*, 86(1), 105-112.
- Dwyer, A., Zoppou, C., Nielsen, O., Day, S., & Roberts, S. (2004). Quantifying social vulnerability: a methodology for identifying those at risk to natural hazards.
- Eakin, H., & Luers, A. L. (2006). Assessing the vulnerability of social-environmental systems. *Annual review of environment and resources*, 31.
- Eakin, H., Magaña, V., Smith, J., Moreno, J. L., Martínez, J. M., & Landavazo, O. (2007). A stakeholder driven process to reduce vulnerability to climate change in Hermosillo, Sonora, Mexico. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 12(5), 935-955.
- Eakin, H., Winkels, A., & Sendzimir, J. (2008). Nested vulnerability: exploring cross-scale linkages and vulnerability teleconnections in Mexican and Vietnamese coffee systems. *Environmental Science & Policy*, 12(4), 398-412.
- Eakin, H. C., Lemos, M. C., & Nelson, D. R. (2014). Differentiating capacities as a means to sustainable climate change adaptation. *Global Environmental Change*, 27, 1-8.
- Echer, F. R., Oosterhuis, D. M., Loka, D. A., & Rosolem, C. A. (2014). High night temperatures during the floral bud stage increase the abscission of reproductive structures in cotton. *Journal of agronomy and crop science*, 200(3), 191-198.
- Elfawal M. A., Bishr M. A. y E. K.Hassoub. 1976. Natural cross pollination in Egyptian cotton (*Gossypium barbadense* L.). *The Journal of Agricultural Science* 86: 205-209.
- Ellis, E. A., Romero Montero, J. A., & Hernández Gómez, I. U. (2017). Deforestation processes in the state of Quintana Roo, Mexico: the role of land use and community forestry. *Tropical Conservation Science*, 10, 1940082917697259.
- Estrada Torres, O. O., Palomo Gil, A., Espinoza Banda, A., Rodríguez Herrera, S. A., & Ruiz Torres, N. A. (2008). Rendimiento y calidad de fibra del algodón cultivado en surcos ultra-estrechos. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 31(3).
- Evenson, R. E., & Gollin, D. 2003. Assessing the impact of the Green Revolution, 1960 to 2000. *Science*, 300(5620), 758-762.
- Ewald, U. (1977). The von Thünen principle and agricultural zonation in colonial Mexico. *Journal of Historical geography*, 3(2), 123-133.
- FAO-SAGARPA. 2014. Análisis de la cadena de valor en la producción de algodón en México.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA). (2013). Local Mitigation Planning Handbook. US.
- Fischer, G., Shah, M. M., & Van Velthuisen, H. T. (2002). Climate change and agricultural vulnerability.
- Flores, V., J. J., & Gómez, C. M. A. (1981) El despepite de algodón en una empresa transnacional en el sur de Sonora.
- Florescano, M. E., Sancho, C. J. & Pérez, G.A. D. (1980). *Análisis histórico de las sequías en México* (No. 632.12 F5).

- Folke, C. (2006). Resilience: The emergence of a perspective for social–ecological systems analyses. *Global Environmental Change*, 16, 253-267.
- Folke, C., Carpenter, S., Elmqvist, T., Gunderson, L., Holling, C. S., & Walker, B. (2002). Resilience and sustainable development: building adaptive capacity in a world of transformations. *AMBIO: A journal of the human environment*, 31(5), 437-441.
- Folke, C., Hahn, T., Olsson, P., & Norberg, J. (2005). Adaptive governance of social–ecological systems. *Annu. Rev. Environ. Resour.*, 30, 441-473.
- Fowler, D., Steadman, C. E., Stevenson, D., Coyle, M., Rees, R. M., Skiba, U. M., ... & Simpson, D. (2015). Effects of global change during the 21st century on the nitrogen cycle. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 15(24), 13849-13893.
- Fox, J., & Haight, L. (2010). La política agrícola mexicana: metas múltiples e intereses en conflicto. *Woodrow Wilson International Center for Scholars, México*.
- Frison, E. A. (2016). From uniformity to diversity: a paradigm shift from industrial agriculture to diversified agroecological systems.
- Fryxell P. A. 1979. The natural history of the cotton tribe. Texas A & M University Press, College Station, Texas, EUA.
- Fryxell P.A. 1992. A revised taxonomic interpretation of *Gossypium* L. (Malvaceae). *Rheede* 2: 108-165.
- Füssel, H. M., & Klein, R. J. (2006). Climate change vulnerability assessments: an evolution of conceptual thinking. *Climatic change*, 75(3), 301-329.
- Gadelha, I. C. N., Fonseca, N. B. S., Oloris, S. C. S., Melo, M. M., & Soto-Blanco, B. Gossypol Toxicity from Cottonseed Products.
- Gajewska, M. (2015). Tlazolteotl, un ejemplo de la complejidad de las deidades mesoamericanas. *Ab Initio: Revista digital para estudiantes de Historia*, 6(11), 89-126.
- Gallardo Zúñiga, R. Reforma constitucional de 1992. El surgimiento del nuevo derecho agrario mexicano. *Estudios Agrarios*.
- Galvarriato, A. G. (1999). *La industria textil en México*. El Colegio de Michoacán AC.
- Gao, W., Long, L., Tian, X., Xu, F., Liu, J., Singh, P. K., ... & Song, C. (2017). Genome editing in cotton with the CRISPR/Cas9 system. *Frontiers in plant science*, 8, 1364.
- Garavaglia, J. C., & Grosso, J. C. (1996). Indios, campesinos y mercado. La región de Puebla a finales del siglo XVIII. *Historia mexicana*, 245-278.
- García, R. Á., Ríos, P. C., Castillo, I. O., Arellano, J. D. J. E., & Segoviano, R. R. (2017). Establecimiento de la línea base para la evaluación del impacto técnico y socioeconómico de la campaña contra plagas reglamentadas del cultivo del algodón (*Gossypium hirsutum* L.) en el estado de Coahuila, México. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 41(1345-2018-032), 720-731.
- García, A. V. (1993). Las sequías históricas de México. *Desastres y Sociedad*, 1(1), 83-97.

- García, P. A. (1949). Notas sobre sistemas de cultivo en Mesoamérica: cultivos de riego y humedad en la cuenca del Río de las Balsas. In *Anales del Museo Nacional de México* (No. 3, pp. 85-113). Museo Nacional de México.
- García-Salazar, J. A., Guzmán-Soria, E., & Fortis-Hernández, M. (2006). Demanda y distribución del agua en la Comarca Lagunera, México. *Agrociencia*, 40(2), 269-276.
- GEF/CIBIOGEM/CONABIO. 2017. Sistema de Información de Organismos Vivos Modificados (SIOVM). México, D.F.: Proyecto GEF - CIBIOGEM / CONABIO. Fecha de actualización, abril 2017. Disponible en web: [http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/bioseguridad/pdf/20829\\_sg7.pdf](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/bioseguridad/pdf/20829_sg7.pdf)
- Gepts, P. (2008). Tropical environments, biodiversity, and the origin of crops. *Genomics of tropical crop plants*, 1-20.
- Gil, A. P., Mascorro, A. G., & Ávila, S. G. (2003). Rendimiento, componentes del rendimiento y calidad de fibra del algodón en relación con la dosis de nitrógeno y la densidad poblacional. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 26(3), 167-171.
- Gipson JR. 1986. Temperature effects on growth, development, and fiber properties. In JR Mauney, JM Stewart, eds, *Cotton Physiology*. Cotton Foundation, Memphis, TN, pp 47-56.
- Godínez-Montoya, L., García-Salazar, J. A., Fortis-Hernández, M., Mora-Flores, J. S., Martínez-Damián, M. Á., Valdivia-Alcalá, R., & Hernández-Martínez, J. (2007). Valor económico del agua en el sector agrícola de la Comarca Lagunera. *Terra Latinoamericana*, 25(1), 51-59.
- Gómez-Galvarriato, A. (1999). Industrial development under institutional frailty: the development of the Mexican textile industry in the nineteenth century. *Revista de Historia Económica-Journal of Iberian and Latin American Economic History*, 17(S1), 191-223.
- González de Molina, M. (2010). A guide to studying the socio-ecological transition in European agriculture.
- González Estrada, A. (2010). Principios para la clasificación de los sistemas agrícolas. INIFAP.
- González-Estrada, A., & Camacho-Hernández-Antonio, A., & Hansen, A. M. (2011). Uso de plaguicidas en dos zonas agrícolas de México y evaluación de la contaminación de agua y sedimentos. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 27(2), 115-127.
- Gordon, L. J., Peterson, G. D., & Bennett, E. M. (2008). Agricultural modifications of hydrological flows create ecological surprises. *Trends in Ecology & Evolution*, 23(4), 211-219.
- Grijalva, D. A. I. (2014). La economía del algodón en Sonora, México bajo las expectativas del mercado mundial, 1950-1980. *Estudios Rurales*, 4(7), 81-104.
- Guijarro, M. M. G., Balderas, J. S., & Navarrete, L. R. (2009). Indicadores de Desarrollo Sustentable en la Región Lagunera. El caso de Torreón (Coahuila), Gómez Palacio y Lerdo (Durango).
- Harvey, C. A., Rakotobe, Z. L., Rao, N. S., Dave, R., Razafimahatratra, H., Rabarijohn, R. H., ... & MacKinnon, J. L. (2014). Extreme vulnerability of smallholder farmers to agricultural risks and climate change in Madagascar. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 369(1639), 20130089.
- Herrera, E. R., & Correa, J. T. (2005). Evaluación técnica y económica de un sistema de riego por pivote central. *Agro sur*, 33(2), 62-73.

- Hesselberg, J., & Yaro, J. A. (2006). An assessment of the extent and causes of food insecurity in northern Ghana using a livelihood vulnerability framework. *GeoJournal*, 67(1), 41-55.
- Hinkel, J., Bots, P., & Schlüter, M. (2014). Enhancing the Ostrom social-ecological system framework through formalization. *Ecology and Society*, 19(3).
- Horrigan, L., Lawrence, R. S., & Walker, P. (2002). How sustainable agriculture can address the environmental and human health harms of industrial agriculture. *Environmental health perspectives*, 110(5), 445.
- Howden, S. M., Soussana, J. F., Tubiello, F. N., Chhetri, N., Dunlop, M., & Meinke, H. (2007). Adapting agriculture to climate change. *Proceedings of the national academy of sciences*, 104(50), 19691-19696.
- Hufschmidt, G. (2011). A comparative analysis of several vulnerability concepts. *Natural hazards*, 58(2), 621-643.
- INIFAP. (2017a). Agenda Técnica Agrícola Chihuahua.
- INIFAP. (2017b). Agenda Técnica Agrícola Coahuila.
- IPCC. (2012). Managing the risk of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. A special report of working groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA.
- IPCC. (2014). Summary for policymakers. In: Field CB, Barros VR, Dokken DJ, Mach KJ, Mastrandrea MD, Bilir TE, Chatterjee M, Ebi KL, Estrada YO, Genova RC, Girma B, Kissel ES, Levy AN, MacCracken S, Mastrandrea PR, White LL (eds). Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Jara-Rojas, R., Osorio, J. D., Manríquez, P., & Rojas, Á. (2012). Classification criteria and commercial profile re-definition of the Family Farm Agriculture in Chile, Maule region. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 44(1), 143-156.
- Jiménez, E. M., Baeza, R. C., Matías, R. L. G. & Eslava, M. H. (2012). Mapas de índices a escala municipal por fenómenos hidrometeorológicos. CENAPRED, México.
- Jones, R. W. (2001). Evolution of the host plant associations of the *Anthonomus grandis* species group (Coleoptera: Curculionidae): phylogenetic tests of various hypotheses. *Annals of the Entomological Society of America*, 94(1), 51-58.
- King, S. M. (2011). Thread production in early Postclassic coastal Oaxaca, Mexico: technology, intensity, and gender. *Ancient Mesoamerica*, 22(2), 323-343.
- Kuntz, S. (1997). Empresa extranjera y mercado interno: el Ferrocarril Central Mexicano, 1880-1907. *Boletín americanista*, (47), 299-300.
- Lapegna, P., & Otero, G. (2016). Cultivos transgénicos en América Latina: expropiación, valor negativo y Estado. *Transgenic Crops in Latin America: Expropriation, Negative Value and State*. *Estudios Críticos del Desarrollo VI (11)*, 19-44.
- Lassaletta, L., & Rovira, J. V. (2005). Agricultura industrial y cambio global. *El ecologista*, 45, 52-55.

- Lei, Y., Yue, Y., Zhou, H., & Yin, W. (2014). Rethinking the relationships of vulnerability, resilience, and adaptation from a disaster risk perspective. *Natural hazards*, 70(1), 609-627.
- Levi, A., Paterson, A. H., Barak, V., Yakir, D., Wang, B., Chee, P. W., & Saranga, Y. (2009). Field evaluation of cotton near-isogenic lines introgressed with QTLs for productivity and drought related traits. *Molecular Breeding*, 23(2), 179-195.
- Liverman, D. M. (1990). Drought impacts in Mexico: climate, agriculture, technology, and land tenure in Sonora and Puebla. *Annals of the Association of American Geographers*, 80(1), 49-72.
- Llewellyn D., Tyson C., Constable G., Duggan B., Beale S. y P. Steel. 2007. Containment of regulated genetically modified cotton in the field. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 121: 419-429.
- Lobato-Sánchez, R. (2016). El monitor de la sequía en México. *Tecnología y ciencias del agua*, 7(5), 197-211.
- López, Á. A. (2007). Elites ganaderas, redes sociales y desobediencia cotidiana en el sur de Veracruz a finales del siglo XVIII. *Historia Mexicana*, 779-816. **Capítulo II.**
- Lüdeke, M. K., Petschel-Held, G., & Schellnhuber, H. J. (2004). Syndromes of global change: the first panoramic view. *GAIA-Ecological Perspectives for Science and Society*, 13(1), 42-49.
- Machado, S., & Paulsen, G. M. (2001). Combined effects of drought and high temperature on water relations of wheat and sorghum. *Plant and Soil*, 233(2), 179-187.
- Manzanares Rivera, J. L. (2016). Hacer florecer al desierto: Análisis sobre la intensidad de uso de los recursos hídricos subterráneos y superficiales en Chihuahua, México. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 13(77), 35-61.
- Marcus, J., and C. Stanish, eds. 2006. *Agricultural strategies*. Los Angeles: Cotsen Institute of Archaeology.
- McCafferty, S. D., & McCafferty, G. G. (2000). Textile Production in Postclassic Cholula, Mexico. *Ancient Mesoamerica*, 11(1), 39-54.
- McGinnis, M., & Ostrom, E. (2014). Social-ecological system framework: initial changes and continuing challenges. *Ecology and Society*, 19(2).
- Meredith, W. R. y R. R. Bridge 1973. Natural crossing in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) in the Delta of Mississippi. *Crop Science* 13: 551-552.
- Miller, F., Osbahr, H., Boyd, E., Thomalla, F., Bharwani, S., Ziervogel, G., ... & Hinkel, J. (2010). Resilience and Vulnerability: Complementary or Conflicting Concepts?. *Ecology and Society*, 15(3), 11.
- Miranda, W. R. (2008). Caracterización de la producción del cultivo de algodónero (*Gossypium hirsutum*, L.) en la Comarca Lagunera. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 23, 696-705.
- Mishra, A. K., & Singh, V. P. (2010). A review of drought concepts. *Journal of hydrology*, 391(1-2), 202-216.
- Moffett J. O., Stith L. S., Burkhardt C. C. y C. W. Shipman. 1975. Honey bee visits to cotton flowers. *Environmental Entomology* 4: 203-206.
- Monterroso Rivas, A. (2012). *Contribución al estudio de la Vulnerabilidad al Cambio Climático en México* (Doctoral dissertation, Tesis de Doctorado en Geografía, Posgrado de la Facultad de filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México).

- Monterroso, A., Conde, C., Gay, C., Gómez, D., & López, J. (2014). Two methods to assess vulnerability to climate change in the Mexican agricultural sector. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 19(4), 445-461.
- Montesillo-Cedillo, J. L. (2017). Rendimiento por hectárea de sorgo grano y de fríjol en México: riego vs temporal. *Economía Informa*, 403, 91-101.
- Montesillo-Cedillo, J. L. (2016). Rendimiento por hectárea del maíz grano en México: distritos de riego vs temporal. *Economía Informa*, 398, 60-74.
- Morett-Sánchez, J. C. (1987). Panorama general de la agroindustria en México. *Revista Geografía Agrícola*, 1-12.
- Morton, J. F. (2007). The impact of climate change on smallholder and subsistence agriculture. *Proceedings of the national academy of sciences*, 104(50), 19680-19685.
- Moser, C. O. (1998). The asset vulnerability framework: reassessing urban poverty reduction strategies. *World development*, 26(1), 1-19.
- Mumby, P. J., Chollett, I., Bozec, Y. M., & Wolff, N. H. (2014). Ecological resilience, robustness and vulnerability: how do these concepts benefit ecosystem management?. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 7, 22-27.
- Muro-Pérez, G., Sánchez-Salas, J., & Alba-Ávila, J. A. (2012). Desarrollo agroindustrial: reseña y perspectiva en la Comarca Lagunera, México. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 11(1).
- Mussetta, P., & Barrientos, M. J. (2015). Vulnerabilidad de productores rurales de Mendoza ante el Cambio Ambiental Global: clima, agua, economía y sociedad. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 47(2), 145-170.
- Nabhan, G. P. (1985). Native crop diversity in Aridoamerica: conservation of regional gene pools. *Economic Botany*, 39(4), 387-399.
- Naranjo, L. G. (Ed.). (2010). *Cambio climático en un paisaje vivo: Vulnerabilidad y adaptación en la Cordillera Real Oriental de Colombia, Ecuador y Perú*. Fundación Natura.
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine - NAS. (2016). *Genetically engineered crops: experiences and prospects*. National Academies Press.
- Nazari, S., Rad, G. P., Sedighi, H., & Azadi, H. (2015). Vulnerability of wheat farmers: Toward a conceptual framework. *Ecological indicators*, 52, 517-532.
- Núñez-López, D., Muñoz-Robles, C. A., Reyes-Gómez, V. M., Velasco-Velasco, I., & Gadsden-Esparza, H. (2007). Caracterización de la sequía a diversas escalas de tiempo en Chihuahua, México. *Agrociencia*, 41(3), 253-262.
- O'Brien, K., Eriksen, S., Nygaard, L. P., & Schjolden, A. (2007). Why different interpretations of vulnerability matter in climate change discourses. *Climate policy*, 7(1), 73-88.
- Ojeda W, Iñiguez M, González JM (2010) Vulnerabilidad de la agricultura de riego de México ante el Cambio Climático. In: Patiño C, Martínez P (eds) Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático.

Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México, vol. III. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 115-142.

Ostrom, E. (2007). A general framework for analyzing sustainability of. In *Proc. R. Soc. London Ser. B* (Vol. 274, p. 1931).

Ouyang, F., Hui, C., Ge, S., Men, X. Y., Zhao, Z. H., Shi, P. J., ... & Li, B. L. (2014). Weakening density dependence from climate change and agricultural intensification triggers pest outbreaks: a 37-year observation of cotton bollworms. *Ecology and evolution*, 4(17), 3362-3374.

Palerm-Viqueira, J. (2005). Gobierno y administración de sistemas de riego. *Región y sociedad*, 17(34), 03-33.

Parry, M., Parry, M. L., Canziani, O., Palutikof, J., Van der Linden, P., & Hanson, C. (Eds.). (2007). *Climate change 2007-impacts, adaptation and vulnerability: Working group II contribution to the fourth assessment report of the IPCC* (Vol. 4). Cambridge University Press.

Paterson, A. H. y Wendel, J. F. 2015. Unraveling the fabric of polyploidy. *Nature Biotechnology* 33(5):491-493.

Pearson, L. and Langridge, J. (2008) 'Climate change vulnerability assessment: Review of agricultural productivity' CSIRO Climate Adaptation Flagship Working paper No.1. Web-ref

Peduzzi, P., Dao, H., Herold, C., & Mouton, F. (2009). Assessing global exposure and vulnerability towards natural hazards: the Disaster Risk Index. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9(4), 1149-1159.

Percheron, N. (1990). Producción agrícola y comercio de la Verapaz en la época colonial. *Mesoamérica*, 11(20), 231-248.

Pereira, D. L., Rocha, J. D., Debortoli, N., Parente, I. I., Eiró, F., Bursztyn, M., & Rodrigues-Filho, S. (2014). Integrated assessment of smallholder farming's vulnerability to drought in the Brazilian Semi-arid: a case study in Ceará. *Climatic change*, 127(1), 93-105.

Pereira, L.D., Rocha, J. D., Debortoli, N., Parente, I. I., Eiró, F., Bursztyn, M., & Rodrigues-Filho, S. (2014). Integrated assessment of smallholder farming's vulnerability to drought in the Brazilian Semi-arid: a case study in Ceará. *Climatic change*, 127(1), 93-105.

Pérez Mendoza, C., Tovar Gómez, M., Obispo Gonzalez, Q., Legorreta Padilla, F. D. J., & Ruiz Corral, J. A. (2016). Recursos genéticos del algodón en México: conservación ex situ, in situ y su utilización. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(1), 5-16.

Pérez Mendoza, C., Gómez, M. D. R. T., Quezada, M. V. A., Gómez, M. T., & Guzmán, J. (2012). Kuiemuxa: algodón nativo de México. SAGARPA, México.

Pope, K. O., Pohl, M. E., Jones, J. G., Lentz, D. L., Von Nagy, C., Vega, F. J., & Quitmyer, I. R. (2001). Origin and environmental setting of ancient agriculture in the lowlands of Mesoamerica. *Science*, 292(5520), 1370-1373.

Potash, R. (1953). La fundación del Banco de Avío. *Historia Mexicana*, 3(2), 261-278.

Preiser, R., Biggs, R., De Vos, A., & Folke, C. (2018). Social-ecological systems as complex adaptive systems: organizing principles for advancing research methods and approaches. *Ecology and Society*, 23(4).

- Pretty, J. N. (1995). *Regenerating agriculture: policies and practice for sustainability and self-reliance*. Joseph Henry Press.
- Quezada, S. (2001). Tributos, limosnas, y mantas en Yucatán, siglo XVI. *Ancient Mesoamerica*, 12(1), 73-78.
- Quisenberry, J. E., Jordan, W. R., Roark, B. A., & Fryrear, D. W. (1981). Exotic cottons as genetic sources for drought resistance I. *Crop Science*, 21(6), 889-895.
- Ramírez, A. R., Guillen, M., & Sanchez-Moscona, D. (2010). Seguros Agrícolas en Mexico. *Revista Global de Negocios*, 1(1), 97-105.
- Rao G. M., K. R. Nadre y M. C. Suryanarayana. 1996. Studies on the utility of honey bees on production of foundation seed of cotton cv. NCMHH-20. *Indian Bee Journal* 58: 13-15.
- Räsänen, A., Juhola, S., Nygren, A., Käkönen, M., Kallio, M., Monge, A. M., & Kanninen, M. (2016). Climate change, multiple stressors and human vulnerability: a systematic review. *Regional Environmental Change*, 16(8), 2291-2302.
- Ravindranath, N. H., Rao, S., Sharma, N., Nair, M., Gopalakrishnan, R., Rao, A., ... & Krishna, N. (2011). Climate change vulnerability profiles for North East India. *Current Science*, 101(3).
- Razo, A., & Haber, S. (1998). The rate of growth of productivity in Mexico, 1850–1933: Evidence from the cotton textile industry. *Journal of Latin American Studies*, 30(3), 481-517.
- Redman, C. (2014). Should sustainability and resilience be combined or remain distinct pursuits?. *Ecology and Society*, 19(2).
- Resilience Alliance. <https://www.resalliance.org/>
- Ríos Flores, J. L., Torres Moreno, M., Castro Franco, R., Torres Moreno, M. A., & Ruiz Torres, J. (2015). Determinación de la huella hídrica azul en los cultivos forrajeros del DR-017, Comarca Lagunera, México. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 47(1).
- Ritchie, G. L., Bednarz, C. W., Jost, P. H., y Brown, S. M. 2007. Cotton growth and development. Cooperative Extension Service and the University of Georgia College of Agricultural and Environmental Sciences, Athens, GA, USA.
- Rivas, S. E. (2013). Competitividad de la Comarca Lagunera (1920-1960). Productividad, calidad y desempeño en los mercados. En Cerutti, M., & Almaraz, A. (Eds.). (2013). *Algodón en el norte de México (1920-1970): impactos regionales de un cultivo estratégico*. El Colegio de la Frontera Norte.
- Rivas-Sada, E. L. (2011). *Cambio tecnológico, dinámica regional y reconversión productiva en el norte de México: la Comarca Lagunera 1925-1975*. Universidad Complutense de Madrid.
- Rocha-Munive, M. G., Eguiarte, L. E., Soberón, M., Castañeda, S., Niaves-Nava, E., Scheinvar, E., ... & Martínez-Carrillo, J. L. (2018). Evaluation of the impact of genetically modified cotton after 20 years of cultivation in Mexico. *Frontiers in bioengineering and biotechnology*, 6, 82.
- Rodríguez, J. M. M. (2003). Acuíferos y agroquímicos en una región fronteriza: retos y oportunidades del TLCAN para la agricultura mexicana. *Red Fronteriza de Salud y Ambiente, AC & Universidad de Sonora, Segundo Simposium de Analisis Sobre los Efectos del Comercio en el Medio Ambiente, Comision de Cooperacion Ambiental*.

- Rosenzweig, F. (1965). El desarrollo económico de México de 1877 a 1911. *El trimestre económico*, 32(127 (3)), 405-454.
- Roth, G. (2014). Australian grown cotton sustainability report 2014. *Cotton Research and Development Corporation and Cotton Australia*.
- Ruiz C., J.A., G. Medina G., I. J. González A., H.E. Flores L., G. Ramírez O., C. Ortiz T., K.F. Byerly M. y R.A. Martínez P. 2013. Requerimientos agroecológicos de cultivos. Segunda Edición. Libro Técnico Núm. 3. INIFAP. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias-CIRPAC-Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. 564 p.
- Ruiz-Meza, L. E. (2015). Adaptive capacity of small-scale coffee farmers to climate change impacts in the Soconusco region of Chiapas, Mexico. *Climate and Development*, 7(2), 100-109.
- Saénz, E. M., Vélez, E. P., García, A. E., & Hernández, A. L. S. (2002). Problemas operativos en el manejo del agua en distritos de riego. *Terra latinoamericana*, 20(2), 217-225.
- SAGARPA. 2011. Monografía de cultivos. Algodón.
- Salas Quintanal, H. (2015). El río Nazas. La historia de un patrimonio lagunero. Instituto de Investigaciones Antropológicas, UNAM.
- Saldaña-Zorilla, S. O. (2007). *Socio-economic vulnerability to natural disasters in Mexico: rural poor, trade and public response* (Vol. 92). United Nations Publications.
- Salvucci, R. J., & Salvucci, L. K. (1987). Crecimiento económico y cambio de la productividad en México, 1750-1895. *HISLA: Revista Latino-Americano de Historia Económica y Social*, 10, 67.
- Saynes Santillán, V., Etchevers Barra, J. D., Paz Pellat, F., & Alvarado Cárdenas, L. O. (2016). Emisiones de gases de efecto invernadero en sistemas agrícolas de México. *Terra Latinoamericana*, 34(1), 83-96.
- SEMARNAT. (Sin año). Análisis espacial de las regiones más vulnerables ante las sequías en México. Disponibles en: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/sequiasB.pdf>
- Sen I., Oglakci M., Bolek Y., Cicek B., Kisakurek N., y S. Aydin. 2004. Assessing the out-crossing ratio, isolation distance and pollinator insects in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Asian Journal of Plant Science* 3: 724-727.
- Serrano, J. A. S. (2013). El problema de los cultivos transgénicos en América Latina: una "nueva" revolución verde. *Entorno Geográfico*, (3).
- Silva, R., del Rayo, M., Nikolskii Gavrilov, I., Castillo Álvarez, M., Ordaz Chaparro, V. M., Díaz Padilla, G., & Guajardo Panes, R. A. (2013). Vulnerabilidad de la producción del café (*Coffea arabica* L.) al cambio climático global. *Terra Latinoamericana*, 31(4), 305-313.
- Singh, S. R., Eghdami, M. R., & Singh, S. (2014). The concept of social vulnerability: A review from disasters perspectives. *International Journal of Interdisciplinary and Multidisciplinary Studies*, 1(6), 71-82.
- Smith, C. W., & Cothren, J. T. (Eds.). (1999). *Cotton: origin, history, technology, and production* (Vol. 4). John Wiley & Sons.

- Smith, M. E., & Hirth, K. G. (1988). The development of prehispanic cotton-spinning technology in western Morelos, Mexico. *Journal of Field Archaeology*, 15(3), 349-358.
- SNICS. (2018). Gaceta oficial de los derechos de obtentor de variedades vegetales). SAGARPA. 2° Trimestre 2018. México.
- Solleiro, R. J. L., & Mejía, C. A. O. (2016). Cadena de valor en la producción de algodón en México: los desafíos del mercado global.
- Solorza, M. L. (2011). Orígenes capitalistas en México: segunda mitad del siglo XIX. *Revista Republicana*, (10).
- Soto Mora, C. (1981). La agricultura comercial de los distritos de riego en México y su impacto en el desarrollo agrícola. *Investigaciones geográficas*, (11), 145-182.
- Stephens S. G. 1966. The potentiality for long range oceanic dispersal of cotton seeds. *The American Naturalist* 100: 199-210.
- Stockholm Resilience Centre. <https://www.stockholmresilience.org/>
- Suárez, B. (1982). Las semillas, el Estado y las transnacionales. *Problemas del Desarrollo*, 45-102.
- Thompson, P. B. (2007). Agricultural sustainability: what it is and what it is not. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 5(1), 5-16.
- Toledo, V. M. (2002). Agroecología, sustentabilidad y reforma agraria: la superioridad de la pequeña producción familiar. *Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável*, 3(2), 27-36.
- Traxler, G. & Godoy-Avila, S. (2004). Transgenic cotton in Mexico. *AgBioForum*. 7:57-62.
- Traxler, G., Godoy-Avila, S., Falck-Zepeda, J., & Espinoza-Arellano, J. (2001). Transgenic cotton in Mexico: Economic and environmental impacts.
- Trigo, Y. M., & Montenegro, J. L. (2002). El maíz en México: biodiversidad y cambios en el consumo. *Análisis económico*, 17(36), 281-303.
- Turner, B. L. (2010). Vulnerability and resilience: Coalescing or paralleling approaches for sustainability science?. *Global Environmental Change*, 20(4), 570-576.
- Turner, B. L., Kasperson, R. E., Matson, P. A., McCarthy, J. J., Corell, R. W., Christensen, L., ... & Polsky, C. (2003). A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *Proceedings of the national academy of sciences*, 100(14), 8074-8079.
- Tutino, J. (1985). Guerra, comercio colonial y textiles mexicanos: El Bajío, 1585-1810. *en Historias (11)*, (oct. die), 15-46.
- Tutino, J., & Vega, M. A. Z. (1992). Historias del México agrario. *Historia Mexicana*, 177-220.
- Ureta, C., Martínez-Meyer, E., Perales, H. R., & Álvarez-Buylla, E. R. (2012). Projecting the effects of climate change on the distribution of maize races and their wild relatives in Mexico. *Global Change Biology*, 18(3), 1073-1082.

- Valiente, Ó. M. (2001). Sequía: definiciones, tipologías y métodos de cuantificación. *Investigaciones geográficas*, (26), 59-80.
- Van Deynze A. E., Sundstrom F. J. y K. J. Bradford. 2005. Pollen-mediated gene flow in California cotton depends on pollinator activity. *Crop Science* 45: 1565-1570.
- Vargas, J., & Paneque, P. (2017). Methodology for the analysis of causes of drought vulnerability on the River Basin scale. *Natural Hazards*, 89(2), 609-621.
- Villaseñor, A. T. (2003). Crecimiento y atraso: la vía mexicana hacia el capitalismo agrario (1856-1920). *Historia agraria: Revista de agricultura e historia rural*, (29), 123-154.
- Wegier, A., Piñeyro-Nelson, A., Alarcón, J., Gálvez-Mariscal, A., Alvarez-Buylla, E. R., & Piñero, D. (2011). Recent long-distance transgene flow into wild populations conforms to historical patterns of gene flow in cotton (*Gossypium hirsutum*) at its centre of origin. *Molecular Ecology*, 20(19), 4182-4194.
- Wegier, A., Alavez, V., & Piñero, D. (2016). Cotton: Traditional and Modern Uses. In *Ethnobotany of Mexico* (pp. 439-456). Springer, New York, NY.
- Wendel, J. F., & Cronn, R. C. (2003). Polyploidy and the evolutionary history of cotton. *Advances in agronomy*, 78, 139.
- Wendel, J. F., Brubaker C. L. y T. Seelanan. (2010). The origin and evolution of *Gossypium*. En: Stewart J. M., Oosterhuis D., Heitholt J. J. y J. R. Mauney (eds.). *Physiology of cotton*. Springer Science & Business Media, Holanda. p. 1-18.
- Whitmore, T. M., & Turner, B. L. (1992). Landscapes of cultivation in Mesoamerica on the eve of the conquest. *Annals of the Association of American Geographers*, 82(3), 402-425.
- Widmer Sennhauser, R. (1995). Autoconsumo y mercado. La producción textil como estrategia de los campesinos de Acayucan y Jicayan (1770-1830).
- Winograd, M. (2007). Sustainability and vulnerability indicators for decision making: lessons learned from Honduras. *International Journal of Sustainable Development*, 10(1-2), 93-105.
- Wise R. R., Sassenrath-Cole G. F. y R. G. Percy. 2000. A comparison of leaf anatomy in field-grown *Gossypium hirsutum* and *G. barbadense*. *Annals of Botany* 86: 731-738.
- Wolfe, M. (2014). Crisis del agua subterránea en México. Dinámica histórica: recursos, lucro y conocimiento en La Laguna, 1930-1970. *Revista de Historia Iberoamericana*, 7(2).
- Woodhouse, P. (2010). Beyond industrial agriculture? Some questions about farm size, productivity and sustainability. *Journal of agrarian change*, 10(3), 437-453.
- Zarafshani, K., Sharafi, L., Azadi, H., Hosseininia, G., De Maeyer, P., & Witlox, F. (2012). Drought vulnerability assessment: the case of wheat farmers in western Iran. *Global and Planetary Change*, 98, 122-130.
- Zhang B. H., Pan X. P., Guo T. L., Wang Q. L. y T. A. Anderson. (2005). Measuring gene flow in the cultivation of transgenic cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Molecular Biotechnology* 31:11-20.

Zhang, J. F., Lu, Y., Adragna, H., & Hughs, E. (2005). Genetic improvement of New Mexico Acala cotton germplasm and their genetic diversity. *Crop science*, 45(6), 2363-2373.

Zizumbo-Villarreal, D., & Colunga-García Marín, P. (2010). Origin of agriculture and plant domestication in West Mesoamerica. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 57(6), 813-825.

Zuleta, M. C. (2002). La Secretaría de Fomento y el fomento agrícola en México, 1876-1910: la invención de una agricultura próspera que no fue. *Mundo agrario*, 1(1).