



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
FACULTAD DE QUIMICA**

PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

TESIS

**SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN LA SUBCUENCA VALLE DE BRAVO –
AMANALCO, ESTADO DE MÉXICO. UN ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL
DESDE LAS CIENCIAS AMBIENTALES (2005 y 2017)**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES
P R E S E N T A**

M.C.A. JOCKSAN EDREY REYES ANDRADE

**DIRIGIDA POR:
DR. JESÚS GASTÓN GUTIÉRREZ CEDILLO.
DR. SALVADOR ADAME MARTÍNEZ
DR. MIGUEL ÁNGEL BALDERAS PLATA**

Toluca, México, septiembre de 2022.

Índice

RESUMEN	6
INTRODUCCIÓN	7
<i>Planteamiento del Problema</i>	9
<i>Justificación</i>	10
<i>Preguntas de Investigación</i>	12
<i>Hipótesis:</i>	12
<i>Objetivos:</i>	13
CAPITULO 1. MARCO TEÓRICO	15
1.1 <i>La epistemología ambiental en el estudio de los servicios ecosistémicos.</i>	16
1.2 <i>Escuelas del pensamiento ecológico en las Ciencias Sociales.</i>	19
1.3 <i>Teoría General de Sistemas (TGS) en el análisis de los servicios ecosistémicos</i>	21
1.4 <i>La ciencia ecológica en la comprensión de los servicios ecosistémicos</i>	23
1.5 <i>La ciencia geográfica y su relación con el análisis de los servicios ecosistémicos</i>	25
1.6 <i>Disciplinas que tienen relación con la investigación.</i>	27
1.7 <i>Efecto de los servicios ecosistémicos sobre la vulnerabilidad y resiliencia de los ecosistemas.</i>	36
CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA	39
2.1 <i>Área de estudio.</i>	39
2.2 <i>Etapas metodológicas</i>	40
Etapas 1. Caracterización geográfica del área de estudio	40
Análisis espaciotemporal de los ecosistemas del área de estudio 2005 y 2017.	41
1.1 <i>Usos de suelo y vegetación.</i>	41
1.2 <i>Ecosistemas de la Subcuenca Valle de Bravo – Amanalco.</i>	42
Etapas 2. Análisis espaciotemporal de la evolución y cambios en la capacidad de producción de los servicios ecosistémicos almacenamiento de carbono y retención de suelo durante el periodo 2005 y 2017.	43
2.1 <i>Análisis espaciotemporal del almacenamiento de carbono.</i>	44
2.2 <i>Análisis espaciotemporal de la retención del suelo.</i>	45
Etapas Metodológicas 3. Análisis de la distribución espacial del servicio ecosistémico de provisión de alimentos.	52
3.1 <i>Análisis espaciotemporal del servicio ecosistémico de provisión de alimentos.</i>	53
CAPITULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	54
3.1 <i>Caracterización geográfica de la Subcuenca Valle de Bravo-Amanalco.</i>	54
3.2 <i>Análisis espaciotemporal de los ecosistemas de la Subcuenca Valle de Bravo-Amanalco 2005-2017.</i>	59

<i>3.3 Análisis espaciotemporal de la evolución y cambios en la capacidad de producción del servicio ecosistémico almacenamiento de carbono durante el periodo 2005 y 2017.</i>	62
<i>3.4 Estimación de la evolución y cambios en la capacidad de producción del servicio ecosistémico retención de suelo durante el periodo 2005 y 2017 en la SVBA.</i>	67
<i>3.5 Análisis espaciotemporal de la evolución y cambios en la capacidad de producción del servicio ecosistémico de producción de alimentos durante el periodo 2005 y 2017.</i>	80
<i>3.5.1 Producción agrícola, Municipio de Valle de Bravo.</i>	82
<i>3.5.1.1 Ciclo de cultivo Otoño – Invierno.</i>	82
<i>3.5.1.2 Producción agrícola, Municipio de Valle de Bravo. Ciclo de cultivo Primavera – Verano.</i>	94
<i>3.5.1.3 Producción agrícola, municipio de Valle de Bravo. Ciclo agrícola perennes.</i>	102
<i>3.5.2 Producción agrícola, Municipio de Amanalco.</i>	110
<i>3.5.2.1 Ciclo de cultivo Otoño – Invierno.</i>	110
<i>3.5.2.2 Producción agrícola, Municipio de Amanalco. Ciclo de cultivo primavera – verano.</i>	118
<i>3.5.2.3 Producción agrícola, municipio de Amanalco. Ciclo de cultivo perennes.</i>	126
DISCUSIÓN GENERAL	130
CONCLUSIONES	141
BIBLIOGRAFÍA	145

Índice de Cuadros

1. Clasificación de los Servicios Ecosistémicos	33
2. Uso de suelo y Vegetación	42
3. Ecosistemas del área de estudio.....	43
4. Almacenamiento de carbono.	45
5. Valores de erosionabilidad (Factor K) para diversas texturas de las unidades de suelo, de acuerdo con la FAO (1980).	47
6. Valores de la cobertura vegetal (Factor C) para los diversos tipos de vegetación.....	49
7. Retención de suelo.	52
8. Provisión de alimentos.....	53
9. Almacenamiento de carbono en los ecosistemas forestales de la Subcuenca Valle de Bravo- Amanalco en el periodo 2005.....	63
10. Almacenamiento de carbono en el periodo 2017.	64
11. Análisis comparativo del almacenamiento de carbono en los ecosistemas de la Subcuenca Valle de Bravo- Amanalco 2005-2017.	65
12. Análisis comparativo de las características ambientales y morfológicas de los ecosistemas forestales de la Subcuenca Valle de Bravo Amanalco (SBVA) y los ecosistemas estudiados por (Morfin Ríos et al., 2015).	65
13. Estaciones climatológicas seleccionadas para la obtención del factor R.....	67
14. Valores mayores y menores a la unidad (8T).	70
15. Coberturas vegetales presentes en la Subcuenca Valle de Bravo Amanalco, Estado de México.	72
16. Clases de erosión de suelos de la FAO.	74
17. Clases de erosión actual en la zona de estudio, periodo 2005.	75
18. Clases de erosión actual en la zona de estudio, periodo 2017.	76
19. Clases de erosión potencial en la zona de estudio, periodo 2005.....	77
20. Clases de erosión potencial en la zona de estudio, periodo 2021.....	78

Índice de Figuras

1. Modelo de cascada propuesto por CICES.....	33
2. Localización de la zona de estudio.....	39
3. Municipios que forman parte de la subcuenca Valle de Bravo - Amanalco.....	54
4. Relieve de la Subcuenca Valle de Bravo- Amanalco.....	55
5. Suelos de la Subcuenca Valle de Bravo- Amanalco.....	56
6. Tipos de clima en la Subcuenca Valle de Bravo- Amanalco.....	57
7. Mapa de Subcuencas de la Subcuenca Valle de Bravo- Amanalco.	58
8. Ecosistemas de la Subcuenca Valle de Bravo- Amanalco 2005.	60
9. Ecosistemas de la Subcuenca Valle de Bravo- Amanalco 2017.	61
10. Factor R erosividad de la lluvia 2005.	68
11. Factor R erosividad de la lluvia 2021.	69
12. Factor K, erodabilidad del suelo 2005 y 2021.....	70
13. Factor LS Longitud de la pendiente y pendiente media del terreno, 2005.	71
14. Factor LS Longitud de la pendiente y pendiente media del terreno, 2021.	72
15. Factor C Cobertura Vegetal, 2005.....	73
16. Factor C Cobertura Vegetal, 2017.....	74
17. Erosión actual, 2005.....	76
18. Erosión actual, 2017.....	77
19. Erosión potencial, 2005.....	78
20. Erosión potencial, 2021.....	79
21. Distribución espacial del servicio ecosistémico de provisión de alimentos para el año 2005.	80
22. Distribución espacial del servicio ecosistémico de provisión de alimentos para el año 2017.	81
23. Superficie sembrada (Cientos de Ha) Municipio de Valle de Bravo (otoño - invierno).....	84
24. Producción (Miles de Ton) Municipio de Valle de Bravo (Otoño - Invierno).....	87
25. Rendimiento Obtenido (Ton/Ha) Municipio de Valle de Bravo (Otoño - Invierno).....	90

26. Valor de la producción (Miles de pesos) Municipio de Valle de Bravo (otoño - invierno).....	93
27. Superficie sembrada (Miles de Ha) Municipio de Valle de Bravo (primavera -verano).	95
28. Producción (Miles de Ton) Municipio de Valle de Bravo (primavera - verano).	97
29. Rendimiento Obtenido (Ton/Ha) Municipio de Valle de Bravo (primavera - verano).....	99
30. Valor de la producción (Miles de pesos) Municipio de Valle de Bravo (primavera - verano).	101
31. Superficie sembrada (Cientos de Ha) Municipio de Valle de Bravo (perennes).....	103
32. Producción (Cientos de Ha) Municipio de Valle de Bravo (perennes).	105
33. Rendimiento Obtenido (Ton/Ha) Municipio de Valle de Bravo (perennes).	107
34. Valor de la producción (Miles de pesos) Municipio de Valle de Bravo (perennes).....	109
35. Superficie sembrada (cientos de has.), en el Municipio de Amanalco (otoño - invierno).	111
36. Producción (miles de ton.) en el Municipio de Amanalco (otoño - invierno).	113
37. Rendimiento Obtenido (Ton/Ha), Municipio de Amanalco (otoño - invierno).....	115
38. Valor de la producción (Miles de pesos), Municipio de Amanalco (otoño - invierno).	117
39. Superficie sembrada (Cientos de Ha), Municipio de Amanalco (primavera - verano).....	119
40. Producción (Cientos de Ton), Municipio de Amanalco (primavera - verano).....	121
41. Rendimiento Obtenido (Ton/Ha), Municipio de Amanalco (primavera - verano).	123
42. Valor de la producción (Miles de pesos), Municipio de Amanalco (primavera - verano).....	125
43. Superficie sembrada, cultivo de Aguacate en el Municipio de Amanalco (perennes).....	126
44. Producción (Cientos de Ton), cultivo de Aguacate en el Municipio de Amanalco (perennes).....	127
45. Rendimiento Obtenido (Ton/Ha), cultivo de Aguacate en el Municipio de Amanalco (perennes).	128
46. Valor de la producción (Miles de pesos), cultivo de Aguacate en el Municipio de Amanalco (perennes).....	129

RESUMEN

El objetivo principal de este estudio fue analizar la variación espacio - temporal de la capacidad de producción de servicios ecosistémicos en la Cuenca Valle de Bravo- Amanalco (SVBA), Estado de México, la cual es una zona que interactúa de forma dinámica con los ecosistemas que se presentan en este territorio y en la que los servicios o beneficios que los habitantes obtienen de los ecosistemas incluyen los servicios de provisión de alimentos; los de regulación como son, almacenamiento de carbono y retención de suelo, los cuales modulan las condiciones del medio ambiente y las actividades productivas.

Los servicios ecosistémicos en la Cuenca Valle de Bravo-Amanalco han sido perturbados en diferentes grados y en grandes superficies remplazados por zonas urbanas, agrícolas, praderas y bosques secundarios y plantaciones forestales nuevas, ya sea con especies nativas o introducidas, lo que genera vulnerabilidad social y biofísica debido a la disminución en la capacidad de producción de los servicios ecosistémicos.

El estudio se llevó a cabo mediante las siguientes etapas metodológicas 1) identificación de ecosistemas presentes en la zona de estudio, 2) caracterización y análisis de la distribución espacial de los servicios ecosistémicos provisión de alimentos, almacenamiento de carbono y retención del suelo; 3) valoración de la capacidad de producción en la temporalidad 2000 y 2017 de los servicios ecosistémicos almacenamiento de carbono y retención de suelo.

El estudio encontró fundamento teórico en la Teoría General de Sistemas Complejos, la Teoría Ecológica para la comprensión de los servicios ecosistémicos y en la Teoría Geográfica para el análisis y aplicación de los Sistemas de Información Geográfica como herramienta tecnológica útil en la identificación y delimitación de los servicios ecosistémicos.

Palabras clave: captura de carbono, Cuenca Valle de Bravo-Amanalco, provisión de alimentos, retención de suelos, servicios ecosistémicos

INTRODUCCIÓN

El planeta hoy en día se ve afectado por una mala interacción del ser humano con el medio ambiente y esta transformación ha sido a tasas muy aceleradas, sobre todo durante la segunda mitad del siglo pasado y lo que va del presente. El ser humano en su afán de satisfacer necesidades de agua, alimentos, materiales de construcción, combustibles y fibras, ha convertido 25% del planeta en terrenos de cultivo, tomando 25% del agua que fluye en ríos, destruido o degradado 40% de los arrecifes coralinos y 35% de los manglares, contribuyendo a que los contenidos de nitrógeno en ríos y mares se dupliquen y los de fósforo se tripliquen, y que la concentración de CO₂ en la atmósfera aumente 35% (Patricia Balvanera & Cotler, 2007; Mooney et al., 2005).

Entender el concepto de servicios ecosistémicos permite comprender el vínculo entre el funcionamiento de los ecosistemas y el bienestar humano (Patricia Balvanera & Cotler, 2007). A partir del año de 1997, el estudio de los servicios ecosistémicos toma gran interés por parte de investigadores después de las publicaciones de Costanza y Daily, a partir de esta investigación se realizaron cientos de estudios sobre los servicios ecosistémicos y su importancia de estos sobre el bienestar de las sociedades y la estrecha relación con el desarrollo económico, derivado de esto, lleva al término de “servicios ecosistémicos” a ser uno de los más estudiados en el área de las ciencias del desarrollo sustentable (Patricia Balvanera, 2007; Flores Arteaga, 2019).

Las investigaciones de estos servicios en el territorio nacional fueron llevadas a cabo por Patricia Balvanera sentando así las bases para los estudios sobre los servicios ecosistémicos en México, desafortunadamente estos estudios son aún escasos, aún más aquellos que involucran la cartografía de las problemáticas o variables a analizar (Flores Arteaga, 2019).

A nivel nacional en el año 2012 se publicó el estudio “Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales” analizando en este trabajo los principales servicios de suministro, regulación y culturales, así como la relación entre los componentes y procesos del ecosistema y su capacidad de proveer servicios, los efectos del manejo sobre la provisión de servicios y los factores sociales que subyacen la provisión de servicios.

Derivado de la importancia que representa el comprender y el acercamiento del término “servicios ecosistémicos”, a los tomadores de decisión y actores claves, en el año 2007, Balvanera & Cotler, (2007) publicaron “un acercamiento al estudio de los servicios ecosistémicos”, en donde se llevó a cabo una revisión de los términos, desarrollo histórico y los principales tipos de acercamientos a este tipo de estudios. Así mismo (Almeida-Leñero et al., 2009) publicaron el estudio “Servicios ecosistémicos en la cuenca del río Magdalena, Distrito Federal, México” analizando en este trabajo la distribución espacial de los servicios ecosistémicos en la cuenca.

Se puede mencionar estudios como: “Gestión integrada del agua: investigación, acción y reflexión participativa” en relación con la gestión del agua en seis comunidades de la microcuenca del río La Suiza, en la Reserva de la Biosfera El Triunfo, Chiapas, México, en el que obtuvieron resultados tangibles a través de una descripción y mapeo de los sistemas comunitarios de agua (Gutiérrez Vizcaino, Prins, & López Báez, 2016). En el Estado de México, Flores Arteaga (2019), analizó los “Servicios ecosistémicos En La Región VI Ixtapan de la Sal, Estado De México”, en el cual determinaron la pérdida de producción de los servicios ecosistémicos, almacenamiento de carbono y retención del suelo de 2005-2013. Cabe mencionar que estudios que utilizan SIG son escasos y en la zona de estudio se generó a través del mapeo estrategias transdisciplinarias, para mejorar la sustentabilidad aportando soluciones a las principales problemáticas socioambientales de la región.

Planteamiento del Problema

De acuerdo con Plan de Desarrollo de Valle de Bravo (2012), en la cuenca se han registrado 290 plantas vasculares, es decir plantas que presentan un cuerpo vegetativo diferenciado por raíz, tallo, hoja y poseen vasos de conducción de la savia. También se han reportado en la región 209 especies de hongos que se desarrollan a diferentes alturas. Existe una colonia de mariposa monarca en el Cerro de Piedra Herrada, registrada desde 1977 (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2012).

En la cuenca la población económicamente activa que participa en el sector primario de la economía ha venido disminuyendo en los últimos 25 años. El municipio contaba con una superficie agrícola de 13,213 ha, lo que equivale a 38.4% de la extensión territorial municipal. Los cultivos principales son de maíz (ocupa 80% de la superficie agrícola). Se cultiva también frijol, papa, haba, chícharo, jitomate, tomate, chile manzano, hortalizas, avena forrajera, trigo, alpiste, girasol y cebada, así como algunos frutales (Secretaría de Ecología, 2003b).

En el área de estudio existen diferentes climas y altitudes, debido a esto es posible que existan una variedad de ecosistemas con una diversidad considerable de flora, aunque los ecosistemas se han visto fuertemente perturbados en una amplia superficie, debido al establecimiento de zonas urbanas, agrícolas, praderas para el pastoreo y plantaciones forestales nuevas.

El deterioro de la cuenca es evidente en los altos niveles de sedimentos que para 1999 representan 87.5 millones de metros cúbicos de suelo arrastrados al lago, además de una disminución en los caudales del río (para 1997 el río Amanalco perdió el 59% de su caudal y de acuerdo con datos de la CFE presentados en 1958) y un alto índice de contaminación del agua. La pérdida forestal en la cuenca fue de 18.56% en los últimos treinta años, mientras que el uso agrícola aumentó en 17.31% y la zona urbana un 173.10 %. Si esta lógica continúa, la cuenca se deteriorará hasta no ser capaz de proveer agua a través del sistema Cutzamala, (Bonfil & Madrid, 2006).

Actualmente las actividades de la población han alterado y deteriorado los servicios

ecosistémicos a un ritmo acelerado, por lo que su conservación ahora es un tema fundamental, por lo cual el presente trabajo pretende responder las siguientes preguntas de Investigación.

Justificación

Los servicios ecosistémicos se definen como los componentes y procesos de los ecosistemas que son consumidos, disfrutados o conducen a un mayor bienestar humano, teniendo en cuenta las necesidades de los beneficiarios y la dinámica del ecosistema. (Costanza & Folke, 1997; Luck et al., 2009; Quétier, Tapella, Conti, Cáceres, & Díaz, 2007; Quijas, Schmid, & Balvanera, 2010).

En general, los bienes y servicios de los ecosistemas sustentan el bienestar humano a través de la seguridad, el acceso a materias primas, mejores condiciones de salud y relaciones sociales (Mooney et al., 2005). En la actualidad existen numerosas incógnitas en el campo de los servicios ecosistémicos y poco se conoce acerca de los distintos componentes y procesos de los ecosistemas que, para la provisión de cada servicio, interactúan con una variedad de componentes y procesos sociales en diferentes escalas espaciales y temporales (Kremen, 2005).

Actualmente hay poca investigación sobre cómo la importancia relativa de SE varía entre los diferentes grupos de partes interesadas (Daily et al., 2009; Quétier et al., 2007). Por esta razón es necesario obtener más información acerca de las interacciones entre SE y cómo esto sucede en distintas escalas espaciales y temporales (Maass et al., 2005; Rodríguez et al., 2006).

El análisis de los servicios o beneficios que los ecosistemas brindan a las sociedades humanas un enfoque de investigación relativamente nuevo que se ha difundido debido a la clara relación entre el bienestar humano y el funcionamiento normal del ecosistema. En este contexto, se enfatiza la interdependencia que existe entre ecosistemas y sistemas sociales en cuanto a los servicios ecosistémicos (SE) y sistemas sociales (Costanza & Folke, 1997; Díaz, Fargione, Chapin III, & Tilman, 2006).

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se han vuelto una herramienta importante

para identificar servicios ecosistémicos, a través de este tipo de estudios se pretende mostrar en forma espacial (mapas), la extensión y características de distintos servicios y también crear escenarios de uso y valoración de los mismos, de esta forma puede favorecer para las estrategias de conservación a través de proveer acceso a nuevas fuentes información, y así considerar al ambiente en un proceso de toma de decisiones.

La evaluación y mapeo de servicios ecosistémicos toma en cuenta las consideraciones políticas, sociales y económicas, además permite el monitoreo y manejo bajo iniciativas de escala global, nacional y local, ayuda a reconocer conflictos y oportunidades, también facilita la formulación e implementación de políticas de estado sobre determinados aspectos ambientales y de planes regionales estratégicos, orienta la toma de decisiones sobre el territorio, típicamente, zonificaciones y planificaciones del uso de la tierra. De igual forma sirve para el manejo integrado de cuencas, evaluaciones de impacto ambiental estratégico, para el diseño de programas de incentivos, para la conservación y uso sustentable.

Aunque todas conllevan a una toma de decisiones, la identificación de servicios ecosistémicos en un área determinada políticamente sería un incentivo que genera la toma de decisiones, de forma social brinda equidad y económicamente eficiencia.

Preguntas de Investigación

1. ¿Cuál es la producción de servicios ecosistémicos de regulación almacenamiento de carbono y retención del suelo, existentes en la SVBA, y cómo es su distribución espacial?
2. ¿Cómo ha sido la evolución y los cambios en la capacidad de producción de los servicios ecosistémicos de regulación almacenamiento de carbono y retención del suelo durante el periodo 2000-2019 en la SVBA?
3. ¿Cuál es la producción de servicios ecosistémicos de provisión de alimentos existentes en la SVBA, y cómo es su distribución espacial?

Hipótesis:

El enfoque de servicios ecosistémicos permitirá identificar, clasificar, cuantificar y ubicar los potenciales, limitaciones y tendencias en la conservación de los recursos naturales en la cuenca.

La capacidad de producción de servicios ecosistémicos en la SVBA ha sufrido cambios espacial y temporalmente en el periodo 2000 - 2019.

Objetivos:

Objetivo general

Analizar la variación espacio- temporal de la capacidad de producción de servicios ecosistémicos en la Cuenca Valle de Bravo- Amanalco (SVBA), Estado de México.

Objetivos específicos:

1. Caracterizar los ecosistemas presentes en la SVBA, Estado de México, por medio de foto interpretación cartográfica.
2. Estimar la evolución y cambios en la capacidad de producción del servicio ecosistémico almacenamiento de carbono 2005-2017 en la SVBA, por medio de los métodos estadístico, cartográfico y sistemas de información geográfica.
3. Estimar la evolución y cambios en la capacidad de producción del servicio ecosistémico retención de suelo 2005 - 2017 en la SVBA, por medio de los métodos estadístico, cartográfico y sistemas de información geográfica.
4. Estimar la evolución y cambios en la capacidad de producción del servicio ecosistémico de provisión de alimentos, por medio del método estadístico, cartográfico y sistemas de información geográfica.

La estructura de la tesis es la siguiente:

Capítulo 1, corresponde al Marco Teórico Conceptual en el que permitió comprender la relación de los servicios ecosistémicos desde el enfoque filosófico de las Ciencias Ambientales, así como las escuelas del pensamiento para entender la perspectiva social, la Teoría de Sistemas Complejos que permitió identificar la relación de los factores que componen el área de estudio.

Capítulo 2, corresponde a la metodología en la que se describen cada uno de los pasos que se llevaron a cabo para el análisis de los servicios ecosistémicos, que fue la caracterización geográfica y ambiental de la Cuenca, así como el análisis espacio temporal de la evolución

y cambios en la capacidad de almacenamiento de carbono, retención de suelo y provisión de alimentos.

En el capítulo 3, se describen, analizan y discuten los resultados obtenidos de cada una de las etapas metodológicas de la presente investigación, que van desde la caracterización geográfica de la cuenca de los usos del suelo y vegetación y los ecosistemas presentes en el área de estudio, con estos resultados se lleva a cabo el análisis de almacenamiento de carbono en el área de estudio, posteriormente los resultados de la función ecosistémica de la capacidad de retención de suelo que se llevó a cabo con la ecuación de pérdida de suelo modificada por la SADER, finalmente se presentan los resultados de la producción de alimentos en el área de estudio.

CAPITULO 1. MARCO TEÓRICO

En el Capítulo I se abordó un enfoque filosófico la epistemología de las ciencias ambientales en relación con los servicios ecosistémicos. De igual forma se llevó a cabo un análisis de las Escuelas del pensamiento ecológico para entender las ciencias ambientales, entre ellas se encuentran el desarrollo sostenible y la ecología política. En el este capítulo se llevó a cabo un análisis de la Teoría General de Sistemas que permitió identificar los componentes del área de estudio y los servicios ecosistémicos.

También se analiza la relación entre los organismos y su ambiente a través de la Ciencia ecológica ya que los servicios ecosistémicos se encuentra en una confusa disyuntiva debido a los diversos aspectos sociales, económicos y ecológicos a considerar, además de los múltiples puntos de vista que configuran las posturas epistemológicas existentes.

Posteriormente, se aborda la Teoría Geográfica en el análisis de los servicios ecosistémicos a través de Sistemas de Información Geográfica como herramienta tecnológica para identificar y delimitar servicios ecosistémicos. Ya que, aunque existen estudios con enfoques y metodologías relacionados con los servicios ecosistémicos, su comprensión requiere del entendimiento tanto de la complejidad inherente de los sistemas ecológicos, la de los sistemas sociales, así como la de su interacción (Patricia Balvanera & Cotler, 2007).

Por otra parte, se mencionan otras disciplinas que muestran relación con la presente investigación climatología, geomorfología, geografía edafología, hidrología y la relación que tienen estos factores con organismos al compartir un hábitat.

Así mismo se abordan los Servicios Ecosistémicos definición y clasificación de estos servicios y la importancia de seguir trabajando en la aceptación total de un concepto que pueda integrar distintas posturas y clasificaciones para que puedan ser abordadas por diversos actores involucrados en la conservación y manejo de los recursos tanto en ámbitos urbanos como naturales (Patricia Balvanera, 2007; Camacho Sanabria, Camacho Sanabria, Balderas Plata, & Sánchez López, 2017).

Se incluye también un análisis sobre la vulnerabilidad y resiliencia de los servicios ecosistémicos y cómo afecta la valoración de estos servicios ya que estos establecen la visión integrada de la economía, la ecología, los aspectos socio ambiental y el aprovechamiento sinérgico de los recursos, presentando una dualidad conceptual. Por una parte, se cuestiona la asignación de valor económico a los servicios intangibles e inherentes de la naturaleza, y por otra parte, se considera que, el “reconocimiento y evaluación de los SSEE, permite una mejor interpretación de sus beneficios y determina los cambios que inciden en el bienestar humano” (Costanza et al., 1997).

Finalmente se analizan las experiencias metodológicas referentes a los Sistemas de Información Geográfica como una herramienta en la delimitación, identificación y evaluación de los servicios ecosistémicos.

1.1 La epistemología ambiental en el estudio de los servicios ecosistémicos.

Este trabajo refuerza su postura filosófica de que la “epistemología de la ciencia ambiental”, como argumenta Morales Jasso (2017), no es un estudio fundamental y por lo tanto amerita reconocer su centralidad y legitimidad como tema para resolver dilemas o reflexionar sobre las ideas que configuran el pensamiento (Collazo Expósito & Geli de Ciurana, 2017; SEMARNAT, 2006).

Si bien la base de la epistemología ambiental comienza a demarcarse desde el momento en que se reconoce al medio ambiente como un problema; en muchos casos hay “resonancia incorrecta por falta de una base epistemológica ambiental aceptable”; en parte porque el concepto de medio ambiente ha cambiado significativamente. Giannuzzo (2010), refiere que en biología y ecología en general, ambiente se refiere a las condiciones bióticas y abióticas de un organismo, población o comunidad (Morales Jasso, 2017).

En química e ingeniería, significa los componentes abióticos de un ecosistema. En humanidades y ciencias sociales, suele referirse a los determinantes externos del fenómeno que se estudia en un sentido contextual. Desde el punto de vista jurídico, es visto como el producto de las interrelaciones entre subsistemas, tanto naturales como económicos y políticos. En economía indica medio, ya sea como recurso o como entorno (Morales, 2016).

Del mismo modo, en otros campos, incluso los ya mencionados, el medio ambiente se considera naturaleza o ecología. De esta forma, el término medio ambiente “puede interactuar con diferentes expresiones en función de la diferente información que cada observador, de diferentes dominios, tiene sobre él”. Giannuzzo señala que, por esta razón, se vuelve problemático cuando el término debe entenderse en un contexto más amplio, como interdisciplinario, en áreas de investigación, enseñanza o aplicación” (Bocco, 2010; Lezama & Graizbord, 2010), lo que indica una confusión en la terminología cuando otras disciplinas lo intentan abordar con sus propios conceptos clave. En general, estos conceptos disciplinares pueden relacionarse en cierta medida en los tres sentidos de medio ambiente. Ambiente, que significa medio o entorno, es el que se remite a una ontología y epistemología dualista (Arnold Cathalifaud, 2010; Escobar, 2011; Escobar et al., 2008; Galochet, 2009; Lezama & Graizbord, 2010; Perdomo López, 2007).

Esta se refiere básicamente a un conjunto de factores externos (atmosféricos, climáticos, hidrológicos, geológicos y biológicos) que pueden tener una influencia directa o indirecta sobre los organismos, poblaciones o comunidades bióticas (Morales, 2016). Ambiente se refiere a la perturbación humana de la naturaleza: la contaminación u otras consecuencias de las actividades humanas que afectan a las personas y la naturaleza. Se definiría más ampliamente como naturaleza antroposocializada (Baghel, 2012; Plumwood, 2014).

El medio ambiente hace referencia a las conexiones extraordinarias entre la sociedad humana y la naturaleza inhumana (Carmenza, 2007; Leff, 2006a; Perdomo López, 2007; Ramírez Marcial, González Espinoza, Musálem Castillejos, Noguera Savelli, & Gómez Pineda, 2014), reemplazando así a la ecología social. El ambiente integra el mundo de la invención y la cultura humana, así como la interacción del hombre mismo con la naturaleza, lo que afectaría la concepción misma de la idea de humano (Giannuzzo, 2010).

1.1.2 Ciencias Ambientales en relación con los servicios ecosistémicos.

El trabajo de la Ciencia Ambiental se puede definir como la búsqueda de nuevos conocimientos, la formación de conceptos y explicaciones, y la propuesta de soluciones específicas en un entorno del medio ambiente que abarca también lo social (Giannuzzo, 2010; Morales Jasso, 2017)

Las definiciones de las ciencias ambientales son de cerca: las ciencias que promueven el desarrollo económico (o el bienestar humano) de manera ecológicamente sostenible. Las ciencias y profesiones que contribuyen a este objetivo son diversas, y las ciencias ambientales convergen en diferentes enfoques especializados para estudiar y resolver problemas relacionados con las interacciones entre humanos, personas y medio ambiente. Su mayor característica es su vínculo directo con la calidad de vida humana, gracias a la sostenibilidad operativa a corto y largo plazo de la base biofísica en la Tierra. Además, la ciencia ambiental crea modelos combinando dos propiedades: la naturaleza que se ha nombrado disyuntivamente como tal y la naturaleza antropológica a la manera de la tercera cultura (García Flores, Gutiérrez Cedillo, Juan Pérez, Balderas Plata, & Calvet-Mir, 2018).

La categoría de ecosistemas se refiere a unidades funcionales que incluyen sus componentes bióticos y abióticos y las interacciones y procesos dinámicos que tienen lugar entre ellos, lo que implica una división biofísica de la realidad que se basa en el dualismo disyuntivo de la modernidad (De la Barrera & Bachmann-Vargas, 2015; Urquijo Torres & Barrera Bassols, 2009). Sus componentes inorgánicos y orgánicos están unidos por una cadena alimenticia disipadora de energía: las plantas usan la radiación solar para producir materia orgánica a través de la fotosíntesis, la fauna se nutre de ellas y en cada eslabón se pierde entre 80 y 90% de la energía en forma de calor (Vicente-Serrano et al., 2012).

La inclusión de los ecosistemas es una respuesta a la ambigüedad de la naturaleza, ya que requiere la separación de las propiedades creadas por el hombre de las no artificiales. Por lo tanto, se puede decir que toda antroposociedad crea su propia perspectiva de la naturaleza, independientemente de que estemos hablando de la naturaleza en general (incluidos los humanos) o de la naturaleza inhumana en particular (Lezama & Graizbord, 2010). En tanto que hablar de ecosistema implica hablar de un sentido más restringido de lo natural.

1.2 Escuelas del pensamiento ecológico en las Ciencias Sociales.

En el siguiente apartado se abordan las principales escuelas de pensamiento ecológico que se han desarrollado dentro en las Ciencias Sociales en las últimas décadas, en las que se enmarca este trabajo, sobre todo por el hecho de que la parte ambiental es considerada parte del desarrollo en función del crecimiento económico de los países: a) desarrollo sostenible, b) ecología política (Barkin, Fuente Carrasco, & Tagle Zamora, 2012; Foladori, 2007; Gazzano & Achkar, 2013; Leff, 2009; Naredo, 1997; Tetreault, 2004).

1.2.1 Desarrollo Sustentable (DS)

La escuela del pensamiento de desarrollo sustentable comenzó a tomar forma en la década de los setenta. Su primer hito fue la Conferencia de Estocolmo, cuya declaración contiene los principios básicos del desarrollo sustentable: el crecimiento económico, la innovación tecnológica, la transferencia de tecnología del Norte al Sur, mejor manejo de los recursos naturales, la reducción de la tasa de crecimiento de la población mundial, la cooperación internacional y la elaboración de las leyes ambientales (Waas, Hugé, Verbruggen, & Wright, 2011).

Los principios básicos del desarrollo sostenible son el crecimiento económico, la innovación tecnológica, la transferencia de tecnología norte-sur, una mejor gestión de los recursos naturales, la reducción del crecimiento de la población mundial, la cooperación, el derecho internacional y el derecho ambiental (García Flores et al., 2018). Los cuales marcaron la pauta para considerar dentro del desarrollo de los países, las dimensiones económico, social y ambiental (Gazzano & Achkar, 2013; Gutiérrez Cedillo, Aguilera Gómez, & González Esquivel, 2008; Leff, 2009).

En 1982 surge el Programa de las Naciones Unidas para la Protección del Medio Ambiente (PNUMA), con el objetivo de coordinar programas ambientales y promover la cooperación internacional sobre cuestiones ambientales (Barkin et al., 2012; Foladori, 2007; Naredo, 1997; Tetreault, 2004).

La definición que se suele citar del Informe Brundtland es la siguiente: "El desarrollo sostenible es el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades. Incluye dos conceptos principales: el concepto de "necesidades", es decir, las necesidades básicas de los pobres que deben priorizarse, y una comprensión de las condiciones y capacidades tecnológicas de la organización social actual en el mundo. para satisfacer las necesidades presentes y futuras" (Tetreault, 2004).

En el informe de Brundtland se define al concepto de sustentabilidad; y la Agenda 21 con principios para lograr el DS (Foladori, 2007; Gutiérrez Garza, 2008; Tetreault, 2004).

1.2.2 Ecología Política (EP)

La ecología política se ha convertido en uno de los marcos analíticos más utilizados para el análisis de los problemas socio-territoriales. Una amplia gama de disciplinas que van desde la geografía hasta los estudios de ciencia política, sociología y antropología han utilizado los preceptos básicos del estudio de este concepto; debido a la amplia gama de postulados teóricos y metodológicos que enmarca, la ecología política se ha consolidado como una herramienta teórica analítica que busca una mejor comprensión de los problemas dicotómicos entre hombre y ambiente (Calderón-Contreras, 2013).

Es un espacio de pensamiento en el que confluyen diversas disciplinas, como la economía, la sociología, la antropología, la historia ambiental, la geografía, entre otras. Existe cierto consenso en reconocer que tiene como objeto estudiar las maneras en que los distintos grupos sociales se relacionan con los lugares en los que viven, dan sentido a sus mundos y postulan las maneras que consideran más adecuadas de acceder a y utilizar los elementos biofísicos (Straccia & Pizarro, 2019).

Es un campo que aún no adquiere nombre propio; por ello se le designa con préstamos metafóricos de conceptos y términos provenientes de otras disciplinas para ir nombrando los conflictos derivados de la distribución desigual y las estrategias de apropiación de los recursos ecológicos, los bienes naturales y los servicios ecosistémicos (Leff, 2006b).

En los últimos diez años la ecología política se ha consolidado como un importante campo de estudio y debate en el ámbito académico latinoamericano. Existen ya algunas publicaciones que han abierto espacios para difundir esta perspectiva de análisis y, en ellas, es posible identificar una gran variedad de temas y enfoques que buscan explicar el cambio ambiental a partir de procesos políticos y disputas sociales, materiales y simbólicas (Durand, Figueroa, & Guzmán, 2011; López, 2019).

Entre ellas, las áreas naturales protegidas también han sido analizadas como instrumentos que surgen de políticas y procesos de gestión poco democráticos, con consecuencias serias para las comunidades locales, el ecoturismo por ejemplo, son puestas en cuestión y relacionadas con el incremento de la desigualdad, la degradación ambiental y el cambio sociocultural, la recuperación de prácticas agrícolas tradicionales, muestra que el problema no sólo es de carácter técnico, sino que también existían obstáculos económicos, políticos y sociales para generar formas de uso de los recursos ecológicamente más adecuadas y socialmente más incluyentes (Durand et al., 2011).

1.3 Teoría General de Sistemas (TGS) en el análisis de los servicios ecosistémicos

Debido a la naturaleza del estudio de las ciencias ambientales (factores físicos, químicos, biológicos y sociales), las ciencias ambientales son una disciplina integrada, haciendo uso de las contribuciones de diferentes disciplinas, por lo que la investigación ambiental se vuelve interdisciplinaria, con el objetivo de enfocarse en estudiar todas las interacciones se requiere una visión global, que permita entender la relación entre sus componentes y las posibles consecuencias si alguno de ellos cambia.

Hay dos métodos que se pueden utilizar para estudiar cualquier fenómeno:

- El enfoque reduccionista: Divide el objeto de estudio en sus elementos para estudiarlos por separado. En contexto ambiental, los fenómenos son tan importantes como sus relaciones y por lo tanto deben ser estudiados desde un enfoque diferente.
- El enfoque holístico: Estudia tanto los elementos como las relaciones entre ellos. La teoría de sistemas se utiliza para estudiar el medio ambiente desde un enfoque holístico.

La TGS se define por su perspectiva holística e integradora, donde lo importante son las relaciones y los conjuntos que emergen (Arnold Cathalifaud & Osorio, 2011). Al ser multidisciplinaria tiene como objetivo examinar los sistemas, sus elementos, la combinación de los primeros en supersistemas y de los segundos en subsistemas, así como sus modos de acción o comportamiento (Von Bertalanffy, 1976).

La TGS aborda campos no - físicos del método científico; especialmente en las ciencias sociales, al desarrollar principios integradores que incluyen las áreas particulares de las ciencias involucradas en el análisis del objeto de estudio (Arnold Cathalifaud, 2010). El sistema es un conjunto de variables y elementos complejos, organizados, relacionados, ensamblados, solidariamente entre sí, interdependientes, para cumplir objetivos comunes (Arnold & Osorio, 2018; Von Bertalanffy, 1976).

El grupo de componentes interrelacionados en el sistema operan juntos con un propósito común, son capaces de reaccionar como un todo a un estímulo externo, tiene límites específicos basados en todas las retroalimentaciones significativas y no es directamente afectado por sus propios productos (Von Bertalanffy, 1989). Se trata de un arreglo de componentes físicos, unidos o relacionados que actúan como unidad; tiene una estructura que se relaciona con el número de los componentes, el tipo y el arreglo entre ellos (Arnold Cathalifaud & Osorio, 2011).

Los sistemas complejos se caracterizan por la diversidad, heterogeneidad o multiplicidad. Y complementariamente, el entendimiento específico del tiempo y la idea de que se trata de fenómenos, sistemas y comportamientos de complejidad creciente son los que definen y caracterizan a las ciencias de la complejidad. Con la idea de temporalidad, los sistemas complejos se definen directamente y son proporcionales a los grados de libertad que poseen o exhiben. Cuanto mayor sean los grados de libertad, mayor será la complejidad y, a la inversa, cuanto menor sean los grados de libertad, menor será la complejidad (M; Badii, 2008).

1.4 La ciencia ecológica en la comprensión de los servicios ecosistémicos

La ecología es la ciencia que estudia las relaciones entre los organismos y su ambiente. Las ciencias ecológicas cubren un campo muy amplio de las ciencias biológicas y utilizan conocimientos como la física atmosférica y el comportamiento animal para comprender la organización de la naturaleza. Si bien la ecología ha ocupado un lugar en las ciencias biológicas durante muchos años, existe cierto grado de confusión en su significado, ya que los grupos internacionales y los partidos políticos a menudo la confunden con "ecologismo" (Parsons, Johnson, & Harvey, 1988).

A pesar de esta confusión, en este siglo la ciencia ecológica se ha convertido en una herramienta fundamental para entender el funcionamiento de los ecosistemas y sus aplicaciones tecnológicas contribuyen a una mejor gestión de los recursos naturales, y los recursos (Semmartin, Di Bella, Grimoldi, & Oesterheld, 1993). Por su parte, la ecología estudia las relaciones entre organismos y entre estos y su ambiente en una diversidad de ecosistemas que incluye a los agroecosistemas. La ecología proporciona el conocimiento para crear un marco más completo para analizar problemas agrícolas, mejorar la comprensión de los sistemas y obtener soluciones (Elliott & Cole, 1989).

Entre los diferentes tipos de ecosistemas, uno de los más estudiados es el sistema agronómico - ganadero: un conjunto de componentes bióticos y abióticos relacionados, algunos bajo control humano, que conforman la unidad de producción de alimentos y fibras. A finales de los 90's los agroecosistemas ocupaban un 30% de la superficie total y generaban un 20% de la productividad primaria neta terrestre (Beare, Coleman, Crossley, Hendrix, & Odum, 1995; Elliott & Cole, 1989).

La agronomía estudia los sistemas agrícolas y ganaderos y los resultados de este ejercicio derivan en distintas técnicas de manejo, para crear técnicas de manejo que maximicen ciertos objetivos, generalmente económicos, dentro de las limitaciones impuestas por el medio ambiente. En el sistema agrícola importantes flujos de materia y energía circulan en forma de fertilizantes, combustibles y trabajo humano. Del mismo modo, en muchas regiones, la capacidad productiva de los sistemas agrícolas se está degradando gradualmente por la

erosión que provoca la pérdida de tierras, el pastoreo excesivo que provoca la degradación de la vegetación o las malezas. Estas observaciones indican una urgente necesidad de mejorar los rendimientos por unidad de superficie mediante el uso de técnicas de conservación de los recursos (Beare et al., 1995).

Tradicionalmente, el estudio de la ecología se ha centrado en el estudio de poblaciones, comunidades y ecosistemas en condiciones naturales. Sin embargo, en los últimos tiempos ha crecido el interés en la participación del hombre como un elemento manipulador de los ecosistemas y muchos ecólogos han dirigido su trabajo hacia los agroecosistemas. Si bien los seres humanos controlan los ecosistemas, las leyes básicas que rigen el funcionamiento de los sistemas agrarios y ganaderos son las mismas que rigen los sistemas no (Elliott & Cole, 1989).

Otro aspecto de la interacción de la ecología y la agronomía, la contribución del conocimiento ecológico al desarrollo de técnicas agronómicas se hace evidente cuando se analizan diversos temas de investigación ecológica. Un ejemplo de este aporte es el concepto de niveles jerárquicos de organización, ya que la ecología permite la visualización del ecosistema en varios niveles (individuos, poblaciones, comunidades, ecosistemas) y temporales (tiempo ontogénico, ecológico y evolutivo) (Allen & Starr, 2017).

Esta organización del análisis en distintos niveles de detalle favorece el proceso de investigación y facilita en buena medida la comprensión de los distintos problemas agronómicos. Sin embargo, estudiantes, productores o incluso agrónomos no siempre ven esta organización jerárquica. Por ejemplo, el conocimiento de los flujos de energía en los ecosistemas permite desarrollar modelos de simulación que cuantifican cómo fluye la energía de un compartimento del sistema a otro. Estos modelos pueden aplicarse a ecosistemas pastoriles para estimar la producción de biomasa vegetal (productividad primaria) y la producción de carne (productividad secundaria) (Parsons et al., 1988).

Asimismo, permiten evaluar los niveles y diferentes patrones de pérdida de energía en cada compartimento. comprender la dinámica y función de los flujos de energía y los factores que

los regulan y que pueden afectarlos, permitiendo modificarlos para optimizar la productividad y aprovechamiento de los agroecosistemas.

1.5 La ciencia geográfica y su relación con el análisis de los servicios ecosistémicos

Desde su origen como disciplina, la geografía está íntimamente relacionada, tanto conceptual como prácticamente, con el concepto de medio ambiente y, más precisamente, con su dimensión territorial. Esto es aún más importante hoy, en un contexto donde la investigación tiene que redefinir sus objetivos y contenidos para hacer frente a los problemas espaciales contemporáneos, caracterizados por el impacto del cambio global, no solo el cambio climático, sino también los impactos, sus consecuencias o respuestas a escalas local, regional y nacional (Bocco & Urquijo, 2015).

Hoy en día los temas clave son el riesgo, la vulnerabilidad, la biodiversidad distribuida geográficamente, el uso y la planificación del suelo, el análisis del paisaje, la propiedad y el acceso a los recursos, la gestión de las cuencas, entre otros. Por lo tanto, es importante discutir o profundizar en la relevancia de posibles áreas de trabajo emergentes, un enfoque conocido internacionalmente en la literatura como geografía ambiental (Cooke, 1992; Demeritt, 2009).

La geografía es de particular importancia en el contexto actual con el surgimiento de muchos estudios ambientales interesados en el análisis espacial: ciencia sustentable, ciencia del cambio de la tierra, ciencia del sistema de la tierra, sociología ambiental. La geografía ambiental, como una propuesta integradora, debe contribuir a la organización del flujo de los diferentes y variopintos componentes de la investigación, más allá de los problemas lingüísticos y metodológicos que puedan surgir de la pretensión holística (Demeritt, 2009).

La importancia de entender el medio ambiente es evidente. La humanidad en su lenta expansión sobre la superficie terrestre ha encontrado una infinidad de espacios físicos para establecerse. Por dondequiera, las personas se han enfrentado a condiciones topográficas, climáticas, edáficas, pedológicas y biológicas muy diferentes. La geografía física y el análisis integrado del medio natural, fundado por Humboldt, dejaron de ser tomadas en cuenta a finales del siglo XIX, derivado del surgimiento de disciplinas que la convertían en

objeto de estudio, con puntos de vista cada vez más segmentado, limitado y parcial (Velázquez, Bocco, & Siebe, 2014).

Durante los primeros 30 años del siglo XX, la geografía física, además de la separación anterior, estuvo orientada por el análisis descriptivo y rara vez analítico, que se cerró por completo a las demás ciencias naturales. Tierra. La ecología, por otro lado, evolucionó principalmente de la botánica, y debido al poco interés de los geógrafos, los biólogos han mostrado poco interés en los aspectos espaciales, ya sea en términos de extensión o distribución, y muestran poco interés en la sociedad. En 1936, el inglés Tamsley sistematizó el conjunto de ideas propuestas desde finales del siglo XVIII y propuso el concepto de ecosistema. El ecosistema o biocenosis es el conjunto de elementos bióticos y abióticos que presentan una estructura de funcionamiento y autorregulación, como resultado de múltiples acciones reciprocas entre todos sus componentes que son mantenidos por un flujo constante (López Lara, Posada Simeón, Moreno Navarro, & Universidad de Sevilla, 1997).

A finales de la década de 1930, para inventariar los recursos naturales y sociales y planificar su desarrollo, los geógrafos Berg, Visotski y Morosov elaboran el concepto de “Landschaftovedenie” que toma como base el concepto de ecosistema que se complementa con el enfoque marxista de integrarlo a la sociedad. El landschaftovedenie es un área específica de la superficie terrestre o región natural donde interactúan fenómenos naturales y sociales, representando una unidad dialéctica que está en continuo movimiento y desarrollo.

Los geógrafos soviéticos logran crear una geografía analítica y representativa. Analítica por medio de la aplicación del concepto de ecosistema que establecía el funcionamiento del medio natural y representativo porque se realiza una cartografía (mapas) donde se establecían las relaciones sociedad-naturaleza. Esta integración del ecosistema al espacio es seguida por la escuela de la antigua República Democrática Alemana por medio de la geografía del paisaje o “landschaftkunde”. El enfoque de la geografía del paisaje, llamado posteriormente “Teoría del paisaje” fue continuado por Sochava (1972) y Berout-chachvili (1978) en la Unión Soviética y por G. Bertrand (1972) en Francia (Vargas Ulate, 2001).

De acuerdo con Rodríguez Martínez (2008), refiere que Bertrand considera que el “paisaje

no es simplemente la suma de unos elementos geográficos incoherentes. Es el resultado sobre una cierta porción del espacio, de la combinación dinámica y, por lo tanto, inestable de elementos físicos, biológicos y antrópicos que interactuando dialécticamente los unos con los otros y hacen del paisaje un conjunto único indisociable en continua evolución, el paisaje no solo incluye el paisaje natural, sino que el paisaje incluye todas las huellas de la acción humana (Lobatón, 2013). El paisaje es la representación espacial del ecosistema, el cual se subdivide en sus niveles espaciales: la zona, el dominio, la región, el geosistema, la geofacie y el geotopo (Rodríguez Martínez, 2008; Vargas, 2012).

El paisaje es considerado como una interfaz entre los ecosistemas sistemas naturales y los sistemas sociales donde se desarrollan sus interrelaciones y sus procesos dialécticos. El funcionamiento del espacio geográfico obedece a un conjunto de limitantes naturales, sociales, económicas, culturales e históricas en interacción y constituyen un sistema en el cual, ninguno es a priori preponderante (López Lara et al., 1997).

La geografía debe partir de la idea que existe una representación y apropiación de la naturaleza por la sociedad; la representación por el uso del mapa que se constituye en el elemento fundamental del análisis geográfico y la apropiación por la interacción que el ser humano realiza con el ambiente. Esta socialización de la naturaleza es su objeto propio y es el enfoque que se da en la actualidad para lograr un mejor análisis conceptual de los fenómenos naturales y su ordenamiento territorial (Bocco & Urquijo, 2015).

1.6 Disciplinas que tienen relación con la investigación.

Las interacciones dentro de los ecosistemas conllevan todo tipo de procesos tanto físicos y biológicos que, para estudiar y entender estas complejas interacciones, los ecólogos tienen que recurrir a otras ciencias como la geología, la hidrología y la meteorología, que permite entender la relación entre los organismos y su ambiente, debido a esta dependencia hace de la ecología una ciencia interdisciplinaria. Otras ciencias son importantes para comprender cómo los organismos responden y cambian en su entorno.

Por ejemplo, la geología de un área puede afectar la disponibilidad de nutrientes y agua que las plantas necesitan para crecer. La climatología basa sus estudios en las condiciones

atmosféricas propias de las distintas zonas del planeta, apoyando así a la ecología proporcionando información para el estudio de la supervivencia propia de las especies, más aún en la relación y la adaptación propia de los medios adversos.

La geografía estudia la superficie del planeta, las comunidades, las sociedades y los paisajes, apoyando a la ecología al proporcionar datos del medio ambiente, y de sus características, en este sentido la ecología estudia las relaciones que se generan y las causas de las reacciones entre los distintos organismos. La hidrología basa su estudio en la distribución del agua y también en sus propiedades, apoyando así a la ecología, pues todos los seres vivos requieren de este líquido vital para subsistir.

En la actualidad han surgido diversos problemas ambientales a los que se enfrenta la humanidad, muchos de estos problemas son de naturaleza ecológica, y la ciencia de la ecología es esencial para comprender sus causas e identificar los medios para mitigar sus impactos.

Para afrontar una problemática tan grande requiere un marco interdisciplinario más amplio y a ese marco se le conoce como ciencia del medio ambiente. La ciencia del medio ambiente examina el impacto del ser humano sobre el medio ambiente natural y como tal comprende una amplia variedad de temas que incluyen agronomía, edafología, demografía, agricultura, energía e hidrología, por nombrar algunos.

1.6.1 Servicios Ecosistémicos.

El término servicios ecosistémicos a través de los años ha tenido diversas definiciones, en la década de 1960 el origen del concepto surge a la par del término “servicios ambientales” acuñado por el movimiento ambientalista de Estados Unidos, registrando a finales de la década una aportación científica importante en el documento, titulado “Study of Critical Environmental Problems” (1970). Más tarde, definiciones de ecología se dieron a conocer por Daily (1997), en el libro titulado “Nature services”, entendiéndolos como las “condiciones y procesos por los que los ecosistemas naturales y las especies que los constituyen sostienen la vida humana”.

La primera clasificación para servicios ecosistémicos fue propuesta por Constanza y define el concepto como “los beneficios que las poblaciones humanas obtienen, directa o indirectamente, de las funciones de los ecosistemas”, lo que propició un importante debate acerca de la mercantilización de la naturaleza, así mismo agrupó 17 servicios ecosistémicos (Constanza et al., 1997) vinculado con las propuestas hechas por de Groot, Wilson & Boumans (2002), quienes concentran un total de 23 funciones en 4 categorías principales: funciones de regulación, funciones de hábitat, funciones de producción y funciones de control. Sin embargo, la clasificación más difundida y utilizada actualmente es la propuesta por el Millenium Ecosystem Assessment (MEA) (Mooney et al., 2005).

Durante los años 2001-2005 el MEA convocó a un importante grupo de especialistas de 95 países, para evaluar el estado de los ecosistemas, las consecuencias de los cambios y su influencia en el bienestar humano (Declaración del Consejo de MEA, 2005) y determinar las líneas funcionales del marco conceptual de los servicios ecosistémicos que incluyen servicios de soporte, regulación, aprovisionamiento y culturales (Cuadro 1). Logrando con esto, estabilizar el uso de la expresión “servicios ecosistémicos”, definiéndolos como “los beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas” (Constanza, 2008), haciendo un cambio en la perspectiva de la conservación, promoviendo los valores instrumentales de la naturaleza.

Han sido diversas las definiciones que buscan proponer un acercamiento que promueva un consenso científico hacia el entendimiento de este concepto, proponiendo definiciones alternativas como la de Boyd & Banzhaf (2007), que añade términos como “supervivencia y calidad de vida”, acercándolo a un concepto más antropocéntrico (Díaz Burgos, 2017). Para muchos la Evaluación de Ecosistemas del Milenio Española (Santos Martín & Montes, 2013), ha mejorado esta definición sustituyendo el término “beneficio” por “contribución” para quitar el sentido netamente económico, resaltando los beneficios sociales y ecológicos (Latterra, Jobbágy E, & Paruelo, 2011).

En este sentido, si bien existe una idea generalizada sobre qué son los servicios ecosistémicos, aún existen importantes diferencias en este concepto, las que han promovido que el desarrollo de las investigaciones evalúe o valoren diferentes aspectos de las relaciones

naturaleza-sociedad, ya que el concepto varía desde “procesos y condiciones” (Costanza & Folke, 1997), hasta los “beneficios últimos obtenidos por la sociedad” (Boyd & Banzhaf, 2007; Burkhard & Maes, 2017).

1.6.2 Evolución del concepto.

A finales del siglo XVII el término ecosistema tuvo origen debido a la necesidad de entender los patrones de distribución, formación y unión de los organismos en un entorno físico, pero es hasta la publicación en 1916 de la teoría de la sucesión de Frederick Clemente, constituye el marco contextual desde donde tiene su origen el concepto ecosistema, el cual se planteaba desde un punto de vista determinista, ya que asumía que toda comunidad progresaría indudablemente a una composición estable, y a un estado final único de equilibrio (Flores Arteaga, 2019).

En contraparte Gleason (1926) propone una visión individualista que propone que cada especie tiene patrones individuales de distribución y las comunidades son simplemente el resultado de la superposición de varias poblaciones con una distribución común. George Tensely (1935) propone el término ecosistema en su artículo titulado “*The use and abuse of vegetal concepts and terms*”, planteaba que el ecosistema era la unidad básica de la ecología, siendo parte en una jerarquía de sistemas entre aspectos bióticos y abióticos. Si bien Gleason fue inicialmente ignorado por la mayoría de los ecólogos, su postura opuesta a las ideas expuestas de la teoría sucesional Clementsiana son hoy en día ampliamente aceptados (Rincon, 2017).

De tal manera que el término ecosistema ha evolucionado constantemente, si bien las propuestas de Gleason fueron ignoradas en un inicio debido a la contra posición de la Teoría Clementsiana son hoy en día ampliamente aceptados. En las últimas décadas el término ha tenido un énfasis geográfico y se ha hecho análogo a los tipos de vegetación y ocupación del suelo. Se ha sugerido que esta simplificación ignora el hecho de que los límites de algunos tipos de vegetación son discretos mientras que los límites de los ecosistemas no lo son. Las zonas de transición entre ecosistemas se denominan “ecotonos” (CONABIO y SEMARNAT, 2009).

Según CONABIO, los procesos ecológicos son necesarios para proteger los ecosistemas: ciclo del agua, los ciclos de nutrientes, el flujo de energía y la dinámica de las comunidades, es decir, la composición y la estructura, de cómo cambia (continuamente) el ecosistema después de ser perturbado. El concepto de "servicios" que los ecosistemas brindan a los humanos es resultado del movimiento ambientalista de fines de la década de 1960 (Patricia Balvanera, 2007).

En este sentido, el ecosistema es fuente de bienestar social, la provisión de materias primas, agua, regulación del clima son solo algunos de estos beneficios. En un principio se creía que eran inagotables, en la actualidad es todo lo contrario, ya que la necesidad de proteger los ecosistemas derivado de una pérdida acelerada y la fragilidad ya que con esto va limitando la disponibilidad de bienes y servicios. Este mensaje ha sido reconocido y está llegando a actores clave alrededor del mundo, de aquí la importancia de evaluar, identificar y clasificar el conjunto de beneficios que brindan los ecosistemas.

En 21 años el término ha sido motivo y centro del debate científico, la diferenciación entre procesos y funciones de los servicios ecosistémicos es uno de ellos. Para Costanza (2017), los procesos y funciones del ecosistema contribuyen a los servicios ecosistémicos, pero no son sinónimos ya que los procesos y funciones de los ecosistemas que describen las relaciones biofísicas existentes independientemente del beneficio o no por parte de los seres humanos. Por el contrario, los servicios ecosistémicos son aquellos procesos y funciones que benefician a las personas, consciente o inconscientemente, directa o indirectamente. Solo existen si contribuyen al bienestar humano y no se pueden definir de forma independiente (Cordoves Sánchez & Vallejos Romero, 2019).

El papel de los humanos en la coproducción de SE es cada vez más reconocida en la literatura científica, como una idea clave en la interfaz ciencia-política. Reconocida en la EEM mediante el capital humano se identifica como un factor de menor importancia, es hasta el marco conceptual de Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Service (IPBES) que se establece que tanto la 'naturaleza' como otros 'activos antropogénicos' contribuyen conjuntamente a la provisión de servicios ecosistémicos para el bienestar humano (Díaz et al., 2015), dicha corriente se reconoce como esfuerzo por valorar la

bidireccionalidad del estudio de los SE.

Autores claves de esta ideología son Biggs, Reyes y Palomo que consideran que los SE son producidos conjuntamente mediante procesos socioecológicos: en su base, requieren ecosistemas, pero están dirigidos exclusivamente hacia los humanos y generalmente requieren alguna forma de intervención humana para ser recibido (Flores Arteaga, 2019).

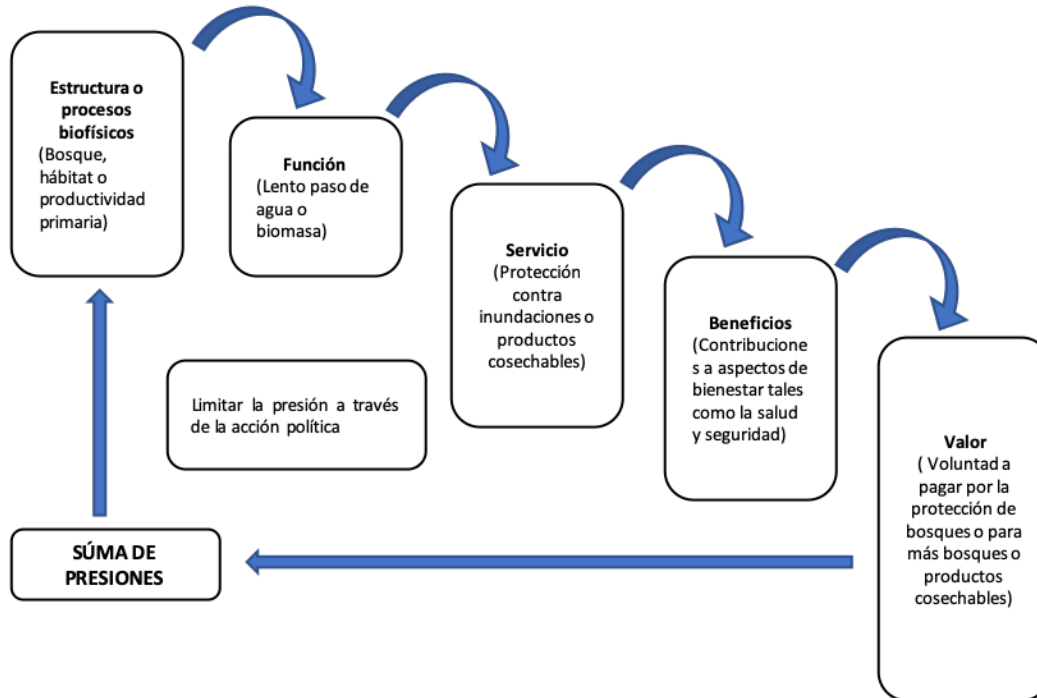
En resumen, el concepto de servicios ecosistémicos ayuda a establecer un vínculo claro entre los sistemas ecológicos es decir entre el estado y funcionamiento de los ecosistemas y los sistemas sociales en los que se ve reflejado el bienestar humano, así mismo ayuda a orientar la gestión de procesos biofísicos que sustentan el bienestar humano en un escenario de cambio ambiental. Esta relación puede ser directa o indirecta, y las personas pueden o no ser conscientes de ello.

1.6.3 Definiciones y clasificación de los servicios ecosistémicos.

Para entender el concepto de servicios ecosistémicos (SE), es necesario definir los ecosistemas considerados una combinación compleja y dinámica de plantas, animales, microorganismos y el entorno abiótico, mediante procesos como la depredación y simbiosis, con su ambiente al desintegrarse y regresar mediante el ciclo de nutrientes. Los ecosistemas son unidades complejas que están integradas por bacterias, hongos, vegetales y animales (Flores Arteaga, 2019).

"En la investigación de servicios, es necesario resaltar un subconjunto de funciones del ecosistema que están estrechamente relacionadas con la capacidad para satisfacer las necesidades humanas directa o indirectamente" (de Groot et al., 2002).

Figura 1. Modelo de cascada propuesto por CICES



Fuente: Haines & Potschin (2010) en Burkhard & Maes (2017).

El marco conceptual de los SE, se aborda de acuerdo con lo que se presenta en la Figura 1, dónde a partir de la estructura o procesos biofísicos, que crean una amplia gama de funciones que se traducen en servicios que benefician a las comunidades humanas y pueden valorarse desde una perspectiva ecológica, económica y social (Burkhard & Maes, 2017).

"Los SE son los beneficios que la gente obtiene de los ecosistemas". Estos incluyen servicios de aprovisionamiento, servicios de regulación, servicios culturales y servicios de apoyo que mantienen las condiciones de vida en la Tierra (Cuadro 1). Definición mucho más sencilla, que permite tener un impacto más claro y directo sobre los tomadores de decisiones. Sin embargo, no permite hacer una distinción explícita entre lo que sucede en los ecosistemas y aquello que beneficia a las poblaciones humanas (Mooney et al., 2005).

Cuadro 1. Clasificación de los Servicios Ecosistémicos

Servicios de aprovisionamiento	Servicios de regulación	Servicios culturales
Los productos obtenidos a partir de los ecosistemas	Los servicios obtenidos de la regulación de los procesos de los ecosistemas	Beneficios no materiales obtenidos de los ecosistemas.

Comida Agua dulce, leña Fibra Bioquímicos Los recursos genéticos	Regulación del clima Regulación de enfermedades Regulación del agua, purificación del agua, polinización	Espiritual y religiosa Recreación y ecoturismo Estética, inspiración Educativo El sentido del lugar Patrimonio Cultural
Servicios de Soporte		
Servicio necesario para la producción de todos los demás servicios de los ecosistemas, formación del suelo, el ciclo de nutrientes, producción primaria		

Fuente: Camacho Valdez & Ruiz Luna, (2012).

Los SE son el flujo de los bienes naturales que proporcionan beneficios financieros, ecológicos y culturales. Distingue entre servicios y bienes ecosistémicos; los SE son el medio donde se generan los productos ecosistémicos. El problema con este y otros enfoques similares es que no hay una separación de los medios y los fines (Maass et al., 2005).

Quétier et al., (2007), proponen un marco conceptual que permite describir los componentes y características de los ecosistemas desde una perspectiva funcional y sugiere la integración de las necesidades de múltiples partes interesadas en el manejo de los recursos naturales.

Meynard et al., (2007), con sus investigaciones, presentan modelos ecológicos que entienden la relación entre los bosques y el agua con modelos económicos que permiten la valoración económica de los SE, así como modelos educativos, estos modelos incluyen amplias actividades destinadas a la difusión de estos estudios y a cambiar los paradigmas actuales y en la toma de decisiones.

Wunder, Wertz-Kanounnikoff, & Moreno-Sánchez (2007), consideraron la ecología de los diversos servicios para los que se desarrollan estos esquemas: observaron la biodiversidad y discutieron la viabilidad de estos esquemas de pago para asegurar su conservación.

Algunos términos científicos se han mantenido estáticos a lo largos de décadas, caso contrario el concepto SE que se podría considerar un concepto o término en constante evolución, por ejemplo en el año de 1997 dicho concepto definía a los servicios ecosistémicos de manera ampliamente reconocida por el sector científico “como las características ecológicas, funciones o procesos que directamente o indirectamente contribuyen al bienestar humano: es decir, los beneficios que las personas obtienen del

funcionamiento de los ecosistemas” (Costanza et al., 1997).

Actualmente, se recopilan diferentes definiciones de servicios ecosistémicos para facilitar el estudio y la comprensión de los impactos del ser humano en los ecosistemas, el valor benéfico de los recursos naturales, el potencial para integrar las temáticas ecosistémicas en los creadores de políticas y promover la sostenibilidad territorial y urbana.

Sin embargo, se deben realizar esfuerzos para aplicar plenamente un concepto que pueda integrar diferentes posturas y diversas clasificaciones para abordar la problemática por parte de diferentes actores involucrados en la conservación y gestión de recursos en áreas urbanas y naturales (Camacho Valdez & Ruiz Luna, 2012).

Costanza et al., (1997), refieren que los SE son "las condiciones y procesos bajo los cuales los ecosistemas naturales y las especies que los producen sustentan y satisfacen la vida humana". Son “los bienes y servicios de los ecosistemas representan los beneficios que las personas obtienen directa o indirectamente del funcionamiento de los ecosistemas”.

De acuerdo con de Groot et al., (2002), mencionan que: “las funciones ecosistémicas, representan la capacidad de los procesos y componentes naturales para proporcionar bienes y servicios que directa o indirectamente satisfacen las necesidades humanas. No existe una definición totalmente aceptada o una clasificación básica mediante la cual los SE puedan evaluarse completamente”.

El Millenium Ecosystem Assessment MEA (2005), menciona que los SE son “los beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas, incluidos bienes tangibles y bienes provenientes de los procesos intangibles de los ecosistemas". Los SE representan una parte integral de la naturaleza, que se pueden disfrutar o utilizar directamente para la vida humana. Entonces: “Los servicios ecosistémicos son únicamente aquellos procesos ecológicos involucrados en la producción de bienes y servicios que usa la gente. Es decir, procura la separación de los servicios ambientales producidos o puestos a disposición a través de la acción natural de los beneficios que la sociedad obtiene de una acción o intervención en particular.” (Boyd & Banzhaf, 2007).

Estas definiciones son consistentes en todos los usos humanos que se le da a los SE. La vegetación en cualquier de sus estados proporciona, directa o indirectamente, los beneficios necesarios para el desarrollo de la vida en el planeta. Una correcta y planificada estructura vegetal en la ciudad propicia condiciones y procesos claves en mejorar el sistema urbano, constituyendo, sustentando y satisfaciendo necesidades claves en la vida humana. Como se mencionó anteriormente, el concepto de SE, se origina a partir de la valoración de las funciones, procesos, componentes y bienes que la naturaleza brinda al hombre. El Protocolo “Ecoser” referencia y contextualiza explícitamente la distinción entre procesos, funciones, servicios y valores sociales (Latterra et al., 2011).

1.7 Efecto de los servicios ecosistémicos sobre la vulnerabilidad y resiliencia de los ecosistemas.

De acuerdo con Balvanera (2012), el Panel Intergubernamental en Cambio Climático (IPCC), en 2001 define la vulnerabilidad como el grado en que un sistema es vulnerable o incapaz de hacer frente a los efectos adversos del cambio climático, incluidos la variabilidad climática y eventos extremos. Es la tendencia inherente de un ecosistema o de algunos de sus componentes a sufrir daños en presencia de una fuerza o energía potencialmente destructiva (De la Barrera & Bachmann-Vargas, 2015). Es un concepto multidimensional que incluye exposición (el grado al cual un grupo humano o ecosistema entra en contacto con un riesgo particular); sensibilidad (el grado al cual una unidad de exposición es afectada por la exposición) y resiliencia (capacidad para resistir o recuperarse del daño asociado con la convergencia de presiones múltiples); (Laurance et al., 2011).

La resiliencia se define como la propiedad de un sistema para mantener su estructura organizacional y productividad después de una perturbación. En otras palabras, es la capacidad de un sistema de absorber shocks, aunque también enfatiza la velocidad de recuperación de una disturbancia (Wu, Lin, Chiang, & Huang, 2014).

El análisis de los sistemas socioecológicos utiliza un conjunto de métodos conocidos como la Ciencias de la Sustentabilidad, integran el concepto de vulnerabilidad desarrollado en las ciencias sociales con el de resiliencia utilizado en las ciencias ambientales y, de esta manera,

generar un lenguaje común que facilita los esfuerzos multidisciplinarios (Pascual et al., 2017).

Inicialmente, el concepto de vulnerabilidad se derivó de la necesidad de responder a tragedias humanas y económicas, provocadas por el hombre o por desastres naturales. La susceptibilidad se puede dividir en: exposición, sensibilidad y resiliencia. El primero se refiere a eventos potencialmente catastróficos que presentan una frecuencia, duración y magnitud y que ocurren dentro de un contexto biogeofísico dado y en una población con potencial de mitigación definida (Patricia Balvanera, Astier, Gurri, & Zermeño-Hernández, 2017).

La sensibilidad mide cómo las condiciones socioecológicas existentes permiten que los individuos o las comunidades absorban los cambios causados por eventos catastróficos (Gallopín, 2003). La sensibilidad se asemeja mucho a lo que se conoce como vulnerabilidad social, y dado que puede variar independientemente de la ocurrencia de fenómenos de riesgo, puede conceptualizarse como un único elemento de vulnerabilidad.

Finalmente, la resiliencia se refiere a la capacidad de un sistema para absorber perturbaciones y mantener su funcionalidad, así como para renovarse y reorganizarse. La resiliencia depende del estado de los recursos naturales (suelos, agua y biodiversidad) y de los niveles de conocimientos y habilidades para aprender y gestionar grupos de personas e instituciones (Bravo Espinosa, Mendoza Cantú, & Medina Orozco, 2009).

El concepto de “servicios ecosistémicos” surgió como precursor de la visión socioecológica para explicar la interdependencia entre sociedad y naturaleza (Daily et al., 2009). Los servicios ecosistémicos, o los beneficios que derivan de los ecosistemas, se concibieron originalmente como un flujo específico de los ecosistemas a la sociedad, incluyendo los bienes materiales, la regulación de las condiciones bajo las cuales viven las sociedades y llevan a cabo sus actividades productivas, así como los beneficios intangibles (Díaz et al., 2015).

Ahora se argumenta que la interacción entre sociedad y naturaleza es mutuamente

beneficiosa para la sociedad (Pascual et al., 2017). El concepto de resistencia se origina a partir de estudios experimentales de los sistemas que nos rodean, a partir de la observación de fenómenos que operan en múltiples escalas espaciales y temporales, como los fenómenos ambientales, como la sequía y sus consecuencias. Sin embargo, la recuperación de su función puede variar entre formas, y cambios en el sistema socioecológico pueden verse alterados por su propia dinámica, conocida como adaptabilidad, la restauración puede tomar un período de tiempo indefinido y además es difícil de detectar.

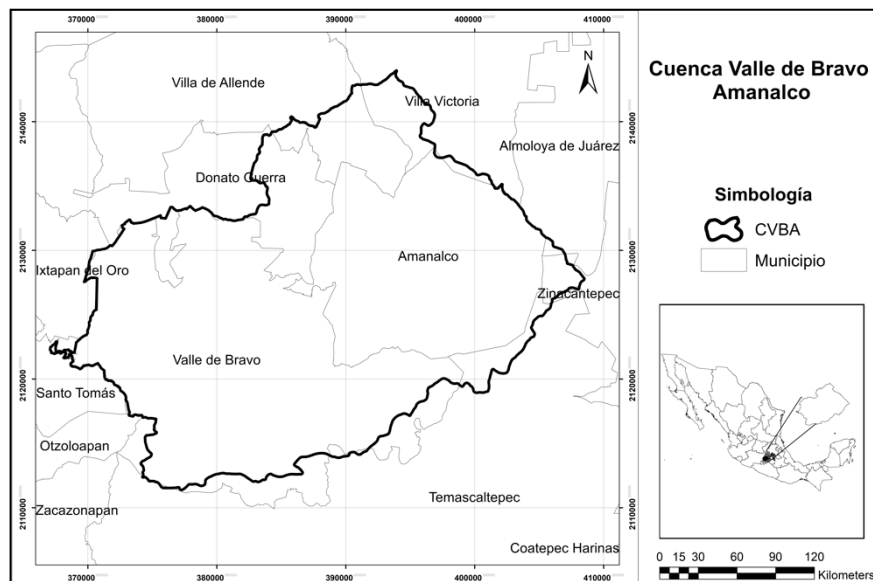
En el estudio de posibles desastres, el concepto de " capacidad adaptativa" (resiliencia) surge de la capacidad de los sistemas para mitigar los efectos negativos de los desastres y explotar su capacidad para repararlos (Patricia Balvanera et al., 2017). La capacidad adaptativa (o adaptabilidad) se centra en la capacidad que poseen los afectados para tomar decisiones que conduzcan a procesos de gobernanza y autogestión, así como la capacidad de crear instituciones y políticas públicas. Se trata de promover estrategias que ayuden a crear adaptaciones sustentables y realistas en contextos de sistemas limitados, a los cambios estructurales a los que están sujetos los sistemas socioecológicos (López Báez, Palacios Herrera, & Reynoso Santos, 2016).

CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA

2.1 Área de estudio.

La Subcuenca Valle de Bravo - Amanalco cuenta con una superficie de 72,555.54 has. se encuentra en el poniente del Estado de México, cubre en su totalidad el Municipio de Amanalco, la mayor parte de Valle de Bravo, algunas partes significativas de los Municipios de Donato Guerra, Villa de Allende, Villa Victoria y Temascaltepec. En superficies menores abarca parte de los municipios de Almoloya de Juárez y Zinacantepec (Figura 2). La Cuenca pertenece a la Región Hidrológica 18 Cuenca Río Balsas, y dentro de ésta a la Cuenca del Río Cutzamala, y así a la Subcuenca Río Tilostoc. Geográficamente se ubica entre los paralelos 19°23'05" y 19°05'30" y los meridianos 99°52'00" y 100°11'40".

Figura 2. Localización de la zona de estudio



Fuente: Elaboración propia con base al INEGI 2019.

2.2 Etapas metodológicas

En el presente trabajo la metodología constó de cuatro etapas, a saber para los años 2005 y 2017, las cuales consistieron en; 1) caracterizar los ecosistemas presentes en la SVBA, Estado de México; 2) estimar la evolución y cambios en la capacidad de producción del servicio ecosistémico almacenamiento de carbono en la SVBA; 3) estimar la evolución y cambios en la capacidad de producción del servicio ecosistémico retención de suelo en la SVBA; 4) estimar la evolución y cambios en la capacidad de producción del servicio ecosistémico de provisión de alimentos; los cuales se llevaron a cabo de la siguiente manera:

Etapas 1. Caracterización geográfica del área de estudio

Para determinar los ecosistemas en el área de estudio, se llevó a cabo con las cartas de uso de suelo y vegetación del INEGI, a partir del cual se identificaron los ecosistemas con base en cada uso de suelo (Burkhard & Maes, 2017).

La caracterización se lleva a cabo mediante el método geográfico, identificando y representando cartográficamente los elementos geográficos, ambientales, ecológicos y agrícolas. La subcuenca posee una amplia diversidad biológica y agrobiodiversidad que favorecen y complementan la dieta alimentaria.

El relieve de la subcuenca se caracteriza por cerros, mesas y laderas abruptas van desde los 1,100 hasta los 3,730 msnm (Figura 2). Entre las elevaciones principales sobresalen los cerros Gordo (2,600 msnm), San Agustín (2,680 msnm), Capulín (2,660 msnm), Sacametate (2,200 msnm), Escalerilla (2,580 msnm), Los Reyes (2,880 msnm), Coporito (2,990 msnm), Ídolo (3,040 msnm), Piedra Herrada (3,310 msnm).

Los suelos de la Subcuenca se derivan de materiales volcánicos de diferentes edades y están formados por materiales minerales y orgánicos, así como organismos vivos. En orden de desarrollo destacan: Acrisol háplico y Luvisol crómico (los más evolucionados), los Cambisoles, Andosoles (típicos de las zonas forestales), Phaeozem háplicos, los Leptosoles (poco desarrollados) y los Regosoles (los menos desarrollados).

Se presentan 3 grandes regiones climatológicas en la zona de estudio. En la mayor parte de

la Subcuenca (entre la cota 2,200 a 3,000 msnm) se presenta el clima templado subhúmedo (Cw2). En el poniente, debajo de la cota 2,200 msnm se presenta el semicálido ((A)Cw1) que es un poco más árido que las demás zonas climatológicas. En el extremo oriente, (en la parte más elevada, arriba de 3,000 msnm) se presenta el semifrío subhúmedo (C(E)w2).

El Programa de Ordenamiento Ecológico Regional de la Subcuenca Valle de Bravo publicado el 30 de octubre de 2003 en la Gaceta Oficial del Gobierno del Estado de México.

Análisis espaciotemporal de los ecosistemas del área de estudio 2005 y 2017.

Para determinar los ecosistemas presentes, se utilizaron las cartas de uso del suelo y vegetación del INEGI que corresponden a la zona de estudio, a partir del cual se determinaron los ecosistemas con base en cada uso de suelo (Burkhard & Maes, 2017). La caracterización se llevó a cabo mediante el método geográfico, identificando y representando cartográficamente los elementos geográficos, ambientales, ecológicos y agrícolas. Ya que la cuenca posee una amplia diversidad biológica y agrobiodiversidad que favorecen y complementan la dieta alimentaria.

1.1 Usos de suelo y vegetación.

El método consistió en delimitar cartográficamente el espacio geográfico que comprende la Subcuenca. Utilizando herramientas de Sistemas de Información Geográfica para representar cartográficamente la zona de estudio. En esta etapa se elaboraron los mapas de uso de suelo y vegetación de la Cuenca Valle de Bravo Amanalco, que permitieron clasificar y tipificar los tipos de uso de suelo y vegetación, así como el área superficial que ocupa cada uno de ellos y la ubicación geográfica de los usos de suelo y vegetación de la serie III y VI del INEGI, se cuantificaron, fotointerpretaron cartográficamente y se ubicaron espacialmente los usos de suelo y vegetación (Cuadro 2).

Cuadro 2. Uso de suelo y Vegetación

Etapas 1	Fase 1	Método de determinación	Factor	Variables	Unidad de Medición	Parámetro Estadístico	Producto	
Ecosistemas presentes en la SVBA, Estado de México.	Investigar los usos de suelo y vegetación de la serie IV de INEGI.	Fotointerpretación cartográfica.	Tipificación de Suelo y vegetación.	Tipos de suelo y vegetación de la serie IV de INEGI.	Ha	% del Área Total	Mapa	Cuadro resumen.
			Cuantitativo	Área superficial de tipos de suelo y vegetación de la serie IV de INEGI.	Ha.	% del Área Total		
			Espacial	Ubicación geográfica de los tipos de suelo y vegetación de la serie IV de INEGI.				

Fuente: Elaboración propia 2019.

1.2 Ecosistemas de la Subcuenca Valle de Bravo – Amanalco.

El medio ambiente está conformado por elementos de vital importancia para el equilibrio ecológico de los seres vivos y no vivos que se desarrollan y cohabitan en un mismo lugar y les permite interactuar y relacionarse entre ellos.

A ese hábitat se le llama ecosistema. Es un medio físico y lugar donde coexisten un conjunto de organismos o seres vivos. Y está compuesta por factores físicos y biológicos como plantas, animales, bacterias, hongos, protistas, microorganismos, humedad, temperatura, luz, viento, entre otros elementos que forman el medio ambiente.

El avance desmesurado de los seres humanos sobre los ecosistemas ha producido alteraciones climáticas, geográficas que afectan no sólo a la flora y a la fauna si no también al mismo ser humano ya que las condiciones del clima (temperaturas alteradas, precipitaciones abundantes o sequías profundas, tornados, etc.) son consecuencia directa de su acción (FAO, 2019).

Es por ello por lo que se considera que los ecosistemas tienen un papel importante para el equilibrio natural en el planeta, siendo hábitat para la biodiversidad y otros recursos naturales que el ser humano puede aprovechar. Estos mismos, autorregulan el planeta por medio de las plantas que retienen el carbono para purificar el aire que se respira.

Para esta etapa el método consistió en hacer fotointerpretación de los tipos de vegetación que permitió identificar cada ecosistema presenta en la zona de estudio, así como ubicar espacialmente, clasificar, tipificar y cuantificar el área superficial que ocupa cada tipo de ecosistema (Cuadro 3).

Cuadro 3. Ecosistemas del área de estudio.

Etapa 1	Fase 2	Método de determinación	Factor	Variables	Unidad de Medición	Parámetro Estadístico	Producto	
Ecosistemas presentes en la SVBA, Estado de México.	Describir los ecosistemas presentes en la Cuenca Valle	Fotointerpretación cartográfica.	Tipificación	Tipos de Ecosistemas	Ha	% del Área Total	Mapa	Cuadro resumen
			Cuantitativo	Área Superficial de los Ecosistemas	Ha.	% del Área Total		
			Espacial	Ubicación Geográfica de los Ecosistemas	Ubicación Geográfica	Ubicación Geográfica.		

Fuente: Elaboración propia 2019.

Etapa 2. Análisis espaciotemporal de la evolución y cambios en la capacidad de producción de los servicios ecosistémicos almacenamiento de carbono y retención de suelo durante el periodo 2005 y 2017.

De acuerdo con la FAO, (2019) el mantenimiento de la calidad del aire y del suelo, el control de las inundaciones y enfermedades o la polinización de cultivos son algunos de los “servicios de regulación” proporcionados por los ecosistemas. A menudo son invisibles y, por consiguiente, en la mayoría de los casos se dan por sentados. La agricultura, la silvicultura y la pesca resultan afectadas por todos los tipos de servicios ecosistémicos y a su vez influyen en ellos.

Así mismo refiere que los árboles urbanos pueden influir en la calidad del aire de la siguiente manera: i) convirtiendo el dióxido de carbono en oxígeno a través de la fotosíntesis; ii) interceptando partículas contaminantes (polvo, ceniza, polen y humo) y absorbiendo gases tóxicos como el ozono, el dióxido de azufre y el dióxido de nitrógeno; iii) emitiendo diversos compuestos orgánicos volátiles y contribuyendo así a la formación de ozono en las ciudades; iv) reduciendo la temperatura local del aire; v) reduciendo las temperaturas

extremas de los edificios tanto en invierno como en verano, y reduciendo por lo tanto las emisiones contaminantes de las instalaciones de generación de energía. (Flores Arteaga, 2019).

Invertir el proceso de degradación del suelo, el agua y los recursos biológicos es un componente esencial para lograr la seguridad alimentaria y de los medios de vida. Los síntomas de la degradación del suelo son numerosos y comprenden la disminución de la fertilidad, la acidificación, la salinización, la alcalinización, el deterioro de la estructura del suelo, una erosión eólica e hídrica acelerada y la pérdida de materia orgánica y biodiversidad. Las repercusiones socioeconómicas resultantes son, entre otras, que la productividad de la mano de obra agrícola y los ingresos generados por la agricultura están cayendo, la migración a las zonas urbanas está aumentando y la pobreza rural se está agravando (FAO, 2006).

Los esfuerzos encaminados a restablecer la productividad de los suelos degradados deben complementarse con otras medidas que afectan a las prácticas de aprovechamiento de la tierra, en particular la agricultura de conservación, las buenas prácticas agrícolas y la gestión del riego, así como la gestión integrada de los nutrientes de las plantas. Estudios han demostrado que cuanto más se parece un sistema agrícola a un bosque natural en su estructura de cubierta, espaciado de árboles y cubierta vegetal, menos posibilidades hay de erosión del suelo. Durante siglos, se han utilizado técnicas agroforestales tradicionales, que proporcionan cubierta natural, para producir alimentos sin causar daños a largo plazo al medio ambiente (FAO, 2019).

2.1 Análisis espaciotemporal del almacenamiento de carbono.

Para estimar la cantidad de carbono almacenado del área de estudio se utilizó la siguiente metodología: 1) Modificación de series de uso de suelo (III y VI) con base en imágenes de satélite del sensor Landsat Thematic Mapper (TM) en 2005 y Landsat OLI 2017. Para estimar la cantidad de carbono almacenado del área de estudio, se llevó a cabo mediante la elaboración del mapa que representa cartográficamente la zona de estudio identificando en este los diferentes tipos de ecosistemas a través de las cartas de uso de suelo y vegetación de la serie III y VI del INEGI; 2) Ajuste de las clases de los polígonos de uso de suelo a las

imágenes satelitales; 3) Delimitación y cuantificación de cada tipo de vegetación y uso del suelo en ambos periodos; 4) Análisis espaciotemporal, sobre la evolución y cambios en la superficie ocupada por cada tipo de vegetación; y 5) Análisis sobre la evolución y cambios en la capacidad de producción y distribución espacial del servicio ecosistémico almacenamiento de carbono 2005 y 2017 en la SVBA.

Cuadro 4. Almacenamiento de carbono.

Etapa 2	Fase 3	Método de determinación	Factor	Variables	Unidad de Medición	Parámetro Estadístico	Producto
Estimar la evolución y cambios en la capacidad de producción del servicio de almacenamiento de carbono 2005-2017	Análisis del Almacenamiento de carbono	Cálculo de la superficie de cada ecosistema	Cuantitativo	Cantidad de carbono almacenado	Ton/ha.	Ecuación Lineal.	Mapa Cuadro resumen.

Fuente: Elaboración propia 2019.

2.2 Análisis espaciotemporal de la retención del suelo.

Para calcular la pérdida de suelo por erosión hídrica se aplicó el método denominado Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (EUPS) (Bueno-Hurtado, Velásquez-Valle, López-Santos, Sánchez-Cohen, & González-Barrios, 2016; Wischmeier & Smith, 1978), la expresión de esta ecuación es:

$$A = R. K. S. L. C. P$$

Donde

A: Pérdida de suelo por unidad de superficie (tn/ha.año).

R: Factor de la lluvia o índice de erosión pluvial (MJ. mm /ha h).

K: Factor erodabilidad del suelo (tn. ha.h/ha.MJ.mm) y depende fuertemente de la textura de los suelos, la que no puede ser fácilmente mejorada.

L: Factor longitud de pendiente (adimensional).

S: Pendiente (adimensional).

C: Factor de cobertura vegetal.

P: Factor prácticas de cultivo.

Esta ecuación fue diseñada para la predicción de la erosión en suelos preferentemente agrícolas y con base anual. No obstante, contiene algunos índices y factores que, con la debida adaptación, hacen que la ecuación pueda también utilizarse en algunas situaciones de manejo forestal. (Portuguez M, 2015). Los factores que considera la ecuación EUPS son los siguientes:

Factor R. Erosividad de la lluvia.

Corresponde a la erosividad generada por la precipitación media anual, los datos se obtuvieron del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y del software de manejo de datos climatológicos desarrollado por las Naciones Unidas “CLICOM” (Climate Computing Project). Para los dos periodos de estudio se consideraron datos de las estaciones meteorológicas ubicadas dentro y en el contexto del área de estudio (Sánchez-Hernández, De Dios Mendoza-Palacios, De la Cruz Reyes, Mendoza Martínez, & Ramos-Reyes, 2013).

Para estimar la erosividad de la lluvia (R) se utilizó la ecuación correspondiente a la región VII de la República Mexicana, donde se ubica la zona de estudio (Flores López, Martínez Menes, Oropeza Mota, Mejía Saens, & Carrillo González, 2003). El modelo aplicado fue:

$$Y = -0.0334X^2 + 0.006661X, \text{ con } R^2 = 0.98$$

Donde:

Y: Valor de EI30 anual en MJ·mm (ha·hr)⁻¹

X: Lluvia anual en mm.

El factor de erosividad (R), se calculó a partir de datos promedios de precipitación anual (pp), esta expresión permitió conocer la erosividad de la lluvia media anual por cada estación climatológica, posteriormente, la información se trabajó en el SIG ArcGIS 10.6, para lo cual se hizo una interpolación de los valores de erosividad, empleando la herramienta IDW de Spatial Analyst Tools, este método se hizo para cada periodo de estudio 2005 y 2021, y así se obtuvieron los mapas del factor R en formato raster.

Factor K. Erosionabilidad del suelo.

El factor de erosionabilidad del suelo (K), se calculó con la información obtenida de las cartas edafológicas con claves: Villa de Allende E14A-36, San Miguel Zinacantepec E14A-37, Valle de Bravo E14A-46, Volcán Nevado de Toluca E14A-47, (Escala: 1/50 000 del INEGI), de las cuales se digitalizaron los diferentes tipos de texturas de los suelos en el SIG ArcGIS 10.6. Posteriormente los polígonos del tipo de textura se cambiaron de formato vector a ráster. El factor K se calculó de acuerdo con el criterio que establece la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO) y que consiste en multiplicar los valores que se presentan en el Cuadro 5, asignados a los factores textura y unidad de suelo, según la clasificación de FAO - UNESCO, (2008), este factor se estimó una vez para los dos periodos de estudio (Wischmeier & Smith, 1978). El modelo aplicado fue:

Cuadro 5. Valores de erosionabilidad (Factor K) para diversas texturas de las unidades de suelo, de acuerdo con la FAO (1980).

Orden	Textura			Orden	Textura		
	Gruesa	Media	Fina		Gruesa	Media	Fina
Acrisoles A	0.026	0.040	0.013	Luvisol	0.026	0.040	0.013
Acrisol	0.013	0.020	0.007	Órtico Lo			
Férrico Af				Luvisol	0.053	0.079	0.026
Acrisol	0.026	0.040	0.013	Pléntico Lp			
Gleico Ag				Luvisol	0.053	0.079	0.026
Acrisol	0.013	0.020	0.007	Vértico Lv			
Húmico Ah				Greyzems M	0.026	0.040	0.013
Acrisol	0.026	0.040	0.013	Nitosol N	0.013	0.020	0.007
Órtico Ao				Histosol O	0.013	0.020	0.007
Acrisol	0.053	0.079	0.026	Histosol	0.013	0.020	0.007
Pléntico Ap				Éutrico Oe			
Cambisol B	0.026	0.040	0.013				

Cambisol Crómico Bc	0.026	0.040	0.013	Podzol P	0.053	0.079	0.026
Cambisol Distritico Bd	0.026	0.040	0.013	Podzol Férnico Pf	0.053	0.079	0.026
Cambisol Éutrico Be	0.026	0.040	0.013	Podzol Gleico Pg	0.053	0.079	0.026
Cambisol Ferrálico Bf	0.013	0.020	0.007	Podzol Húmico Ph	0.026	0.040	0.013
Cambisol Gleico Bg	0.026	0.040	0.013	Podzol Órtico Po	0.053	0.079	0.026

Fuente: FAO, 1980.

Factor LS. Longitud de la pendiente y pendiente media del terreno.

El cálculo de LS se llevó de forma indirecta a partir de la ecuación de erosión potencial (RKLS) definida en términos de (LS). La erosión potencial se determinó mediante la identificación de los valores obtenidos de los factores trabajados y se elaboró el plano que contempla la multiplicación de los valores numéricos de los factores R, K y LS, que son los generadores del proceso erosivo y su producto es la erosión potencial (ton/ha/año).

Por consiguiente, la estimación indirecta del factor de longitud de la pendiente L se basa en el siguiente análisis, de acuerdo con la SADER: la estimación del factor de longitud de la pendiente y pendiente media del terreno (LS) se obtuvo de acuerdo con la SADER a partir de un razonamiento matemático; considerando que, para los terrenos altamente erosionables, la tasa de erosión llega a ser ocho veces mayor que la tasa de formación de los suelos; la cual se considera de 20 ton/ha/año como promedio nacional para México, lo que equivale a tener una pérdida de 2 mm de suelo por ha/año.

De acuerdo con el concepto de terreno altamente erosionable, como criterio de definición de áreas estratégicas de atención, el factor de pérdida de suelo dentro de la EUPS puede ser sustituido por el valor de 8T (Adame-Martínez, Campos-Medina, & García-Camacho, 2015), siendo equivalente a tener la igualdad algebraica, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$A = RKLS + CP = 8T$$

Considerando que el valor de los factores C y P son iguales a la unidad, esto implica tener un terreno desnudo bajo barbecho continuo, y sin prácticas de conservación, con lo que la relación se reduce a:

$$8T = RKLS$$

De la ecuación anterior se calcula el valor de 8T (160 ton/ha/año). Los valores de R (erosividad de la lluvia) y K (Erosionabilidad del suelo) se determinan a detalle dentro de este estudio y son valores conocidos; se despejó a LS y el modelo aplicado fue:

$$LS = 8T / RK$$

De esta manera se obtienen los valores de LS, que varían desde cero en zonas con alto potencial de erosividad de la lluvia y alta erosionabilidad del suelo hasta valores cercanos a 8, en lugares donde los valores de erosividad son bajos o en casos donde el suelo presenta alta resistencia a la erosión. De aquí que se presenta la existencia de valores mayores y menores de la unidad. Erosión actual y potencial del suelo.

Factor C. Cobertura vegetal.

La estimación del factor de cobertura vegetal (C) se obtuvo mediante la modificación de las series III (2005) y VI (2021) de uso de suelo y vegetación del INEGI, con base en imágenes de satélite del sensor Landsat Thematic Mapper (TM) en 2005 y Landsat OLI 2021. De acuerdo con los resultados para cada ecosistema, se les asignó un valor y así se procesó el mapa del factor C (Cuadro 6).

Cuadro 6. Valores de la cobertura vegetal (Factor C) para los diversos tipos de vegetación.

Cobertura vegetal	Media anual del factor C
Suelo desnudo	1,0
Bosque o matorral denso	0,001
Sabana o pradera herbácea en buenas condiciones	0,01
Sabana o pradera herbácea sobrepastada	0,1
Maíz, sorgo o mijo: alto rendimiento con laboreo convencional	0,20 – 0,55
Maíz, sorgo o mijo: alto rendimiento sin laboreo convencional	0,50 – 0,90
Maíz, sorgo o mijo: bajo rendimiento con laboreo mínimo o no laboreo	0,02 – 0,20
Maíz, sorgo o mijo: alto rendimiento, laboreo con chisel entre residuos	0,23 – 0,20

Maíz, sorgo o mijo: bajo rendimiento, laboreo con chisel entre residuos	0,30 – 0,45
Algodón	0,40 – 0,70
Pradera herbácea	0,01 – 0,025
Soja	0,20 – 0,50
Trigo	0,10 – 0,40
Arroz	0,10 – 0,20
Cacahuete	0,30 – 0,80
Palmera, cafeto, cocotero con cobertura vegetal	0,10 – 0,30
Piña cultivada a nivel, con retirada de residuos	0,10 – 0,40
Piña cultivada a nivel, con residuos en superficie	0,01
Patata, surcos según la pendiente	0,20 – 0,50
Patata, surcos transversales a la pendiente	0,10 – 0,40
Caupi (judía de vaca)	0,30 – 0,40
Fresa con cobertura de mañas hierbas	0,27
Granado con cobertura de malas hierbas	0,08
Granado limpio de malas hierbas	0,56
Tef (<i>Eragrotis tef</i>)	0,25
Caña de azúcar	0,13 – 0,40
Ñame	0,40 – 0,50
Guisante de angola	0,60 – 0,70
Judía mungo	0,04
Pimiento	0,33
Cafeto: después de la primera recolección	0,05
Plátano: después de la primera recolección	0,05 – 0,10
Papaya	0,21

Fuente: Porta, López, & Roquero, (1994).

Erosión actual (EA) y Erosión potencial (EP).

De acuerdo con la SADER, para obtener la erosión actual en cada periodo de estudio, se consideró la tasa de formación de los suelos (20 ton/ha/año promedio nacional para México), entre el factor *LS* (longitud de la pendiente y pendiente media del terreno) mediante la herramienta Map Algebra en Arcgis. Con el valor de *L* y *S*, se calculó la tasa de EA y EP mediante las siguientes relaciones algebraicas:

$$EA = T/LS$$

$$EP = 8T/LS$$

Donde:

EA = Erosión actual

EP = Erosión potencial

Al implementar esta metodología los valores de L y S proporcionan criterio de definición de las áreas prioritarias de atención, al mismo tiempo es posible realizar una jerarquización de las actividades de conservación en función de la potencialidad productiva del terreno y por el valor económico y social que estas áreas representan. Con base en esto, la estimación del factor LS consistió en sustituir los datos de la ecuación anterior en el programa ARCGIS 10.6. se usó la herramienta Map Algebra en Spatial Analyst Tools para generar los mapas de LS en formato ráster (Cuadro 7).

Materiales

Información Cartográfica: Factor R; mapa ubicación espacial de las estaciones (SMN), Factor K; Cartas Edafológicas con clave: Villa de Allende E14A-36, San Miguel Zinacantepec E14A-37, Valle de Bravo E14A-46, Volcán Nevado de Toluca E14A-47, (Escala: 1/50 000 del INEGI), Factor LS; Carta topográfica en formato vectorial, (Escala: 1/50 000 del INEGI), Factor C; imágenes de satélite Landsat Thematic Mapper (TM) 2005 y Landsat OLI 2017 y las cartas de uso de suelo y vegetación III y VI del INEGI (Escala: 1/50 000 del INEGI).

Parámetros de las imágenes: Datum de referencia WGS 84, se re proyectaron a tamaño de celda de 15 m para las imágenes de satélite y 20 m para las imágenes ráster de la EUPS, proyección UTM (Universal Transversal Mercator), Zona 14 Norte.

Información de Precipitación: Precipitaciones media anual (Servicio Meteorológico Nacional, 2020 y CLICOM, 2020).

Software: Software Arc GIS 10.6

Cuadro 7. Retención de suelo.

Etapa Metodológica 2	Fase Metodológica 4	Método de determinación	Factor	Variables	Unidad de Medición	Parámetro Estadístico.	Producto
Estimar la capacidad de Retención de suelo	Retención de suelo, se estimará por medio de la ecuación RUSLE.	A = tasa de erosión anual	Cuantitativo	Área Superficial de Retención de suelo	ton/ha.año	Ecuación EUPS	Mapa Cuadro resumen.
		R = factor de erosividad de la lluvia			MJ.mm/ha.h		
		K = factor de erodabilidad del suelo			ton.h/MJ.mm		
		LS = factor topográfico longitud-pendiente.			Altitud, grados angulares, porcentaje de inclinación		
		C = factor de vegetación y cultivo.			Clasificación		
		P = factor de prácticas conservación.			Factor R		

Fuente: Elaboración propia 2019.

Etapa Metodológica 3. Análisis de la distribución espacial del servicio ecosistémico de provisión de alimentos.

Los servicios de aprovisionamiento son los recursos naturales, los bienes tangibles o materiales que provienen de los ecosistemas con beneficio directo para las personas. Estos servicios dan el sustento básico de la vida humana, y a menudo tienen valor monetario (Patricia Balvanera et al., 2009).

De todos los servicios ecosistémicos, la producción de alimentos es uno de los que han mostrado una constante tendencia ascendente en la historia reciente. No obstante, en la actualidad se reconoce que los aumentos de la producción y productividad agrícolas fueron acompañados a menudo de efectos adversos sobre la base de recursos naturales de los que depende la agricultura, efectos tan graves que ponen en peligro su potencial productivo en el futuro. En los dos últimos decenios han surgido enfoques ecosistémicos de intensificación agrícola a medida que los agricultores empezaron a adoptar prácticas sostenibles, fundamentales para lograr los beneficios de los servicios ecosistémicos reduciendo al mismo tiempo los efectos negativos de las actividades agrícolas (FAO, 2019)

3.1 Análisis espaciotemporal del servicio ecosistémico de provisión de alimentos.

Para la localización del servicio ecosistémico de provisión de alimentos, se llevó a cabo mediante el ajuste de los polígonos de uso de suelo en las imágenes satelitales, modificando así las series de uso de suelo (III y VI) del INEGI con base en imágenes de satélite del sensor Landsat Thematic Mapper (TM) en 2005 y Landsat OLI 2017. Y la información de las variables: Producción, valor de la producción, superficie sembrada y rendimiento obtenido; fue descargada del SIACON, interfaz que cuenta con datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), con base en las fuentes antes mencionadas se determinó la capacidad de producción y distribución del servicio de provisión de alimentos, (Cuadro 8) (Flores Arteaga, 2019).

Cuadro 8. Provisión de alimentos.

Etapa 3	Fase 5	Método de determinación	Factor	Variables	Unidad de Medición	Parámetro Estadístico	Producto	
Servicio ecosistémico de provisión de alimentos.	Elaboración e interpretación cartográfica del Servicio ecosistémico de provisión de alimentos.	Fotointerpretación cartográfica.	Tipificación	Tipos de Servicios de provisión de alimentos.	Ha	% del Área Total	Mapa	Cuadro resumen.
			Cuantitativo	Área Superficial de los Servicios de provisión de alimentos.	Ha.	% del Área Total		
			Espacial	Ubicación Geográfica de Servicios de provisión de alimentos.				

Fuente: Elaboración propia 2019.

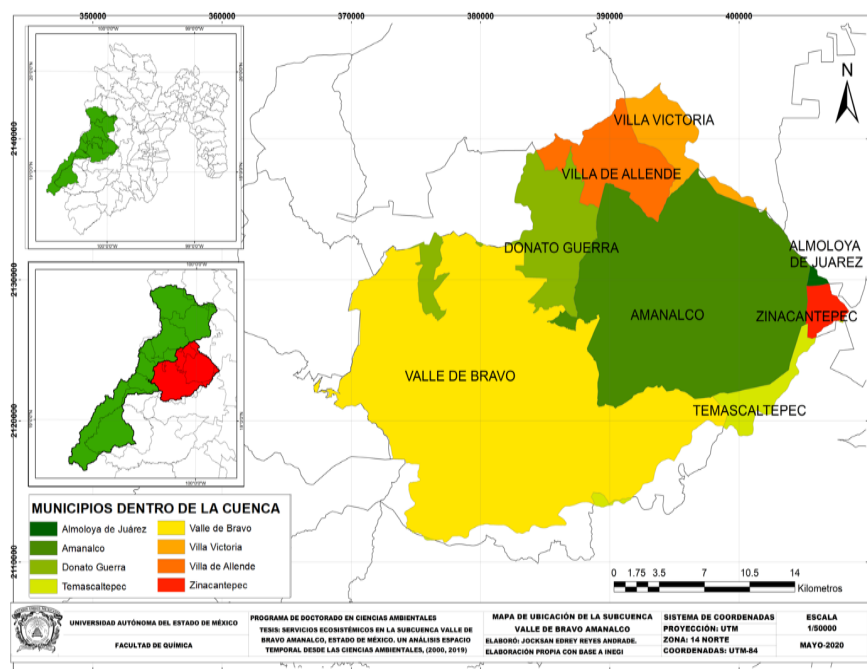
CAPITULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Caracterización geográfica de la Subcuenca Valle de Bravo-Amanalco.

La Subcuenca pertenece a la Región Hidrológica 18 Cuenca Río Balsas, y dentro de ésta a la Cuenca del Río Cutzamala, y así a la Subcuenca del Río Tilostoc. La Subcuenca Valle de Bravo-Amanalco cuenta con una superficie de 72 555.54 ha. Se encuentra en el poniente del Estado de México, cubre en su totalidad el Municipio de Amanalco, la mayor parte de Valle de Bravo, algunas partes significativas de los Municipios de Donato Guerra, Villa de Allende, Villa Victoria y Temascaltepec (Figura 3). En superficies menores abarca parte de los Municipios de Almoloya de Juárez y Zinacantepec.

Geográficamente la Cuenca se ubica entre los paralelos 19°23'05" y 19°05'30" y los meridianos 99°52'00" y 100°11'40".

Figura 3. Municipios que forman parte de la subcuenca Valle de Bravo - Amanalco

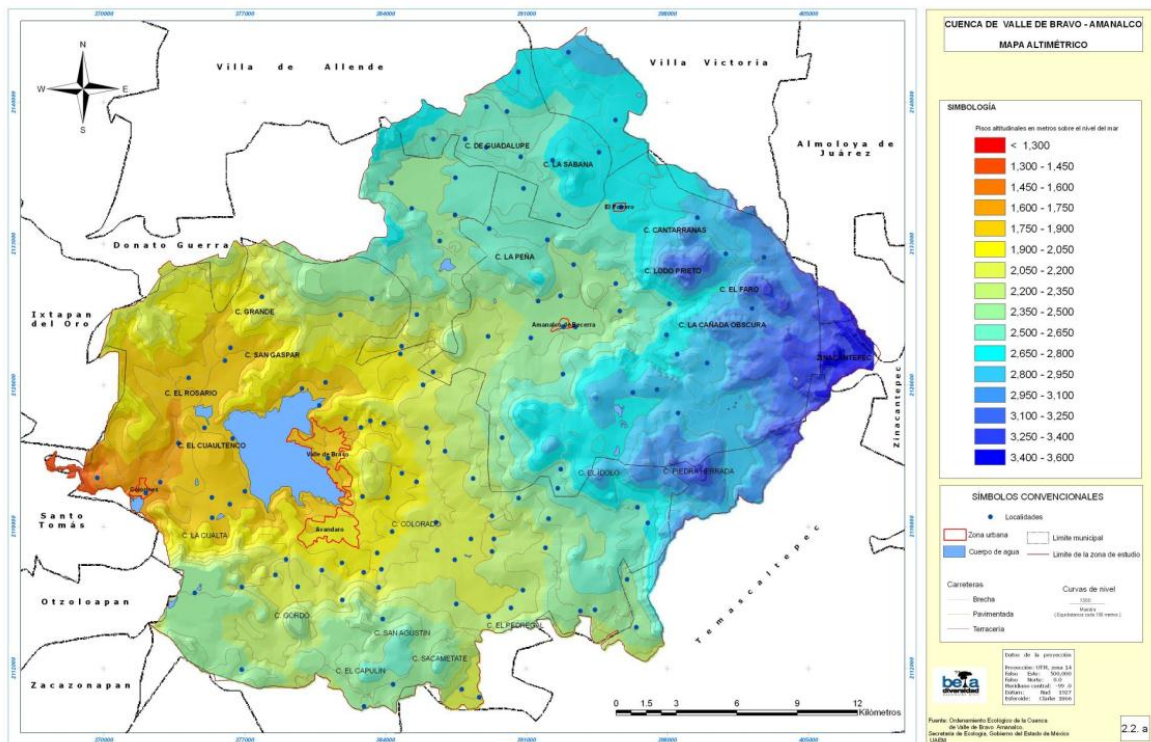


Fuente: Elaboración propia, 2020.

Relieve

El relieve de la Cuenca se caracteriza por cerros, mesas y laderas abruptas van desde los 1,100 hasta los 3,730 msnm. Entre las elevaciones principales sobresalen los cerros Gordo (2,600 msnm), San Agustín (2,680 msnm), Capulín (2,660 msnm), Sacametate (2,200 msnm), Escalerilla (2,580 msnm), Los Reyes (2,880 msnm), Coporito (2,990 msnm), Ídolo (3,040 msnm), Piedra Herrada (3,310 msnm) (Figura 4).

Figura 4. Relieve de la Subcuenca Valle de Bravo- Amanalco.

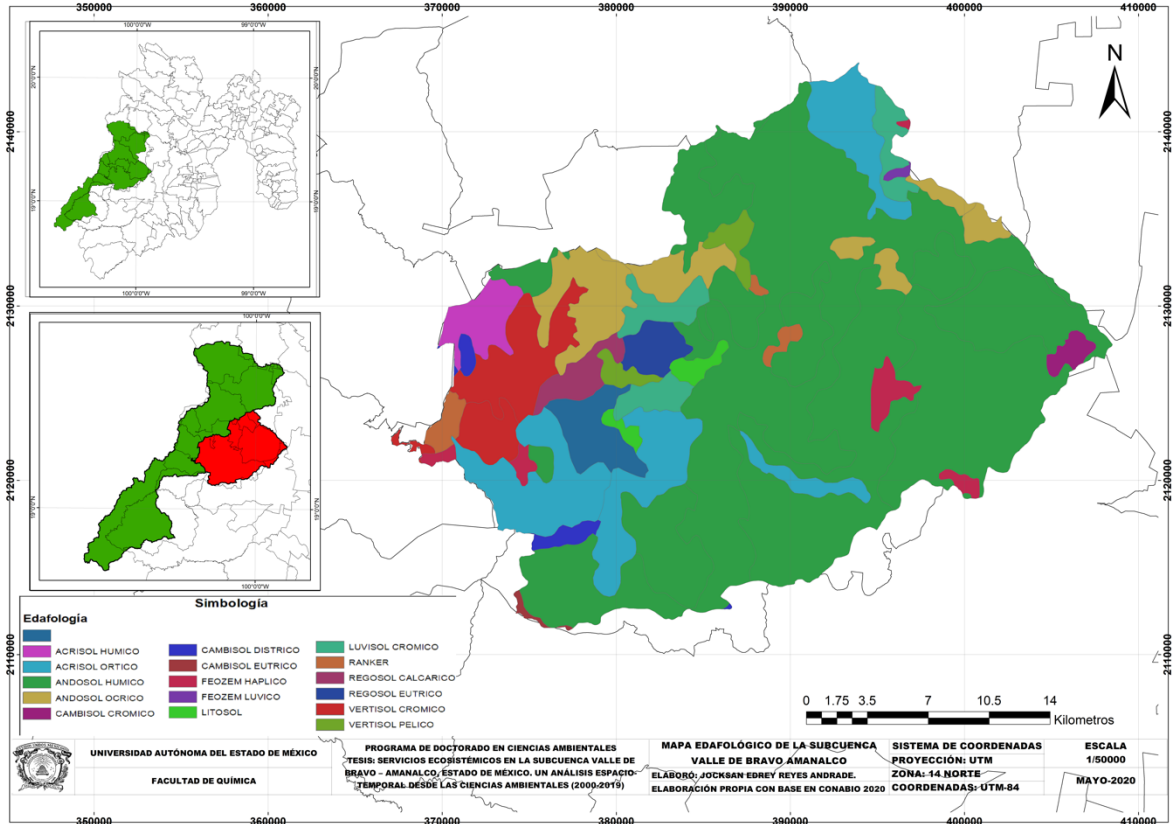


Fuente: Atlas informático de la Cuenca Valle de Bravo-Amanalco.

Edafología

Los suelos de la subcuenca se derivan de materiales volcánicos de diferentes edades y están formados por materiales minerales y orgánicos, así como organismos vivos. En orden de desarrollo destacan: Acrisol háplico y Luvisol crómico (los más evolucionados), los Cambisoles, Andosoles (típicos de las zonas forestales), Phaeozem háplicos, los Leptosoles (poco desarrollados) y los Regosoles (los menos desarrollados) (Figura 5).

Figura 5. Suelos de la Subcuenca Valle de Bravo- Amanalco

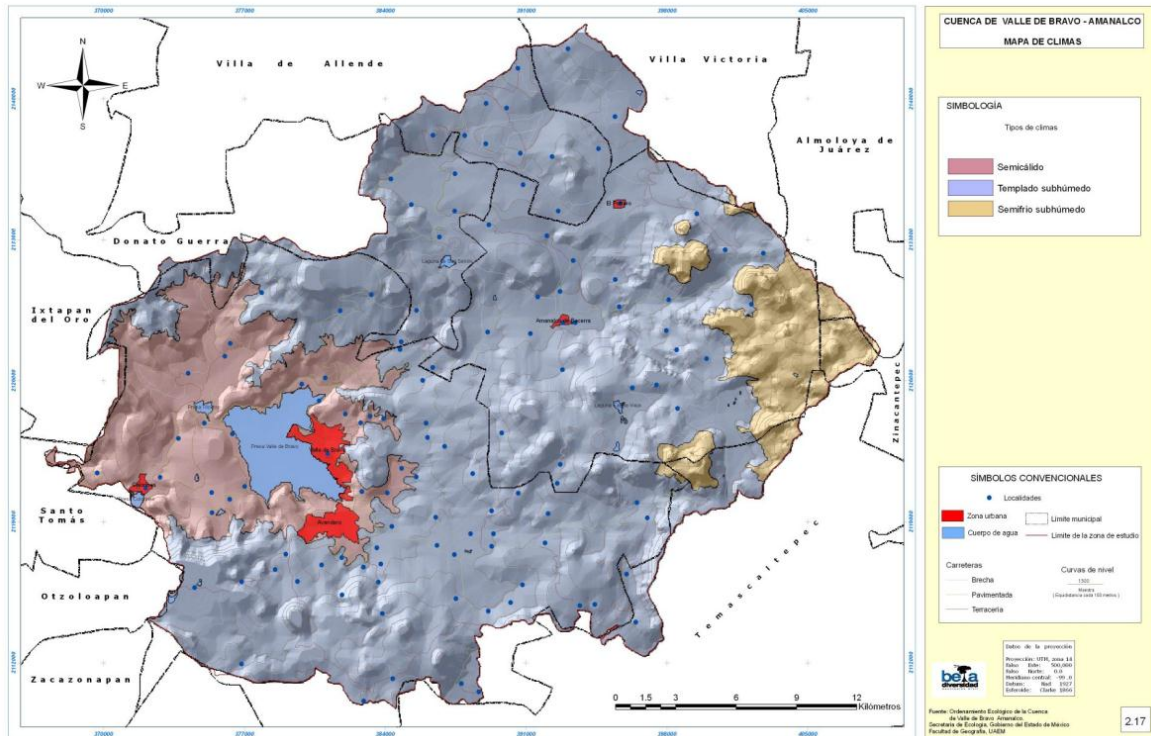


Fuente: Elaboración propia, 2020.

Clima

Según la altura se presentan 3 grandes regiones climatológicas en la Cuenca. En la mayor parte de la Cuenca (entre la cota 2,200 a 3,000 msnm) se presenta el clima templado subhúmedo (Cw2). En el poniente de la Cuenca, debajo de la cota 2,200 msnm se presenta el semicálido ((A) Cw1) que es un poco más árido que las demás zonas climatológicas. En el extremo oriente de la Cuenca (en la parte más elevada, arriba de 3,000 msnm) se presenta el semifrío subhúmedo (C (E) w2) (Figura 6).

Figura 6. Tipos de clima en la Subcuenca Valle de Bravo- Amanalco.



Fuente: Atlas informático de la Cuenca Valle de Bravo-Amanalco.

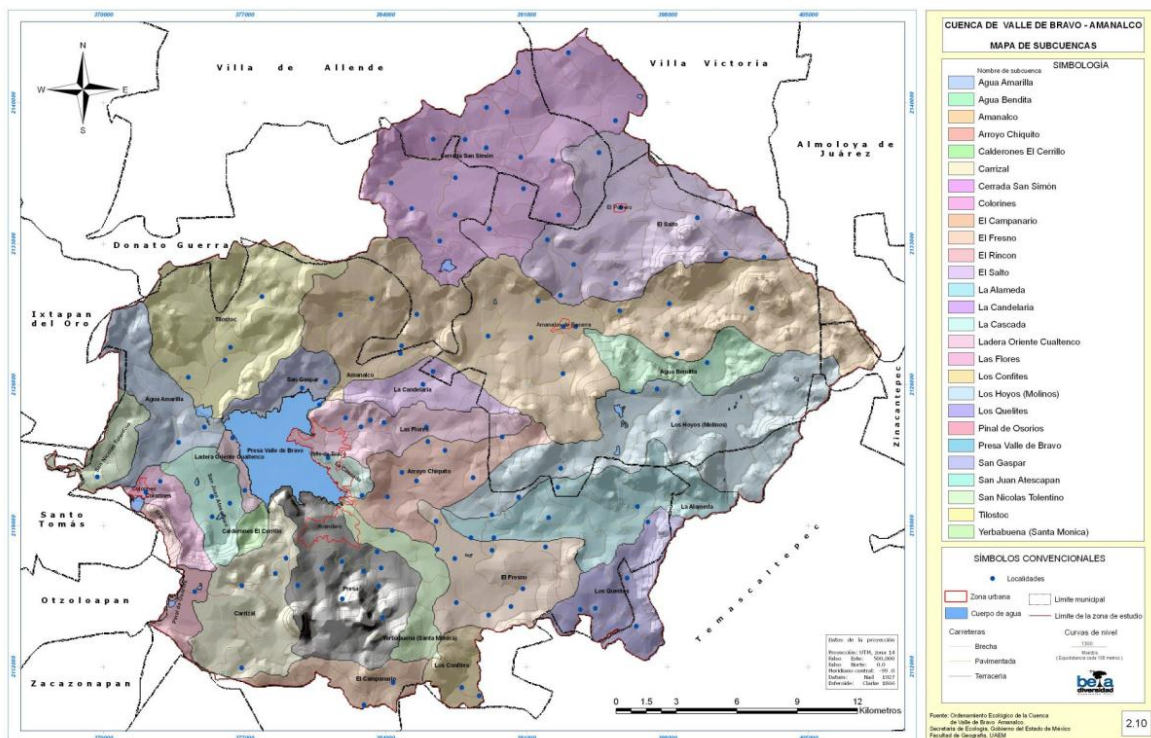
Los niveles de precipitación de la Cuenca varían entre los 1,310 mm (extremo poniente) hasta los 1,500 mm (extremo oriente). Las heladas se presentan según la altura sobre el nivel del mar. Debajo de la cota 2,000 msnm nunca hay heladas, entre 2,000 a 2,500 msnm las heladas ocurren en forma esporádica, mientras arriba de los 2,500 msnm las heladas son frecuentes y normales durante los meses de noviembre a febrero.

Respecto a las granizadas, ocurren con mayor frecuencia en la parte alta de la Cuenca, es decir, en el oriente arriba de la cota 3,000 msnm con más de 8 eventos/año, disminuyendo paulatinamente esta probabilidad hacia el poniente. En la parte baja (poniente de la Cuenca) casi no ocurren, sino son eventos muy raros, que, si pueden ocurrir, pero una sola vez en muchos años.

Hidrología

El Programa de Ordenamiento Ecológico Regional de la Subcuenca Valle de Bravo publicado el 30 de octubre de 2003 en la Gaceta Oficial del Gobierno del Estado de México divide al territorio en 28 subcuencas con una superficie total de 775.6 km². Entre las subcuencas de mayor importancia destacan la del Río Amanalco, la del Río San Diego y la del Río La Hierbabuena (Figura 7).

Figura 7. Mapa de Subcuencas de la Subcuenca Valle de Bravo- Amanalco.



Fuente: Atlas informático de la Cuenca Valle de Bravo-Amanalco.

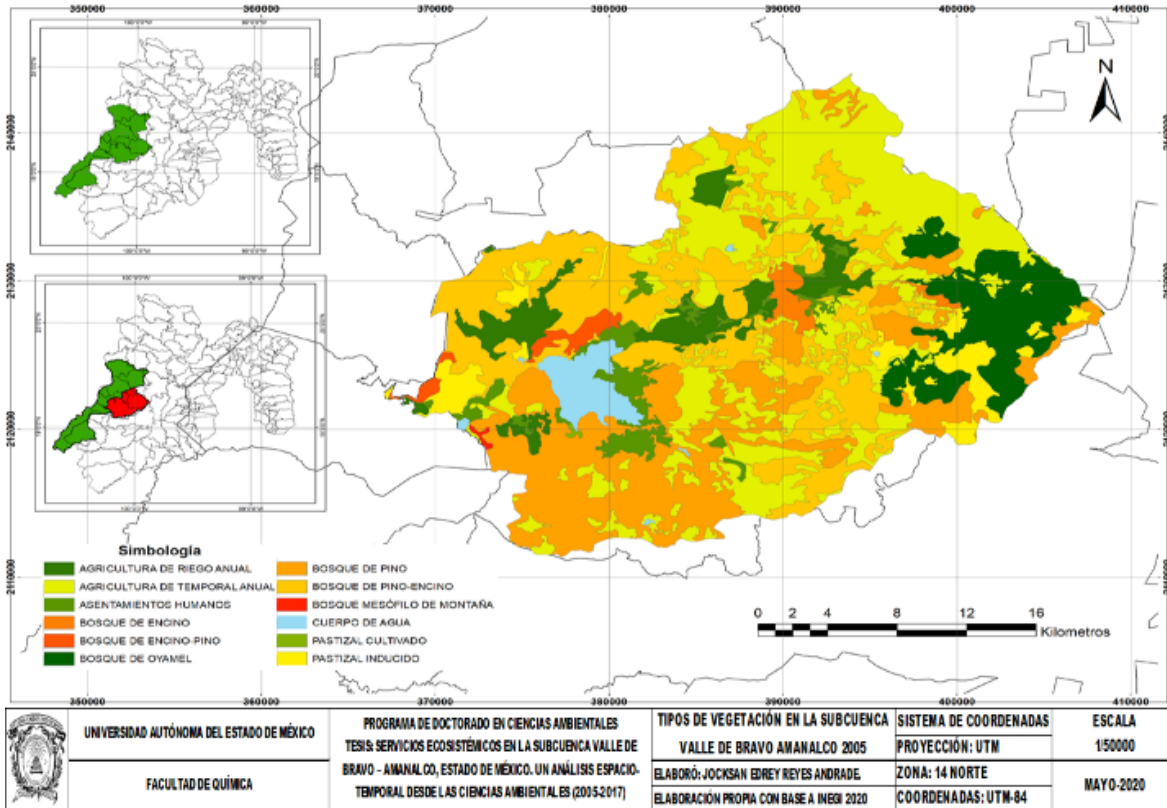
3.2 Análisis espaciotemporal de los ecosistemas de la Subcuenca Valle de Bravo-Amanalco 2005-2017.

De acuerdo con el “Programa de Ordenamiento Ecológico Regional de la Subcuenca de Valle de Bravo-Amanalco” (POER-SVBA), el valor estratégico de la zona radica en los servicios ambientales que brinda como son la captación y aportación de agua, la biodiversidad, el potencial paisajístico y recreativo. La subcuenca tiene importancia turística a nivel internacional debido a su belleza escénica; la altimetría y las variaciones del relieve originan una diversidad de climas, lo que permite que se lleven a cabo actividades como: la agricultura, ganadería, el aprovechamiento forestal, acuacultura, actividades turísticas, comerciales y de servicios (Secretaría de Ecología, 2003b).

Con base en el POER-SVBA, se definieron ocho usos del suelo, entre los que predominan el forestal (45%), agricultura (30%) y áreas naturales protegidas (15%); es debido a esto la importancia de analizar el servicio ecosistémico de regulación almacenamiento de carbono en la zona de estudio. La problemática muestra que en el periodo de 1983 al 2000 se perdieron 200 hectáreas de bosque, disminuyendo en un 30% la densidad forestal, estas pérdidas se atribuyen al cambio de uso de suelo, incendios, tala y plagas. Además, se reportó que para el año 2003 los cuerpos de agua, tales como las presas de Valle de Bravo, Tilostoc y Colorines disminuyeron su capacidad de almacenamiento hasta en 1.7 millones de metros cúbicos al año, debido al arrastre de sedimentos por erosión y la disminución del caudal de manantiales y ríos.

En la Figura 8 se observa la distribución espacial de cada tipo de ecosistema en el periodo de estudio 2005, entre los principales con mayor superficie son los agroecosistemas de temporal siendo el ecosistema que más prevalece en el área de estudio, le sigue el bosque de pino, se observa sobre todo en la parte sur y el bosque de pino- encino, distribuida en mayor parte en la zona centro y noroeste. El ecosistema con menor superficie es el pastizal cultivado, al oeste de la zona de estudio.

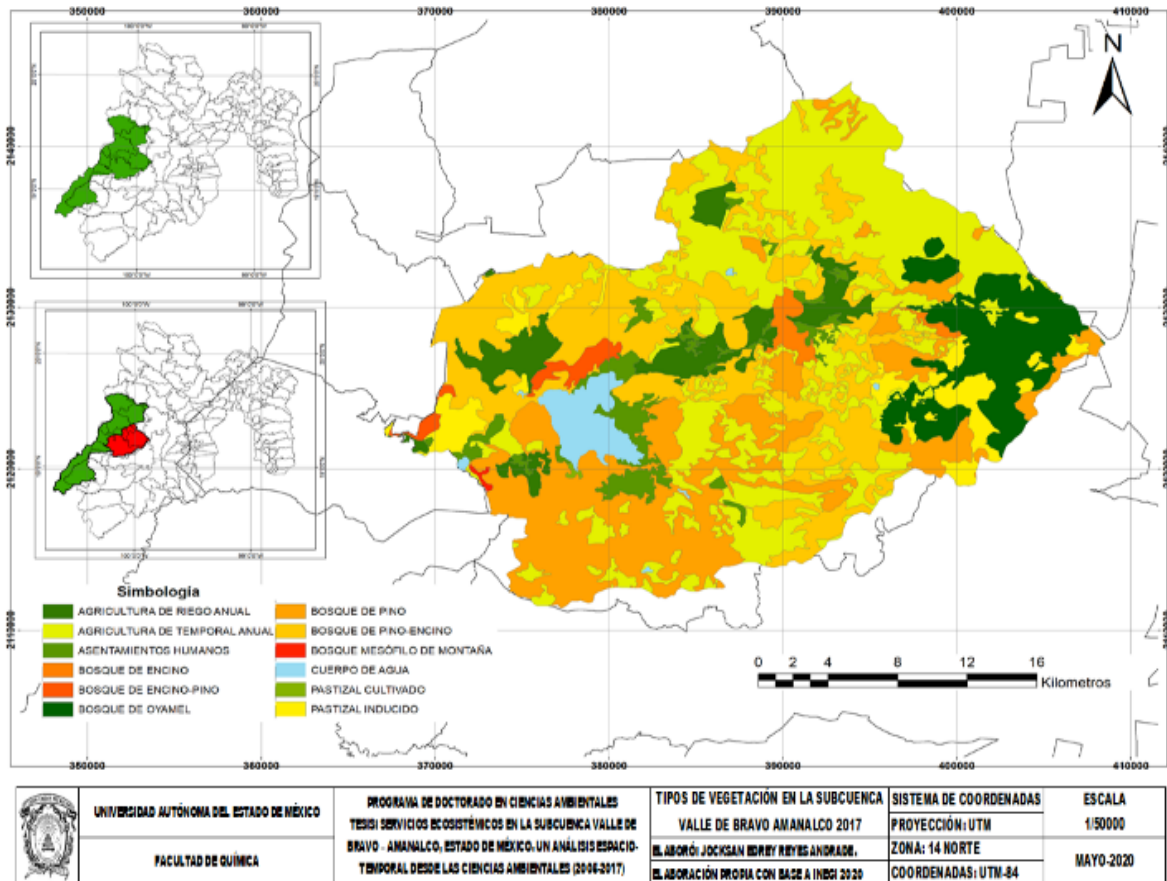
Figura 8. Ecosistemas de la Subcuenca Valle de Bravo- Amanalco 2005.



Fuente: Elaboración propia, 2020.

En la Figura 9 se representa la distribución espacial de cada tipo de ecosistema en el periodo de estudio 2017, entre los principales con mayor superficie son los agroecosistemas de temporal ya que es el ecosistema que más prevalece en el área de estudio, le sigue el bosque de pino, se observa sobre todo en la parte sur y el bosque de pino- encino, distribuida en mayor parte en la zona centro y noroeste. Los ecosistemas con menor superficie es el pastizal cultivado y bosque mesófilo de montaña ubicados al oeste de la zona de estudio.

Figura 9. Ecosistemas de la Subcuenca Valle de Bravo- Amanalco 2017.



Fuente: Elaboración propia, 2020.

3.3 Análisis espaciotemporal de la evolución y cambios en la capacidad de producción del servicio ecosistémico almacenamiento de carbono durante el periodo 2005 y 2017.

Los bosques a escala global fijan y almacenan grandes cantidades de carbono y llegan a controlar hasta 90% del flujo anual de carbono entre la atmósfera y la superficie terrestre (Apps et al., 1993; Ordoñez, de Jong, & Masera, 2001). La estimación de las reservas de carbono en un ecosistema puede realizarse mediante el cálculo de la biomasa arbórea, el contenido de carbono en el suelo, en el mantillo, en la capa de fermentación y en hierbas y arbustos. La primera es un elemento importante en el manejo sustentable de los ecosistemas (Zianis & Mencuccini, 2007).

La estimación de la cantidad de carbono almacenado en el área de estudio se llevó a cabo mediante la elaboración de los mapas que representan cartográficamente la zona en ambos periodos, identificando en cada mapa los tipos de ecosistemas a través de las cartas de uso de suelo y vegetación de la serie III (2005) y VI (2017) del INEGI. El carbono almacenado se obtuvo de acuerdo con indicadores de almacenamiento de carbono, los cuales se multiplicaron por la superficie total de cada ecosistema del área de estudio, de tal manera que la capacidad de almacenamiento se representa para cada serie de tiempo (Morfín Ríos et al., 2015).

A continuación, en el cuadro 9 se describe la superficie de cada ecosistema en hectáreas, así como el porcentaje y el total de carbono almacenado, en el periodo de estudio 2005, el cual se obtiene de multiplicar el almacenado de carbono por la superficie de cada ecosistema. Quedando de la siguiente forma. El carbono almacenado en el periodo de estudio 2005, es el siguiente: bosque de mixto de pino-encino (7 833.62 ton de carbono almacenado), bosque de pino (7 058.29 ton), bosque de oyamel (2 970.27 ton), bosque mesófilo de montaña (2 234.35 ton), bosque mixto de encino-pino (388.24 ton) y bosque de encino (387.59 ton de carbono almacenado).

Cuadro 9. Almacenamiento de carbono en los ecosistemas forestales de la Subcuenca Valle de Bravo- Amanalco en el periodo 2005.

No.	Ecosistema	Superficie de cada ecosistema (ha)	Almacenado de carbono por tipo de vegetación (ton/ha)	Carbono total almacenado (ton)	Referencia
1	Bosque mesófilo de montaña	4 502.92	0.4962	2 234.35	Figuerola et al. 2010
2	Bosque de encino	820.13	0.4726	387.59	Figuerola et al. 2010
3	Bosque mixto de encino - pino	824.99	0.4706	388.24	(Morfin Ríos et al., 2015)
4	Bosque de oyamel	6 322.42	0.4698	2 970.27	Jiménez-Pérez et al. 2011
5	Bosque de pino	15 059.30	0.4687	7 058.29	Jiménez-Pérez et al. 2011
6	Bosque de mixto de pino - encino	16 646.03	0.4706	7 833.62	(Morfin Ríos et al., 2015)

Fuente: Elaboración propia con base en Morfin Ríos et al., (2015).

En el cuadro 10 se describe la superficie de cada ecosistema en hectáreas, el porcentaje de carbono almacenado por ecosistema y finalmente el total de carbono almacenado, en el periodo de estudio 2017. Quedando de la siguiente forma. El carbono almacenado por ecosistema en el periodo de estudio 2017, es el siguiente: bosque de mixto de pino-encino (7 553.93 ton de carbono almacenado), bosque de pino (6 985.10 ton), bosque de oyamel (2 950.87 ton), bosque mesófilo de montaña (2 187.94 ton), bosque mixto de encino-pino (388.24 ton) y bosque de encino (374.70 ton de carbono almacenado).

Cuadro 10. Almacenamiento de carbono en el periodo 2017.

No.	Ecosistema	Superficie de cada ecosistema (ha)	Almacenado de carbono por tipo de vegetación (ton/ha)	Carbono total almacenado (ton)	Referencia
1	Bosque mesófilo de montaña	4 409.39	0.4962	2 187.94	Figuroa et al. 2010
2	Bosque de encino	792.84	0.4726	374.70	Figuroa et al. 2010
3	Bosque de mixto de encino-pino	824.99	0.4706	388.24	(Morfin Ríos et al., 2015)
4	Bosque de oyamel	6 281.11	0.4698	2 950.87	Jiménez-Pérez et al. 2011
5	Bosque de pino	14 903.13	0.4687	6 985.10	Jiménez-Pérez et al. 2011
6	Bosque de mixto de pino-encino	16 051.69	0.4706	7 553.93	(Morfin Ríos et al., 2015)

Fuente: Elaboración propia con base en Morfin Ríos et al., (2015).

Así mismo se llevó a cabo la comparación de la producción del almacenamiento de carbono en ambos periodos de estudio, el cual se representa en el Cuadro 11; el ecosistema con mayor almacenamiento de carbono fue el bosque mixto de pino encino con 10, 799.10 toneladas de carbono almacenado y esto en el periodo de 2005 y el que tuvo menos almacenamiento de carbono debido a la menor superficie que cubre en el área de estudio es el bosque mesófilo de montaña en el periodo de 2017. El ecosistema que ha perdido mayor superficie y almacenamiento de carbono en los periodos de estudio es el bosque de pino (-156.17 ha y -73.20 ton. de carbono), el ecosistema bosque mixto de encino pino no ha sufrido modificaciones significativas.

Cuadro 11. Análisis comparativo del almacenamiento de carbono en los ecosistemas de la Subcuenca Valle de Bravo- Amanalco 2005-2017.

No.	Ecosistema	Periodo 2005		Periodo 2017		Periodo 2005 y 2017	Periodo 2005 y 2017
		Superficie de cada ecosistema (ha)	Carbono total almacenado (ton)	Carbono total almacenado (ton)	Superficie de cada ecosistema (ha)	Pérdidas y ganancias carbono total almacenado (ton)	Pérdidas y ganancias en superficie (ha)
1	Bosque mesófilo de montaña	4 502. 92	2 234. 35	2187.94	4 409.39	-46.41	-93.53
2	Bosque de encino	820.13	387.59	374.70	792.84	-12.90	-27.29
3	Bosque de mixto de encino - pino	824.99	388.24	388.24	824.99	S/C	S/C
4	Bosque de oyamel	6 322. 42	2 970. 27	2 950.87	6 281.11	-19.41	-41.31
5	Bosque de pino	15 059. 3	7 058. 29	6 985.10	14 903.13	-73.20	-156. 17
6	Bosque de mixto de pino - encino	16 646. 03	7 833. 62	7 553.93	16 051.69	-279.70	-594. 34

Fuente: Elaboración propia con base en (Morfin Ríos et al., 2015).

Validación “in situ” de los ecosistemas forestales de la Subcuenca Valle de Bravo- Amanalco.

Para validar la metodología se llevó a cabo un cuadro comparativo que permita identificar las condiciones en las cuales se obtuvo el factor de carbono almacenado por ha., con la estimación de Morfin Ríos et al., (2015), el cual se representa en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Análisis comparativo de las características ambientales y morfológicas de los ecosistemas forestales de la Subcuenca Valle de Bravo Amanalco (SBVA) y los ecosistemas estudiados por (Morfin Ríos et al., 2015).

Tipo de ecosistema	Características	SBVA	Morfin R. et al. (2015)
Bosque mesófilo de montaña	Clima	Semicalido	Templado
	Precipitación (mm)	1000 y 3000	237
	Temperatura °C	12 - 23	9
	Altitud (msnm)	2,000-2,620	3,200 – 3,500
	Altura de los árboles (m)		19
	Metodología	Cartográfico	
Bosque de encino	Clima	Templado subhmedo	Templado
	Precipitación (mm)	600 y 1200	237

	Temperatura	10 y 26	9
	Altitud (msnm)	2800	3,200 – 3,500
	Altura de los árboles (m)		19
	Metodología	Cartográfico	
Bosque de encino - pino	Clima	Templado subhmedo	Templado
	Precipitación (mm)	700 - 1500	237
	Temperatura	14 - 18	9
	Altitud (msnm)	1600 y 3000	3,200 - 3,500
Bosque de oyamel	Altura de los árboles (m)		19
	Metodología	Cartográfico	
	Clima	Semicalido – Templado Subhmedo	Templado
	Precipitación (mm)	1000	237
	Temperatura	7 -25	9
	Altitud (msnm)	1,700 a 3,200	3,200
Bosque pino	Altura de los árboles (m)		19
	Metodología	Cartográfico	
	Clima	Templado	Templado
	Precipitación (mm)	600 - 1000	237
	Temperatura	12 a 23	9
	Altitud (msnm)	1500 - 3000	3,200 – 3,500
Bosque pino - encino	Altura de los árboles (m)		19
	Metodología	Cartográfico	
	Clima	Templado	Templado
	Precipitación (mm)	600 - 1000	237
	Temperatura	12 a 23	9
	Altitud (msnm)	1500 - 3000	3,200 - 3,500

Fuente: Elaboración propia con base en Morfín Ríos et al., (2015).

3.4 Estimación de la evolución y cambios en la capacidad de producción del servicio ecosistémico retención de suelo durante el periodo 2005 y 2017 en la SVBA.

Los resultados para cada uno de los factores de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo son los siguientes:

Factor R. Erosividad de la lluvia: Para obtener el factor R, se seleccionaron 19 estaciones climatológicas que se encontraban ubicadas tanto dentro, como en el contexto de la cuenca. Los datos se tomaron de las normales climatológicas; los valores de precipitación son el resultado promedio de 18 años analizados, como se muestran en el Cuadro 13 donde se reportan los datos de cada una de las estaciones.

Cuadro 13. Estaciones climatológicas seleccionadas para la obtención del factor R.

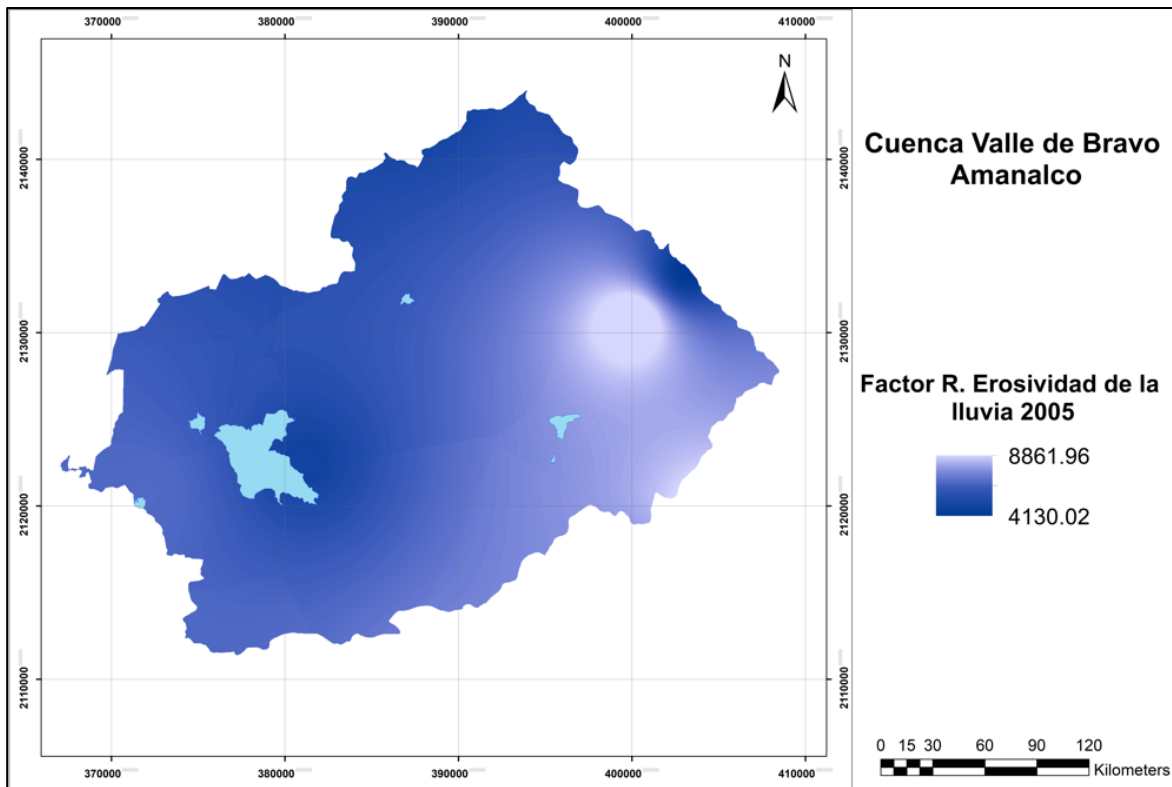
Clave de la Estación	Precipitación Promedio Anual		Valores Factor R	
	2005	2021	2005	2021
15046	949	895	5.965	5.306
15088	1.192	1.192	9.421	9.421
15118	1.019	1.159	6.885	8.902
15140	842	932	4.698	5.751
15160	780	911	4.022	5.491
15165	834		4.603	
15174	790	945	4.130	5.916
15205		876		5.082
15241	935	1.068	5.794	7.559
15265	808	724	4.324	3.468
15276	1.017	1.133	6.855	8.512
15285	1.079	1.022	7.718	6.923
15287	944	1.121	5.899	8.333
15374	1.156	1.136	8.862	8.558
15378	890	841	5.246	4.686
15392		920		5.607
16036	845	956	4.730	6.058
16122	840	966	8.671	6.183
15130		892		5.268

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional y CLICOM, 2021.

En la Figura 10 se observa que en el año 2005 la mayor erosividad se presentó en las zonas noreste y suroeste; y muestra mayor intensidad en el municipio de Amanalco de Becerra, donde el efecto de la precipitación pluvial resultó más erosivo. Las zonas con un potencial de erosividad mayor corresponden a las áreas de mayor altitud y pendientes medias; en estas

zonas se encuentran ecosistemas forestales como bosque de oyamel, bosque de pino y agricultura de temporal. Sin embargo, la parte central de la SVBA es la zona donde la precipitación pluvial resultó ser menos erosiva, en esta zona se ubican las pendientes pronunciadas.

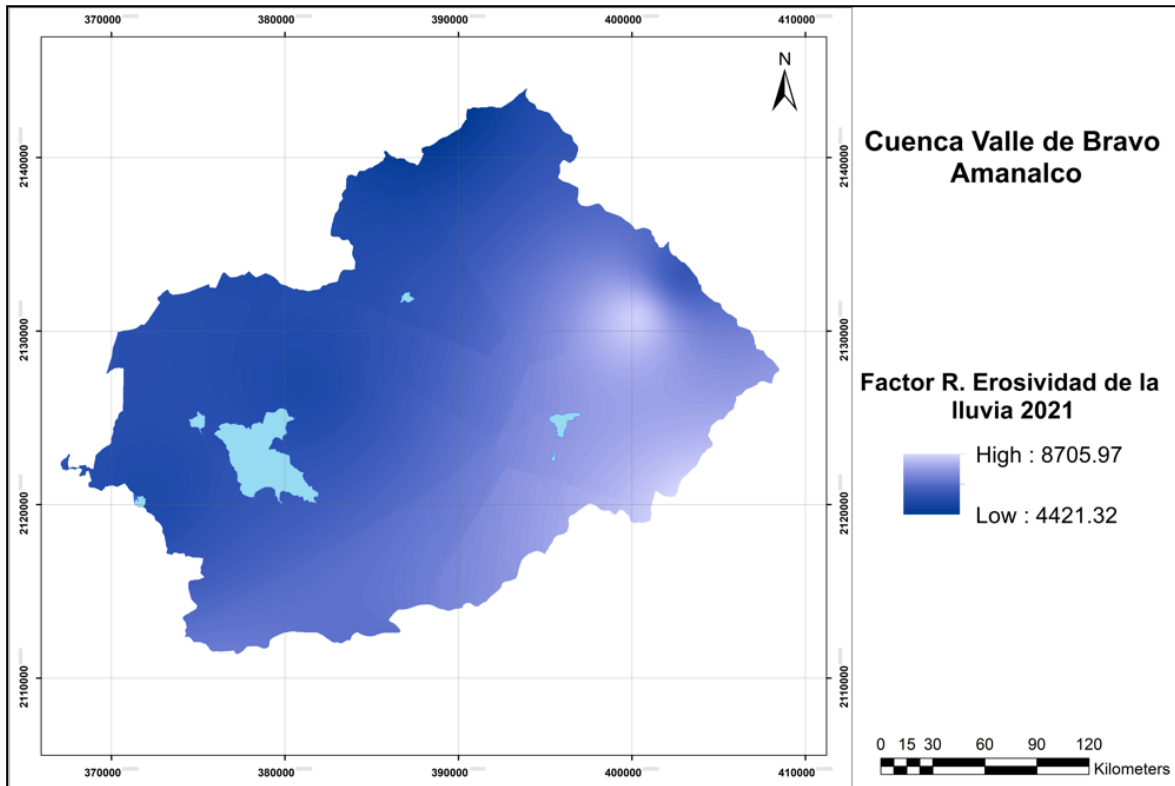
Figura 10. Factor R erosividad de la lluvia 2005.



Fuente: Elaboración propia con base al Servicio Meteorológico Nacional y CLICOM, 2021.

En la Figura 11 se observa que para el año 2021, la zona noreste donde se ubica el municipio de Amanalco de Becerra muestra la mayor erosividad; aunque para este periodo de estudio en la zona sureste se distribuyó hacia el sur; ya que en este año aumentó la intensidad de la lluvia en los municipios de Zinacantepec, Temascaltepec y la zona este de Valle de Bravo. En promedio el efecto de la precipitación pluvial se mantuvo; ya que los valores disminuyeron su intensidad en el municipio de Amanalco de Becerra, pero se distribuyeron hacia el sur, donde se presentan zonas con las mayores altitudes y las pendientes más bajas, en esta área se encuentran coberturas forestales, agricultura de temporal y pastizal.

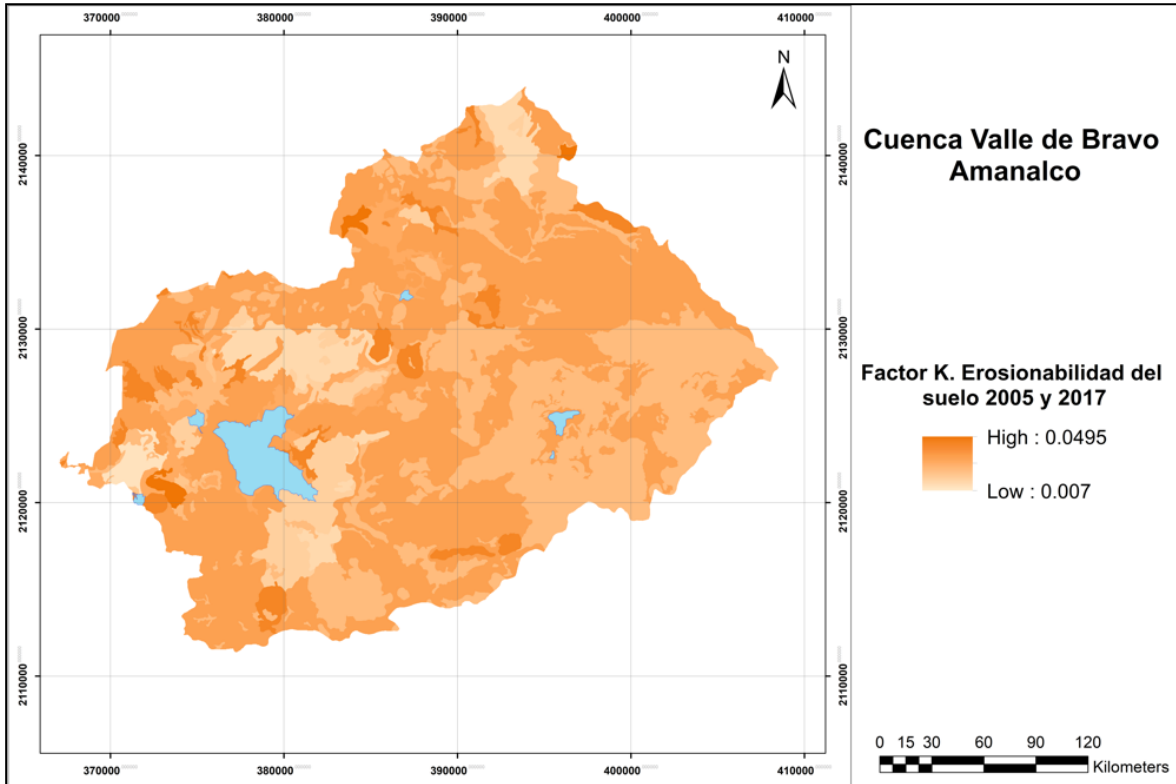
Figura 11. Factor R erosividad de la lluvia 2021.



Fuente: Elaboración propia con base al Servicio Meteorológico Nacional y CLICOM, 2021.

Factor K. Erosionabilidad del suelo: Para estimar el factor K se identificaron y digitalizaron en el programa ARCGIS, las unidades de suelo y sus texturas, con base en las cartas edafológicas escala 1:50.000 del INEGI. De acuerdo con la metodología de la FAO, posteriormente se les asignaron los valores respectivos a partir de la textura superficial (fina, media y gruesa) y la unidad de suelo presente. Los valores de K oscilaron entre 0,007 y 0,0495; los valores mínimos indican baja susceptibilidad a la erosión del suelo. Una vez asignados los valores correspondientes del tipo de textura a los polígonos, se cambiaron de formato vector a ráster, con la herramienta poligon to raster de ARCGIS. El resultado fue una imagen ráster (Figura 12) que se empleó para los dos periodos de estudio 2005 y 2021.

Figura 12. Factor K, erodabilidad del suelo 2005 y 2021.



Fuente: Elaboración propia con base al INEGI 2021.

Factor LS. Longitud de la pendiente y pendiente media del terreno: Los datos de longitud de la pendiente y pendiente media del terreno se obtuvieron a partir de la metodología de la SAGARPA, que permitió obtener imágenes ráster para cada periodo de estudio (Cuadro 14).

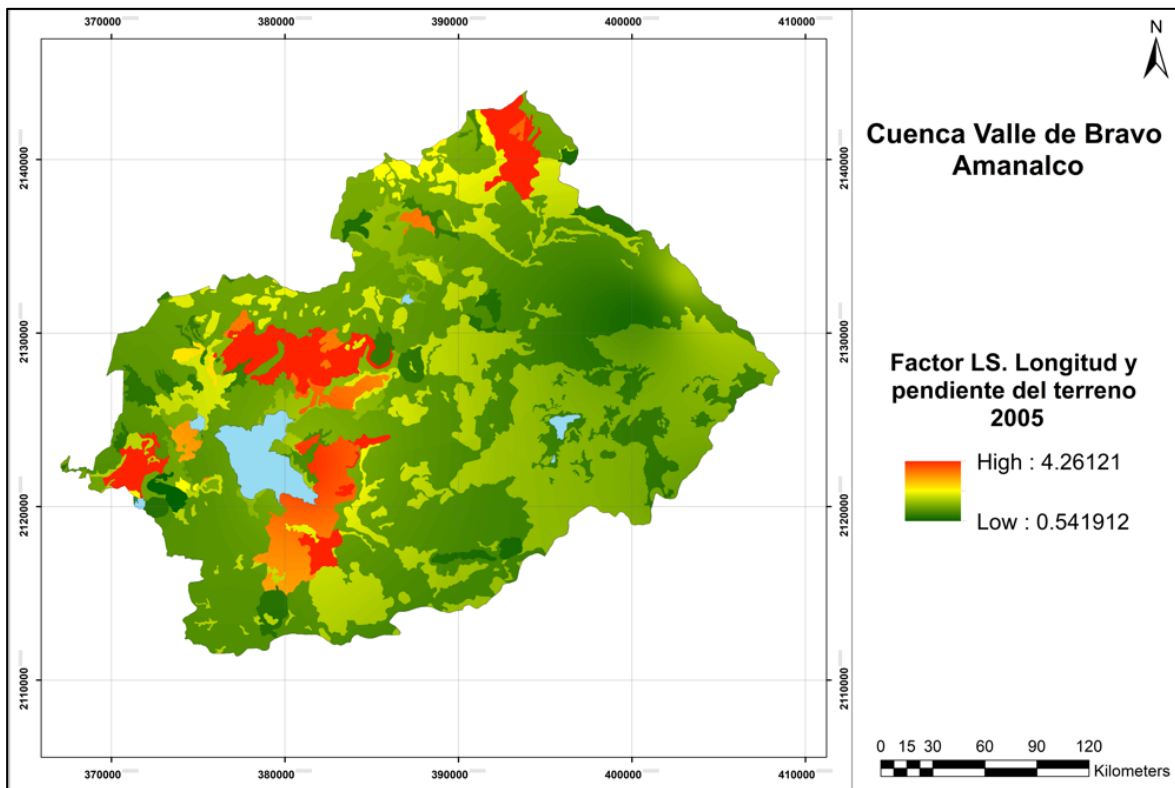
Cuadro 14. Valores mayores y menores a la unidad (8T).

Relación	Descripción
$Si LS > 1 \rightarrow 8T > RK$	La erosión provocada por el producto RK es menor del valor considerado como límite para definir terrenos altamente erosionables, por lo que no existen problemas de erosión evidente que requieran atención inmediata, ya que la tasa de formación del suelo es mayor que la tasa de erosión.
$Si LS = 1 \rightarrow 8T = RK$	Este es el punto de equilibrio en la definición de un terreno altamente erosionable, lo que implica que la erosión provocada por el producto RK es equivalente a 160 ton/ha/ año, es decir, que se está perdiendo lo que se forma.
$Si LS < 1 \rightarrow 8T < RK$	La tasa de formación del suelo 8T no es suficiente para sustituir las remociones del suelo, por lo que a estos valores se les debe considerar como áreas prioritarias para el establecimiento de estrategias de conservación.

Fuente: Adame-Martínez et al., 2015.

En la Figura 13 se observa que en las zonas donde el valor del factor LS es más alto, se presentan zonas montañosas que rodean la presa de Valle de Bravo, y hacia el norte en terrenos donde se practica la agricultura.

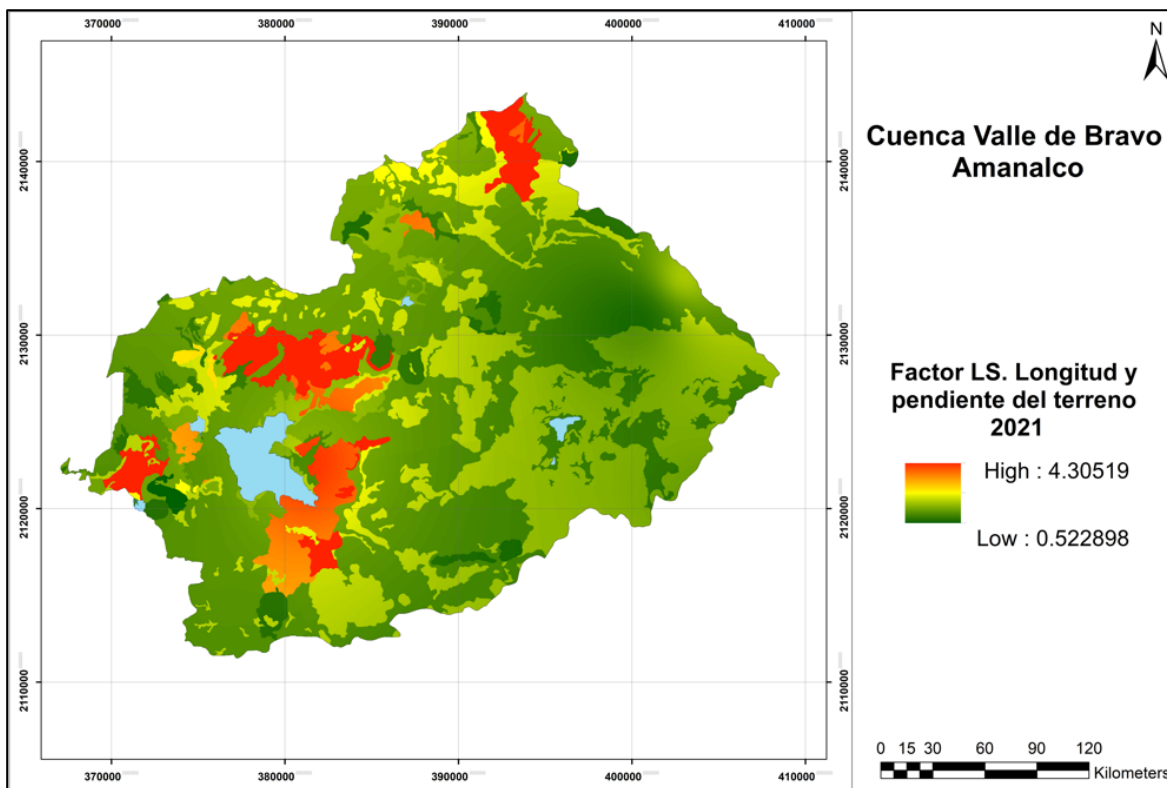
Figura 13. Factor LS Longitud de la pendiente y pendiente media del terreno, 2005.



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 14 se observa que en las zonas donde el valor del factor LS es más alto, se presentan zonas montañosas que rodean la presa de Valle de Bravo, y hacia el norte en terrenos donde se practica la agricultura.

Figura 14. Factor LS Longitud de la pendiente y pendiente media del terreno, 2021.



Fuente: Elaboración propia.

Factor C. Cobertura Vegetal: Los datos de cobertura vegetal se obtuvieron mediante la modificación de las cartas de uso del suelo del INEGI series III y VI para los años 2005 y 2017 (Pando Moreno, Gutiérrez Gutiérrez, Maldonado Hernández, Palacio Prieto, & Estrada Castellón, 2003), lo que permitió identificar y representar los tipos de uso de suelo y vegetación (Cuadro 15).

Cuadro 15. Coberturas vegetales presentes en la Subcuenca Valle de Bravo Amanalco, Estado de México.

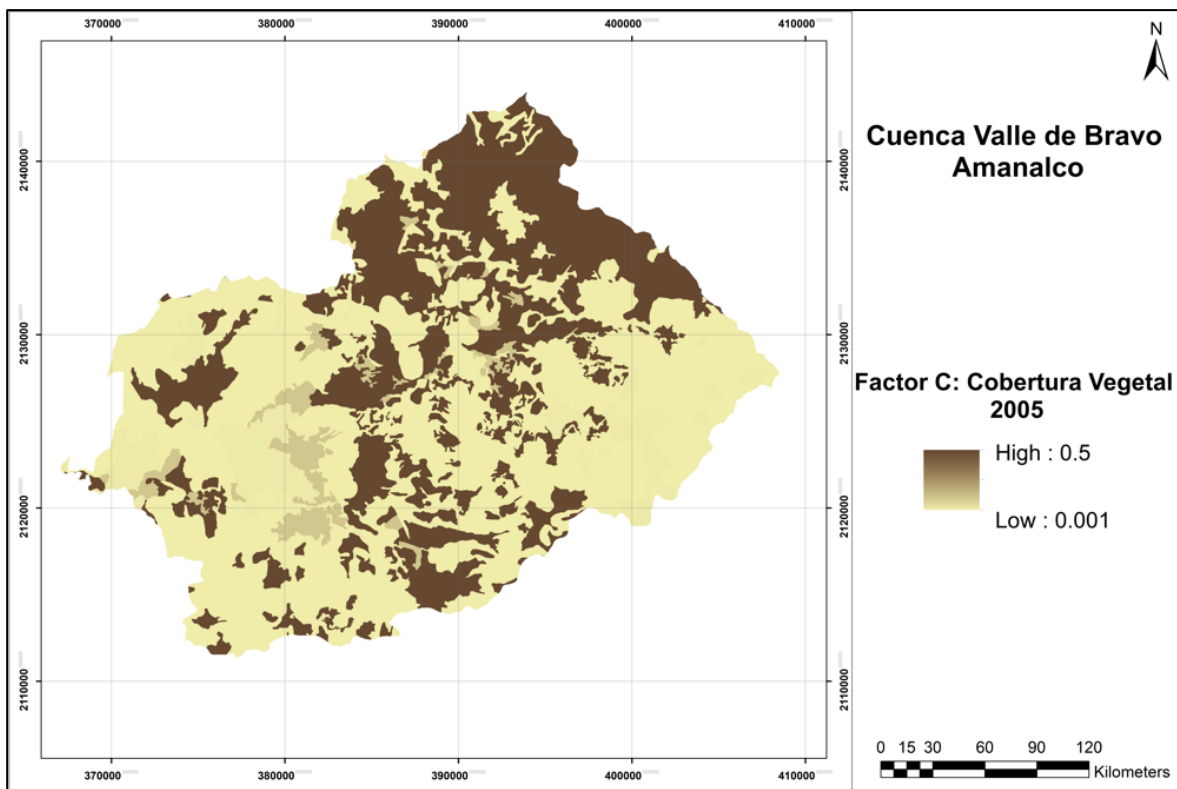
No	Cobertura
1	Agricultura de riego
2	Agricultura de temporal
3	Asentamientos humanos
4	Bosque de encino
5	Bosque de encino - pino
6	Bosque de pino
7	Bosque de pino - encino

8	Bosque de oyamel
9	Bosque mesófilo de montaña
10	Cuerpos de agua
11	Pastizal

Fuente: Elaboración propia.

Para la representación espacial del Factor C de acuerdo con la FAO, los valores para las coberturas vegetales se agruparon en 5 rangos: para la agricultura de temporal y de riego (0,5); para los asentamientos humanos (0,1); bosques de pino, encino, oyamel y bosque mesófilo de montaña (0,001); cuerpos de agua (0,01) y pastizal (0,08). Estos valores indican el grado de protección del suelo en diferentes zonas de la cuenca; entre más se acerque su valor a cero, indica que las zonas tienen una mejor cobertura, y así se disminuye el efecto de la erosión hídrica (Figura 15).

Figura 15. Factor C Cobertura Vegetal, 2005.

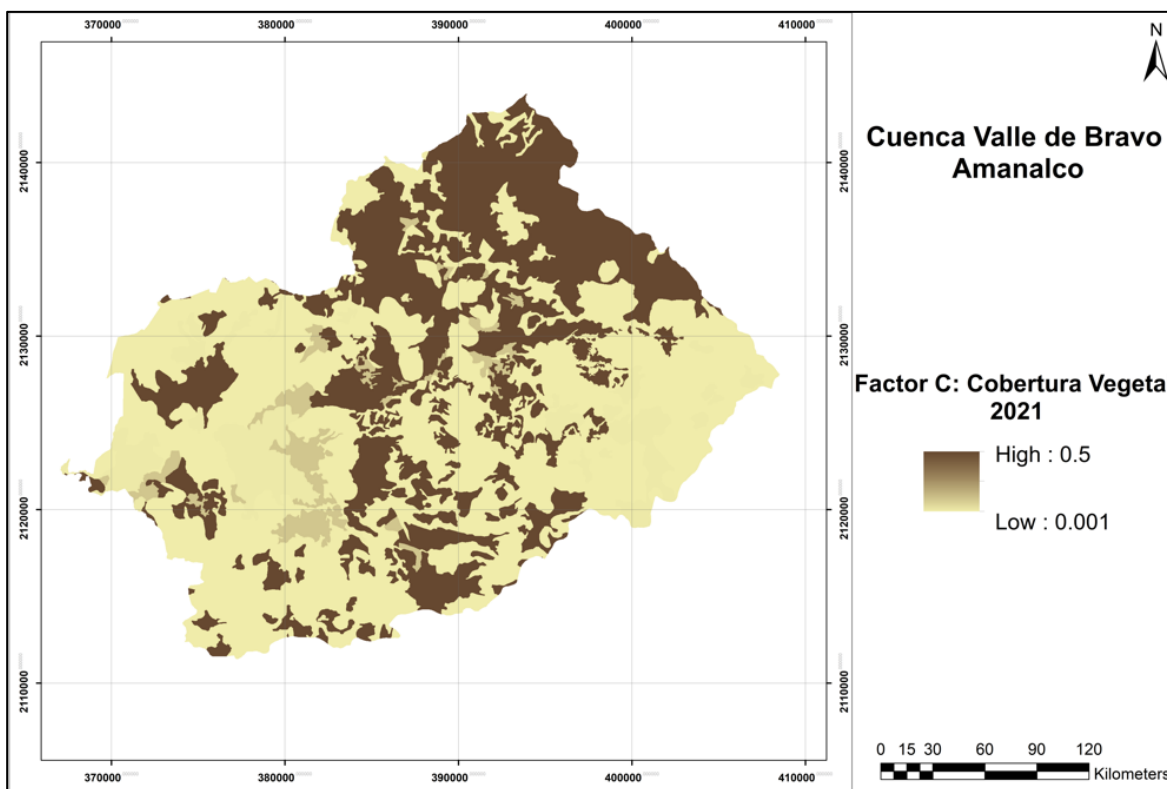


Fuente: Elaboración propia.

Al comparar los dos periodos de estudio, se observa que el proceso de erosión aumentó en la zona norte de la presa Valle de Bravo y en zonas que se identificaron hacia el norte y

centro del área de estudio; por lo que se considera que para el periodo de estudio 2021, aumentó la vulnerabilidad de las coberturas vegetales; lo que se observa en la Figura 16.

Figura 16. Factor C Cobertura Vegetal, 2017.



Fuente: Elaboración propia.

Erosión actual. Con base a la clasificación propuesta por la FAO se determinó la clase de erosión actual y potencial. Como se aprecia en el Cuadro 16, las pérdidas totales y medias de suelo se expresan en ton/ha/año, en tanto que la lámina de suelo se reporta en mm/año (Adame-Martínez et al., 2015).

Cuadro 16. Clases de erosión de suelos de la FAO.

Conceptos	Grados de erosión			
	Ligera	Moderada	Severa	Muy severa
Clases				
Pérdida (ton/ha/año)	< 10	10-50	50-200	>200
Pérdida media (ton/ha/año)	5	30	125	400

Pérdida (mm/año)	<0.6	0.6-3.3	3.3-13.3	>13.3
---------------------	------	---------	----------	-------

Fuente: FAO (1980).

El primer rango (0 – 10 ton. ha-1) representa una erosión ligera, para ambos periodos este tipo de erosión se localizan en la zona este y noreste de la presa Valle de Bravo y al norte de la cuenca. El segundo rango (10 – 50 ton. ha-1) representa la erosión moderada, que se localiza en un 90% de la zona de estudio. El tercer rango (50 – 200 ton. ha-1) con erosión alta, de acuerdo con el análisis no se presenta en la zona de estudio en ninguno de los dos periodos.

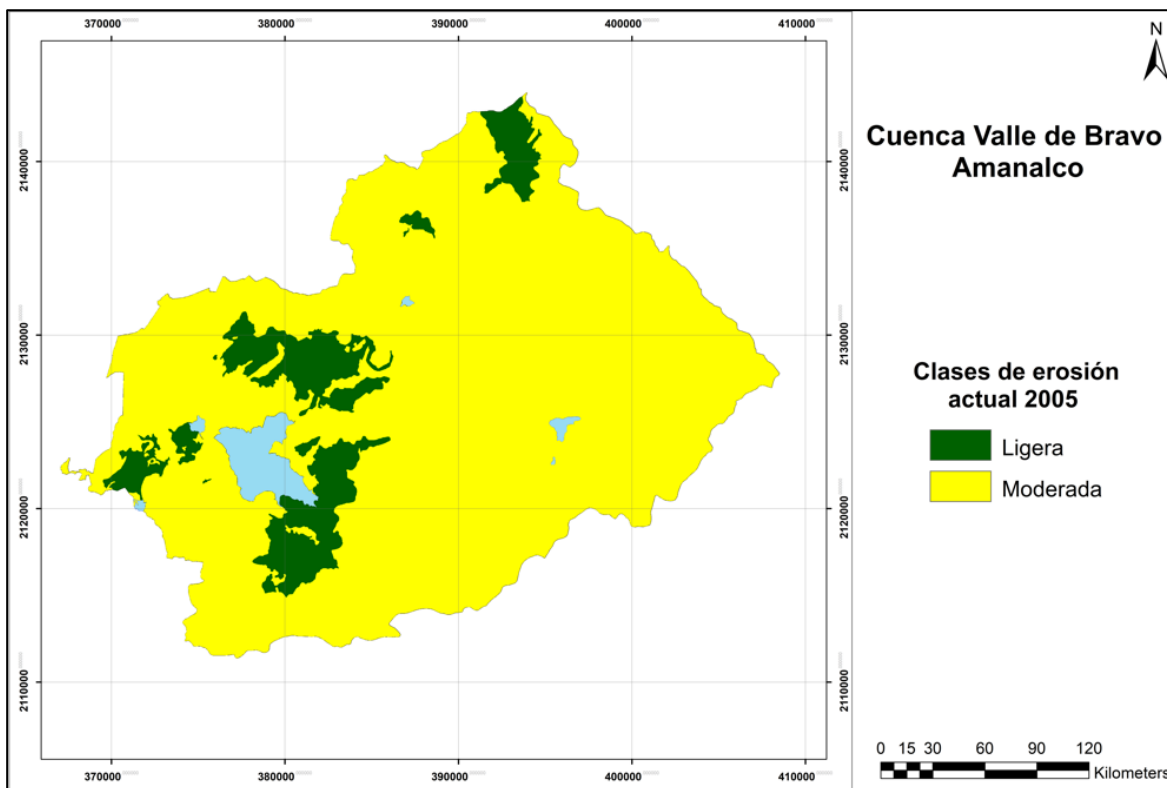
Para el periodo de estudio 2005 la clase de erosión actual que predomina en la cuenca es la moderada, con un 89.5% de la superficie total y le sigue la erosión ligera con un 10.5% (Cuadro 17, Figura 17).

Cuadro 17. Clases de erosión actual en la zona de estudio, periodo 2005.

Clase	Área (ha)	Porcentaje (%)
Ligera	7.391,64	10.5
Moderada	63.176,08	89.5
Total	70.567,72	100

Fuente: Elaboración propia.

Figura 17. Erosión actual, 2005.



Fuente: Elaboración propia.

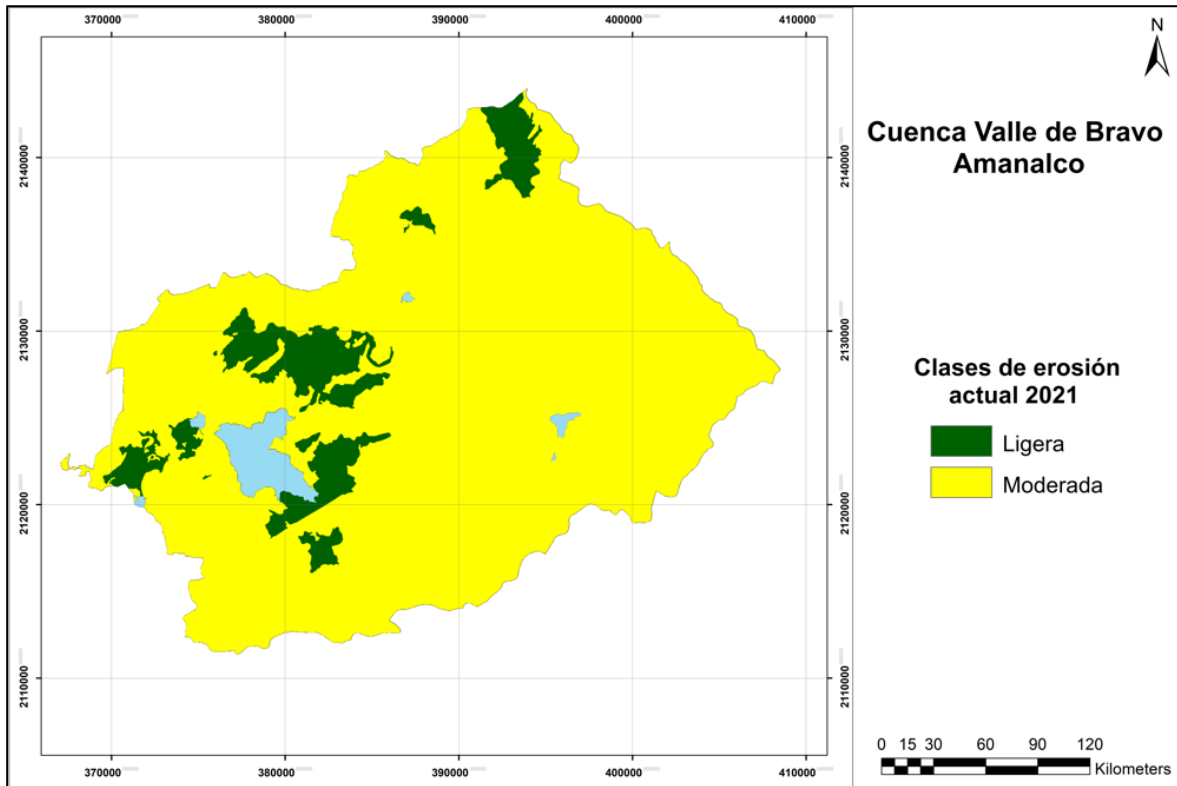
Para el periodo de estudio 2017 la clase de erosión actual que predomina en la cuenca es la moderada, con un 91% de la superficie total y le sigue la erosión ligera con un 9% (Cuadro 18, Figura 18).

Cuadro 18. Clases de erosión actual en la zona de estudio, periodo 2017.

Clase	Área (ha)	Porcentaje (%)
Ligera	6.350,08	9
Moderada	64.217,64	91
Total	70.567,72	100

Fuente: Elaboración propia.

Figura 18. Erosión actual, 2017.



Fuente: Elaboración propia.

Erosión potencial:

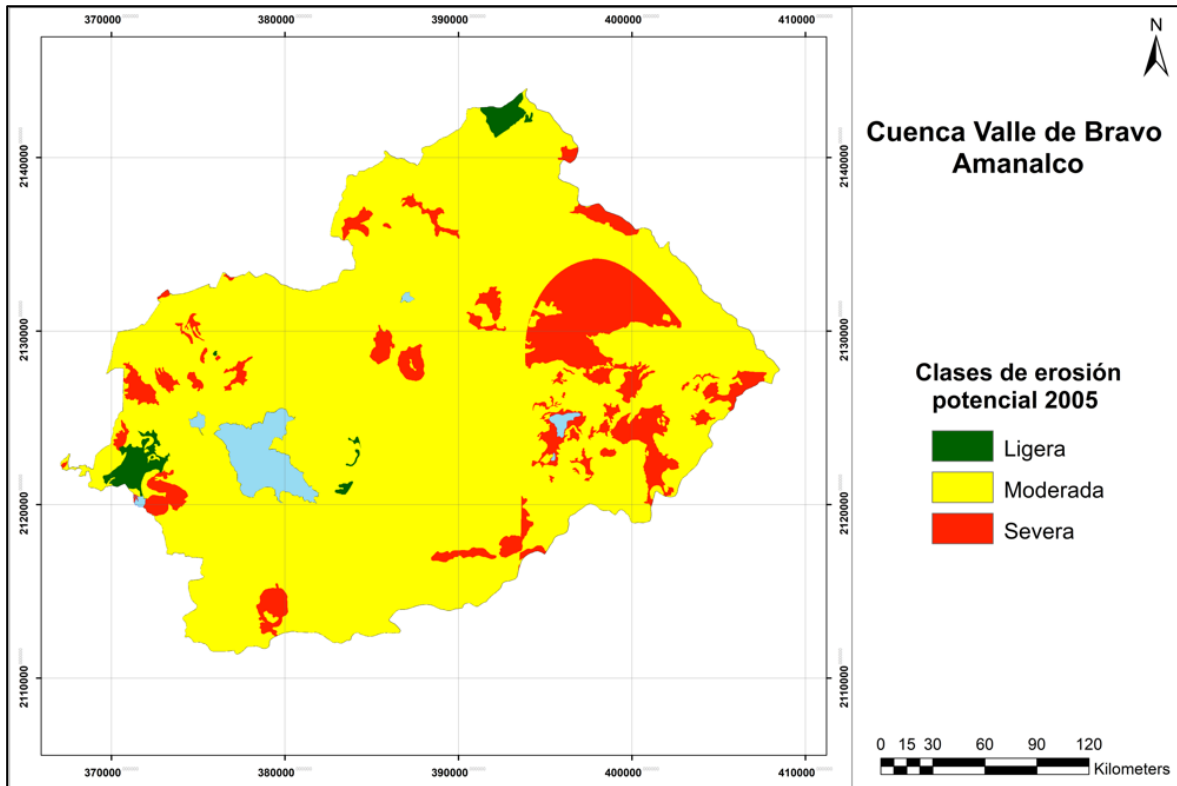
Para el periodo de estudio 2005 la clase de erosión potencial que predomina en la cuenca es la moderada, con un 86.5% de la superficie total, le sigue la erosión severa con 12.1% y por último la erosión ligera con un 1.4% (Cuadro 19, Figura 19).

Cuadro 19. Clases de erosión potencial en la zona de estudio, periodo 2005.

Clase	Área (ha)	Porcentaje
Ligera	967.2	1.4
Moderada	61,047.76	86.5
Severa	8,552.76	12.1
Total	70,567.72	100

Fuente: Elaboración propia.

Figura 19. Erosión potencial, 2005.



Fuente: Elaboración propia.

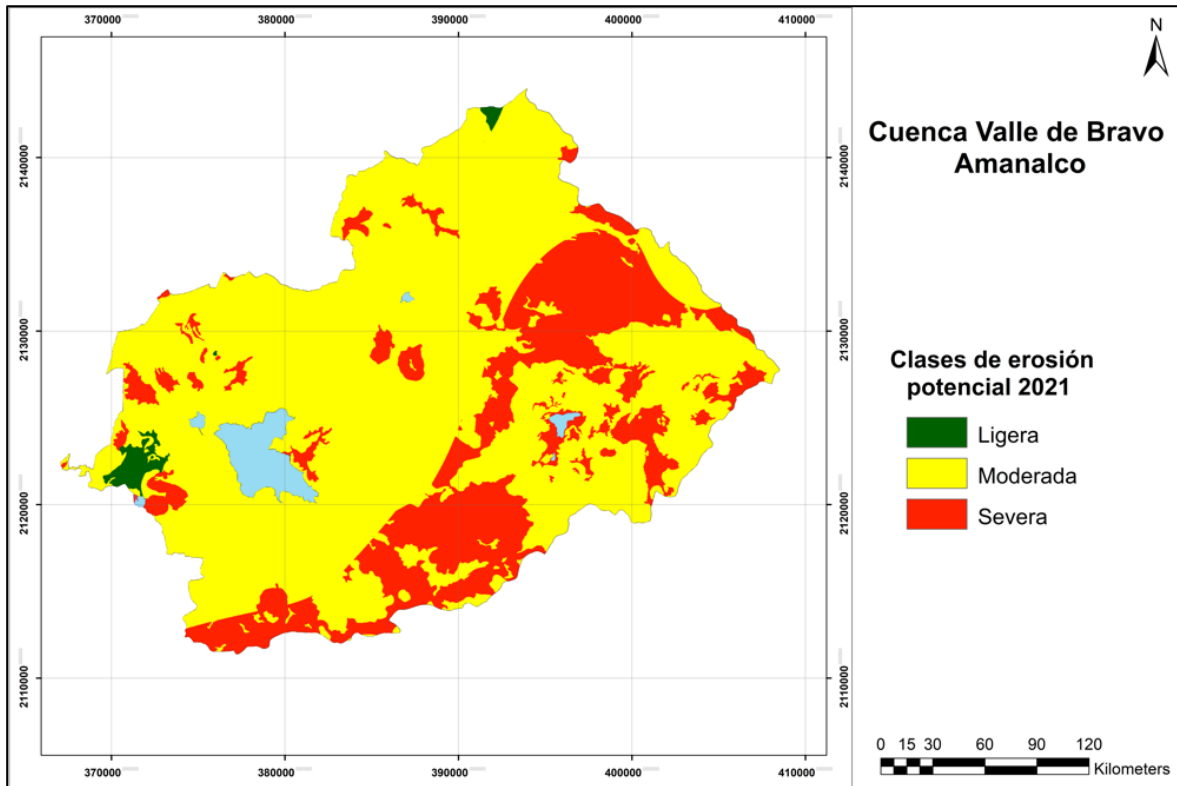
Para el periodo de estudio 2005 la clase de erosión potencial que predomina en la cuenca es la moderada, con un 74.5% de la superficie total, le sigue la erosión severa con 24.6% y por último la erosión ligera con un 0.9% (Cuadro 20, Figura 20).

Cuadro 20. Clases de erosión potencial en la zona de estudio, periodo 2021.

Clase	Área (ha)	Porcentaje
Ligera	657.4	0.9
Moderada	52,568.64	74.5
Severa	17,341.68	24.6
Total	70,567.72	100

Fuente: Elaboración propia.

Figura 20. Erosión potencial, 2021.

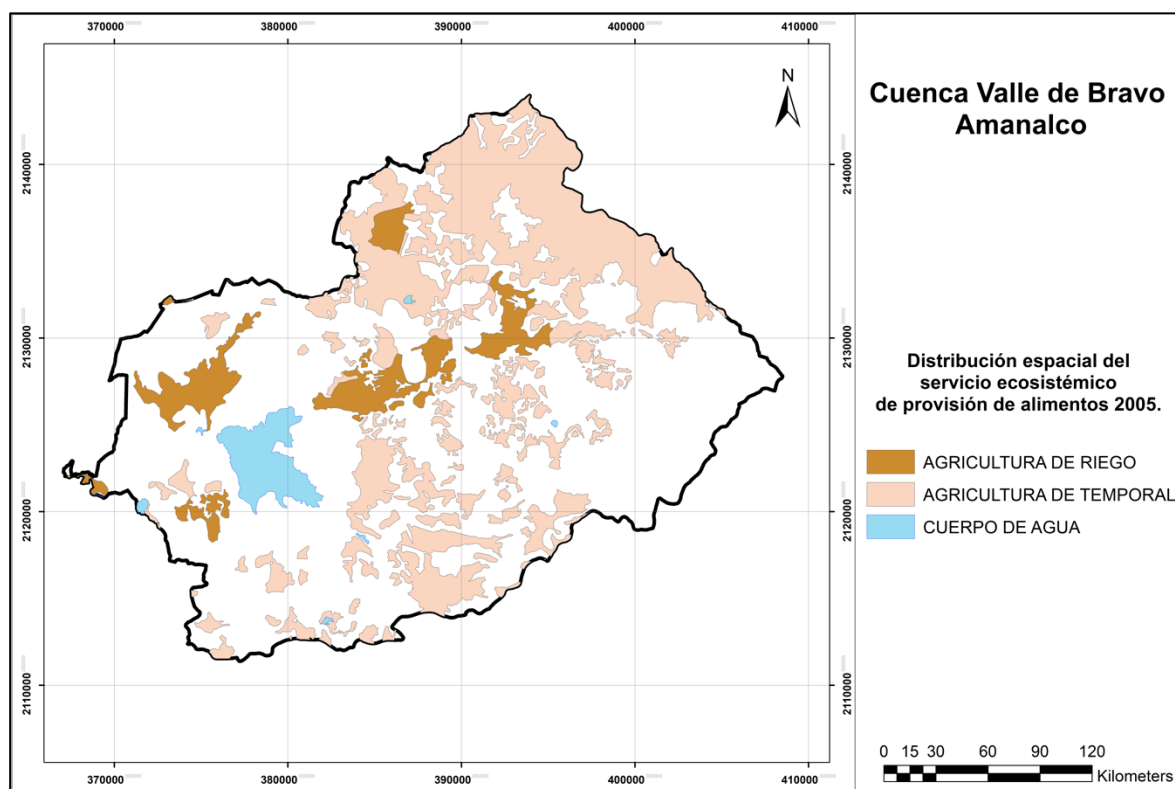


Fuente: Elaboración propia.

3.5 Análisis espaciotemporal de la evolución y cambios en la capacidad de producción del servicio ecosistémico de producción de alimentos durante el periodo 2005 y 2017.

Para este servicio ecosistémico el análisis espacial se llevó a cabo a nivel de cultivos de riego y cultivos de temporal y se representó mediante cartografía automatizada. El análisis para cada cultivo se realizó mediante análisis estadístico y se representó en gráficas. En la Figura 21 se representa la distribución espacial del servicio ecosistémico de provisión de alimentos en el periodo de estudio 2005, la mayor superficie se ve representada por la agricultura de temporal ya que es el ecosistema que más prevalece en el área de estudio y le sigue la agricultura de riego, los municipios que más aportan a este servicio son Amanalco y Valle de Bravo, aunque los otros se ven representados en el área cuentan con invernaderos para la floricultura.

Figura 21. Distribución espacial del servicio ecosistémico de provisión de alimentos para el año 2005.

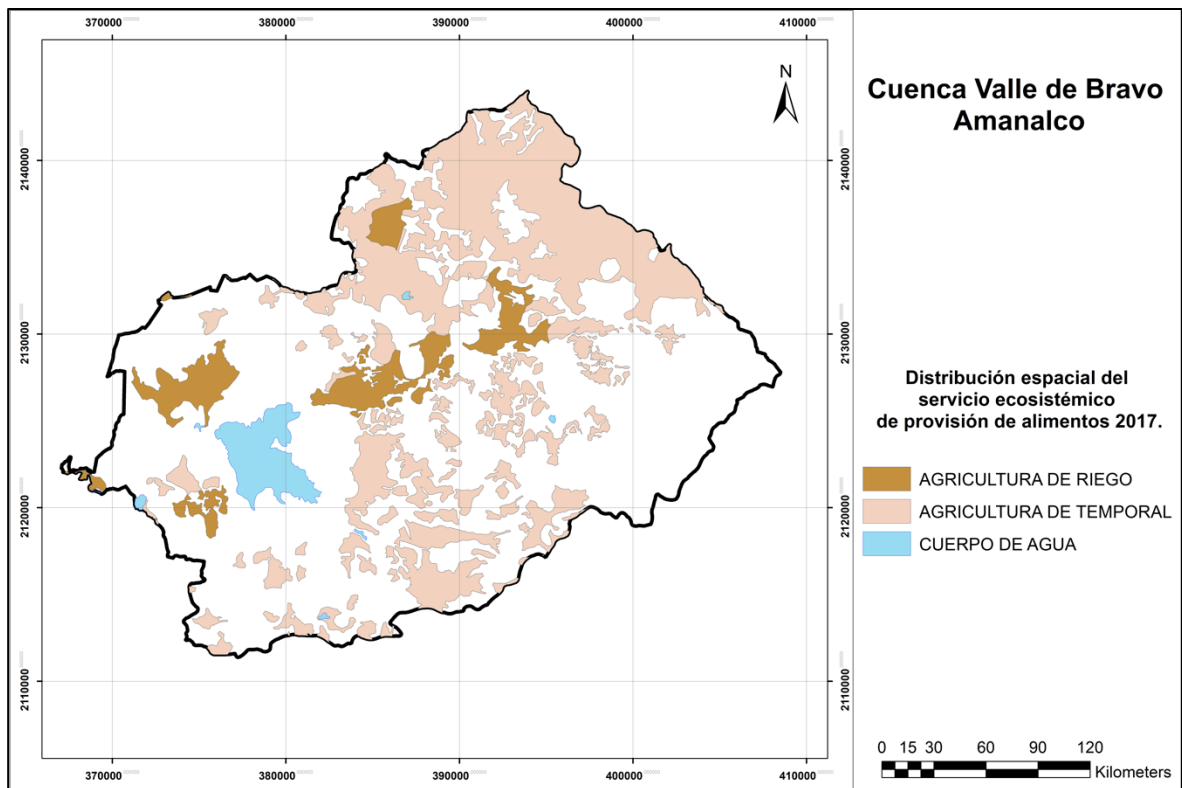


Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 22 se representa la distribución espacial del servicio ecosistémico de provisión

de alimentos en el periodo de estudio 2017, en este periodo se reflejó un aumento del uno por ciento comparado con 2005, en el que se identificó que, en los bosques de pino, pinoencino y oyamel hubo un cambio a agricultura de temporal, agricultura de riego y cuerpos de agua y donde se tuvo una ganancia significativa de las zonas agrícolas resultado de la deforestación de los bosques de más de 600 hectáreas.

Figura 22. Distribución espacial del servicio ecosistémico de provisión de alimentos para el año 2017.



Fuente: Elaboración propia.

3.5.1 Producción agrícola, Municipio de Valle de Bravo.

3.5.1.1 Ciclo de cultivo Otoño – Invierno.

En la Figura 23 se presenta la superficie sembrada de los principales cultivos agrícolas en el Municipio de Valle de Bravo para el periodo 2003 - 2017 en el ciclo agrícola otoño - invierno. El cultivo de avena forrajera ha sido constante y presenta una tendencia irregular, los años con mayor superficie sembrada fueron 2004 y 2005 con 500 Ha. el año con menor superficie fue en 2011 con 84 Ha. La avena forrajera seca cuenta con datos de 2007 a 2012, el año con mayor superficie fue en 2012 con 510 Ha. para 2007 y 2008 sólo se sembraron 380 Ha.

El cultivo de brócoli cuenta con datos de 2007 con 10 Ha. y de 2008 con 10 Ha. El cultivo de Calabacita cuenta con datos de 2005 y de 2007 a 2017, presenta una superficie máxima de 15 Ha. en 2010 y una mínima de 1 Ha para 2007. El cultivo de chícharo ha sido constante durante todo el periodo analizado, la mayor superficie de este cultivo se reportó en 2007 con 410 Ha. y una mínima en 2005 con 225 Ha. El cultivo de chile verde presenta datos sólo de 2003 con 3 Ha.

El cultivo de Ebo (janamargo o veza) ha sido constante en el periodo estudiado y la máxima superficie la reportó en los años 2009 y 2012 con 90 Ha. y la superficie mínima fue de 30 Ha. en 2003. El cultivo de ejote presenta datos de 2008 con 5 Ha. y de 2009 con 2 Ha. El cultivo de elote ha sido constante en el periodo analizado con una tendencia al aumento, la superficie mínima fue en 2003 con 10 Ha. y la máxima en 2017 con 602 Ha.

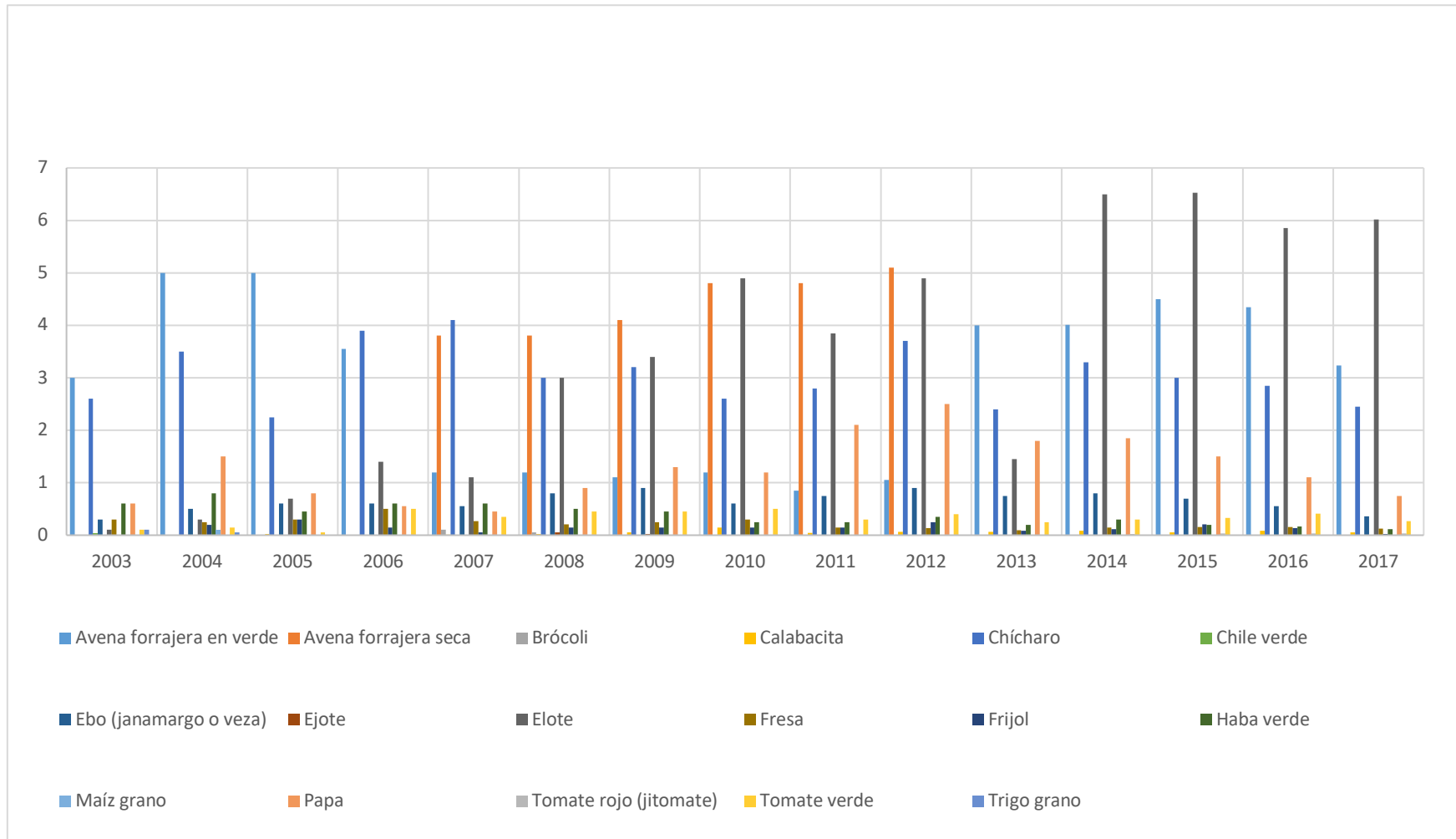
El cultivo de fresa ha sido constante en el periodo analizado y presenta una superficie máxima de 50 Ha. en 2005 y una mínima de 9 Ha. en 2013. El frijol cuenta con datos a partir de 2004 y la mayor superficie es de 30 Ha. en el 2005 y una mínima de 2 Ha. en 2017. El cultivo de haba verde ha sido constante con una tendencia a la disminución para los últimos años la superficie máxima es de 80 Ha. en 2004 y la mínima es en 2017 con 12 Ha. El maíz de grano para este ciclo de cultivo presentó datos sólo en 2004 con 10 Ha.

El cultivo de papa ha sido constante en este periodo analizado y la mayor superficie sembrada fue en 2012 con 250 Ha. y la menor superficie sembrada en 2007 con 45 Ha. El

tomate rojo presenta datos a partir de 2014 a 2017 siendo el primer año cuando presentó la menor superficie sembrada con 2 Ha. y para 2016 la máxima superficie con 3.5 Ha. El cultivo de tomate verde ha sido constante, los años con mayor superficie fueron en 2006 y 2010 con 50 Ha. y una mínima para 2005 con 5 Ha. El trigo de grano presenta datos sólo en 2003 con 10 Ha. y en 2004 con 5 Ha.

El trigo ornamental cuenta con datos a partir de 2005 a 2017, siendo en 2008 cuando presenta la mayor superficie con Ha. y la menor superficie en 2015 y 2017 con 1 Ha.

Figura 23. Superficie sembrada (Cientos de Ha) Municipio de Valle de Bravo (otoño - invierno).



Fuente: Elaboración propia con base en SIACON (2021)

En la figura 24 se presenta la producción de los principales cultivos agrícolas en el Municipio de Valle de Bravo para el periodo 2003 - 2017 en el ciclo agrícola otoño - invierno. El cultivo de avena forrajera ha sido constante, la mayor producción fue en 2013 con 14 775 Ton. el año con menor producción fue en 2011 con 880 Ton. La avena forrajera seca cuenta con datos de 2007 a 2012, el año con mayor producción fue en 2012 con 4 080 Ton. y la menor producción fue para 2007 con 2 850 Ton. El cultivo de brócoli cuenta con datos de 2007 con 60 Ton. y de 2008 con 40 Ton.

El cultivo de Calabacita cuenta con datos de 2005 y de 2007 a 2017, presenta una producción máxima de 107.37 Ton. en 2016 y una mínima de 10 Ton. para 2007. El cultivo de chícharo ha sido constante durante todo el periodo analizado, la mayor producción de este cultivo se reportó en 2016 con 2 280 Ton. y una mínima en 2011 con 1 247 Ton. El cultivo de chile verde presenta datos sólo de 2003 con 30 Ton. El cultivo de Ebo (janamargo o veza) ha sido constante en el periodo estudiado y la máxima producción la reportó en 2008 con 1 600 Ton. y la mínima fue de 420 Ton. en 2003.

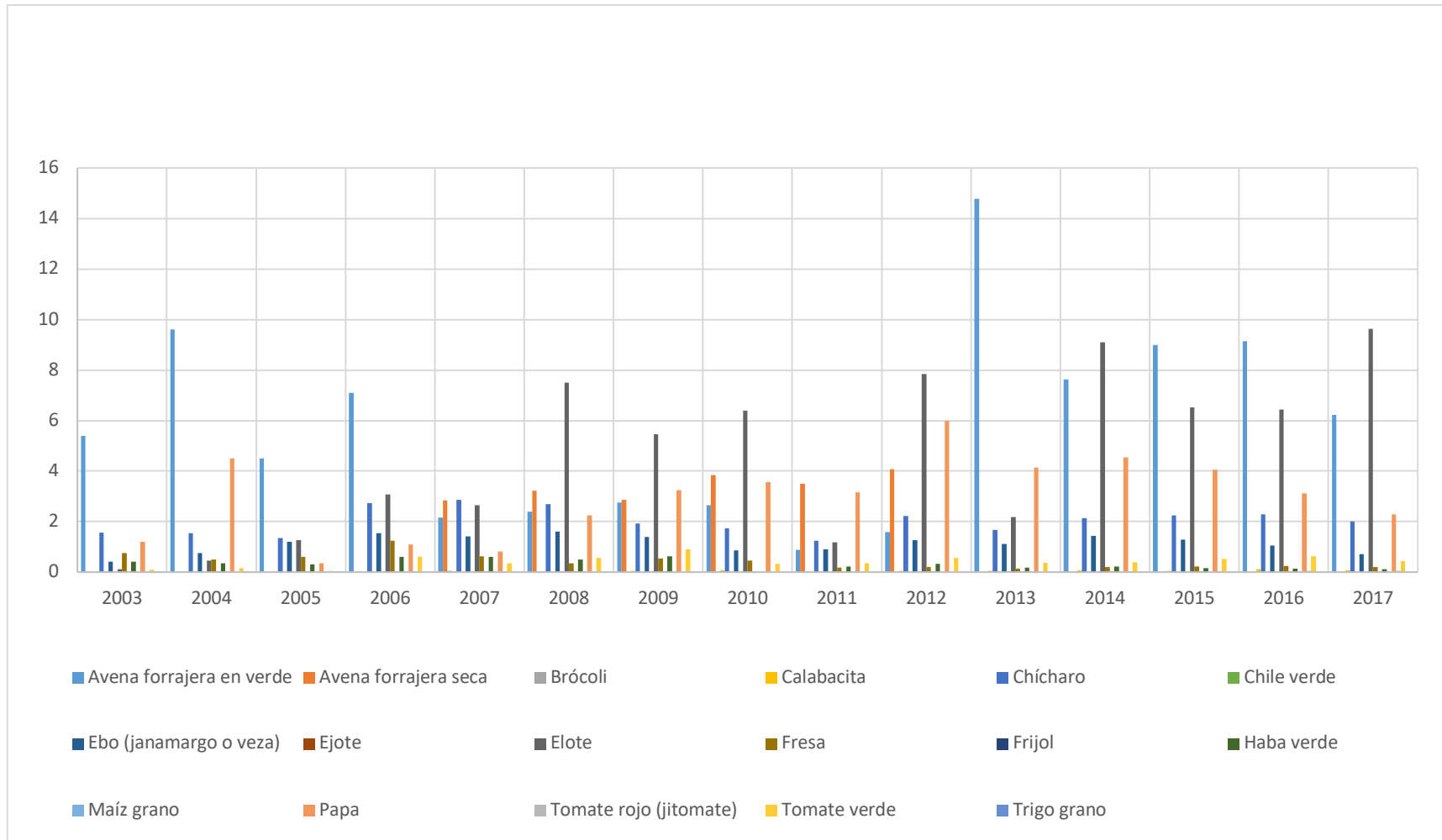
El cultivo de ejote presenta datos de 2008 con 30 Ton. y de 2009 con 16 Ton. El cultivo de elote ha sido constante en el periodo analizado con una tendencia al aumento, la producción mínima fue en 2003 con 120 Ton. y la máxima en 2017 con 9 632 Ton. El cultivo de fresa ha sido constante en el periodo analizado y presenta una producción máxima de 1 250 Ton. en 2006 y una mínima de 144 Ton. en 2013. El frijol cuenta con datos a partir de 2004 y la mayor producción es de 25.2 Ton. en el 2015 y una mínima de 4 Ton. en 2017.

El cultivo de haba verde ha sido constante con una tendencia a la disminución para los últimos años la producción máxima es de 420 Ton. en 2003 y la mínima es en 2017 con 106 Ton. El maíz de grano para este ciclo de cultivo presentó datos sólo en 2004 con 30 Ton. El cultivo de papa ha sido constante en este periodo analizado y la mayor producción fue en 2012 con 6 000 Ton. y la menor producción en 2005 con 350 Ton. El tomate rojo presenta datos a partir de 2014 a 2017 siendo el primer año cuando presentó la menor producción con 22 Ton. y para 2015 la máxima producción con 34.5 Ton. El cultivo de tomate verde ha sido

constante, la mayor producción fue en 2009 con 900 Ton. y una mínima para 2005 con 50 Ton.

El trigo de grano presenta datos sólo en 2003 con 20 Ton. y en 2004 con 15 Ton. El trigo ornamental cuenta con datos a partir de 2005 a 2017, siendo en 2011 cuando presenta la mayor producción con 9 000 Ton. y la menor producción en 2017 con 1 050 Ton.

Figura 24. Producción (Miles de Ton) Municipio de Valle de Bravo (Otoño - Invierno).



Fuente: Elaboración propia con base en SIACON (2021)

En la Figura 25 se presenta el rendimiento de los principales cultivos agrícolas en el Municipio de Valle de Bravo para el periodo 2003 - 2017 en el ciclo agrícola otoño - invierno. El cultivo de avena forrajera ha sido constante, presentó el mayor rendimiento en 2013 con 33.94 Ton/Ha. el año con menor rendimiento fue en 2005 con 9 Ton/Ha. La avena forrajera seca cuenta con datos de 2007 a 2012, el año con mayor rendimiento fue en 2008 con 8.5 Ton/Ha. y el menor fue en 2011 con 7.2 Ton/Ha. El cultivo de brócoli cuenta con datos de 2007 con 6 Ton/Ha. y de 2008 con 8 Ton/Ha.

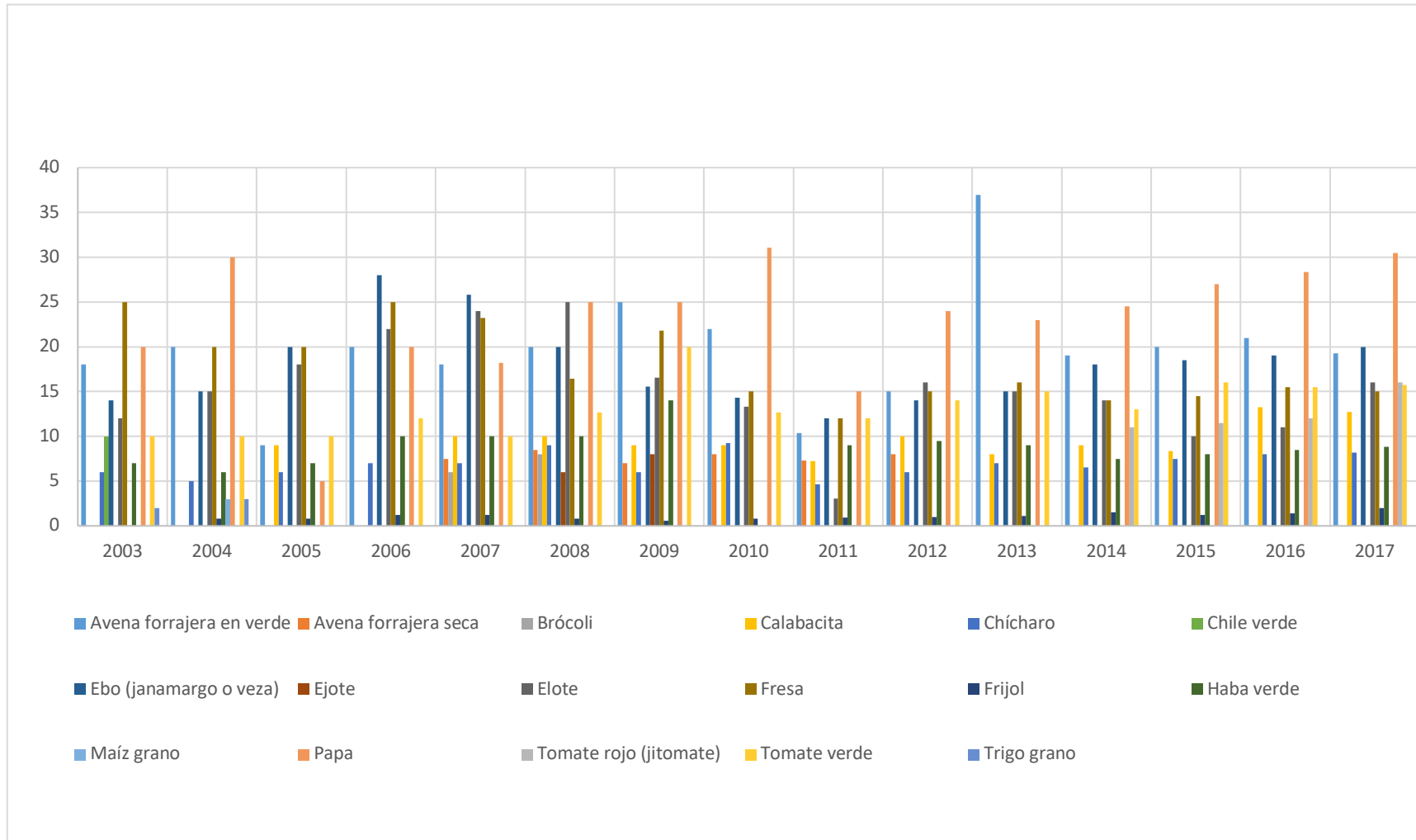
El cultivo de Calabacita cuenta con datos de 2005 y de 2007 a 2017, presenta un rendimiento máximo de 13.26 Ton/Ha. en 2016 y un mínimo de 8 Ton/Ha. para 2013. El cultivo de chícharo ha sido constante durante todo el periodo analizado, el mayor rendimiento de este cultivo se reportó en 2010 con 9.24 Ton/Ha. y un mínimo en 2004 de 5 Ton/Ha. El cultivo de chile verde presenta datos sólo de 2003 con 10 Ton/Ha. El cultivo de Ebo (janamargo o veza) ha sido constante en el periodo estudiado y el mejor rendimiento fue en 2006 con 28 Ton/Ha. y el mínimo fue de 12 Ton/Ha. en 2011.

El cultivo de ejote presenta datos de 2008 con 6 Ton/Ha. y de 2009 con 8 Ton/Ha. El cultivo de elote ha sido constante en el periodo analizado con una tendencia al aumento, el rendimiento mínimo fue en 2011 con 3.04 Ton/Ha. y el máximo en 2008 con 25 Ton/Ha. El cultivo de fresa ha sido constante en el periodo analizado y presenta un rendimiento máximo de 25 Ton/Ha. en 2003 y en 2006, el rendimiento mínimo es de 12 Ton/Ha. en 2012. El frijol cuenta con datos a partir de 2004, el mayor rendimiento es de 2 Ton/Ha. en el 2017 y un mínimo de 0.6 Ton/Ha. en 2009.

El cultivo de haba verde ha sido constante en el periodo analizado, el rendimiento máximo es de 14 Ton/Ha. en 2009 y el mínimo en 2004 con 6 Ton/Ha. El maíz de grano para este ciclo de cultivo presentó datos sólo en 2004 con 3 Ton/Ha. El cultivo de papa ha sido constante en este periodo analizado, su mayor rendimiento fue en 2010 con 31.05 Ton/Ha. y su menor rendimiento en 2005 con 5 Ton/Ha. El tomate rojo presenta datos a partir de 2014 a 2017, siendo el primer año cuando presentó el menor rendimiento con 11 Ton/Ha. y para 2017 el mayor rendimiento con 16 Ton/Ha.

El cultivo de tomate verde ha sido constante en el periodo de estudio y su mayor rendimiento fue en 2015 con 16 Ton/Ha. y un mínimo de 10 Ton/Ha. en los tres primeros años analizados y en 2007. El trigo de grano presenta datos sólo en 2003 con 2 Ton/Ha. y en 2004 con 3 Ton/Ha. El trigo ornamental cuenta con datos a partir de 2005 a 2017, siendo en 2009 cuando presenta el mayor rendimiento con 2 100 Ton/Ha. y el menor rendimiento en 2005 con 400 Ton/Ha.

Figura 25. Rendimiento Obtenido (Ton/Ha) Municipio de Valle de Bravo (Otoño - Invierno).



Fuente: Elaboración propia con base en SIACON (2021).

En la Figura 26 se presenta el valor de la producción de los cultivos agrícolas en el Municipio de Valle de Bravo para el periodo 2003 - 2017 en el ciclo agrícola otoño - invierno. El cultivo de avena forrajera ha sido constante, presentó el mayor valor de su producción en 2013 con \$8 569.5 el año con menor valor fue en 2011 con \$444. La avena forrajera seca cuenta con datos de 2007 a 2012, el año con mayor valor fue en 2012 con \$6 768.03 y el menor fue en 2008 con \$3 553. El cultivo de brócoli cuenta con datos de 2007 con \$150 y de 2008 con \$120.

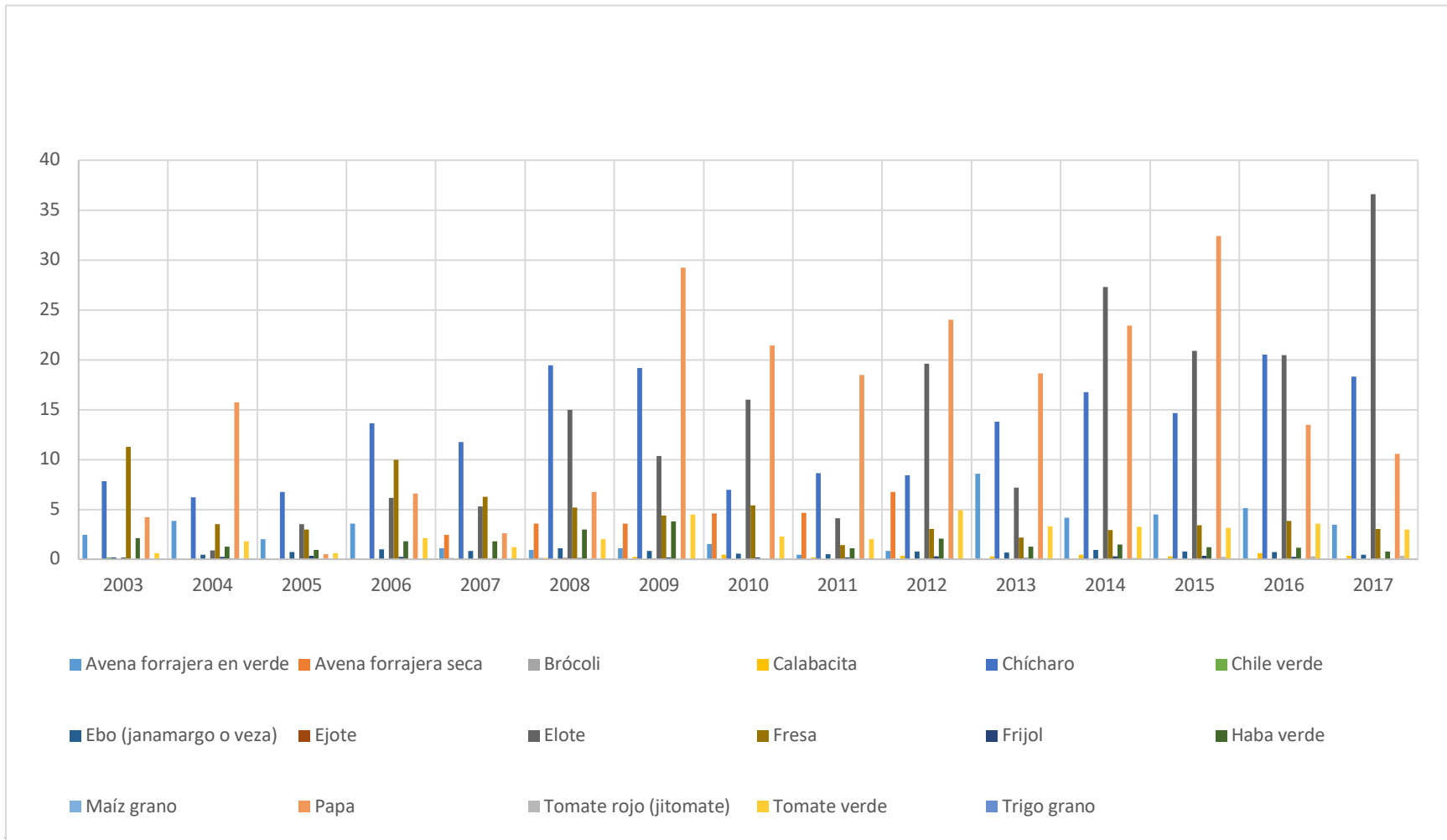
El cultivo de Calabacita cuenta con datos de 2005 y de 2007 a 2017, presenta un valor de la producción máximo de 636.17 en 2016 y un mínimo de \$45 en 2005. El cultivo de chícharo ha sido constante durante todo el periodo analizado, el mayor valor de este cultivo se reportó en 2016 con \$20 520 y un mínimo en 2004 de \$6200. El cultivo de chile verde presenta datos sólo de 2003 con un valor de \$210. El cultivo de Ebo (janamargo o veza) ha sido constante en el periodo estudiado y el mayor valor fue en 2008 con \$1 120 y el mínimo fue de \$210 en 2003. El cultivo de ejote presenta datos de 2008 con \$120 y de 2009 con \$96.

El cultivo de elote ha sido constante en el periodo analizado con una tendencia al aumento, el valor de producción mínimo fue en 2003 con \$180 y el máximo en 2017 con \$36 602. El cultivo de fresa ha sido constante en el periodo analizado, el valor máximo fue de \$11 250 en 2003 y en 2011 el valor mínimo es de \$1 404. El frijol cuenta con datos a partir de 2004, el valor de producción más alto fue en el año 2005 con \$360 y el mínimo fue de \$54 en 2017. El cultivo de haba verde ha sido constante en el periodo analizado, el valor de su producción más alto fue de \$3 780 en 2009 y el mínimo en 2017 fue de \$803.48.

El maíz de grano para este ciclo de cultivo presentó datos sólo en 2004 con \$60. El cultivo de papa ha sido constante en este periodo analizado, su mayor valor fue de \$32 400 fue en 2015 y su menor valor en 2005 con \$525. El tomate rojo presenta datos a partir de 2014 a 2017, siendo el primer año cuando presentó el menor valor con \$154 y para 2017 el mayor valor de producción con \$364.8. El cultivo de tomate verde ha sido constante en el periodo de estudio y su mayor valor fue en 2012 con \$4 900 y un mínimo de \$600 para los años 2003 y 2005. El trigo de grano presenta datos sólo en 2003 con \$27 y en 2004 con \$30.

El trigo ornamental cuenta con datos a partir de 2005 a 2017, siendo en 2011 cuando presenta el mayor valor con \$90 y el menor valor en 2017 con \$13.65.

Figura 26. Valor de la producción (Miles de pesos) Municipio de Valle de Bravo (otoño - invierno).



3.5.1.2 Producción agrícola, Municipio de Valle de Bravo. Ciclo de cultivo Primavera – Verano.

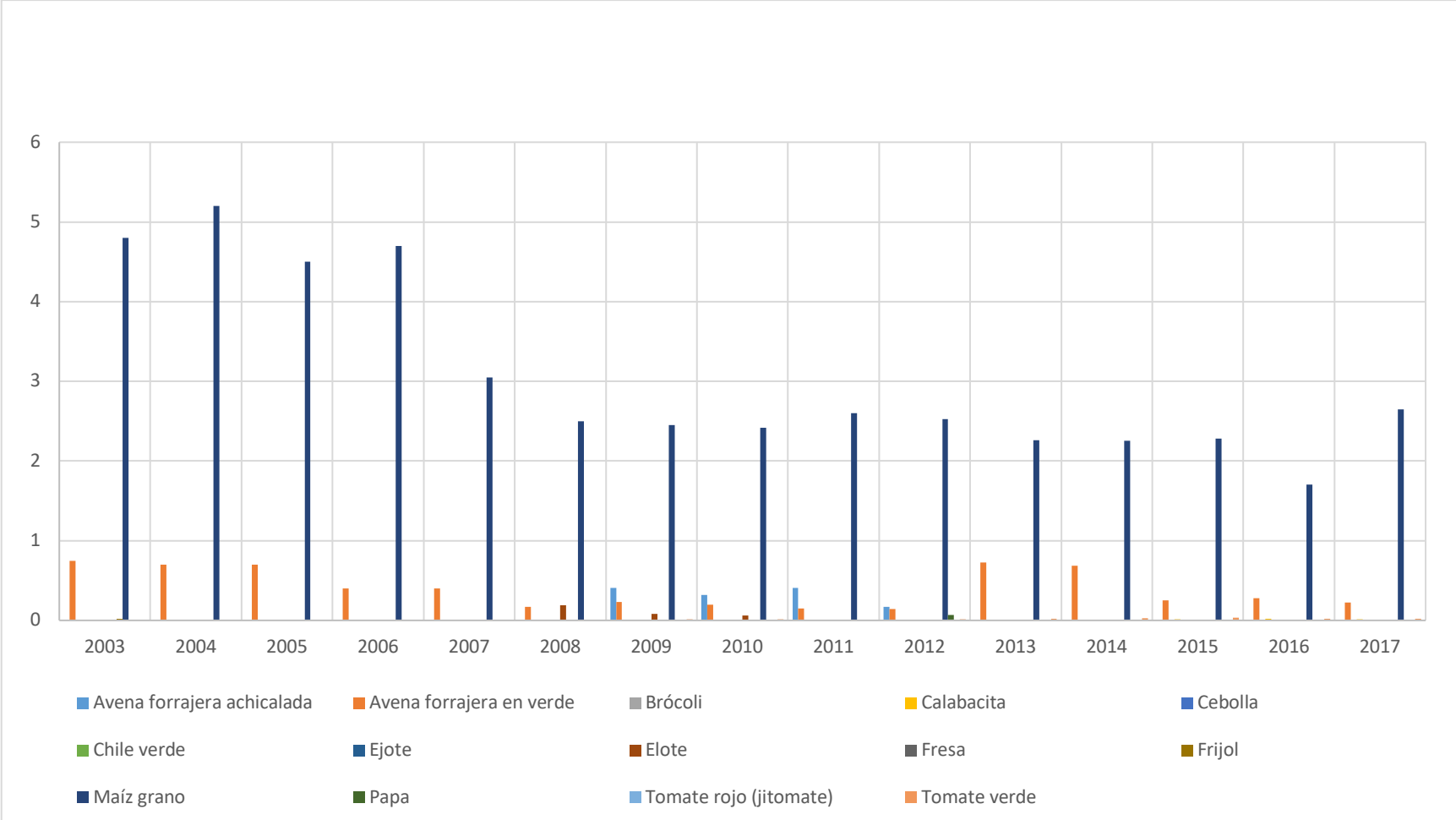
En la Figura 27 se presenta la superficie sembrada de los principales cultivos agrícolas en el Municipio de Valle de Bravo para el periodo 2003 - 2017 en el ciclo agrícola primavera - verano. Es evidente que el cultivo con mayor superficie sembrada es el maíz, el cual ha sido constante y presenta una tendencia a la disminución, en 2004 presenta la mayor superficie sembrada con 5 200 Ha. y en 2016 tiene su menor superficie con 1 702 Ha.

El cultivo de avena forrajera en verde ha sido constante y la mayor superficie sembrada fue en 2003 con 750 Ha. La calabacita se ha cultivado en 2005 y en 2007 a 2017 llegando a tener la mayor superficie sembrada en 2016 con 20 Ha. El cultivo de tomate verde cuenta con datos de 2007 y de 2009 a 2017 con una tendencia al aumento, en el año 2015 presentó la mayor superficie sembrada con 32 Ha y la menor superficie fue en 2007 y 2011 con 10 Ha.

La avena forrajera achicalada cuenta con datos de 2009 a 2012, la mayor superficie fue de 410 Ha. en los años 2009 y 2011, para 2012 tuvo su menor valor con 170 Ha. El brocoli sólo cuenta con datos de 2011 con 1 Ha. La cebolla cuenta con datos de 2008 con una superficie de 2 Ha. El chile verde cuenta con datos de 2009 con una superficie de 2 Ha. El ejote cuenta con datos de 2008 con una superficie de 5 Ha. El elote se cultivó de 2008 a 2010 y tuvo una máxima de 190 Ha. en 2008 y una mínima de 60 Ha. en 2010. de superficie sembrada.

El cultivo de fresa cuenta con datos de 2016 con una superficie sembrada de 4 Ha. El cultivo de frijol cuenta con datos sólo en 2003 con una superficie de 20 Ha. El cultivo de papa cuenta con datos de los años 2004, 2007, 2008, 2012 y 2013 teniendo el valor más alto de superficie sembrada con 65 Ha. y una mínima de 8 Ha en 2007. El tomate rojo cuenta con datos de 2011 a 2017 teniendo la mayor superficie sembrada en los años 2015 y 2017 con 3 Ha y su menor valor en 2011 con 1 Ha.

Figura 27. Superficie sembrada (Miles de Ha) Municipio de Valle de Bravo (primavera -verano).



Fuente: Elaboración propia con base en SIACON (2021).

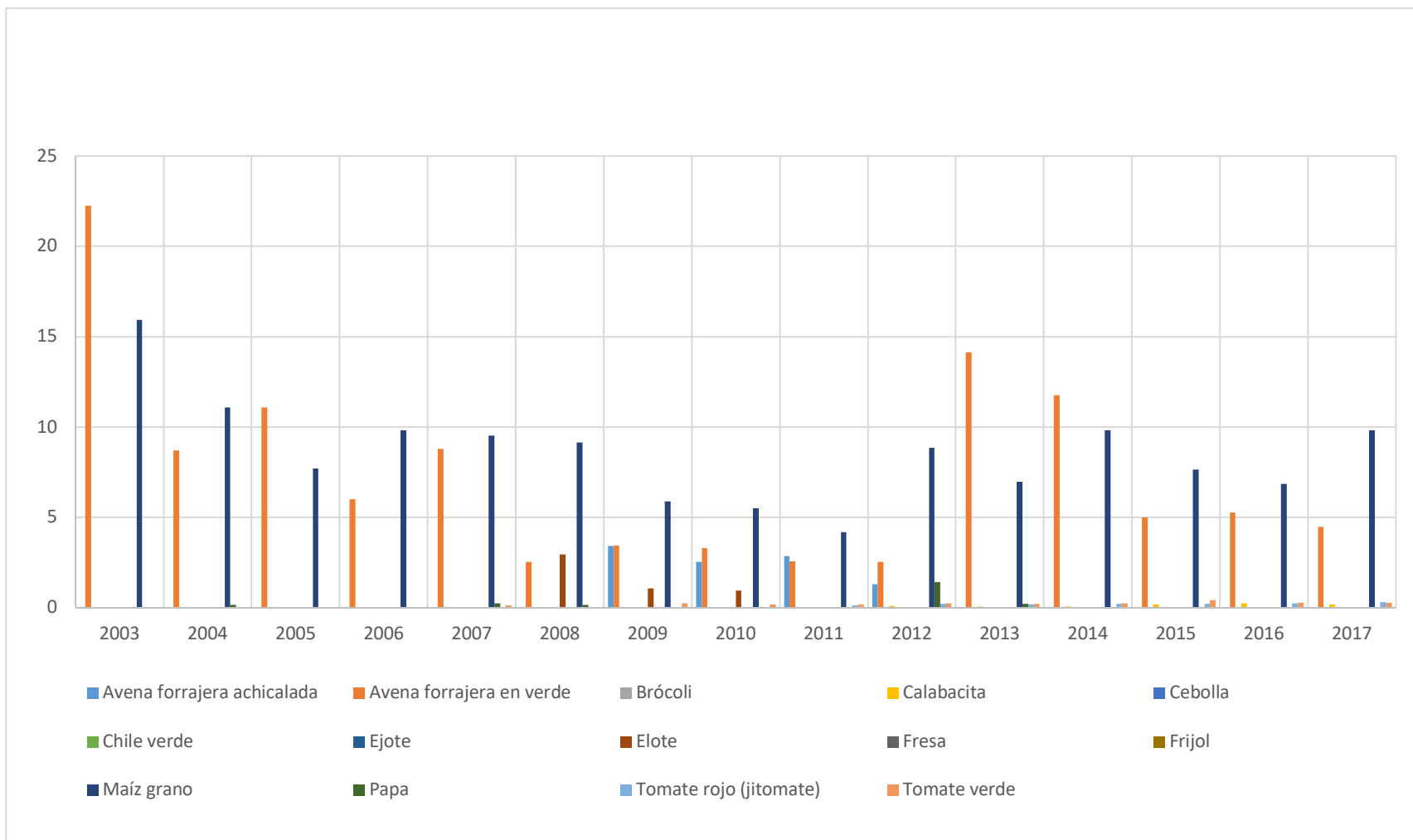
En la Figura 28 se presenta la producción de los principales cultivos agrícolas en el Municipio de Valle de Bravo para el periodo 2003 - 2017 en el ciclo agrícola primavera – verano. El cultivo de maíz ha sido constante y presenta una producción máxima, en 2003 de 15 919.33 Ton y su menor producción es de 4 187 Ton para el año 2011. El cultivo de avena forrajera en verde ha sido constante y la mayor producción fue en 2003 con 22 236.16 Ton, la menor producción de este cultivo fue en 2011 con 2 580 Ton.

La calabacita se ha cultivado en 2005 y de 2007 a 2017 llegando a tener la mayor producción en 2016 con 247.98 Ton. El cultivo de tomate verde cuenta con datos de 2007 y de 2009 a 2017 con una tendencia al aumento, en el año 2015 presentó la mayor producción con 435 Ton y su menor valor en 2007 con 120 Ton. La avena forrajera achicalada cuenta con datos de 2009 a 2012, la mayor producción fue de 3 410 Ton para 2012 tuvo su menor valor con 1 316 Ton. El brocoli sólo cuenta con datos de 2011 con 4 Ton. La cebolla cuenta con datos de 2008 con una producción de 30 Ton.

El chile verde cuenta con datos de 2009 con una superficie de 8 Ton. El ejote cuenta con datos de 2008 con una superficie de 20 Ton. El elote se cultivó de 2008 a 2010 y tuvo una máxima de 2 960 Ton en 2008 y una producción mínima de 960 Ton en 2011. El cultivo de fresa cuenta con datos de 2016 con una producción de 42 Ton.

El cultivo de frijol cuenta con datos sólo en 2003 con una producción de 18 Ton. El cultivo de papa cuenta con datos de los años 2004, 2007, 2008, 2012 y 2013 teniendo el valor más alto de producción con 1 430 Ton y una mínima de 150 Ton en 2004 y 2008. El tomate rojo cuenta con datos de 2011 a 2017 teniendo la mayor producción Ton en 2017 con 310 Ton y su menor valor en 2011 con 120 Ton.

Figura 28. Producción (Miles de Ton) Municipio de Valle de Bravo (primavera - verano).



Fuente: Elaboración propia con base en SIACON (2021).

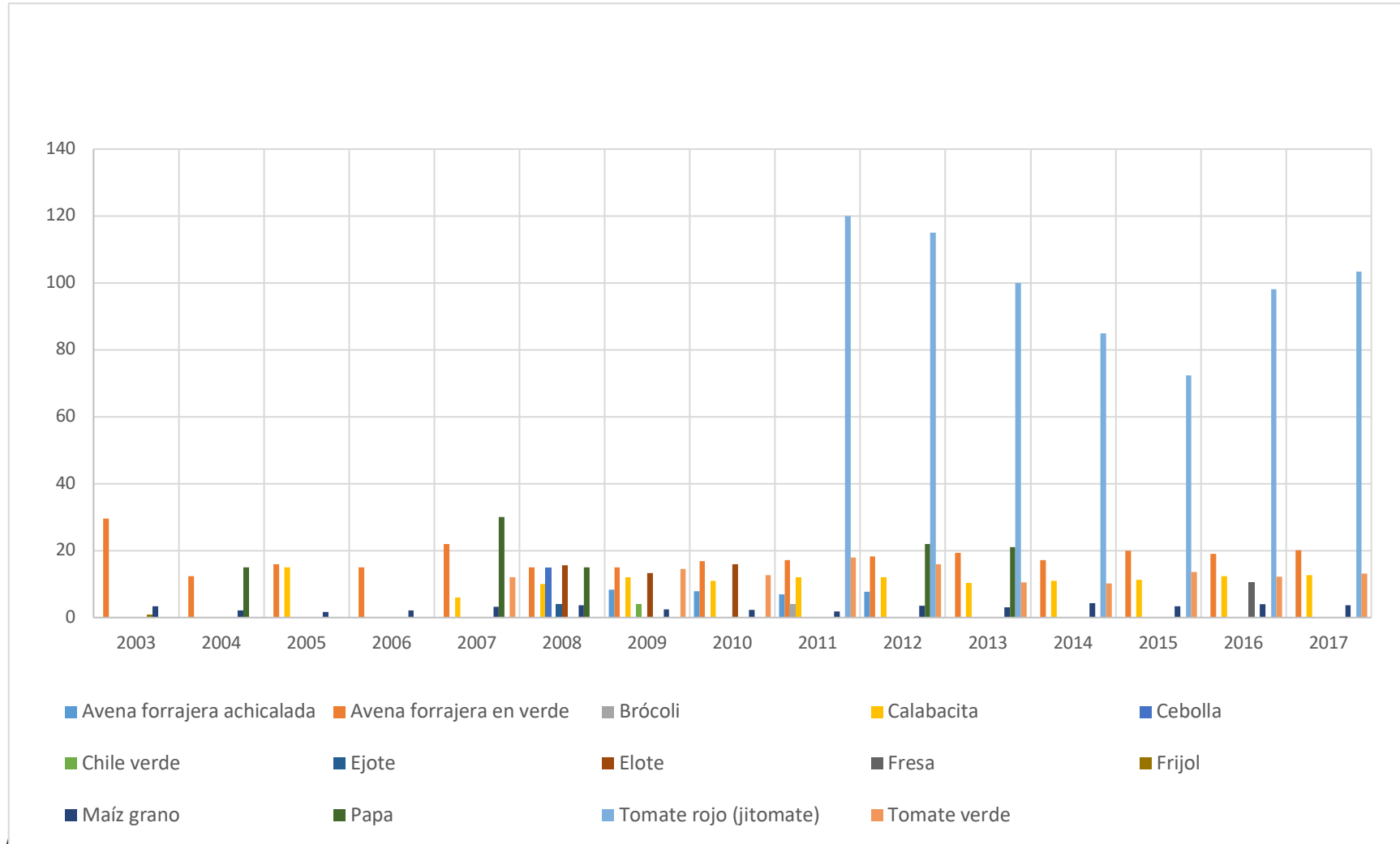
En la Figura 29 se presenta el rendimiento de los principales cultivos agrícolas en el Municipio de Valle de Bravo para el periodo 2003 - 2017 en el ciclo agrícola primavera – verano. El cultivo de maíz ha sido constante y presenta un rendimiento máximo, en 2014 de 4.37 Ton/Ha y su menor rendimiento es de 1.74 Ton/Ha para el año 2005. El cultivo de avena forrajera en verde ha sido constante y el mayor rendimiento fue en 2003 con 29.65 Ton/Ha y el menor rendimiento de este cultivo fue en 2004 con 12.43 Ton/Ha.

La calabacita se ha cultivado en 2005 y de 2007 a 2017 llegando a tener el mayor rendimiento en 2017 con 12.72 Ton/Ha. El cultivo de tomate verde cuenta con datos de 2007 y de 2009 a 2017, en el año 2011 presentó el mayor rendimiento con 18 Ton/Ha y su menor valor en 2014 con 10.13 Ton/Ha. La avena forrajera achicalada cuenta con datos de 2009 a 2012, el mayor rendimiento fue de 8.32 Ton/Ha para 2009 tuvo su menor valor con 7 Ton/Ha en 2011. El brócoli sólo cuenta con datos de 2011 con 4 Ton/Ha.

La cebolla cuenta con datos de 2008 con un rendimiento de 15 Ton/Ha. El chile verde cuenta con datos de 2009 con un rendimiento de 4 Ton/Ha. El ejote cuenta con datos de 2008 con un rendimiento de 4 Ton/Ha. El elote se cultivó de 2008 a 2010 y tuvo una máxima de 16 Ton/Ha en 2010 y un rendimiento mínimo de 13.25 Ton/Ha en 2009. El cultivo de fresa cuenta con datos de 2016 con un rendimiento de 10.5 Ton/Ha. El cultivo de frijol cuenta con datos sólo en 2003 con un rendimiento de 0.9 Ton/Ha.

El cultivo de papa cuenta con datos de los años 2004, 2007, 2008, 2012 y 2013 y presenta el valor más alto de rendimiento con 30 Ton/Ha en 2007 y un mínimo de 15 Ton/Ha en 2004 y 2008. El tomate rojo cuenta con datos de 2011 a 2017 teniendo el mayor rendimiento en 2011 con 120 Ton/Ha y su menor valor en 2015 con 72.33 Ton/Ha.

Figura 29. Rendimiento Obtenido (Ton/Ha) Municipio de Valle de Bravo (primavera - verano).



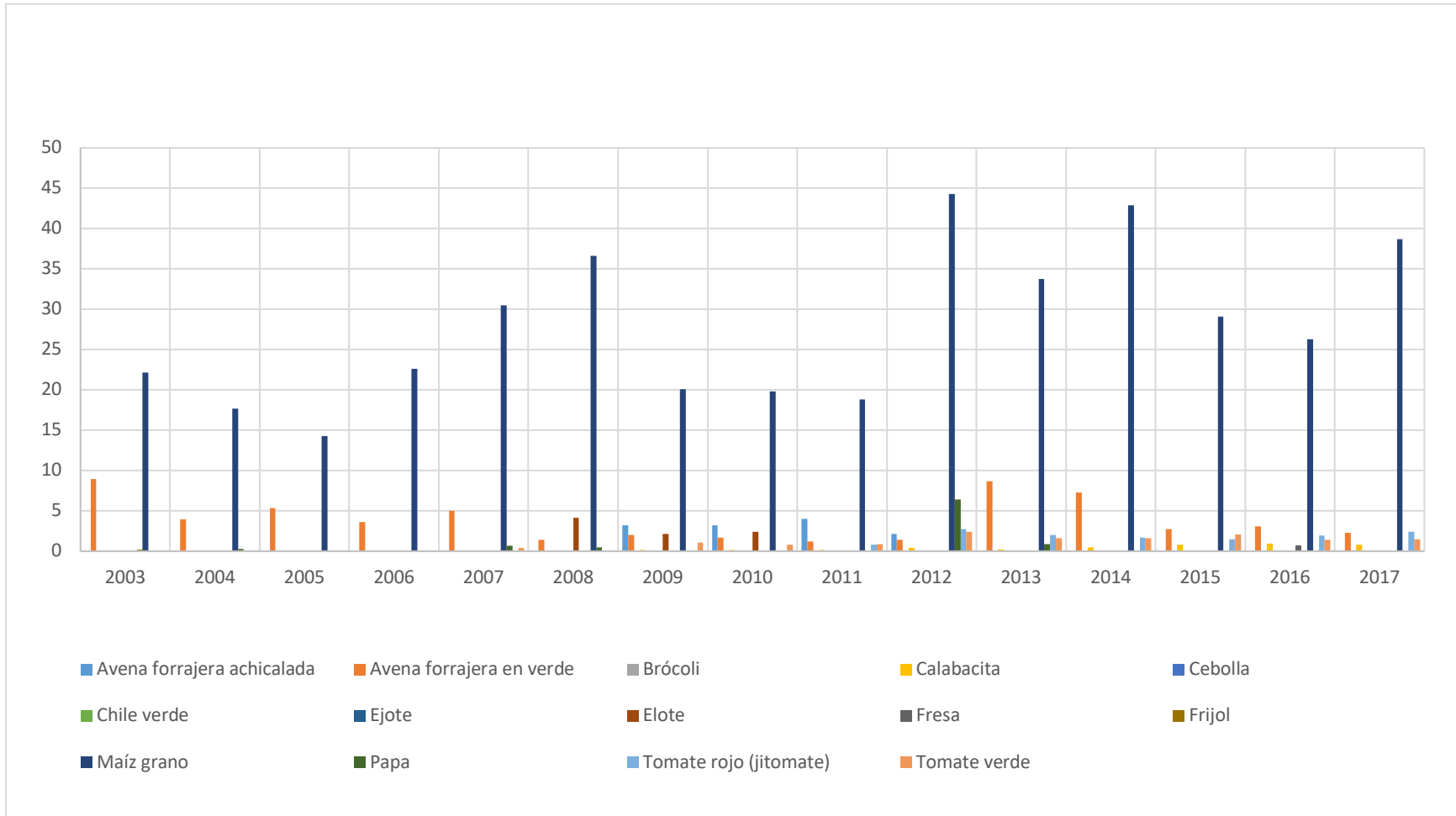
En la Figura 30 se presenta el valor de la producción de los cultivos agrícolas en el Municipio de Valle de Bravo para el periodo 2003 - 2017 en el ciclo agrícola primavera – verano. El cultivo de maíz ha sido constante y presenta un valor máximo de producción, en 2012 de \$44 313 y su menor valor es de \$14 283.83 para el año 2005. El cultivo de avena forrajera en verde ha sido constante y el mayor valor de producción fue en 2003 con \$8 938.77 y el menor valor de este cultivo fue en 2011 con \$1 173.

La calabacita se ha cultivado en 2005 y de 2007 a 2017, llegando a tener el mayor valor de producción en 2016 con \$923.92. El cultivo de tomate verde cuenta con datos de 2007 y de 2009 a 2017, en el año 2013 presentó el mayor valor con \$1 635 y su menor valor en 2007 con \$420. La avena forrajera achicalada cuenta con datos de 2009 a 2012, el mayor valor fue de \$4 018 para 2011 y tuvo su menor valor con \$2 166.03 en 2012. El brócoli sólo cuenta con datos de 2011 con \$16.

La cebolla cuenta con datos de 2008 con un valor de \$90. El chile verde cuenta con datos de 2009 con un valor de \$64. El ejote cuenta con datos de 2008 con un valor de \$80. El elote se cultivó de 2008 a 2010 y tuvo una máxima de \$4 162 en 2010 y un valor mínimo de \$2 120 en 2009. El cultivo de fresa cuenta con datos de 2016 con un valor de \$672. El cultivo de frijol cuenta con datos sólo en 2003 con un valor de \$216.

El cultivo de papa cuenta con datos de los años 2004, 2007, 2008, 2012 y 2013 y presenta el valor más alto de producción de \$6 435 en 2012 y un mínimo de \$300 en 2004. El tomate rojo cuenta con datos de 2011 a 2017 teniendo el mayor valor de producción en 2012 con \$2 760 y su menor valor en 2015 con \$780.

Figura 30. Valor de la producción (Miles de pesos) Municipio de Valle de Bravo (primavera - verano).



Fuente: Elaboración propia con base en SIACON (2021).

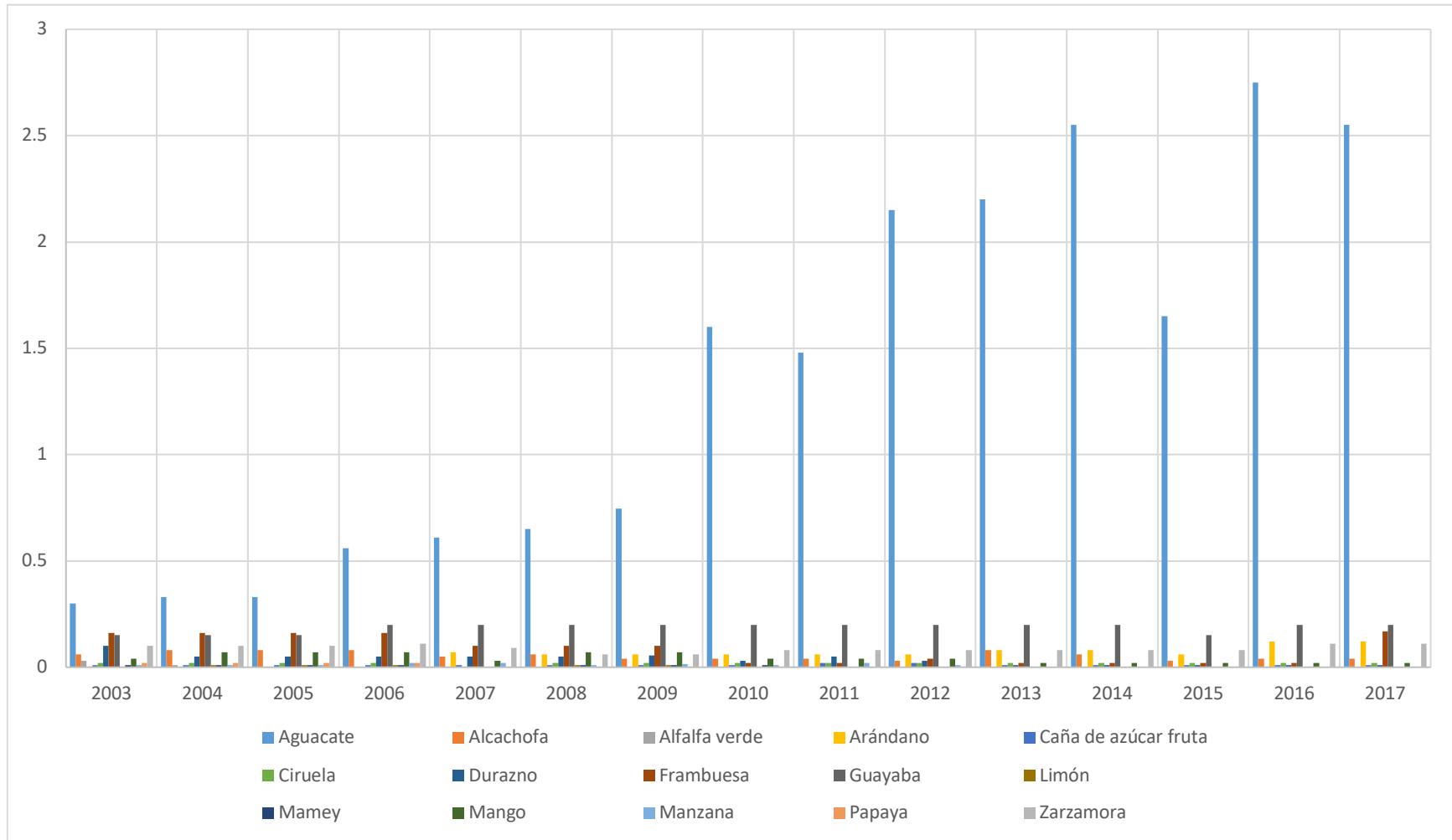
3.5.1.3 Producción agrícola, municipio de Valle de Bravo. Ciclo agrícola perennes.

En la Figura 31 se presenta la superficie sembrada del principal cultivo agrícola en el Municipio de Valle de Bravo para el periodo 2003 - 2017 en el ciclo agrícola perenne. El cultivo de aguacate fue constante en el periodo analizado con una tendencia al aumento, alcanzando una superficie sembrada de 275 Ha en 2016, la superficie mínima fue de 30 Ha en 2003. La alcachofa fue constante y presentó una superficie sembrada de 8 Ha de 2004 a 2006 y en 2003, la superficie mínima fue de 3 Ha en 2012 y 2015. La alfalfa verde presenta información de 2003 con 3 Ha y de 2004 con 1 Ha. El cultivo de arándano cuenta con información a partir de 2007 alcanzando una superficie máxima de 12 Ha para los 2 últimos años analizados, la superficie mínima fue de 6 Ha de 2008 a 2012 y 2015.

El cultivo de caña de azúcar (fruta) fue constante en el periodo analizado en 2011 y 2012 tuvo una superficie máxima de 2 Ha y la mínima fue de 1 Ha para los años estudiados. El cultivo de ciruela con excepción de 2007 que no cuenta con información fue constante con una superficie de 2 Ha en todo el periodo analizado. El cultivo de durazno fue constante y presenta una tendencia a la baja, la máxima superficie fue en 2003 con 10 Ha, a partir de 2013 sólo presenta 1 Ha. La frambuesa tuvo su máxima superficie en 2017 con 17 Ha y una mínima de 2 Ha de 2010 a 2016. El cultivo de guayaba fue constante en todo el periodo analizado alcanzando un máximo de 20 Ha y una mínima de 15 Ha.

El limón presenta información de 2005 a 2009 con 1 Ha. El mamey presenta información de 2003 a 2010 con 1 Ha. El cultivo de mango alcanzó una superficie sembrada de 7 Ha y una mínima de 2 Ha a partir de 2013. La manzana presenta información de 2003 a 2012 con una superficie máxima de 2 Ha y una mínima de 1 Ha. El cultivo de papaya presenta datos de 2003 a 2006 con una constante de 2 Ha. La zarzamora ha sido constante en el periodo analizado contando con una superficie máxima de 11 Ha para los dos últimos años analizados y en 2006, la superficie mínima fue de 6 Ha en 2008.

Figura 31. Superficie sembrada (Cientos de Ha) Municipio de Valle de Bravo (perennes).



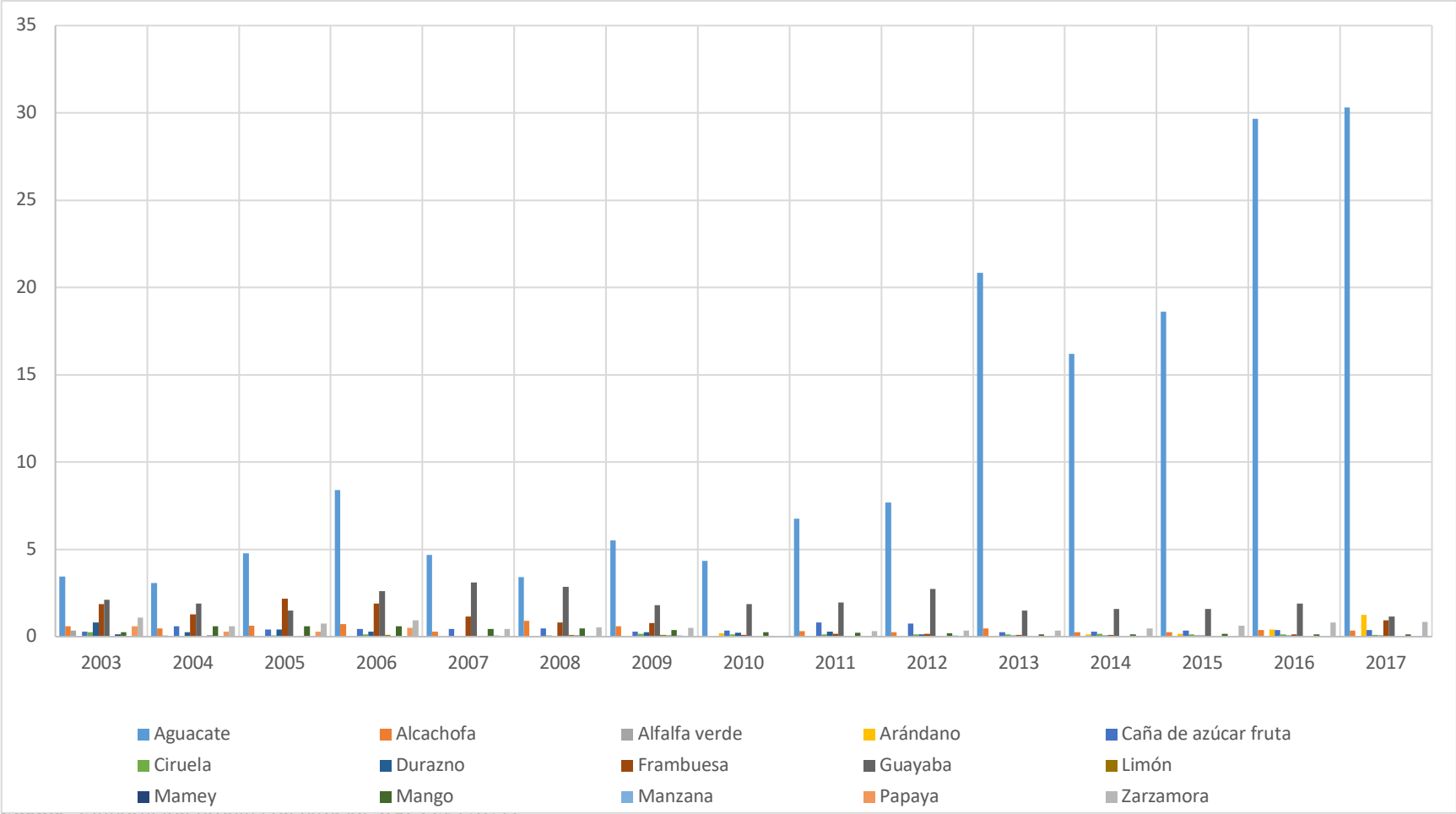
Fuente: Elaboración propia con base en SIACON (2021).

En la Figura 32 se presenta la producción del principal cultivo agrícola en el Municipio de Valle de Bravo para el periodo 2003 - 2017 en el ciclo agrícola perenne. El cultivo de aguacate fue constante en el periodo analizado con una tendencia al aumento, alcanzando una producción de 3 030 Ton en 2017, la producción mínima fue de 306 Ton en 2004. La alcachofa fue constante y presentó una producción máxima de 90 Ton en 2008, la producción mínima fue de 24.9 Ton en 2012. La alfalfa verde presenta información de 2003 con 36 Ton y de 2004 con 8 Ton.

El cultivo de arándano cuenta con información a partir de 2007 alcanzando una producción máxima de 125 Ton para el último año, la producción mínima fue de 3 Ton de 2008, 2009 y 2011. El cultivo de caña de azúcar (fruta) fue constante en el periodo analizado, en 2011 tuvo una producción máxima de 80 Ton y la mínima fue de 25 Ton para 2013. El cultivo de ciruela con excepción de 2007 que no cuenta con información fue constante con una producción máxima de 15 Ton en 2009 y 2014 y una mínima de 4 Ton en 2004. El cultivo de durazno fue constante, la máxima producción fue en 2003 con 80 Ton, en 2016 sólo presentó 5.8 Ton. La frambuesa tuvo su máxima producción en 2005 con 216 Ton y una mínima de 8 Ton en 2015. El cultivo de guayaba fue constante en todo el periodo analizado alcanzando un máximo de 310 Ton en 2007 y una mínima de 116 Ton en 2017.

El limón presenta información de 2005 a 2009 con 10 Ton en 2006 y 2008, la producción mínima fue de 4 Ton en 2004. El mamey presenta información de 2003 a 2010 con 12 Ton en 2003 y 3 Ton en 2006. El cultivo de mango alcanzó una producción de 60 Ton en 2004 y 2006 y una mínima de 12.5 Ton en 2013. La manzana presenta información de 2003 a 2012 con una producción máxima de 6.4 Ton en 2012 y una mínima de 0.5 Ton en 2010 y 2011. El cultivo de papaya presenta datos de 2003 a 2006 con 60 Ton en 2003 y una producción mínima de 30 Ton en 2004 y 2005. La zarzamora ha sido constante en el periodo analizado contando con una producción máxima de 108 Ton en 2003, la producción mínima fue de 4 Ton en 2010.

Figura 32. Producción (Cientos de Ha) Municipio de Valle de Bravo (perennes).



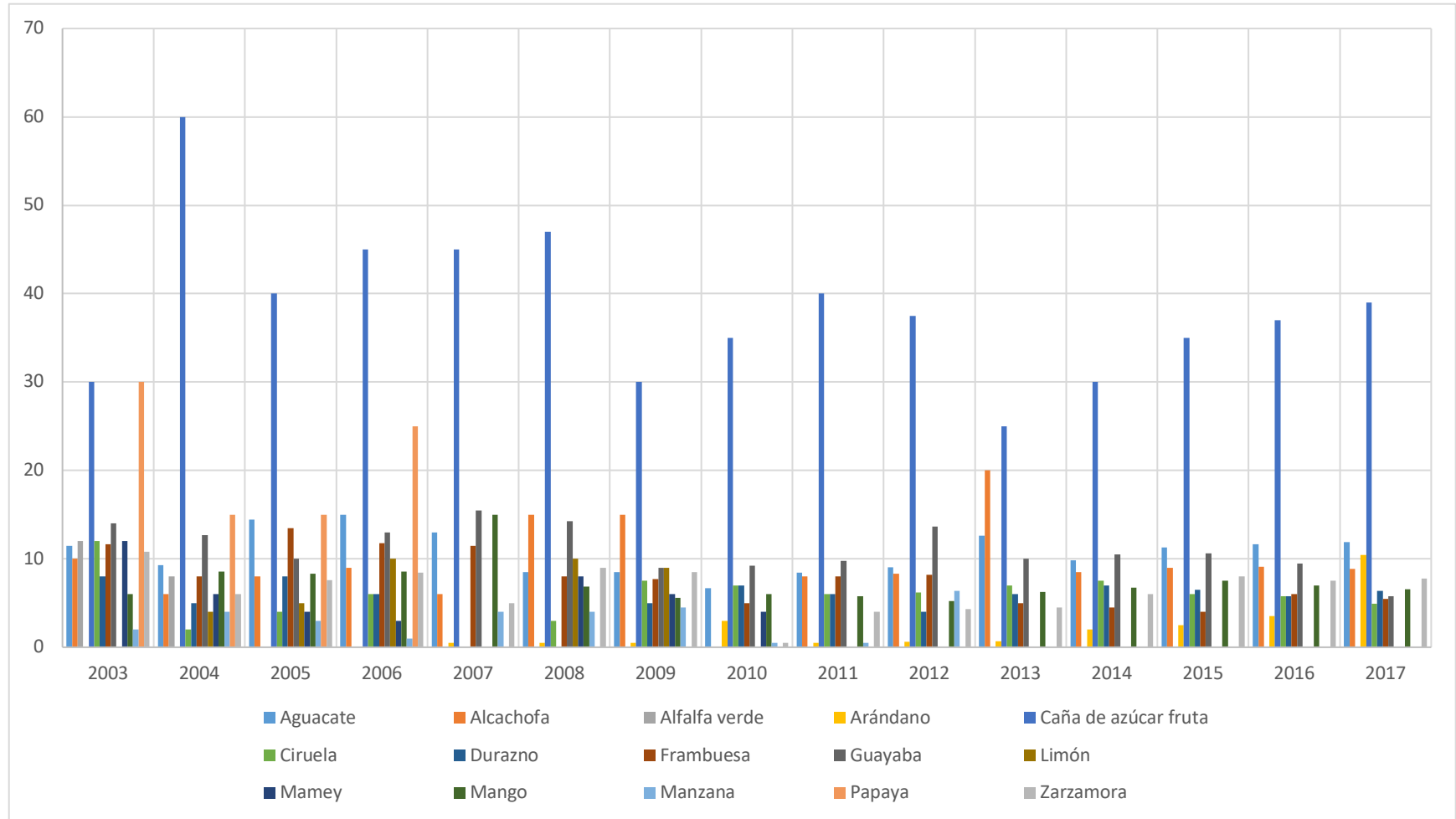
Fuente: Elaboración propia con base en SINECOT (2021).

En la Figura 33 se presenta el rendimiento del principal cultivo agrícola en el Municipio de Valle de Bravo para el periodo 2003 - 2017 en el ciclo agrícola perenne. El cultivo de aguacate fue constante en el periodo analizado alcanzando un rendimiento de 14.45 Ton/Ha en 2005, el rendimiento mínimo fue de 8.44 Ton/Ha en 2011. La alcachofa fue constante y presentó un rendimiento máximo de 20 Ton/Ha en 2013, el rendimiento mínimo fue de 6 Ton/Ha en 2004 y 2007. La alfalfa verde presenta información de 2003 con 12 Ton/Ha y de 2004 con 8 Ton/Ha. El cultivo de arándano cuenta con información a partir de 2007 alcanzando un rendimiento máximo de 10.42 Ton/Ha para el último año, el rendimiento mínimo fue de 0.5 Ton/Ha de 2007 a 2009 y 2011.

El cultivo de caña de azúcar (fruta) fue constante en el periodo analizado, en 2004 tuvo un rendimiento máximo de 60 Ton/Ha y el mínimo fue de 25 Ton/Ha para 2013. El cultivo de ciruela con excepción de 2007 que no cuenta con información fue constante, con un rendimiento máximo de 12 Ton/Ha en 2003 y un mínimo de 2 Ton/Ha en 2004. El cultivo de durazno fue constante, el máximo rendimiento fue en 2003 y 2005 con 8 Ton/Ha, en 2012 sólo presentó 4 Ton/Ha. La frambuesa tuvo su máximo rendimiento en 2006 con 11.75 Ton/Ha y un mínimo de 4 Ton/Ha en 2015. El cultivo de guayaba fue constante en todo el periodo analizado alcanzando un máximo de 15.5 Ton/Ha en 2007 y un mínimo de 5.8 Ton/Ha en 2017. El limón presenta información de 2005 a 2009 con 10 Ton/Ha en 2006 y 2008, el rendimiento mínimo fue de 4 Ton/Ha en 2004. El mamey presenta información de 2003 a 2010 con 12 Ton/Ha en 2003 y 3 Ton/Ha en 2006.

El cultivo de mango alcanzó un rendimiento de 8.57 Ton/Ha en 2004 y 2006 y un mínimo de 5.2 Ton/Ha en 2012. La manzana presenta información de 2003 a 2012 con un rendimiento máximo de 6.4 Ton/Ha en 2012 y un mínimo de 0.5 Ton/Ha en 2010 y 2011. El cultivo de papaya presenta datos de 2003 a 2006 con 30 Ton/Ha en 2003 y un rendimiento mínimo de 15 Ton/Ha en 2004 y 2005. La zarzamora ha sido constante en el periodo analizado contando con un rendimiento máximo de 10.8 Ton/Ha en 2003, el rendimiento mínimo fue de 0.5 Ton/Ha en 2010.

Figura 33. Rendimiento Obtenido (Ton/Ha) Municipio de Valle de Bravo (perennes).

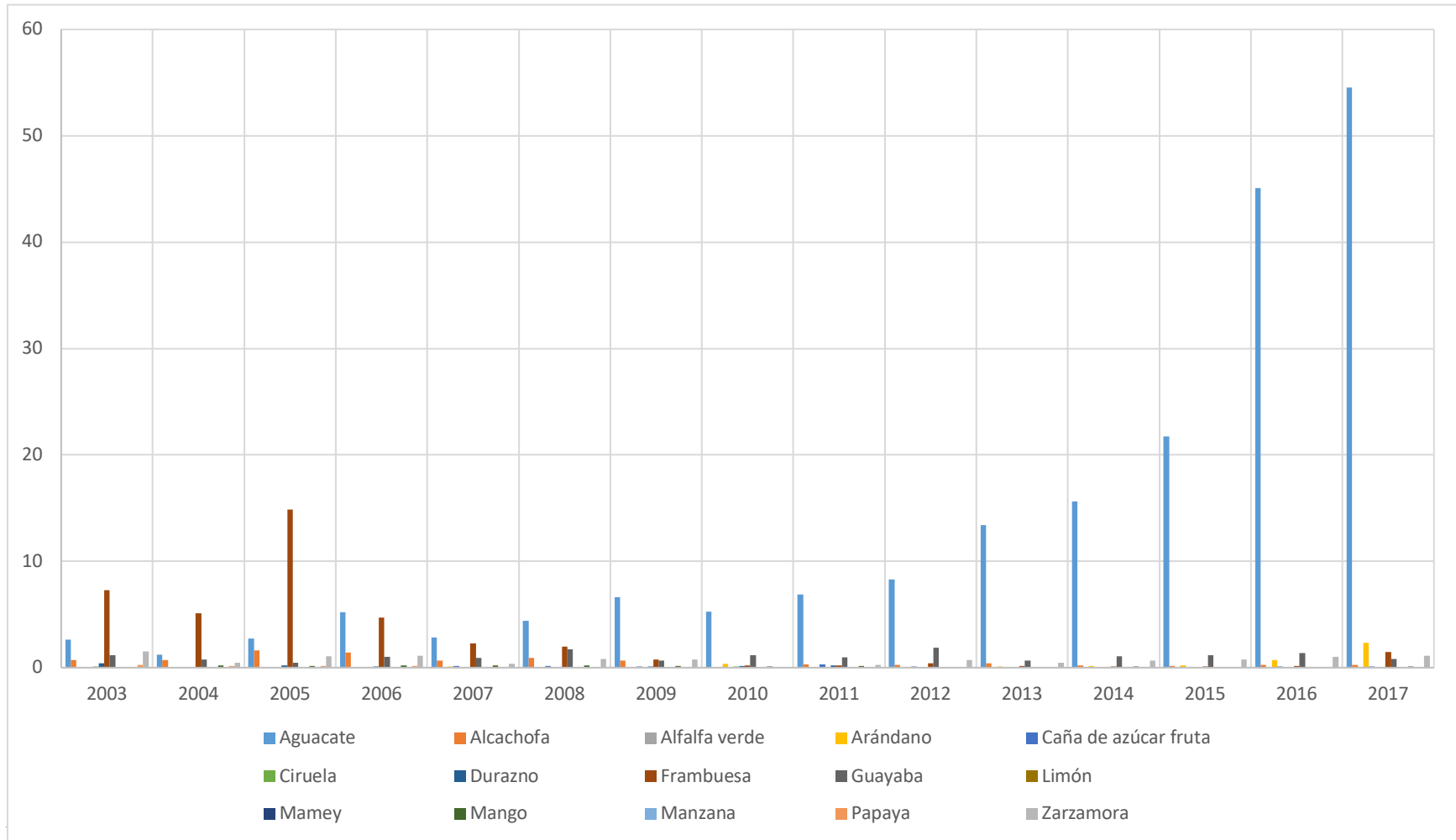


En la Figura 34 se presenta el valor de la producción del principal cultivo agrícola en el Municipio de Valle de Bravo para el periodo 2003 - 2017 en el ciclo agrícola perenne. El cultivo de aguacate fue constante en el periodo analizado con tendencia al incremento alcanzando un valor de \$54 530 en 2017, el valor mínimo fue de \$1 224 en 2004. La alcachofa fue constante y presentó un valor máximo de \$1 600 en 2005, el valor mínimo fue de \$183 en 2015. La alfalfa verde presenta información de 2003 con \$21 y de 2004 con \$5. El cultivo de arándano cuenta con información a partir de 2007 alcanzando un valor máximo de \$2 312.5 para el último año, el valor mínimo fue de \$48 en 2011. El cultivo de caña de azúcar (fruta) fue constante en el periodo analizado, en 2008 tuvo un valor máximo de \$178.6 y el mínimo fue de \$20 en 2005.

El cultivo de ciruela con excepción de 2007 que no cuenta con información fue constante, con un valor máximo de \$96 en 2003 y un mínimo de \$12 en 2004. El cultivo de durazno fue constante, alcanzando un valor máximo de producción de \$400 en 2003, el menor valor fue de \$21 para el año 2016. La frambuesa tuvo su máximo valor en 2005 con \$14 850 y un mínimo de \$112 en 2015. El cultivo de guayaba fue constante en todo el periodo analizado alcanzando su mayor valor de \$1 858 en 2012 y un mínimo de \$450 en 2005. El limón presenta información de 2005 a 2009 con un valor de \$31.5 en 2009, el valor mínimo fue de \$10 en 2004. El mamey presenta información de 2003 a 2010 con \$72 en 2003 y \$9 en 2006.

El cultivo de mango alcanzó un valor de \$97 en 2017 y un mínimo de \$62 en 2012. La manzana presenta información de 2003 a 2012 con un valor máximo de \$48 en 2007 y un mínimo de \$2.5 en 2010. El cultivo de papaya presenta datos de 2003 a 2006 con \$240 en 2003 y un valor mínimo de \$150 a partir de 2004. La zarzamora ha sido constante en el periodo analizado contando con un valor máximo de \$1 512 en 2003, el valor mínimo fue de \$64 en 2010.

Figura 34. Valor de la producción (Miles de pesos) Municipio de Valle de Bravo (perennes).



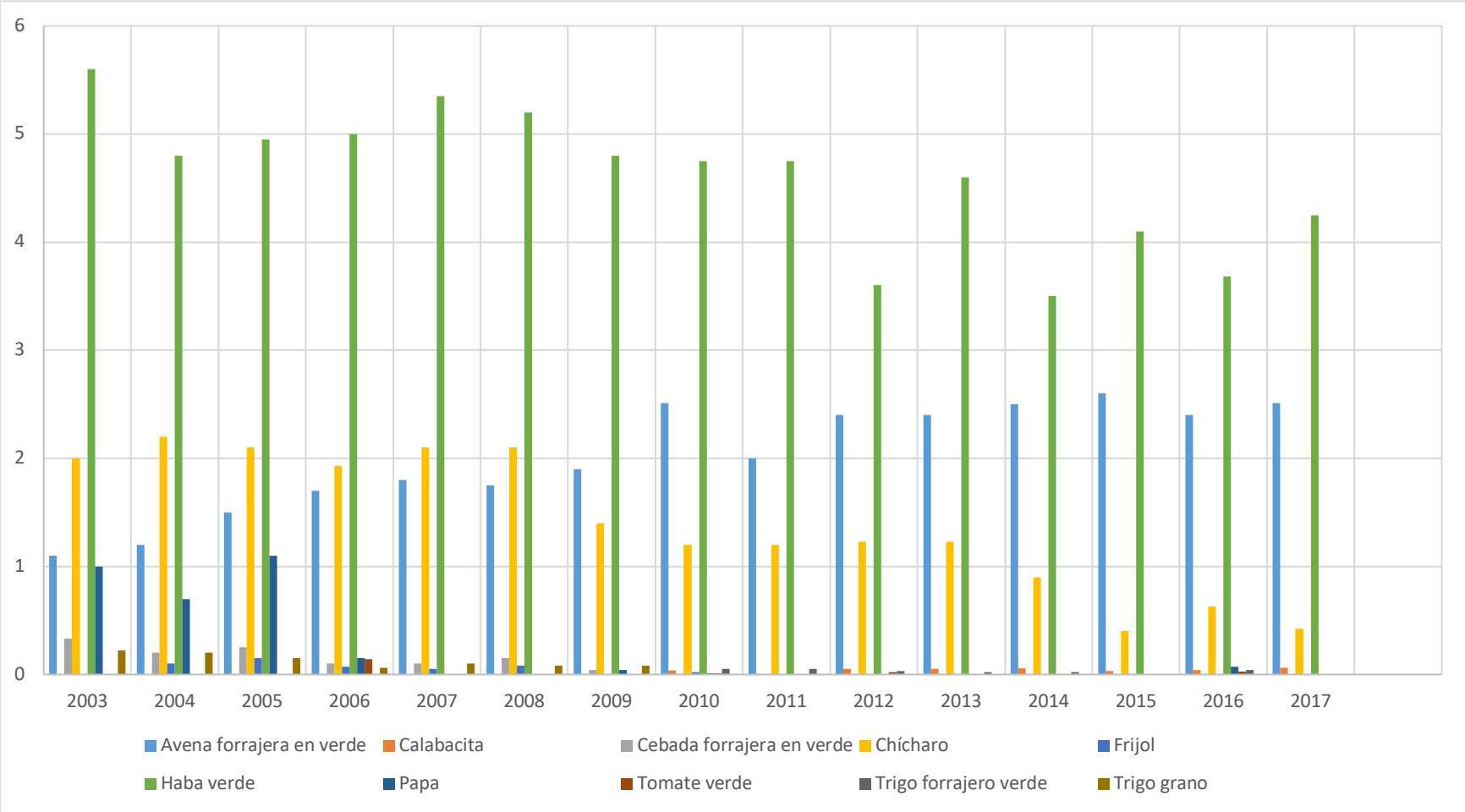
3.5.2 Producción agrícola, Municipio de Amanalco.

3.5.2.1 Ciclo de cultivo Otoño – Invierno.

En la Figura 35 se presenta la superficie sembrada de los principales cultivos agrícolas en el Municipio de Amanalco para el periodo 2003 - 2017 en el ciclo agrícola otoño invierno. Es evidente que el cultivo con mayor superficie sembrada es el haba verde, el cual ha sido constante y presenta una tendencia a la disminución en los últimos años. El cultivo de avena forrajera ha sido constante con una tendencia en aumento en el periodo estudiado. El cultivo de chícharo es el tercer cultivo con mayor superficie sembrada el cual ha sido constante durante los 15 años, pero muestra una clara tendencia a la disminución, que va de 220 Ha. en 2004 a 43 Ha. en 2017.

El cultivo de papa se ha cultivado de forma inconstante e irregular llegando a tener la mayor superficie sembrada en 2005 con 110 Has. y la menor superficie sembrada en 2010 con 1 Ha.; cultivos como la calabacita, cebada forrajera en verde, frijol, tomate verde, trigo forrajero verde y trigo de grano, son cultivos que no se siembran de forma constante y de manera irregular con una superficie sembrada en promedio no mayor a 20 Ha.

Figura 35. Superficie sembrada (cientos de has.), en el Municipio de Amanalco (otoño - invierno).

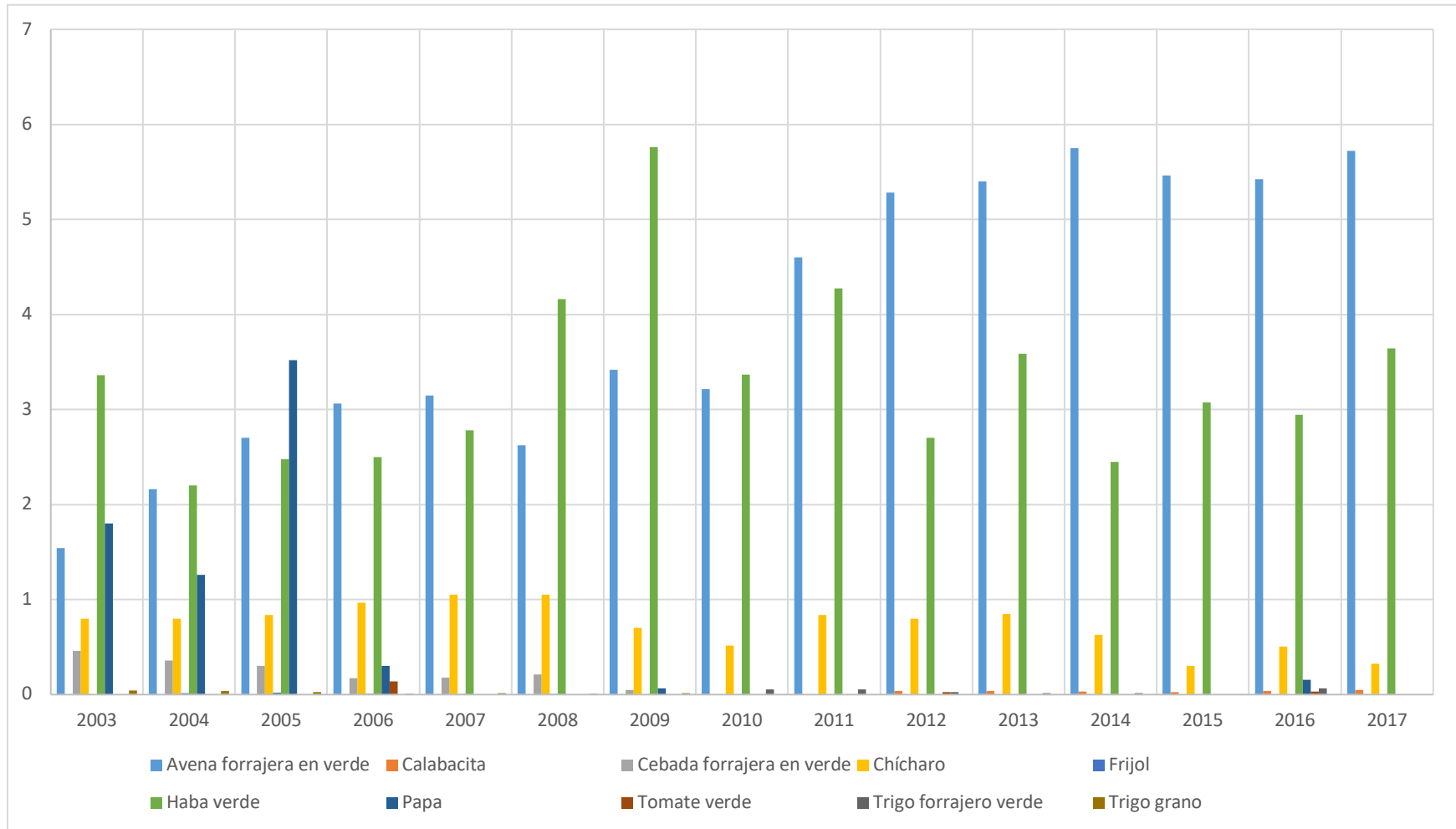


Fuente: Elaboración propia con base en SIACON (2021).

En la Figura 36 se presenta la producción de los principales cultivos agrícolas en el Municipio de Amanalco para el periodo 2003 - 2017 en el ciclo agrícola otoño invierno. El cultivo de haba verde ha sido constante en el periodo analizado y presentó su máximo de producción en el año 2009 con 5 760 Ton. y muestra una tendencia irregular y decreciente hacia los últimos años del periodo analizado. La avena forrajera en verde también ha sido cultivada durante todo el periodo y se observa un claro aumento en su producción de más del doble durante los últimos siete años del periodo, llegando a producir más de 5 720 Ton. El cultivo de chícharo tuvo su mayor producción en 2007 y 2008 con 1 050 Ton. El cultivo de papa registró una producción importante en 2005 con 3 520 ton.

El cultivo de calabacita de 2012 a 2017 tuvo una producción de 36.9 Ton. teniendo su mayor producción en 2007 con 50.64 Ton. La cebada forrajera en verde se cultivó de 2003 a 2009 con una tendencia a la baja su mayor producción fue en 2003 con 462 Ton. en 2009 registró sólo 48 Ton. El frijol se cultivó de 2004 a 2008 y en 2005 tuvo su mayor producción con 18 Ton. El cultivo de tomate verde muestra su mayor producción en 2006 con 140 Ton. El trigo forrajero en verde se cultivó de manera constante de 2010 a 2014 y en el 2016 siendo en este año cuando tuvo su mayor producción con 68 Ton. El trigo de grano se cultivó a partir del 2003 al 2009 teniendo una producción promedio de 23.5 Ton. la mayor producción fue en 2003 con 44 Ton. presentando una tendencia a la disminución.

Figura 36. Producción (miles de ton.) en el Municipio de Amanalco (otoño - invierno).

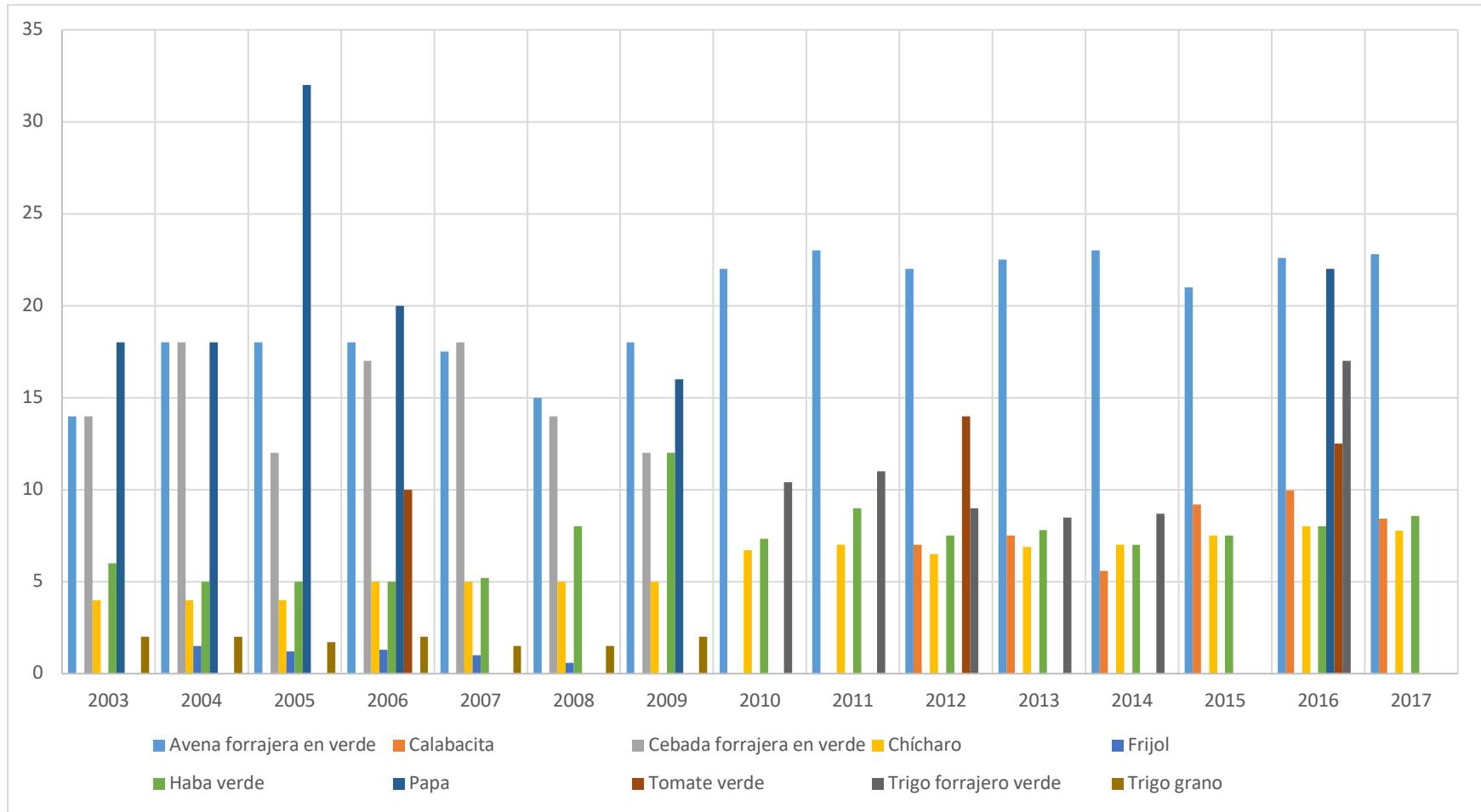


Fuente: Elaboración propia con base en SIACON (2021).

En la Figura 37 se presenta el rendimiento de los principales cultivos agrícolas en el Municipio de Amanalco para el periodo 2003 - 2017 en el ciclo agrícola otoño invierno. El cultivo de haba verde presentó su máximo rendimiento en el año 2009 con 12 Ton/Ha. el rendimiento promedio es de 7.2 Ton/Ha. La avena forrajera muestra un aumento en su rendimiento para los últimos años analizados, pero es en 2011 y 2014 que tuvo su mayor rendimiento con 23 Ton/Ha. El cultivo de chícharo muestra un aumento en su rendimiento para los últimos años analizados y tuvo su mayor rendimiento 2008 con 8 Ton/Ha. El cultivo de papa registró un rendimiento importante en 2005 con 32 Ton/Ha.

El cultivo de calabacita tuvo su mayor rendimiento en 2016 con 9.97 Ton/Ha. La cebada forrajera tuvo su mayor rendimiento en los años 2004 y 2007 con 18 Ton/Ha. El frijol tuvo su mayor rendimiento en 2004 con 1.5 Ton/Ha. y muestra una disminución para los siguientes años siendo en 2008 cuando tuvo su menor rendimiento con 0.6 Ton/Ha. El cultivo de tomate verde muestra su mayor rendimiento en 2016 con 12 Ton/Ha. El trigo forrajero en verde se cultivó de manera constante de 2010 a 2014 y en el 2016 siendo en este año cuando tuvo su mayor rendimiento con 17 Ton/Ha. El trigo de grano se cultivó a partir del 2003 al 2009 teniendo el mayor rendimiento en 2003, 2004 y 2009 con Ton/Ha.

Figura 37. Rendimiento Obtenido (Ton/Ha), Municipio de Amanalco (otoño - invierno).

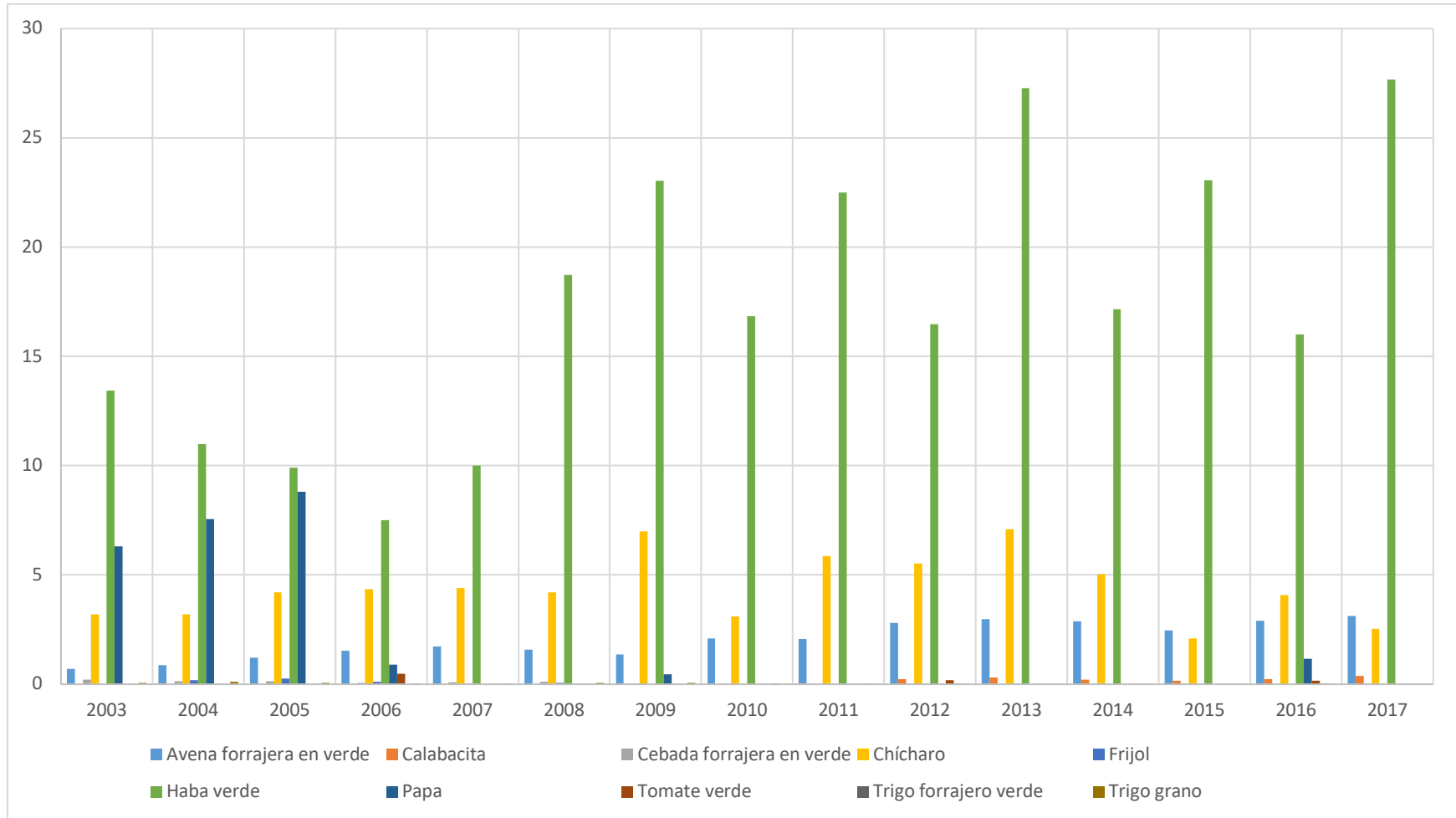


Fuente: Elaboración propia con base en SIACON (2021).

En la Figura 38 se presenta el valor de la producción de los cultivos agrícolas en el Municipio de Amanalco para el periodo 2003 - 2017 en el ciclo agrícola otoño invierno. El cultivo de haba verde muestra una tendencia irregular, pero es en 2017 que el valor de su producción ascendió a \$23 681. La avena forrajera en verde muestra un claro aumento en el valor de su producción de más del doble durante los últimos años del periodo, siendo de \$3 124.82 el valor más alto de su producción. El cultivo de chícharo tuvo su mayor valor en 2013 con \$7 088. El cultivo de papa registró una producción importante en 2005 y su valor alcanzó los \$8 800.

El cultivo de calabacita de 2012 a 2017 tuvo un valor de la producción más alto en 2017 de \$382. La cebada forrajera en verde se cultivó de 2003 a 2009 con una tendencia a la baja su mayor valor de la producción fue en 2003 con \$207. El frijol se cultivó de 2004 a 2008 y en 2005 tuvo su producción tuvo un valor de \$270. El cultivo de tomate verde muestra su mayor valor de producción en 2006 con \$490. El trigo forrajero en verde se cultivó de manera constante de 2010 a 2014 y en el 2016, en 2011 es cuando tuvo su mayor valor de producción con \$38.5. El trigo de grano se cultivó a partir del 2003 al 2009 teniendo el mayor valor de producción en 2004 con \$120 y muestra una tendencia a la disminución.

Figura 38. Valor de la producción (Miles de pesos), Municipio de Amanalco (otoño - invierno).



Fuente: Elaboración propia con base en SIACON (2021).

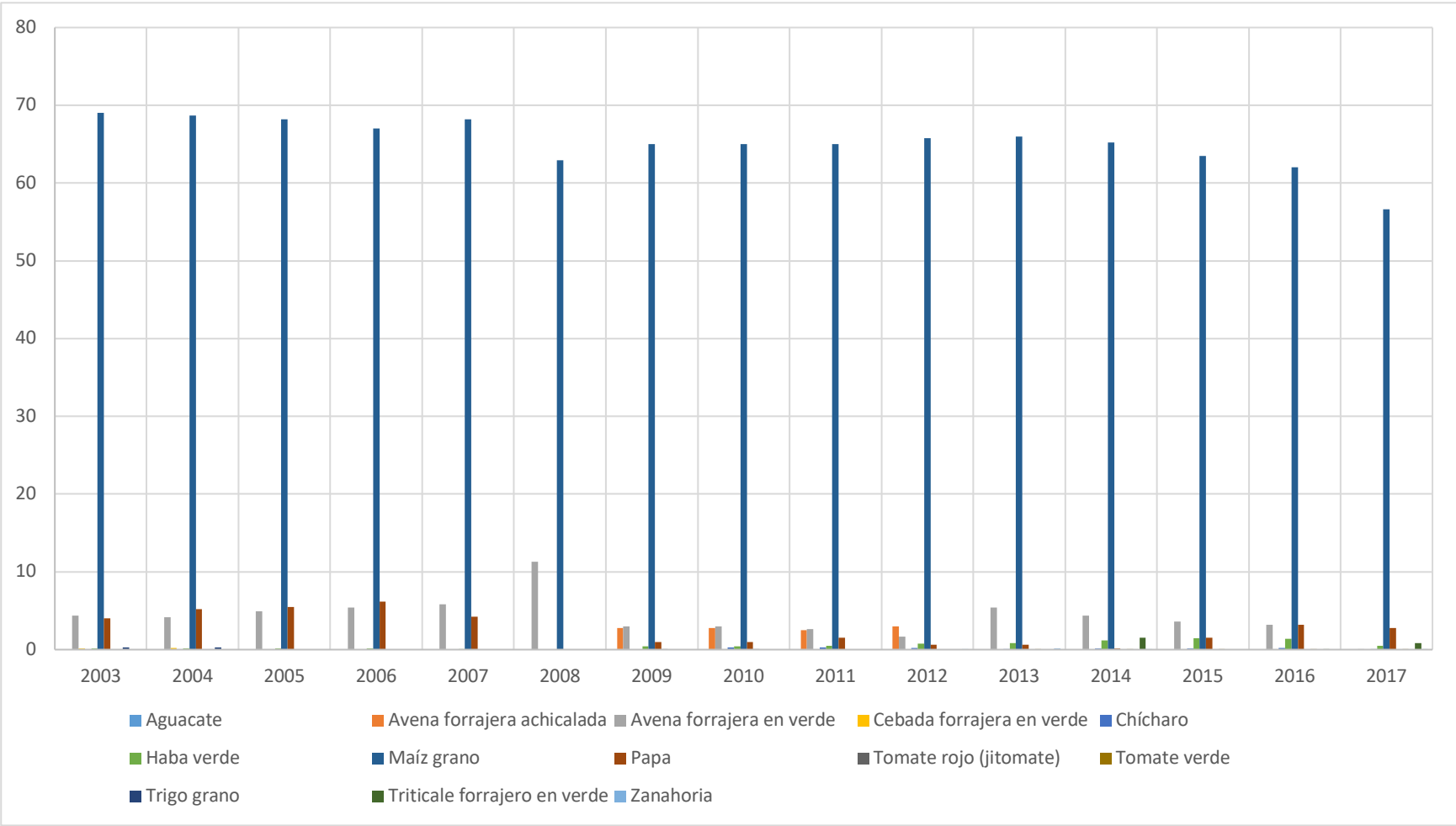
3.5.2.2 Producción agrícola, Municipio de Amanalco. Ciclo de cultivo primavera – verano.

En la Figura 39 se presenta la superficie sembrada de los principales cultivos agrícolas en el Municipio de Amanalco para el periodo 2003 - 2017 en el ciclo agrícola primavera - verano. Es evidente que el cultivo con mayor superficie sembrada es el maíz, el cual ha sido constante y presenta una tendencia a la disminución en los últimos años, en 2003 presenta 6 900 Ha. y en 2017 tiene su menor superficie sembrada con 5 659 Ha. El cultivo de avena forrajera en verde ha sido constante y la mayor superficie sembrada fue en 2008 con 1 127 Ha.

La papa se ha cultivado de forma constante llegando a tener la mayor superficie sembrada en 2006 con 615 Ha. El cultivo de haba verde ha sido constante y con una tendencia al aumento, en el año 2015 presentó la mayor superficie sembrada con 145 Ha. El chícharo se cultivó a partir de 2010 donde tuvo su mayor superficie sembrada con 30 Ha. y para 2017 tuvo su menor valor con 3 Ha. El aguacate sólo se tienen datos de 2003 con 4 Ha. La avena forrajera achicalada se cultivó en 2009 y 2012 con una superficie máxima de 20 Has para 2004. El cultivo de tomate rojo se sembró en 2009 y 2010 con una superficie de 2.5 Ha.

El tomate verde se sembró a partir de 2013 a 2017 tuvo la mayor superficie sembrada con 5 Ha. El cultivo de trigo de grano se cultivó en 2003 y 2004 y tuvo una superficie de 30 Ha. El triticale forrajero en verde se sembró en 2014, 2016 y 2017 siendo en el primer año cuando tuvo la mayor superficie sembrada con 150 Ha. El cultivo de zanahoria se sembró de 2012 a 2014 y 2017 con una superficie máxima de 15 Ha. en 2013 y una mínima de 2 Ha. para 2017.

Figura 39. Superficie sembrada (Cientos de Ha), Municipio de Amanalco (primavera - verano).



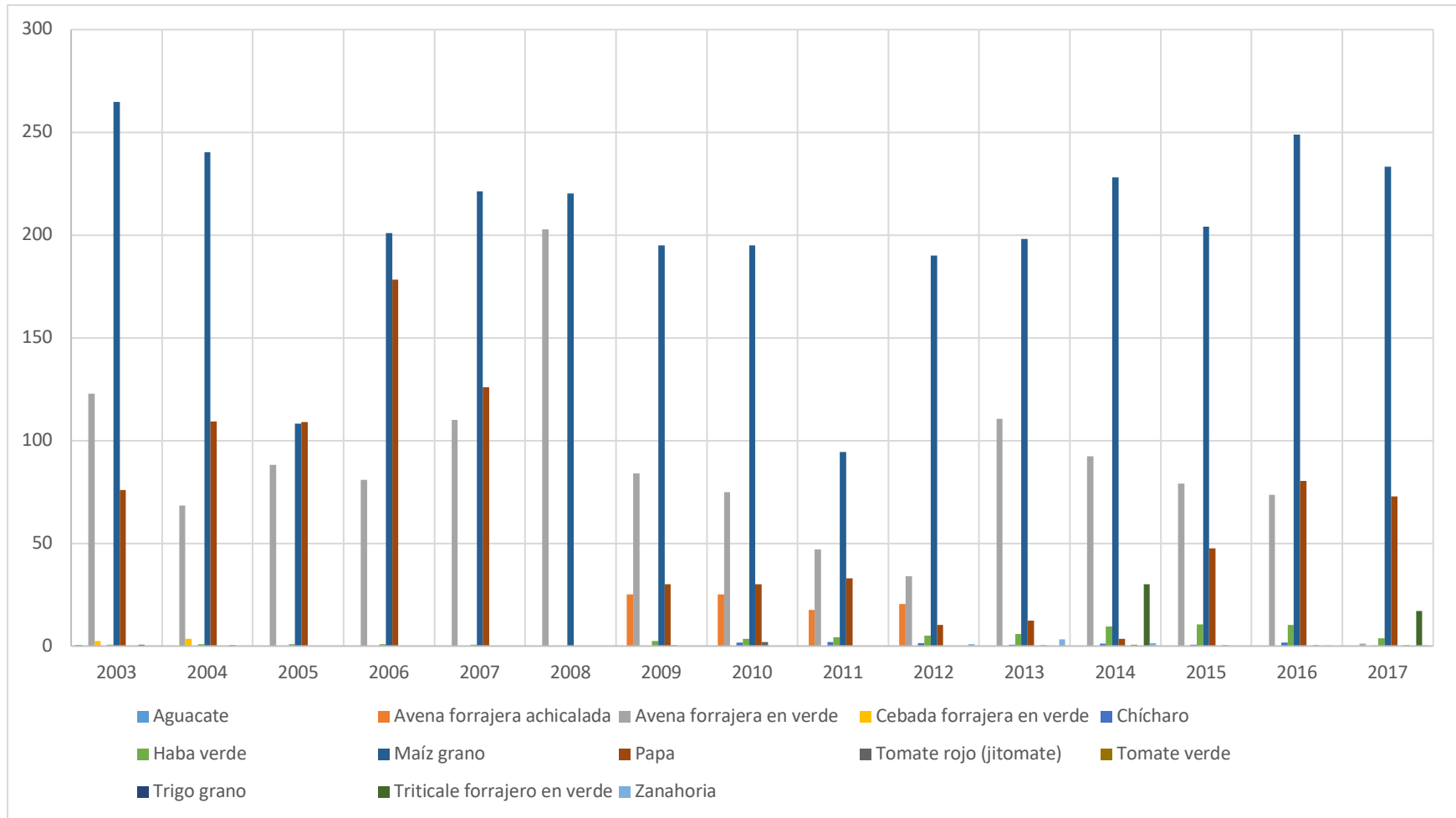
Fuente: Elaboración propia con base en SIACON (2021).

En la Figura 40 se presenta la producción de los principales cultivos agrícolas en el Municipio de Amanalco para el periodo 2003 - 2017 en el ciclo agrícola primavera – verano. El cultivo con mayor producción es el maíz, el cual ha sido constante y presenta una tendencia irregular, en 2003 tuvo su mayor producción con 26 484 Ton. y en 2011 la menor producción con 9 440 Ton. El cultivo de avena forrajera en verde ha sido constante y la mayor producción fue en 2008 con 20 286 Ton.

La papa se ha cultivado de forma constante, llegando a tener la mayor producción en 2006 con 17 835 Ton. El cultivo de haba verde ha sido constante y con una tendencia al aumento, en el año 2015 presentó la mayor producción con 1 058.5 Ton. El chícharo se cultivó a partir de 2010, en el 2016 tuvo su mayor producción con 170 Ton. y para 2017 tuvo su menor valor con 23.5 Ton. El aguacate sólo se tienen datos de 2003 con 28 Ton. La avena forrajera achicalada se cultivó en 2009 y 2012 con una producción máxima de 2 520 Ton para 2009 y 2010.

El cultivo de tomate rojo se sembró en 2009 y 2010 con una producción máxima de 187.5 Ton. El tomate verde se sembró a partir de 2013 a 2017 tuvo la mayor producción con 55 Ton. en 2014. El cultivo de trigo de grano se cultivó en 2003 y 2004 y tuvo una producción máxima de 59.16 Ton en 2003. El triticale forrajero en verde se sembró en 2014, 2016 y 2017 siendo en el primer año cuando tuvo la mayor producción con 3000 Ton. El cultivo de zanahoria se sembró de 2012 a 2014 y 2017 con una producción máxima de 330 Ton. en 2013 y una mínima de 48 Ton. para 2017.

Figura 40. Producción (Cientos de Ton), Municipio de Amanalco (primavera - verano).



Fuente: Elaboración propia con base en SIACON (2021).

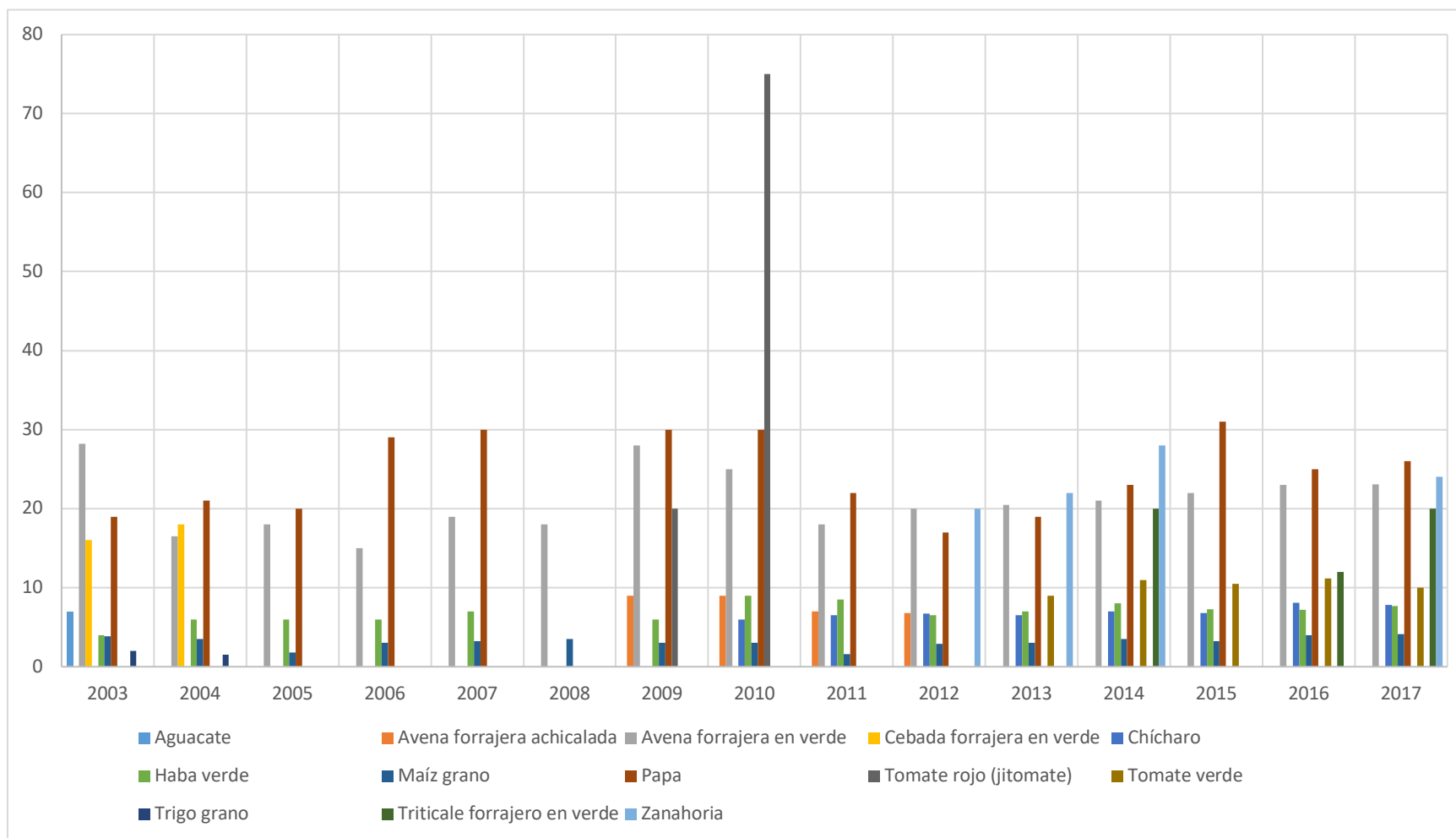
En la Figura 41 se presenta el rendimiento de los principales cultivos agrícolas en el Municipio de Amanalco para el periodo 2003 - 2017 en el ciclo agrícola primavera – verano. El cultivo de maíz tiene un rendimiento promedio de 3.15 Ton/Ha. siendo en los últimos 2 años su mayor rendimiento con 4.12 Ton/Ha.

El cultivo de avena forrajera en verde ha sido constante y el mayor rendimiento fue en 2017 con 23.1 Ton/Ha. La papa tuvo su mayor rendimiento en 2015 con 31 Ton/Ha. El cultivo de haba verde presenta una tendencia al aumento, en el año 2011 tuvo el mayor rendimiento con 8.5 Ton/Ha.

El chícharo se cultivó a partir de 2010, en el 2016 su rendimiento fue mayor 8.1 Ton/Ha. El aguacate sólo se tienen datos de 2003 con 7 Ton/Ha. La avena forrajera achicalada se presenta datos de 2009 a 2012 con un rendimiento máximo de 9 Ton/Ha. El cultivo de tomate rojo se sembró en 2009 y 2010 con un rendimiento máximo de 75 Ton/Ha. El tomate verde se sembró a partir de 2013 a 2017 y tuvo su mayor rendimiento en 2016 con 11.2 Ton/Ha.

El cultivo de trigo de grano se cultivó en 2003 y 2004 y tuvo un rendimiento máximo de 1.97 Ton/Ha en 2003. El triticale forrajero en verde se sembró en 2014, 2016 y 2017 siendo en el primer y último año cuando tuvo el mayor rendimiento con 20 Ton/ha. El cultivo de zanahoria se sembró de 2012 a 2014 y 2017 con un rendimiento máximo de 28 Ton/Ha. en 2014.

Figura 41. Rendimiento Obtenido (Ton/Ha), Municipio de Amanalco (primavera - verano).



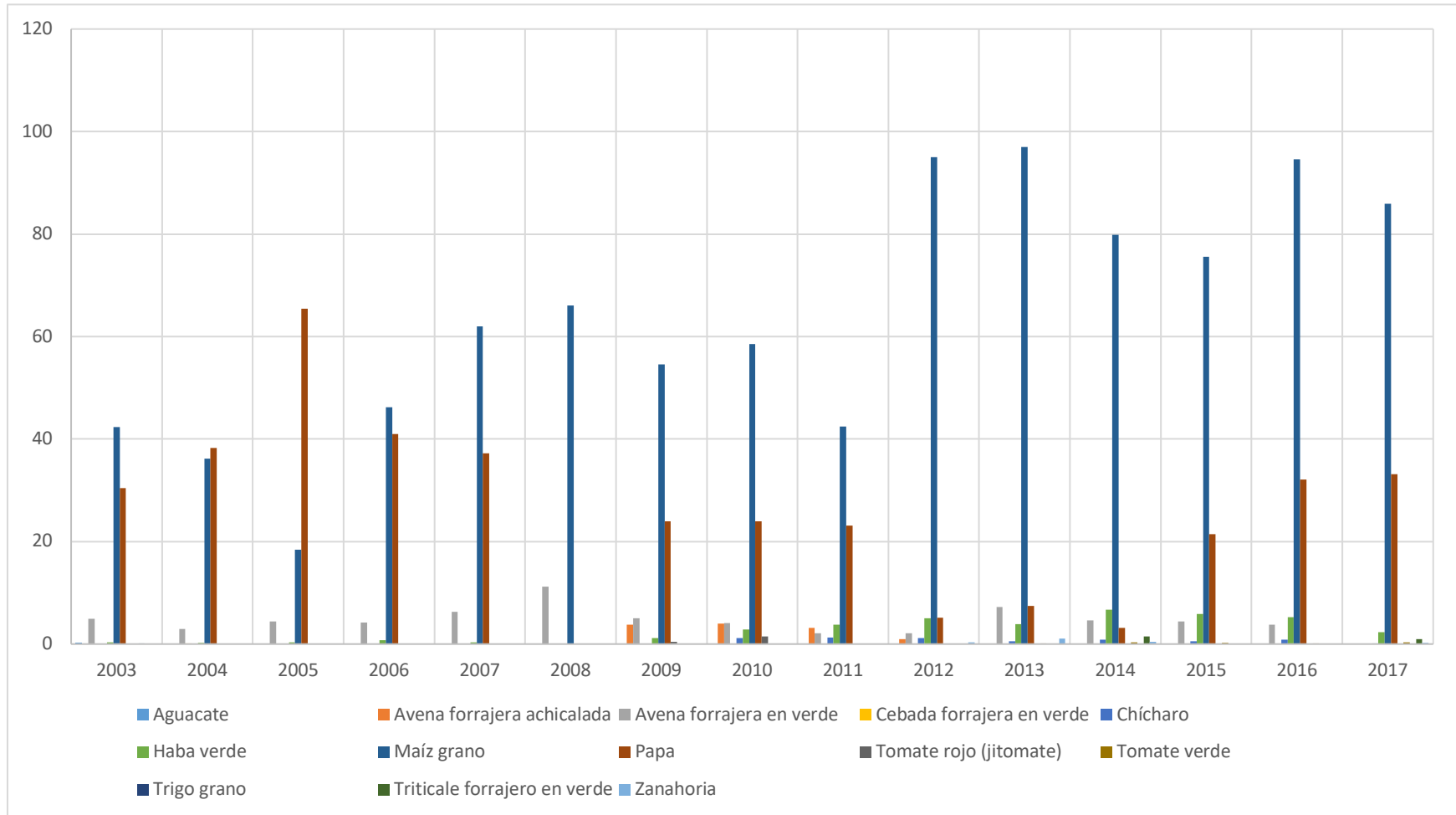
Fuente: Elaboración propia con base en SIACON (2021).

En la Figura 42 se presenta el valor de la producción de los cultivos agrícolas en el Municipio de Amanalco para el periodo 2003 - 2017 en el ciclo agrícola primavera – verano. El cultivo de maíz tuvo su más alto valor de producción en 2003 con \$97 020. El cultivo de avena forrajera en verde muestra una tendencia irregular y el mayor valor de la producción la obtuvo en 2008 con \$11 157.3 Ton/Ha.

La papa alcanzó su mayor valor en 2005 con \$65 400. El cultivo de haba verde presenta una tendencia al aumento, en el año 2014 tuvo el más alto valor \$6 720. El chícharo se cultivó a partir de 2010, tuvo su más alto valor con \$1 267.5 en el 2011. Del cultivo de aguacate sólo se tienen datos de 2003 y su valor fue de \$224. La avena forrajera achicalada presenta datos a partir de 2009 a 2012 con un valor de producción máximo de \$4 032 en 2010.

El cultivo de tomate rojo se sembró en 2009 y 2010 con un valor máximo de \$1 500. El tomate verde se sembró a partir de 2013 a 2017 y tuvo su más alto valor en 2014 con \$385. El cultivo de trigo de grano se cultivó en 2003 y 2004 y tuvo un valor máximo de producción de \$147.9 en 2003. El triticale forrajero en verde se sembró en 2014, 2016 y 2017 siendo en el primer cuando tuvo su más alto valor de producción con \$1 500. El cultivo de zanahoria se sembró de 2012 a 2014 y 2017 con un valor máximo de \$1 056 en 2013.

Figura 42. Valor de la producción (Miles de pesos), Municipio de Amanalco (primavera - verano).

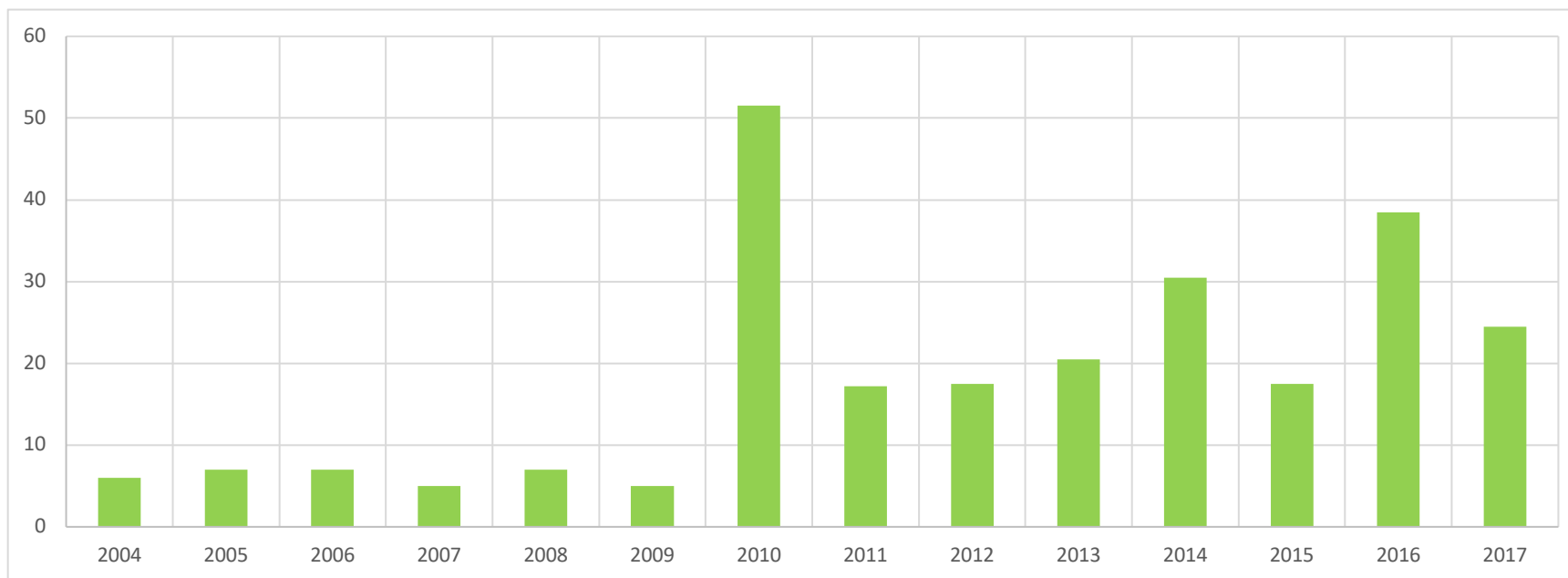


Fuente: Elaboración propia con base en SIACON (2021).

3.5.2.3 Producción agrícola, municipio de Amanalco. Ciclo de cultivo perennes.

En la Figura 43 se presenta la superficie sembrada del principal cultivo agrícola en el Municipio de Amanalco para el periodo 2003 - 2017 en el ciclo agrícola perenne. El cultivo de aguacate presenta información a partir del 2004, la superficie sembrada ha sido constante y presenta un aumento con respecto a los primeros seis años analizados, el año con mayor superficie sembrada fue en el 2010 con 51.5 Ha.

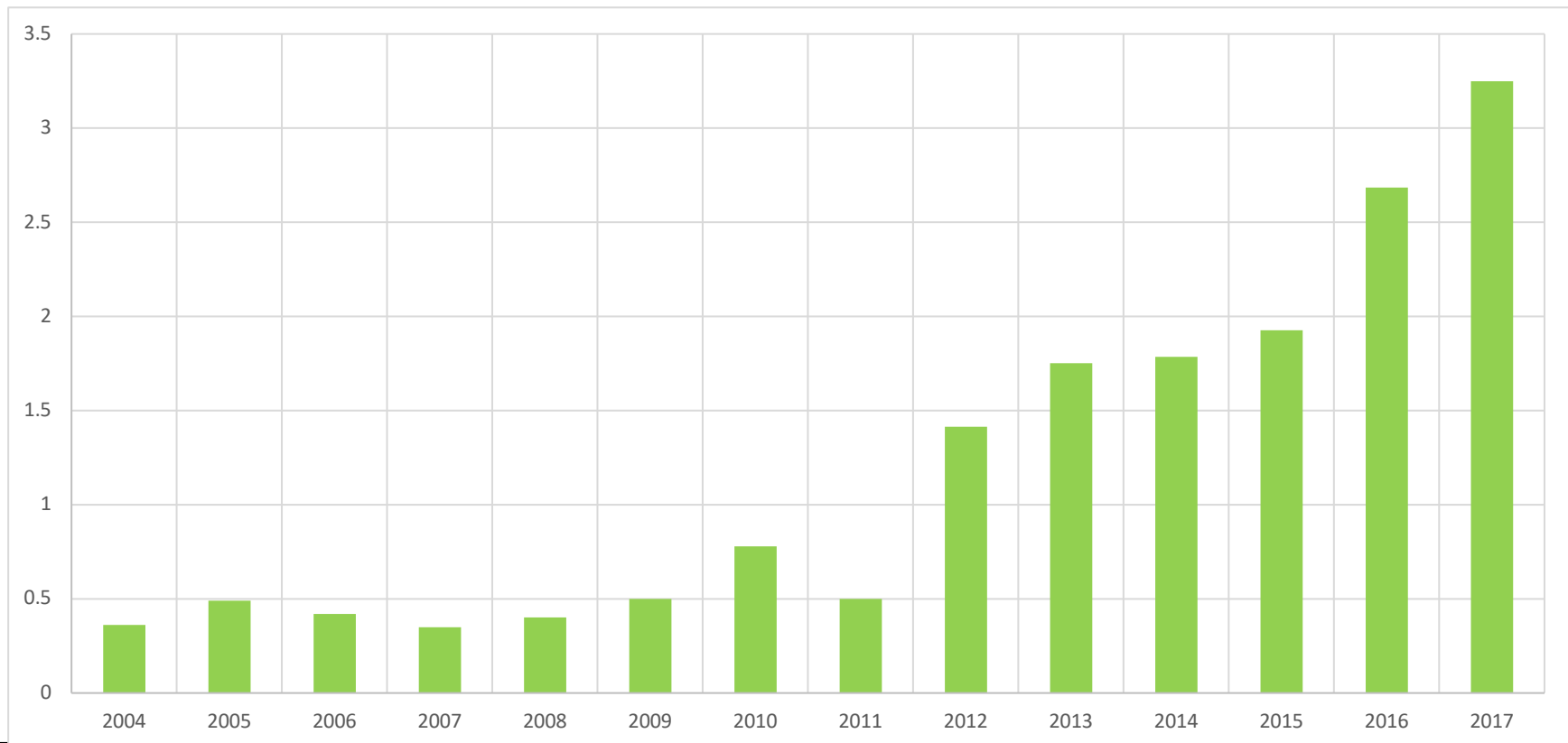
Figura 43. Superficie sembrada, cultivo de Aguacate en el Municipio de Amanalco (perennes).



Fuente: Elaboración propia con base en SIACON (2021).

En la Figura 44 se presenta la producción del principal cultivo agrícola en el Municipio de Amanalco para el periodo 2003 - 2017 en el ciclo agrícola perenne. El cultivo de aguacate presenta información a partir del 2004, la producción ha sido constante y presenta una clara tendencia al aumento, el año con mayor producción fue el 2017 con 325 Ton.

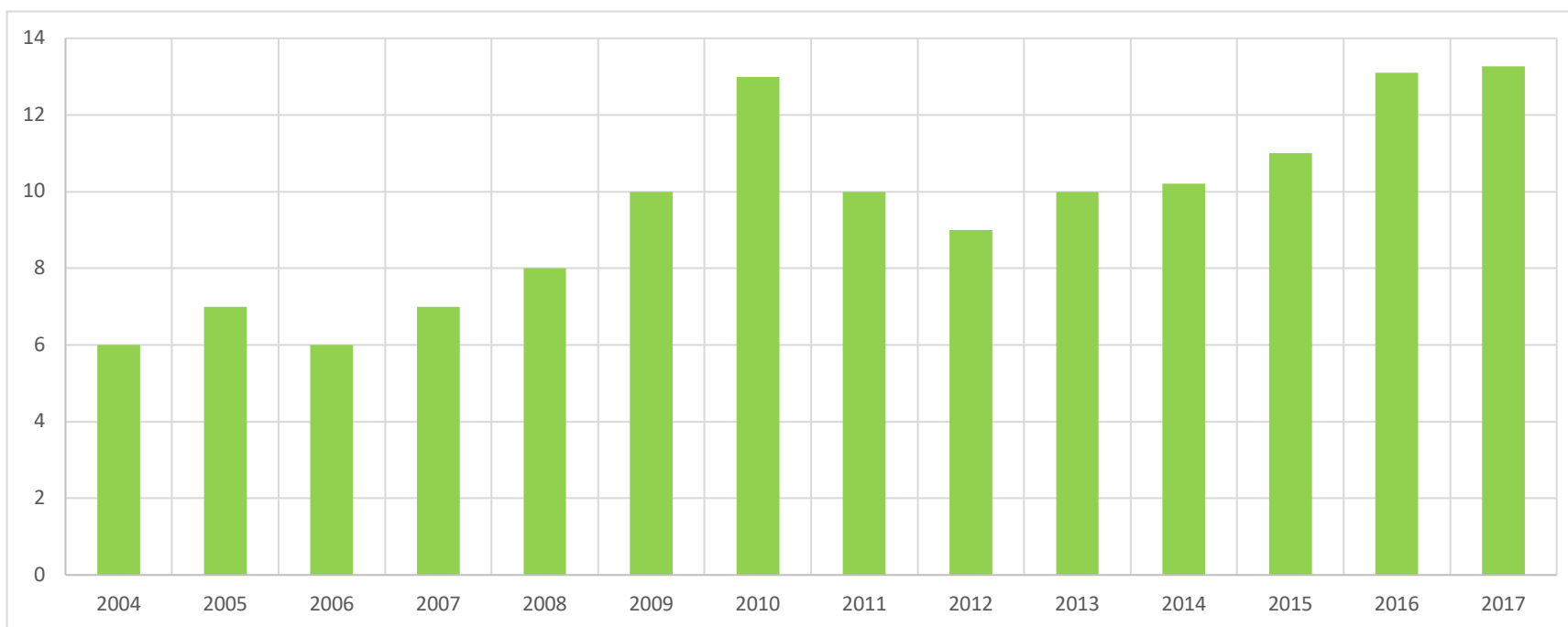
Figura 44. Producción (Cientos de Ton), cultivo de Aguacate en el Municipio de Amanalco (perennes).



Fuente: Elaboración propia con base en SIACON (2021).

En la Figura 45 se presenta el rendimiento del principal cultivo agrícola en el Municipio de Amanalco para el periodo 2003 - 2017 en el ciclo agrícola perenne. El cultivo de aguacate presenta información a partir del 2004, el rendimiento presenta un aumento con respecto a los primeros seis años analizados, el año con mayor superficie sembrada fue en el 2017 con 13.27 Ton/Ha. le siguen los años 2016 y 2010 con 13 Ton/Ha.

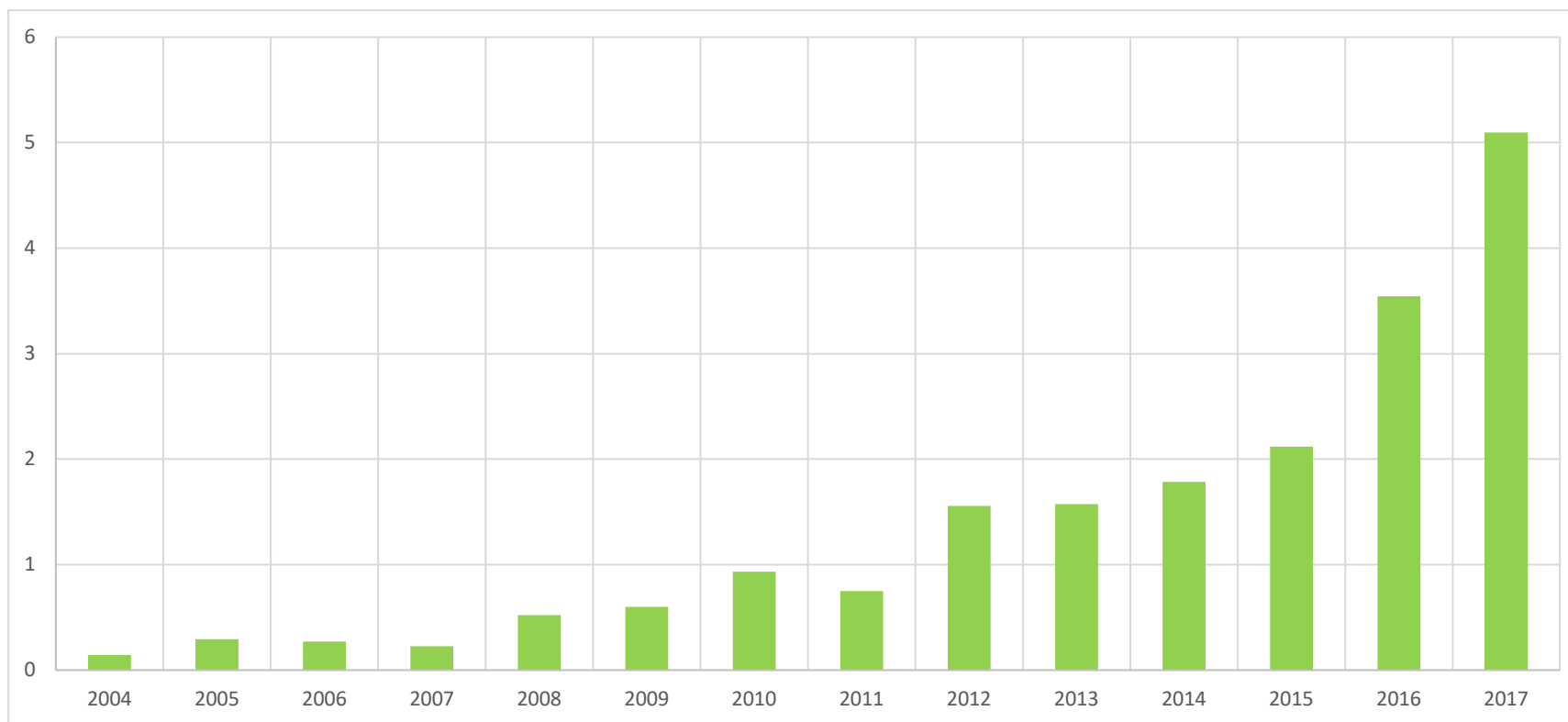
Figura 45. Rendimiento Obtenido (Ton/Ha), cultivo de Aguacate en el Municipio de Amanalco (perennes).



Fuente: Elaboración propia con base en SIACON (2021).

En la Figura 46 se presenta el valor de la producción del principal cultivo agrícola en el Municipio de Amanalco para el periodo 2003 - 2017 en el ciclo agrícola perenne. El cultivo de aguacate presenta información a partir del 2004, el valor de la producción muestra una clara tendencia hacia el aumento, el año en que alcanzó su mayor valor fue en 2017 y fue de \$5 094.05.

Figura 46. Valor de la producción (Miles de pesos), cultivo de Aguacate en el Municipio de Amanalco (perennes).



Fuente: Elaboración propia con base en SIACON (2021).

DISCUSIÓN GENERAL

La presente investigación encuentra sustento teórico en la epistemología ambiental, derivado de la importancia de analizar críticamente la relación entre sociedad y naturaleza en el mundo contemporáneo, que van desde la ecología hasta las acciones alternativas basadas en modelos culturales de la naturaleza como lo refiere Lopez-Castro (2016).

De acuerdo con Leff (2006) "La epistemología ambiental es una política del saber que tiene por "fin" dar sustentabilidad a la vida; es un saber que vincula las condiciones de vida únicas del planeta, con el deseo de vida del ser humano; los potenciales ecológicos y la productividad neguentrópica con la creatividad cultural".

Las bases de la epistemología ambiental fueron delineadas desde el momento en que se consideró a lo ambiental como problema, según Giannuzzo (2010) en el intento de explicar "la esfera de lo ambiental" creó imprecisión, derivado de la falta de una base epistemológica sobre lo ambiental, Morales Jasso (2017) menciona que esto es derivado de que el concepto ambiente ha sufrido cambios importantes.

Autores como Leff (2006 y 2009) y Lopez-Castro (2016), refieren que como resultado, la sociedad, el medio ambiente y el hombre coexisten en un caos total, ya que la sociedad trata de aplicar a su desarrollo diferentes teorías y modelos de desarrollo relacionados entre sí en relación con las formas de pensar naturales y culturales. Por ello es importante el conocimiento ambiental ya que transforma la perspectiva del conocimiento y con ello transforma las condiciones del ser en su entorno y en la relación que establece el ser con el pensar y el saber, con el conocer y el actuar en el mundo.

Como escuela del pensamiento en este estudio se consideró el desarrollo sustentable, la cual con su aparición en el campo de las teorías del desarrollo ha significado un cambio cualitativo en la trascendencia que articula el crecimiento económico, la equidad social y la conservación ecológica como menciona Gutiérrez Garza (2008).

Si bien el concepto ha pasado por diversos cambios, se ha mantenido la contribución del concepto y normas que definen el modelo dominante de desarrollo sustentable en el reporte titulado “Nuestro Futuro Común” mejor conocido como “El Informe Brundtland”, en el que lo define como: “El desarrollo sustentable es un desarrollo que satisface las necesidades del presente sin disminuir la habilidad de las generaciones futuras de satisfacer las suyas” (WCED, 1987).

Con base a lo mencionado por Tetreault (2004), de este concepto se desprenden concepciones como el de: “necesidades”, que alude a las necesidades básicas de los pobres, poniéndolas como prioritarias; y la idea de que el estado de tecnología y la organización social actual impone limitaciones al medio ambiente en cuanto a su habilidad de satisfacer las necesidades del presente y del futuro. Derivado de esto, se plantearon preguntas, que aluden al “por qué” y al “cómo” del desarrollo sustentable y ¿Por qué debemos tratar de alcanzar el desarrollo sustentable?, ¿Cómo vamos a alcanzar el desarrollo sustentable? —mejorando la tecnología y la organización social—.

Si bien Gutiérrez Garza (2008) coincide con estas preguntas y plantea algunas similares por ejemplo ¿Cómo superar la pobreza de los países del Tercer Mundo?, ¿Qué políticas deben impulsarse para superar dicha situación y transitar hacia condiciones estructurales que permitan alcanzar un alto crecimiento y bienestar social semejante al de aquéllos?, entre otras y refiere que el objeto de estudio de las teorías del desarrollo puede plantearse mediante este tipo de preguntas.

Sin embargo, Tetreault (2004) menciona que todo esto se ve reflejado en un crecimiento económico, que con base en documentos como el “Informe Brundtland” y la “Agenda 21”, el crecimiento económico mundial es una condición necesaria para vencer la pobreza, que a su vez es considerada como una de las causas principales —si no la principal— de la degradación ambiental.

Y fue hasta la década de los noventa como lo refieren Aguilar Barajas (2002); Gutiérrez Garza (2008) y Tetreault (2004), que surge otra propuesta de análisis para enfrentar los retos

del desarrollo, aunque desde una perspectiva holística y multidisciplinaria distinta, que conocemos como desarrollo sustentable, durable o sostenible. El concepto de desarrollo sustentable hunde sus raíces en la crítica al desarrollo económico en general y cuestiona el modelo de industrialización y de desarrollo, ante los altos niveles de degradación del medio ambiente, los efectos contaminantes en la atmósfera, el agua y los suelos, y sus impactos en la integridad de los ecosistemas y en la biodiversidad.

Por tal motivo la presente investigación considera esta perspectiva holística y multidisciplinaria que es importante para entender las relaciones existentes entre la sociedad y el ambiente que conforman la CVBA, ya que con esto permitió generar una metodología para la evaluación de los servicios ecosistémicos.

Así mismo se consideró a la Teoría de Sistemas Complejos (TSC), desarrollada por Rolando García la cual constituye un enfoque teórico-metodológico que se distingue de otras propuestas que se basan en torno a la complejidad y sistemas complejos. Ya que los estudios sobre la problemática ambiental han puesto de manifiesto, de manera reiterada, la insuficiencia de las metodologías tradicionales para realizarlos.

Y que para abordar los problemas ambientales es necesario lograr una verdadera articulación de las diversas disciplinas involucradas, a fin de obtener un estudio "integrado" de esa compleja problemática (García, 2011).

Según Rodríguez (2018), la característica distintiva de la TSC propuesta por Rolando García, se define en la articulación sistémica y explícita (interrelaciones) entre los componentes de los sistemas. Esta característica se puede vislumbrar bajo cuatro dimensiones: a) propone una metodología operativa desde el punto de vista empírico e interdisciplinario; b) se fundamenta desde las bases epistémicas del marco conceptual del constructivismo; y c) es una herramienta para el diagnóstico integrado de sistemas complejos que permitan actuar sobre el sistema para transformarlo.

Se consideró el concepto de servicios ecosistémicos, que de acuerdo con Martínez-Rodríguez, Viguera, Harvey, Donatti, & Alpízar (2017), refieren que entender el intrincado

funcionamiento de los ecosistemas, agroecosistemas y de los servicios que nos brindan es necesario para promover un manejo sostenible que favorezca tanto la productividad agrícola como la resiliencia; esta comprensión es de especial importancia en el panorama actual de cambio climático y las amenazas que representa para la producción agrícola.

Los servicios ecosistémicos según Cordoves Sánchez & Vallejos Romero (2019), constituyen un marco de trabajo para identificar y ponderar los valores sociales y ecológicos. Los beneficios intangibles que aportan tienen implicaciones sobre las formas de vida, y evidencian que los arreglos sociales, económicos y políticos juegan un rol importante para explicar los beneficios que las personas obtienen de su interacción con los ecosistemas.

Por todo lo anterior, el estudio de los servicios ecosistémicos es inherentemente complejo y representa un importante reto. Balvanera & Cotler (2007) mencionan que la comprensión requiere del entendimiento tanto de la complejidad inherente de los sistemas ecológicos, la de los sistemas sociales, así como la de su interacción. Por esto, es indispensable un abordaje interdisciplinario, que incluye la generación de marcos conceptuales y metodológicos que permitan la integración de las dos perspectivas.

En este estudio se aplicaron los métodos geográfico, cartográfico, estadístico y ecológico, procesados y unificados mediante sistemas de información geográfica; y con procesos de validación “in situ” *de las características ambientales y morfológicas de los ecosistemas forestales* mediante observación directa en campo; y evaluación de confiabilidad mediante percepción remota basada en imágenes satelitales. La modificación de los polígonos para determinar los ecosistemas fue una herramienta muy útil para la representación cartográfica de estas áreas y que por las condiciones actuales fue difícil validar en campo ya que hubo zonas a las que no era permitido el acceso por el alto índice de contagios COVID 19.

Así mismo, se aplicó la Ecuación Universal de pérdida de suelo (EUPS) modificada por la SADER, que implica análisis de características meteorológicas, edáficas y geomorfológicas

además de que se pueden trabajar de forma directa los factores de LS a través de un despeje matemático.

Finalmente, el análisis estadístico y temporal de los cultivos destinados a la producción de alimentos en el área de estudio, en el cual la falta de información representó un reto importante, en las visitas al CADER y al Distrito de Desarrollo Rural de Valle de Bravo permitió tener una visión más clara el porqué de esta problemática, entre ellas la falta de personal que brinde una asesoría especializada en campo a los productores y la falta de programas de apoyo a los productores.

Este estudio constituye una actualización en los temas incluidos del Programa de Ordenamiento Ecológico de la Cuenca Valle de Bravo Amanalco, decretado el 3 de octubre del año 2003, empezando por la delimitación de la Cuenca, en este trabajo se delimitó la zona en la parte sur conforme al parteaguas y se adecuó a la cuenca Tiloxtoc, así como la adecuación de polígonos de cada ecosistema para su actualización.

Estudios enfocados al cambio de la cobertura del suelo como lo refieren J. M. Camacho Sanabria (2019); R. Camacho Sanabria, J. M. Camacho Sanabria, Balderas Plata, & Sánchez López (2017), proporcionan una base para comprender las tendencias en la deforestación, el desarrollo urbano, la expansión agrícola y ganadera, la degradación, la desertificación y la pérdida de biodiversidad. Si bien el estudio de la cobertura del suelo y el cambio en el uso del suelo es diverso, los investigadores se enfocan en caracterizar la cobertura del suelo y el cambio en el uso del suelo al considerar las dimensiones espacio – temporales, al analizar o evaluar patrones de cambio de forma rápida y precisa para identificar y comprender sus causas e impactos, y modelar cambios para establecer escenarios hipotéticos sobre el futuro.

En esta investigación la metodología permitió actualizar los polígonos de las cartas de uso del suelo del INEGI de una forma confiable con base a mejorar la resolución de imágenes de satélite. Lo que permitió identificar el cambio del uso del suelo y los diferentes ecosistemas que de acuerdo con López Vazquez, Balderas Plata, Chávez Mejía, Juan Pérez,

& Gutiérrez Cedillo (2015) es un procedimiento confiable para medir el grado de conversión ambiental y dinámica espacio-temporal de la cubierta vegetal.

De acuerdo con Aguirre Salado et al., (2009), debido a los impactos del Cambio Climático (CC) y considerando que es un problema ambiental que se ha ido agravando en las últimas décadas al incrementarse la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI), como resultado de la actividad humana.

Se han considerado alternativas que permitan analizar y crear estrategias que permitan disminuir la concentración de dióxido de carbono (CO₂) como lo refieren Marcos Solorio, Martínez Campos, López Urquidez, López Orona, & Arteaga Reyes (2016), que es de los gases que mayor aumento de concentración ha tenido en la atmosfera, algunas de estas alternativas son a través del secuestro de carbono y de su fijación en el suelo o de su almacenado en forma de biomasa, la cual incluye todo tipo de vegetación y organismos vivos de todos los ecosistemas.

De acuerdo con los resultados obtenidos, este trabajo describe una metodología útil que permitió estimar la cantidad de carbono almacenado en el área de estudio. Actualmente existen diversas metodologías que con base al uso de la percepción remota en investigaciones enfocadas a la estimación de biomasa y carbono. Entre estos métodos como lo refieren Domínguez Cabrera, Aguirre Calderón, Jiménez Pérez, Rodríguez Laguna, & Díaz Balderas (2009), están los paramétricos, como el ajuste de modelos matemáticos mediante regresión entre las variables de interés y los datos con base a imágenes de satélite.

Si bien se menciona la importancia de los sistemas de Información Geográfica que permite el uso de imágenes satelitales, autores como Aguirre Salado et al., (2009), recomiendan imágenes SPOT 5 en el que refiere que es una buena alternativa para la estimación de biomasa y carbono por su resolución, así mismo con eso se puede identificar la biomasa por unidad de superficie en diferentes tipos de ecosistemas y ubicarlas espacialmente como lo menciona Domínguez Cabrera et al., (2009), en este trabajo se buscó mejorar la resolución de las imágenes de satélite con el uso de la banda 8 que es la pancromática y obtener con

esto una resolución de 15 m y así identificar y delimitar con mayor precisión en cada mapa los tipos de ecosistemas a través de las cartas de uso de suelo y vegetación de la serie III (2005) y VI (2017) del INEGI.

Autores como Barral (2014); Littera, Jobbágy E, & Paruelo (2011) y Paruelo et al., (2014), han participado en la elaboración de un protocolo llamado ECOSER el cual es un esquema de procedimientos para la evaluación y el modelado de la distribución espacial de servicios ecosistémicos y de la vulnerabilidad ambiental asociada a la pérdida de los mismos, en el que para el almacenamiento de carbono usan indicadores del IPCC por ecosistema, para este estudio el carbono se obtuvo de acuerdo con indicadores de almacenamiento de carbono con características similares al área de estudio, los cuales se multiplicaron por la superficie total de cada ecosistema del área de estudio, de tal manera que la capacidad de almacenamiento se pudo representar para cada serie de tiempo (CONAFOR; NMFA, 2015).

Con base en los resultados obtenidos, este trabajo aporta una metodología útil para determinar el grado de erosión del suelo de una forma rápida y confiable, que de acuerdo con Tribak et al., (2021), para territorios relativamente extensos, con difícil acceso y carentes de otras fuentes de información, la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS) se muestra como el más eficaz en sus resultados pues reduce el número de datos secundarios que requiere y su tratamiento mediante SIG.

Según Flores López et al., 2003 también ha sido el método más utilizado para diseñar planes de manejo acorde a las condiciones propias de cada lugar. Figueroa et al., (1991) adaptaron la EUPS a las condiciones de México, que ha permitido su aplicación a los paisajes del país mediante información accesible, permitiendo identificar las áreas y la interacción de los suelos que son susceptibles a la erosión, ya que los resultados obtenidos indican dónde y en qué cantidad se produce el fenómeno erosivo como lo mencionan Pando Moreno, Gutiérrez Gutiérrez, Maldonado Hernández, Palacio Prieto, & Estrada Castellón (2003) y Portuguez M (2015).

Para la estimación del factor de erosividad de la lluvia, Wischmeier y Smith (1978) refieren que los datos de cantidad e intensidad de las precipitaciones son indispensables para estimar la erosión del suelo, ya que corresponde a los riesgos erosivos potenciales de una región en particular (Tribak et al., 2021), y se han desarrollado fórmulas alternativas (debido a la ausencia de datos de las precipitaciones en un área de estudio) que permiten conocer el valor de este factor (Eniyew, Teshome, Sisay, & Bezabih, 2021). En este trabajo, el cálculo del valor del Factor R para cada año analizado, se estimó utilizando los datos de precipitación media anual de 18 años, de cada una de las 19 estaciones meteorológicas ubicadas dentro y fuera del área de estudio (Flores López et al., 2003; Gonzalez del Tanago, 1991; Tseganeh & Arega, 2021).

Dentro de las características más influyentes que determinan la erodabilidad del suelo son la textura del suelo, la estructura, la profundidad, la capacidad de drenaje y el nivel de materia orgánica; sin embargo, determinar estos parámetros a partir del mapa de suelos es muy difícil (Eniyew et al., 2021). Por lo tanto, el factor K para este estudio se determinó a partir del método propuesto por FAO (1980) de acuerdo con Figueroa et al., (1991), sólo requiere conocer la unidad de suelo y su textura cuando no se disponga de información para hacer uso de nomogramas que permitan determinar este factor, para lo cual se digitalizó cada unidad de suelo del área de estudio a escala 1: 50.000 con un valor de celda de 20 m y se colocó el valor correspondiente a la textura como lo refieren Flores López et al., (2003); Gonzalez del Tanago (1991); Portuguez M (2015); Wischmeier & Smith (1978) y Figueroa et al., (1991).

De acuerdo con Van Remortel, Hamilton y Hickey (2001), la generación de los valores LS plantea el mayor desafío en el uso de la USLE (por sus siglas en inglés), ya que el cálculo de este Factor suele ser el más problemático de los parámetros del modelo de erosión de acuerdo con Hickey (2000). El método tradicional de cálculo ha sido utilizar una estimación regional, convirtiendo así una variable en una constante. Cuando se utilizan los SIG para evaluar la erosión de los suelos a escala de cuenca, se ha tenido dificultades para obtener el valor del factor topográfico LS, en particular al atender la definición del factor L, por lo que se han hecho esfuerzos para calcularlo con algoritmos de programación, el uso de modelos

de elevación digital (MED) como lo refiere Flores López et al., (2003), así como adaptaciones del Factor L modificando con esto los umbrales de flujo y la resolución del MED según Kaffas, Pisinaras, Al Sayah, Santopietro, & Righetti, (2021) y Wang et al., (2020).

A diferencia de estos estudios este trabajo presenta una metodología que proporciona, con base a los valores de L y S calculados, un criterio de definición de las áreas prioritarias de atención, al mismo tiempo es posible realizar una jerarquización de las actividades de conservación en función de la potencialidad productiva del terreno y por el valor económico y social que estas áreas representan como lo mencionan Adame-Martínez, Campos-Medina, & García-Camacho (2015).

Los resultados obtenidos se compararon con los valores de LS, reportados en la Tabla de Valores mayores y menores a la unidad (8T), al oriente de la cuenca se considera que es necesario establecer prácticas de conservación del suelo, ya que los valores son de 0,54 para el año 2005 y de 0,52 para el 2021, y al norte, centro y poniente de la cuenca se obtuvieron valores de 4,26 para el año 2005 y de 4,30 para el año 2021, estas zonas son las que mayor atención requieren, ya que la tasa de formación de suelo no es suficiente para sustituir las remociones de este.

De acuerdo con la metodología que se empleó, permitió identificar las áreas correspondientes a las clases de erosión potencial y actual. La erosión moderada se manifiesta en los alrededores de la Presa Valle de Bravo, principalmente en las laderas suroeste que drenan hacia el vaso de esta. La causa principal de este proceso es la deforestación y el desarrollo acelerado de los asentamientos humanos en esa área. Debido a que los suelos le dan cierta estabilidad, la erosión es de tipo laminar que ha originado la pérdida del horizonte superficial, dejando al descubierto el horizonte subsuperficial rojizo, de manera que han estado aportando sedimentos finos y materia orgánica a la Presa Valle de Bravo. De no frenarse este problema, se acelerará el azolvamiento del embalse. La Secretaría de Ecología (2003a y 2003b), refiere que la erosión ligera se manifiesta en las regiones norte y suroeste de la Cuenca, debido a la deforestación y al cambio del uso del suelo. La erosión

es de tipo laminar y se está removiendo la capa superficial que es transportada por la erosión hídrica hacia la Presa Valle de Bravo.

Por otro lado, en recorridos de campo de diversas zonas se pudo observar deforestación de zonas arboladas para ampliar la frontera agrícola y para producción de madera. Igualmente se identificaron zonas con prácticas inadecuadas de cultivos agrícolas, se destaca la inexistencia de líneas de estabilización de laderas, la falta de protección contra la erosión en las zonas de agricultura de temporal, la actitud convencional orientada al monocultivo de maíz y la consecuente ausencia de rotación de cultivos.

Asimismo, se destaca la práctica del uso indiscriminado de agroquímicos, sin estudios previos que definan las cantidades requeridas, según la condición de los suelos y el tipo de cultivo. Por lo anterior, para estas zonas erosionadas se requiere atención con la finalidad de establecer programas para su control y recuperación, por medio de estrategias de conservación de suelos de acuerdo con Adame-Martínez et al., (2015) y la Secretaría de Ecología, (2003b). Si bien, como menciona Tribak et al., (2021) es difícil comparar métodos y resultados tan variados que dificultan su comparación, al menos, han servido para poner de manifiesto la existencia del riesgo de erosión y establecer con esto, valores y causas de referencia.

El análisis del servicio ecosistémico de provisión de alimentos se basó en el reconocimiento geográfico sobre su espacialización de superficie sembrada, y la producción agroalimentaria del área de estudio como lo mencionan Palma Hernández, De la Barrera, & Pineda López, (2019).

De acuerdo con Monsalve Castro et al., (2019) los agroecosistemas tienen como características la inclusión de poblaciones humanas, el estar alterados intencionalmente, y ser frecuentemente administrados intensivamente, con el fin de suministrar alimentos y otros beneficios. La conservación in situ de la agrobiodiversidad no sólo aporta a la alimentación, salud y bienestar de quienes la cultivan, sino también a la conservación de la cultura local, y al equilibrio y estabilidad de los ecosistemas.

Díaz et al., (2005) refiere que la producción de alimentos es un servicio ecosistémico fundamental para el mantenimiento de la población humana, la cual ha venido transformando su ambiente para la consecución de una mejor calidad de vida, lo que implica un aumento de su bienestar. Sin embargo, es importante aclarar que este servicio ecosistémico se fundamenta en servicios no visibles para los seres humanos, como lo son la formación del suelo, del cual depende la productividad agrícola; el ciclado de nutrientes, que afecta su biodisponibilidad para los cultivos; la producción primaria, en donde los organismos autótrofos transforman la energía del sol en materia orgánica, y de la cual obtienen los organismos heterótrofos la energía necesaria para su sustento; y la polinización, sustancial para la producción de frutos, entre otros.

La agricultura es entendida como el proceso de modificación de los ecosistemas naturales con propósitos productivos, para proveer a los humanos productos con finalidades alimenticias, de vestimenta, de supervivencia o de paisaje, entre otros. Por tanto, es un proceso de alteración del ecosistema natural con un objetivo específico, en el cual se involucran actores, naturaleza y tecnología como hace referencia Monsalve Castro et al., (2019).

Si bien existen pocas metodologías para la evaluación de este servicio estas han sido empleadas para cultivos con condiciones controladas ya que el mayor reto para una evaluación en áreas de estudio tan amplia es la falta de disponibilidad de la información.

CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos podemos concluir que los sistemas de información geográfica (SIG) se han vuelto una herramienta importante para el análisis de los cambios de uso de suelo y vegetación, ya que permiten identificar las áreas más susceptibles y ayudan a comprender mejor los procesos de cambio en determinado territorio (Mas & Flamenco Sandoval, 2011). Para esta investigación, la adecuación de los polígonos con base en la interpretación visual de las imágenes de satélite permitió minimizar los errores cartográficos que se producen durante el proceso de clasificación, obteniendo con ello mayor confiabilidad en los mapas (Camacho *et al.*, 2017).

El periodo analizado muestra que los principales procesos de cambio de uso del suelo se presentaron en los bosques de pino, pino-encino y oyamel a agricultura de temporal, agricultura de riego y cuerpos de agua, donde se tuvo una ganancia significativa de las zonas agrícolas. La deforestación de los bosques de más de 600 hectáreas refleja el impacto sobre los procesos de almacenamiento de carbono, en la capacidad de captación de agua y retención de suelo como servicios ecosistémicos (López Vazquez *et al.*, 2015).

De acuerdo con este análisis para el año 2005, se observó que en el área de estudio predominó una erosión actual moderada; el potencial de erosión hídrica fue más erosivo en el municipio de Amanalco con una textura del suelo más susceptible a la erosión, con pendientes bajas, y con cobertura vegetal de los ecosistemas forestales de bosque de oyamel, bosque de pino y agricultura de temporal. Para el año 2021 igualmente predominó la erosión actual moderada; sólo que en este año el potencial de erosión hídrica se distribuyó hacia el sur del área, debido a que aumentó la intensidad de la lluvia en los municipios de Zinacantepec, Temascaltepec y la zona este de Valle de Bravo; aunque en contraste en estas zonas la susceptibilidad del suelo a la erosión es menor; con pendientes bajas y con cobertura vegetal de ecosistemas forestales, agricultura de temporal y pastizal.

En la zona norte donde las condiciones del suelo se ven afectados por las pendientes del terreno, se identificaron áreas de agricultura, donde es importante implementar obras de conservación de suelos como surcado al contorno, labranza de conservación y construcción de terrazas, entre otros.

De acuerdo con los resultados, al comparar los dos periodos analizados se concluye que no se observan cambios significativos entre el año 2005 y el 2021; pero es relevante que la erosión actual es moderada en casi la totalidad de la zona de estudio, lo que refleja la importancia de que la SVBA requiere atención en materia de conservación del suelo y agua; ya que los niveles de agua de las presas han disminuido significativamente y han tenido pérdidas en su capacidad. En la actualidad de acuerdo con la Comisión Nacional del Agua el promedio de captación de los tres principales embalses es del 46.2%, de las cuales la presa principal de Valle de Bravo se encuentra en un 58% de su capacidad.

El uso de los sistemas de información geográfica en esta investigación representó una herramienta importante para el análisis, representación y evaluación de los cambios por erosión hídrica, ya que permitió identificar las áreas más susceptibles y ayudó a comprender mejor los procesos de cambio en el área de estudio. Para esta investigación, la adecuación de los polígonos con base en la interpretación visual de las imágenes de satélite permitió minimizar los errores cartográficos que se producen durante el proceso de clasificación obteniendo con ello mayor confiabilidad en los mapas. El combinar la EUPS y el método de la SAGARPA, permitió simplificar la metodología desarrollada por la FAO y obtener los mapas para cada periodo de estudio.

Con base a la metodología se pudo identificar la producción, superficie, rendimiento y valor de la producción de los principales cultivos en la Cuenca. De acuerdo a los recorridos en campo y lo que refiere la Secretaría de Ecología, (2003a), se concluye que en los municipios de la cuenca los sistemas agrícolas se siguen practicando con métodos tradicionales; debido a las características montañosas del relieve y están determinadas por la demanda de la población para la venta y el autoconsumo provenientes de cultivos de temporal.

La producción agrícola de maíz ha disminuido en los últimos años y en los municipios de Villa Victoria, Villa de Allende y Donato Guerra, Valle de Bravo y Amanalco, la baja productividad de los cultivos induce a los productores al uso de fertilizantes químicos, sin ningún control y con mínima capacitación, por falta de asistencia técnica, incidiendo sobre

los niveles de contaminación del suelo y de las aguas que drenan hacia las presas de Valle de Bravo y Tiloxtoc respectivamente.

Respecto a las prácticas inadecuadas de cultivos agrícolas, se destaca la inexistencia de líneas de estabilización de laderas, la falta de protección contra la erosión en las zonas de agricultura de temporal, la actitud convencional orientada al monocultivo de maíz y la consecuente ausencia de rotación de cultivos.

RECOMENDACIONES

La investigación se fundamentó bajo diferentes bases teórico-metodológicas que permitieron fundamentar cada una de las etapas estudiadas en el trabajo de investigación y la metodología contó con diferentes etapas la cual permitió alcanzar el objetivo planificado, así mismo las aplicaciones de diferentes técnicas de investigación dieron como resultado la obtención de información de los servicios ecosistémicos analizados en la presente investigación; se recomienda realizar estudios sobre diferentes servicios ecosistémicos utilizando los métodos geográfico, cartográfico mediante SIG, comparativo entre diversos periodos de tiempo, con validación estadística y verificación en campo; tal como se aplicaron en este estudio para su validación.

En los resultados del Servicio ecosistémico de almacenamiento de carbono, se destacó la importancia de la adecuación de los polígonos para representar los ecosistemas presentes en el área de estudio es decir la distribución espacial, así como la cuantificación almacenamiento de carbono por ecosistema, aquí se pudo identificar las pérdidas de superficie en cada ecosistema por lo cual: se recomienda aplicar técnicas de conservación forestal en las zonas problemáticas identificadas y monitorear los niveles de captura de carbono en ellas.

Respecto al servicio ecosistémico de retención de suelo se representó la de distribución espacial de la erosión actual y potencial la cual permitió identificar las áreas susceptibles a la erosión hídrica así mismo permitió determinar la cantidad de pérdida de suelo y clasificar la capacidad de retención de suelo que en este estudio es la capacidad de retención es media, por tal motivo: se recomienda aplicar técnicas de conservación de suelos y monitorear los niveles de retención del suelo en diferentes momentos.

En cuanto al servicio ecosistémico de provisión de alimentos se identificó la producción, superficie, rendimiento y valor de la producción derivado de estos resultados: se recomienda poder utilizar los datos para evaluaciones prospectivas, que permitan conocer la tendencia y comportamiento de la provisión de alimentos en un futuro esta zona de estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- Adame-Martínez, S., Campos-Medina, E., & García-Camacho, A. (2015). Cálculo de la erosión hídrica en la Zona Central de México. Caso de estudio, Cuenca del Río Tenancingo. In M. E. Orozco-Hernández, D. Velázquez-Torres, B. L. Campos-Cámara, & J. Tapia-Quevedo (Eds.), *Paradigmas del desarrollo social y territorial* (Primera, 2, pp. 183–200). México: Universidad Autónoma del Estado de México.
- Aguirre Salado, C. A., Valdez Lazalde, J. R., Ángeles Pérez, G., de los Santos Posadas, H. M., Haapanen, R., & Aguirre Salado, A. I. (2009). Mapeo de carbono arbóreo aéreo en Bosques manejados de Pino patula en Hidalgo, México. *Agrociencia*, 43, 209–220.
- Allen, T. F. H., & Starr, T. B. (2017). Hierarchy. In *Hierarchy*. University of Chicago Press.
- Almeida-Leñero, L., Nava, M., Ramos, A., Espinosa, M., Ordoñez, M. de J., & Jujnovsky, J. (2009). Servicios ecosistémicos en la cuenca del río Magdalena, Distrito Federal, México. *Gaceta Ecológica*, (84–85), 53–64. Retrieved from <http://www.revista.ine.gob.mx/index.php/gaceta/article/view/44>
- Apps, M. J., Kurz, W. A., Luxmoore, R. J., Nilsson, L. O., Sedjo, R. A., Schmidt, R., ... Vinson, T. S. (1993). Boreal forests and tundra. *Water, Air, and Soil Pollution*, 70(1), 39–53. <https://doi.org/10.1007/BF01104987>
- Arnold Cathalifaud, M. (2010). Constructivismo Sociopoiético. *Revista MAD*, 0(23), 1–8. <https://doi.org/10.5354/0718-0527.2010.13629>
- Arnold Cathalifaud, M., & Osorio, F. (2011). Introducción a los Conceptos Básicos de la Teoría General de Sistemas. *INNOVAR. Revista de Ciencias Administrativas y Sociales*, 27, 157–159. Retrieved from <https://www.redalyc.org/pdf/101/10100306.pdf>
- Arnold, M., & Osorio, F. (2018). Introducción a los Conceptos Básicos de la Teoría General De Sistemas. In *Departamento de Antropología. Universidad de Chile*. Chile. <https://doi.org/10.2307/j.ctv51307z.7>
- Baghel, R. (2012). Knowledge, power and the environment: Epistemologies of the Anthropocene. *Transcience*, 3(1), 1–6.
- Balvanera, P. (2012). Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales. *Ecosistemas*, 21(1–2), 136–147.

- Balvanera, Patricia. (2007). *Acercamientos al estudio de los servicios ecosistémicos*. 85, 8–15. Retrieved from http://produccionbovina.com/regiones_ganaderas/27-Ecosist_del_Delta-2010.pdf
- Balvanera, Patricia, Astier, M., Gurri, F. D., & Zermeño-Hernández, I. (2017). Resiliencia, vulnerabilidad y sustentabilidad de sistemas socioecológicos en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88, 141–149. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.10.005>
- Balvanera, Patricia, & Cotler, H. (2007). Los servicios ecosistémicos y la toma de decisiones: retos y perspectivas. *Gaceta Ecológica*, (84), 117–122.
- Balvanera, Patricia, Cotler, H., Aluja, M., Andrade, A., Inés, C., Quiroz, A., ... Muñoz, C. (2009). Estado y tendencias de los servicios ecosistémicos. *Capital Natural de México, II*, 185–245. Retrieved from http://www.biodiversidad.gob.mx/pais/pdf/CapNatMex/VolII/II04_EdoTendenciasServiciosEcosistemicos.pdf
- Barkin, D., Fuente Carrasco, M. E., & Tagle Zamora, D. (2012). La significación de una Economía Ecológica radical. *Revista de La Red Iberoamericana de Economía Ecológica*, 19, 1–14. Retrieved from <https://ddd.uab.cat/record/103309>
- Barral, M. P. (2014). Provisión De Servicios Ecosistémicos En Paisajes Rurales : Desarrollo De Criterios Y Herramientas Para El Ordenamiento Territorial Rural. *Tesis Doctoral*, 149.
- Beare, M. H., Coleman, D. C., Crossley, D. A., Hendrix, P. F., & Odum, E. P. (1995). A hierarchical approach to evaluating the significance of soil biodiversity to biogeochemical cycling. *Plant and Soil*, 170(1), 5–22. <https://doi.org/10.1007/BF02183051>
- Bocco, G. (2010). Geografía y Ciencias ambientales: ¿campos disciplinarios conexos o redundancia epistémica? *Investigación Ambientall*, 2(2), 25–31. Retrieved from <http://www.revista.ine.gob.mx/article/viewDownloadInterstitial/66/84>
- Bocco, G., & Urquijo, P. S. (2015). Geografía ambiental: reflexiones teóricas y práctica institucional. *Región Y Sociedad*, 25(56). <https://doi.org/10.22198/rys.2013.56.a100>
- Bonfil, H., & Madrid, L. (2006). El pago por servicios ambientales en la Cuenca de Amanalco-Valle de Bravo. *Gaceta Ecológica*, 80, 63–74. Retrieved from <http://www.redalyc.org/pdf/539/53908005.pdf>

- Boyd, J., & Banzhaf, S. (2007). What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units. *Ecological Economics*, 63(2–3), 616–626.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.01.002>
- Bravo Espinosa, M., Mendoza Cantú, M. E., & Medina Orozco, L. E. (2009). Escenarios de erosión bajo diferentes manejos agrícolas en la cuenca del lago de Zirahuén, Michoacán, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín Del Instituto de Geografía, UNAM*, 68, 7384. <https://doi.org/10.1080/00947598.2001.10396059>
- Bueno-Hurtado, P., Velásquez-Valle, M. A., López-Santos, A., Sánchez-Cohen, I., & González-Barrios, J. L. (2016). Implementación de un modelo para estimar la erosión hídrica con parámetros distribuidos aplicados a cuencas. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, XV(1), 47–54. <https://doi.org/10.5154/r.rchsa.2015.08.012>
- Burkhard, B., & Maes, J. (2017). Mapping ecosystem services. In J. A. Bouma & P. J. H. van Beukering (Eds.), *Mapping Ecosystem Services* (pp. 65–86). Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107477612.006>
- Calderón-Contreras, R. (2013). Ecología política: hacia un mejor entendimiento de los problemas socioterritoriales. *Economía Sociedad y Territorio*, (February 2014).
<https://doi.org/10.22136/est00201359>
- Camacho Sanabria, R., Camacho Sanabria, J. M., Balderas Plata, M. Á., & Sánchez López, M. (2017). Cambios de cobertura y uso de suelo: Estudio de caso en Progreso Hidalgo, Estado de México. *Madera Bosques*, 23(3), 39–60.
<https://doi.org/10.21829/myb.2017.2331516>
- Camacho Valdez, V., & Ruiz Luna, A. (2012). Marco Conceptual Y Clasificación De Los Servicios Ecosistémicos. *Bio Ciencias*, 1, 3–15. Retrieved from
<http://revistabiociencias.uan.mx/index.php/BIOCIENCIAS/article/view/19/17>
- Carmenza, C. R. (2007). La economía ecológica: Una disciplina en busca de autor. *Gestión y Ambiente*, 10(3), 7–21. Retrieved from
<http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=169419821001%5Cnhttp://www.redalyc.org/redalyc/pdf/1694/169419821001.pdf>
- Cebrián, J. A. (1994). Modelos de información geográfica. In *Estudios Geográficos* (Vol. 55). <https://doi.org/10.3989/egeogr.1994.i215.257>
- Collazo Expósito, L. M., & Geli de Ciurana, A. M. (2017). Avanzar en la educación para la

- sostenibilidad. Combinación de metodologías para trabajar el pensamiento crítico y autónomo, la reflexión y la capacidad de transformación del sistema. *Revista Iberoamericana de Educación*, 73, 131–154. <https://doi.org/10.35362/rie730295>
- CONABIO y SEMARNAT. (2009). *Cuarto Informe Nacional de México al Convenio sobre Diversidad Biológica (CDB). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México D.F.* (SEMARNAT., Ed.). México D.F.
- Cooke, R. U. (1992). COMMON GROUND, SHARED INHERITANCE - RESEARCH IMPERATIVES FOR ENVIRONMENTAL GEOGRAPHY [Article]. *Transactions /*, 17(2), 131–151. <https://doi.org/info:doi/>
- Cordoves Sánchez, M. A., & Vallejos Romero, A. (2019). Mapeo del valor social en el marco de los servicios ecosistémicos. *Investigación Bibliotecológica: Archivonomía, Bibliotecología e Información*, 33(79), 177. <https://doi.org/10.22201/iibi.24488321xe.2019.79.58008>
- Costanza, R., D'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., ... van den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387(6630), 253–260. Retrieved from <https://www-nature-com.ezproxy.royalroads.ca/articles/387253a0.pdf>
- Costanza, R., & Folke, C. (1997). Nature's services. In G. C. Daily (Ed.), *Nature's services Societal dependence on Natural Ecosystems* (pp. 49–68). Covelo, California: Island Press. Retrieved from <http://willsull.net/la370/resources/Module-2/Daily.pdf>
- Daily, G. C., Polasky, S., Goldstein, J., Kareiva, P. M., Mooney, H. A., Pejchar, L., ... Shallenberger, R. (2009). Ecosystem services in decision making: Time to deliver. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7(1), 21–28. <https://doi.org/10.1890/080025>
- de Groot, R. S., Wilson, M. A., & Boumans, R. M. J. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41(3), 393–408. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00089-7](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00089-7)
- De la Barrera, F., & Bachmann-Vargas, P. (2015). La investigación de servicios ecosistémicos en Chile : una revisión sistemática. *Investigación Geográfica Chile*, 18,

- 3–18. <https://doi.org/10.5354/0719-5370.2015.41171>
- Demeritt, D. (2009). Geography and the promise of integrative environmental research. *Geoforum*, 40(2), 127–129. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2008.08.010>
- Díaz Burgos, M. E. (2017). *Evaluación de los servicios ecosistémicos asociados al recurso hídrico : Cuenca del río Biobío como caso de estudio*. Universidad de Concepción, Chile.
- Díaz, S., Demissew, S., Carabias, J., Joly, C., Lonsdale, M., Ash, N., ... Zlatanova, D. (2015). The IPBES Conceptual Framework - connecting nature and people. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 14, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2014.11.002>
- Díaz, S., Fargione, J., Chapin III, F. S., & Tilman, D. (2006). Biodiversity loss threatens human well-being. *PLoS Biology*, 4(8), 1300–1305. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0040277>
- Domínguez Cabrera, G., Aguirre Calderón, O. A., Jiménez Pérez, J., Rodríguez Laguna, R., & Díaz Balderas, J. A. (2009). Biomasa Aérea y factores de expansión de especies arbóreas en Bosques del sur de Nuevo León. *Revista Chapingo : Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 15(1), 59–64.
- Durand, L., Figueroa, F., & Guzmán, M. (2011). La ecología política en México ¿ Dónde estamos y para dónde vamos? *Estudios Sociales*, 19(37), 281–307.
- Elliott, E. T., & Cole, C. V. (1989). A Perspective on Agroecosystem Science. *Ecology*, 70(6), 1597–1602. <https://doi.org/10.2307/1938092>
- Eniyew, S., Teshome, M., Sisay, E., & Bezabih, T. (2021). Integrating RUSLE model with remote sensing and GIS for evaluation soil erosion in Telkwonz Watershed, Northwestern Ethiopia. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 24(August), 100623. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100623>
- Escobar, A. (2011). ¿«Pachamámicos» versus «Modérnicos»? *Tabula Rasa*, (15), 265–273. <https://doi.org/10.25058/20112742.436>
- Escobar, A., Palacio Castañeda, G., Secreto, M. V., Bunker, S., Machado Aráoz, H., Svampa, M., ... Lamberti, M. J. (2008). La naturaleza colonizada ecología política y minería en América Latina. In H. Alimonda (Ed.), *Global Conference on Business and Finance Proceedings* (CICCUS, Vol. 3). Buenos Aires, Argentina.

- FAO - UNESCO. (2008). *Base referencial mundial del recurso suelo. Un marco conceptual para la clasificación, correlación y comunicación internacional*. (Vol. 03). Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Retrieved from <http://siglo.inafed.gob.mx/enciclopedia/EMM30veracruz/municipios/30044a.html%0Ahttp://www.fao.org/3/a-a0510s.pdf>
- Flores Arteaga, L. A. (2019). *Servicios ecosistémicos en la región VI Ixtapan de la Sal, Estado de México*. Facultad de Geografía de la Universidad Autónoma del Estado de México.
- Flores López, H. E., Martínez Menes, M., Oropeza Mota, J. L., Mejía Saens, E., & Carrillo González, R. (2003). Integración de la EUPS a un SIG para estimar la erosión hídrica del suelo en una Cuenca Hidrográfica de Tepatitlán, Jalisco, México. *Terra Latinoamericana*, 21(2), 233–244.
- Foladori, G. (2007). Paradojas de la sustentabilidad: ecológica versus social. *Trayectorias ISSN:*, IX(24), 20–30.
- Gallopín, G. (2003). Medio Ambiente y Desarrollo. In *Revista Desarrollo y Sociedad*. Retrieved from https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/5763/S033120_es.pdf?sequence=1
- Galochet, M. (2009). El medio ambiente en el pensamiento geográfico francés: Fundamentos epistemológicos y posiciones científicas. *Cuadernos Geográficos*, 44(1), 7–28.
- García Flores, J. C., Gutiérrez Cedillo, J. G., Juan Pérez, J. I., Balderas Plata, M. Á., & Calvet-Mir, L. (2018). Conocimiento tradicional del huerto familiar en el altiplano central mexicano. In *Antropología* (Universida, pp. 984–993). España. Retrieved from http://dx.doi.org/10.14201/0AQ0251_11
- García, R. (2011). Interdisciplinarietà Y Sistemas Complejos. *Revista Latinoamericana de Metodología de Las Ciencias Sociales*, 1(1), 66–101.
- Gazzano, I., & Achkar, M. (2013). La necesidad de redefinir ambiente en el debate científico actual. *Gestión y Ambiente*, 16(3), 7–15. Retrieved from <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=169429726001>

- Giannuzzo, A. N. (2010). Los estudios sobre el ambiente y la ciencia ambiental. *Scientiae Studia*, 8(1), 129–156. <https://doi.org/10.1590/s1678-31662010000100006>
- Gonzalez del Tanago, M. (1991). La ecuacion universal de perdidas de suelo. Pasado, presente y futuro. *Ecología (Madrid)*, (5), 13–50.
- Gutiérrez Cedillo, J. G., Aguilera Gómez, L. I., & González Esquivel, C. E. (2008). Agroecología y sustentabilidad. *Convergencia*, 15(46), 51–87.
- Gutiérrez Garza, E. (2008). De las teorías del desarrollo al desarrollo sustentable: Historia de la constitución de un enfoque multidisciplinario. *Revista Trayectorias*, XI(39), 21–35.
- Gutiérrez Vizcaino, M., Prins, C., & López Báez, W. (2016). Gestión integrada del agua: investigación, acción y reflexión participativa. *Revista Estudiantil Latinoamericana de Ciencias Sociales*, 08(02), 1–24. <https://doi.org/10.18504/rl0208-003-2016>
- Hickey, R. (2000). Slope angle and slope length solutions for GIS. *Cartography*, 29(1), 1–8. <https://doi.org/10.1080/00690805.2000.9714334>
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (2012). *Plan estratégico para la recuperación ambiental de la Cuenca Amanalco-Valle de Bravo: Actualización*. MÉXICO. Retrieved from <http://hdl.handle.net/20.500.12013/1538>
- Kaffas, K., Pisinaras, V., Al Sayah, M. J., Santopietro, S., & Righetti, M. (2021). A USLE-based model with modified LS-factor combined with sediment delivery module for Alpine basins. *Catena*, 207(July), 105655. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105655>
- Kremen, C. (2005). Managing ecosystem services: What do we need to know about their ecology? *Ecology Letters*, 8(5), 468–479. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00751.x>
- Latterra, P., Jobbágy E, G., & Paruelo, J. M. (2011). Valoración de servicios ecosistémicos Conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial. *INTA*, (1), 740. <https://doi.org/10.16309/j.cnki.issn.1007-1776.2003.03.004>
- Laurance, W. F., Useche, D. C., Shoo, L. P., Herzog, S. K., Kessler, M., Escobar, F., ... Thomas, C. D. (2011). Global warming, elevational ranges and the vulnerability of tropical biota. *Biological Conservation*, 144(1), 548–557. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.10.010>

- Leff, E. (2006a). Complejidad, Racionalidad Ambiental Y Diálogo De Saberes. In *Ponencia presentada en el I Congreso internacional interdisciplinar de participación, animación e intervención socioeducativa, celebrado en Barcelona en noviembre de 2005*. Retrieved from https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/articulos-de-opinion/2006_01leff_tcm30-163650.pdf
- Leff, E. (2006b). Del Sur hacia el Norte economía política del orden económico internacional emergente. *Los Tormentos de La Materia. Aportes Para Una Ecología Política Atinoamericana. Alimonda, Héctor.*, 9(17), 203–207.
- Leff, E. (2009). Pensar la complejidad ambiental. *La Complejidad Ambiental*, 7–53. Retrieved from <http://journals.openedition.org/polis/4605>
- Lezama, J. L., & Graizbord, B. (2010). Los grandes problemas de México. In *Medio ambiente* (1st ed.). El Colegio de México. <https://doi.org/10.2307/j.ctv5132b9>
- Lobatón, S. (2013). El análisis del paisaje como herramienta y puente teórico-metodológico para la gestión socio-ambiental del territorio. *Geograficando*, 9(9), 1–14.
- Lopez-Castro, E. O. (2016). Reflexiones para la construcción de la epistemología ambiental en el siglo XXI. *Aibi Revista de Investigación, Administración e Ingeniería*, 4(1), 35–39. <https://doi.org/10.15649/2346030x.386>
- López Báez, W., Palacios Herrera, B. G., & Reynoso Santos, R. (2016). Diagnosis of the Ecosystem Services in El Triunfo Biosphere Reserve, Chiapas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 7(34), 21–34.
- López Lara, E., Posada Simeón, C., Moreno Navarro, J. G., & Universidad de Sevilla. (1997). Los Sistemas de Información Geográfica. *I Congreso de Ciencia Regional de Andalucía: Andalucía En El Umbral Del Siglo XXI*, 789–804.
- López, M. (2019). Ecología política: necesidad de una nueva teoría del poder en América Latina, basada en el poder político de la naturaleza. *Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente.*, 101–113.
- López Vazquez, V. H., Balderas Plata, M. A., Chávez Mejía, M. C., Juan Pérez, J. I., & Gutiérrez Cedillo, J. G. (2015). Cambio De Uso De Suelo En Zona Mazahua. *Ciencia Ergo Sum*, 22(2), 136–144. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10439327004>

- Luck, G. W., Harrington, R., Harrison, P. A., Kremen, C., Berry, P. M., Bugter, R., ... Zobel, M. (2009). Quantifying the contribution of organisms to the provision of ecosystem services. *BioScience*, 59(3), 223–235.
<https://doi.org/10.1525/bio.2009.59.3.7>
- M; Badii. (2008). La huella ecológica y sustentabilidad. *International Journal of Good Conscience*, 3(1), 672–678. Retrieved from [http://www.spentamexico.org/v3-n1/3%281%29 672-678.pdf](http://www.spentamexico.org/v3-n1/3%281%29%20672-678.pdf)
- Maass, J. M., Balvanera, P., Castillo, A., Daily, G. C., Mooney, H. A., Ehrlich, P., ... Sarukhán, J. (2005). Ecosystem services of tropical dry forests: Insights from long-term ecological and social research on the Pacific Coast of Mexico. *Ecology and Society*, 10(1). <https://doi.org/10.5751/ES-01219-100117>
- Martínez-Rodríguez, M. R., Viguera, B., Harvey, C. A., Donatti, C. I., & Alpízar, F. (2017). La importancia de los servicios ecosistémicos para la agricultura. *Materiales de Fortalecimiento de Capacidades Técnicas Del Proyecto CASCADA (Conservación Internacional-CATIE)*, p. 40. <https://doi.org/10.7818/re.2014.22-1.00>
- Mas, J. F., & Flamenco Sandoval, A. (2011). *Modelación de los cambios de coberturas/uso del suelo en una región tropical de México*. 5(1), 1–24. Retrieved from http://www.geotropico.org/NS_5_1_Mas-Flamenco.pdf
- Meynard, C., Lara, A., Pino, M., Soto, D., Nahuelhual, L., Núñez, D., ... Morey, F. (2007). La Integración de la Ciencia la Economía y la Sociedad: servicios ecosistémicos en la ecoregión de los bosques lluviosos valdivianos en el cono sur de Sudamérica. *Gaceta Ecológica*, (84–85), 29–38.
- Monsalve Castro, L. M., Valencia Trujillo, F. L., Guzmán Lenis, A. R., Duque Chaves, C. M., Pérez Giraldo, D. A., Valderrama L., C. F., & Polanco Puerta, M. F. (2019). Servicio ecosistémico de abastecimiento: alimentos. In *Servicios ecosistémicos: Un enfoque introductorio con experiencias del occidente Colombiano* (pp. 34–56). Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD.
<https://doi.org/10.22490/9789586516358.02>
- Mooney, H. A., Cropper, A., Capistrano, D., Carpenter, S. R., Chopra, K., Dasgupta, P., ... Shidong, Z. (2005). *Millenium Ecosystem Assessment Synthesis Report* (Island Pre). Washington DC.

- Morales, G. (2016). La categoría “ambiente”. Una reflexión epistemológica sobre su uso y su estandarización en las ciencias ambientales. *Nova Scientia*, 8(17), 579–613. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-07052016000200579&lng=en&nrm=iso&tlng=en
- Morales Jasso, G. (2017). Las ciencias ambientales. Una caracterización desde la epistemología sistémica. *Nova Scientia*, 9(18), 646–697. <https://doi.org/10.21640/ns.v9i18.869>
- Morfin Ríos, J. E., Michel Fuentes, J. M., González Murguía, R., Carrillo, O., Mayorga, R., Rangel, L., ... Guerrero Pacheco, G. (2015). *Estimación de las reservas de carbono en la biomasa forestal en México*. Zapopan, Jalisco, México: Fortalecimiento de la preparación REDD+ en México y fomento de la cooperación Sur-Sur Comisión Nacional Forestal, Zapopan, Jalisco, México Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas.
- Naredo, J. M. (1997). Sobre el origen, el uso y el contenido del termino “sostenible.” *Ciudades Para Un Futuro Más Sostenible*, 41, 48–57. Retrieved from habitataq.upm.es
- Ordoñez, J. A., de Jong, B. H. J., & Masera, O. (2001). Almacenamiento de carbono en un bosque de *Pinus pseudostrobus* en Nuevo San Juan Michoacán. *Madera y Bosques*, 7(2), 27–47.
- Palma Hernández, D. B., De la Barrera, F., & Pineda López, R. (2019). Evaluación de los servicios ecosistémicos provistos por una microcuenca periurbana de Querétaro (México). *Investigaciones Geográficas*, (57), 63–74. <https://doi.org/10.5354/0719-5370.2019.53581>
- Pando Moreno, M., Gutiérrez Gutiérrez, M., Maldonado Hernández, A., Palacio Prieto, J. L., & Estrada Castellón, A. E. (2003). Comparación de métodos en la estimación de erosión hídrica. *Investigaciones Geográficas*, 51(821), 23–36.
- Parsons, A. J., Johnson, I. R., & Harvey, A. (1988). Use of a model to optimize the interaction between frequency and severity of intermittent defoliation and to provide a fundamental comparison of the continuous and intermittent defoliation of grass. *Grass and Forage Science*, 43(1), 49–59.
- Paruelo, J., Jobbágy, E., Laterra, P., Dieguez, H., García, A., & Panizza, A. (2014).

- Ordenamiento Territorial Rural: Conceptos, Métodos y Experiencias. In *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*.
<https://doi.org/10.13140/2.1.4004.4320>
- Pascual, U., Balvanera, P., Díaz, S., Pataki, G., Roth, E., Stenseke, M., ... Yagi, N. (2017). Valuing nature's contributions to people: the IPBES approach. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 26–27, 7–16.
<https://doi.org/10.1016/j.cosust.2016.12.006>
- Perdomo López, M. (2007). El problema ambiental: hacia una interacción de las ciencias naturales y sociales. *Revista Iberoamericana de Educación*, 44(3), 1–11.
- Plumwood, V. (2014). Nature as Agency and the Prospects for a Progressive Naturalism. In *Capitalism Nature Socialism* (Vol. 12).
<https://doi.org/10.1080/104557501101245225>
- Porta, J., López, M., & Roquero, C. (1994). Edafología para la agricultura y el medio ambiente. *Ambiente, EDAFOLOGÍA Para La Agricultura y El Medio*, 591–626.
 Retrieved from <http://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/123456789/14463>
- Portuguez M, D. M. (2015). Estimación de la pérdida de suelos por erosión hídrica en la Cuenca del Río Sigüas utilizando Geoinformática. *Anales Científicos*, 76(2), 324.
<https://doi.org/10.21704/ac.v76i2.797>
- Quétier, F., Tapella, E., Conti, G., Cáceres, D., & Díaz, S. (2007). Servicios ecosistémicos y actores sociales. Aspectos conceptuales y metodológicos para un estudio interdisciplinario. *Gaceta Ecológica*, 84(85), 17–26. <https://doi.org/14052849>
- Quijas, S., Schmid, B., & Balvanera, P. (2010). Plant diversity enhances provision of ecosystem services: A new synthesis. *Basic and Applied Ecology*, 11(7), 582–593.
<https://doi.org/10.1016/j.baae.2010.06.009>
- Ramírez Marcial, N., González Espinoza, M., Musálem Castillejos, K., Noguera Savelli, E., & Gómez Pineda, E. (2014). Estrategias para una construcción social de la restauración forestal en comunidades de la cuenca media y alta del río Grijalva. *Montañas, Pueblos y Agua. Dimensiones y Realidades de La Cuenca Grijalva*, (August 2016), 518–554.
- Rincon, M. E. (2017). El Origen Del Concepto Ecosistema. *Revista Bio-Grafía Escritos Sobre La Biología y Su Enseñanza*, 342.

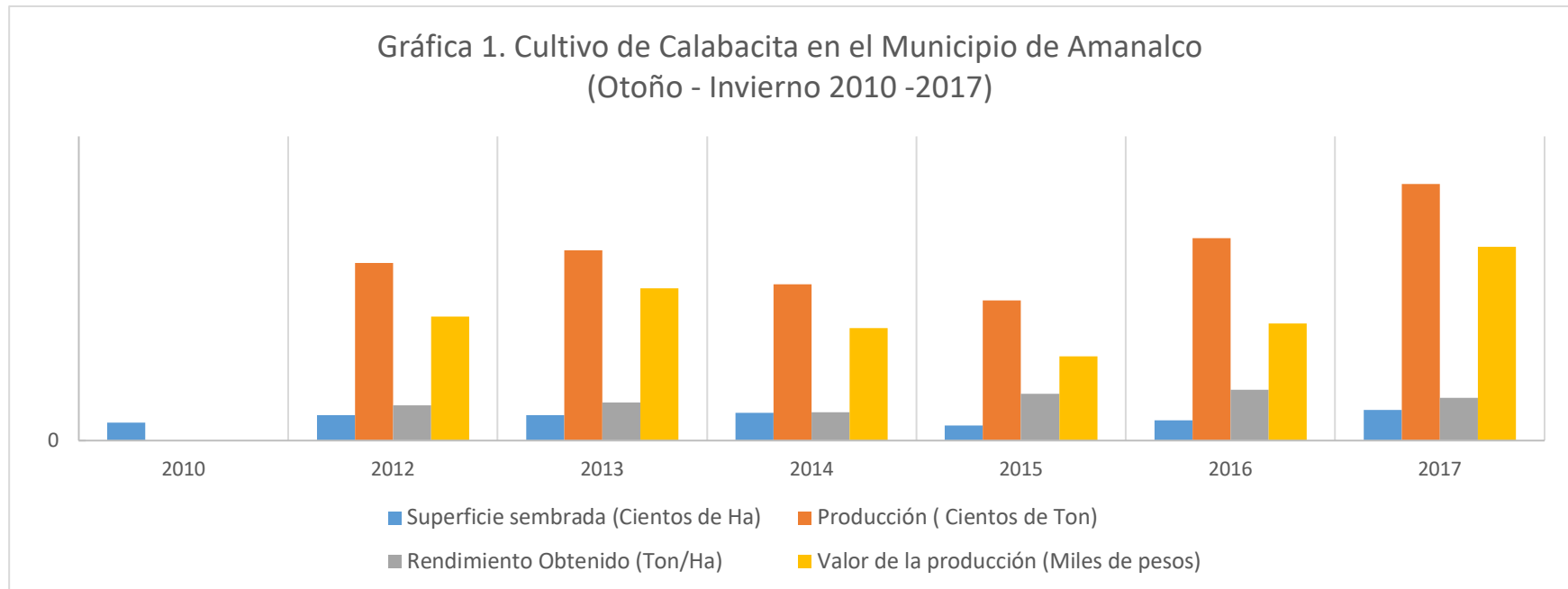
<https://doi.org/10.17227/20271034.vol.0num.0bio-grafia342.350>

- Rodríguez, J. P., Beard Jr, T. D., Bennett, E. M., Cumming, G. S., Cork, S. J., Agard, J., ... Peterson, G. D. (2006). Trade-offs across space, time, and ecosystem services. *Ecology and Society*, 11(1). <https://doi.org/10.5751/ES-01667-110128>
- Rodríguez Martínez, F. (2008). Georges bertrand en tránsito por el paisaje. *Cuadernos Geograficos*, (43), 361–366.
- Sánchez-Hernández, R., De Dios Mendoza-Palacios, J., De la Cruz Reyes, J. C., Mendoza Martínez, J. E., & Ramos-Reyes, R. (2013). Mapa de Erosión potencial en la cuenca baja Grijalva-Usumacinta mediante el uso de SIG. *Universidad y Ciencia*, 29(2), 153–161. Retrieved from www.universidadyciencia.ujat.mx
- Santos Martín, F., & Montes, C. (2013). La evaluación de los ecosistemas del milenio en España: del equilibrio entre la conservación y el desarrollo de la conservación para el bienestar humano. *Revista Eubacteria, Laboratori*(April 2013), 1–8.
- Secretaría de Ecología. (2003a, October 30). Ordenamiento Ecológico Cuenca Valle De Bravo-Amanalco Modelo De Ordenamiento Ecológico. *Gobierno Del Estado*.
- Secretaría de Ecología. (2003b, October 30). Programa de Ordenamiento Ecológico Regional de la Subcuenca de Valle de Bravo-Amanalco. *Gaceta Del Gobierno*, p. 124.
- SEMARNAT. (2006). *La Gestión Ambiental en México*. México.
- Semmartin, M., Di Bella, C., Grimoldi, A., & Oesterheld, M. (1993). Aplicación de la teoría ecológica a la solución de problemas agronómicos. *Ecología Austral*, 3(1), 57–66.
- Straccia, P. H., & Pizarro, C. A. (2019). Political ecology: Contributions from the sociology and the anthropology. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 16(84). <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cdr16-84.epas>
- Tetreault, D. (2004). Una taxonomía desarrollo sustentable. *Espiral, Estudios Sobre Estado y Sociedad*, 10(29).
- Tribak, A., Baena-Escudero, R., Guerrero-Amador, I. C., Amhani, Z., Abahrour, M., El Garouani, A., & Arari, K. (2021). Evaluación de los usos del suelo y la erosión hídrica en la subcuenca hidrográfica montañosa del Oued Ourtza (Pre-Rif Oriental, Marruecos). *Investigaciones Geograficas*, 2021(76), 309–326.

- <https://doi.org/10.14198/INGEO.18851>
- Tseganeh, G., & Arega, M. (2021). Assessment of soil erosion rate and hotspot areas using RUSLE and multi-criteria evaluation technique at Jedeb watershed, Upper Blue Nile, Amhara Region, Ethiopia. *Environmental Challenges*, 4(February), 100174. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100174>
- Urquijo Torres, P. S., & Barrera Bassols, N. (2009). Historia y paisaje. Explorando un concepto geográfico monista. *Andamios*, 5(10), 227–252.
- Van Remortel, R. D., Hamilton, M. E., & Hickey, R. J. (2001). Estimating the LS factor for RUSLE through iterative slope length processing of digital elevation data within arcInfo grid. *Cartography*, 30(1), 27–35. <https://doi.org/10.1080/00690805.2001.9714133>
- Vargas, G. (2012). Espacio y territorio en el análisis Geográfico. *Reflexiones*, 91, núm. 1(1021–1209), 313–326.
- Vargas Ulate, G. (2001). La Geografía y el Análisis del Medio Natural. *Reflexiones*, 80(1).
- Velázquez, A., Bocco, G., & Siebe, C. (2014). Cambio de uso del suelo. *Red Temática de CONACYT Sobre Medio Ambiente y Sustentabilidad*, (January). Retrieved from http://www.wikiensuma.mx/contenido/Cambio_de_uso_del_suelo
- Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., Lorenzo-Lacruz, J., Camarero, J. J., López-Moreno, J. I., Azorin-Molina, C., ... Sanchez-Lorenzo, A. (2012). Performance of drought indices for ecological, agricultural, and hydrological applications. *Earth Interactions*, 16(10), 1–27. <https://doi.org/10.1175/2012EI000434.1>
- Von Bertalanffy, L. (1976). Teoría general de los sistemas. In *Teoría General de Sistemas: fundamentos, desarrollo y aplicaciones*.
- Von Bertalanffy, L. (1989). Teoría general de los sistemas: Fundamentos, Desarrollo, Aplicaciones; General System Theory: Foundations, Development, Applications. *Teoría General de Los Sistemas: Fundamentos, Desarrollo, Aplicaciones*, p. 336. Retrieved from <https://archivosociologico.files.wordpress.com/2010/08/teoria-general-de-los-sistemas-ludwig-von-bertalanffy.pdf>
- Waas, T., Hugé, J., Verbruggen, A., & Wright, T. (2011). Sustainable development: A bird's eye view. *Sustainability*, 3(10), 1637–1661. <https://doi.org/10.3390/su3101637>
- Wang, C., Shan, L., Liu, X., Yang, Q., Cruse, R. M., Liu, B., ... Pang, G. (2020). Impacts

- of horizontal resolution and downscaling on the USLE LS factor for different terrains. *International Soil and Water Conservation Research*, 8(4), 363–372.
<https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2020.08.001>
- WCED. (1987). Our Common Future. In *World Commission on Environment and Development*. United State. Retrieved from
<http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Informe+de+la+comision+mundial+sobre+el+medio+ambiente+y+el+desarrollo.+nuestro+futuro+comun#5>
- Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning. In *U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook* (USDA/Scien). Washington, D.C. 20402: U.S. Department of Agriculture.
- Wu, C.-F., Lin, Y.-P., Chiang, L.-C., & Huang, T. (2014). Assessing highway's impacts on landscape patterns and ecosystem services: A case study in Puli Township, Taiwan. *Landscape and Urban Planning*, 128, 60–71.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.04.020>
- Wunder, S., Wertz-Kanounnikoff, S., & Moreno-Sánchez, R. (2007). Pago por servicios ambientales: una nueva forma de conservar la biodiversidad. *Gaceta Ecológica*, 84–85, 39–52. <https://doi.org/10.1016/j.jcp.2010.12.013>
- Zianis, D., & Mencuccini, M. (2007). Aboveground biomass relationships for beech (*Fagus moesiaca* Cz.) trees in Vermio Mountain, Northern Greece, and generalised equations for *Fagus* sp. *Annals of Forest Science*, 64, 219–228.
<https://doi.org/10.1051/forest>

Anexo 1.- Producción agrícola por cultivo
Cultivos del municipio de Amanalco ciclo otoño - invierno.

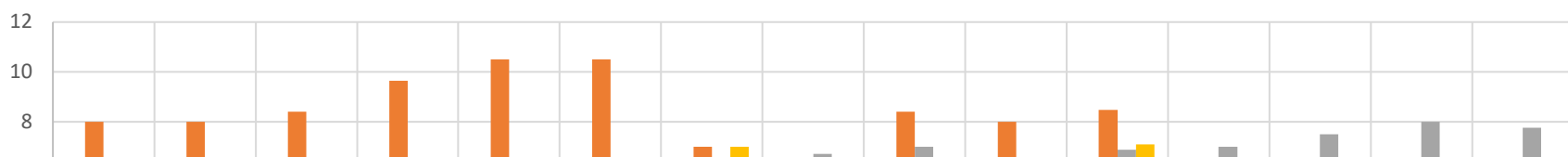


En la gráfica 1 se presenta el cultivo de calabacita en el Municipio de Amanalco para el periodo 2010 – 2017, es un cultivo de otoño - invierno y se observa que a partir del año 2012 la producción ha sido continua y creciente, con una disminución en 2014 y 2015; consecuentemente el valor de la producción sigue el mismo comportamiento, y al igual que la producción fue mayor en 2017. La superficie sembrada muestra un comportamiento similar a la producción y su valor. Los mayores rendimientos se obtuvieron en los años 2015 y 2016. En años previos a 2010 no se cuenta con registros sobre el cultivo de calabacita.

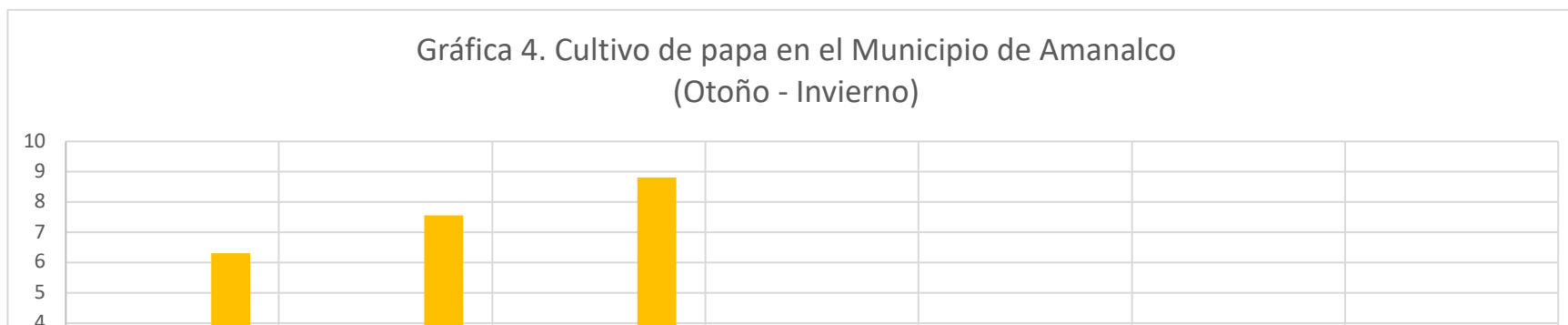


En la gráfica 2 se presenta el cultivo de haba verde en el Municipio de Amanalco 2003 – 2017. Este es un cultivo de otoño - invierno y su producción ha sido continua durante los 15 años analizados, alcanzó su mayor valor en el año 2009 seguido de 2008 y 2011. El valor de la producción fue mayor en los años 2013 y 2017 seguido de los años 2009, 2011 y 2015. La superficie sembrada no presenta grandes variaciones, pero disminuyó en los años 2014 y 2016; respecto al rendimiento obtenido en el cultivo de haba verde el mayor valor se observa en el año 2009 seguido de los años 2011 y 2017. Es evidente que el rendimiento en los últimos 9 años es mayor que en los años anteriores.

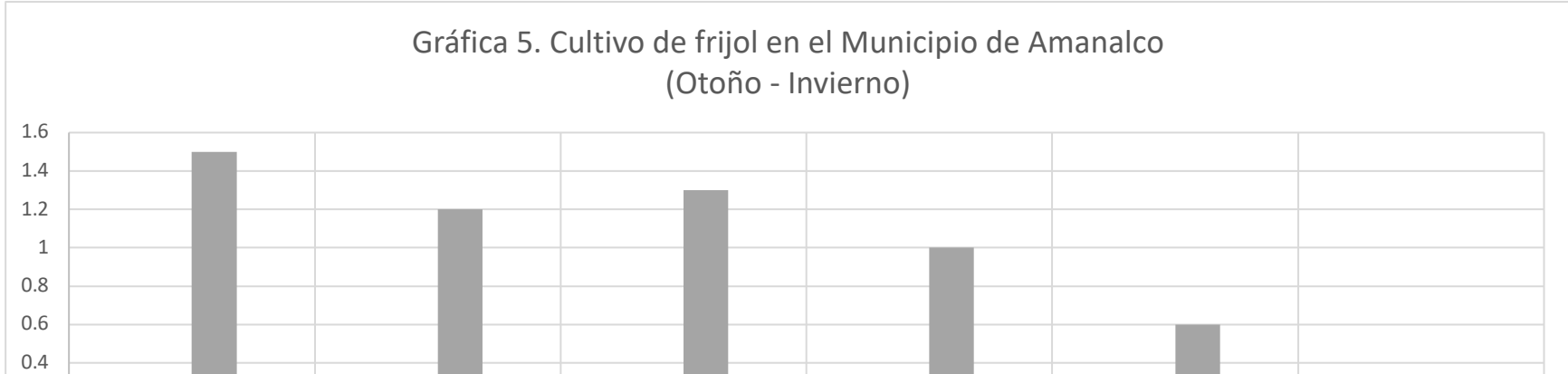
Gráfica 3. Cultivo de chícharo en el Municipio de Amanalco (Otoño - Invierno)



En la gráfica 3 se presenta el cultivo de chícharo en el Municipio de Amanalco 2003 – 2017. Este es un cultivo de otoño - invierno y su producción ha sido continua durante los 15 años analizados; alcanzando su mayor valor en los años 2007 y 2008, seguido de 2006 y 2013; registrando su menor producción para el año 2015; el valor de la producción muestra sus mayores valores en los años 2013 y 2009 seguido de los años 2011 y 2012 y muestra un menor valor de la producción en los últimos cuatro años analizados. La superficie sembrada muestra su mayor valor en los años 2004 seguido de los años 2005, 2007 y 2008, consecuentemente presenta una tendencia a la baja con base al periodo de estudio; respecto al rendimiento obtenido en el cultivo de chícharo el mayor valor se observa en el año 2016 y 2017 seguido de los años 2015 y 2011 mostrando una tendencia al aumento en el rendimiento en el periodo de estudio.

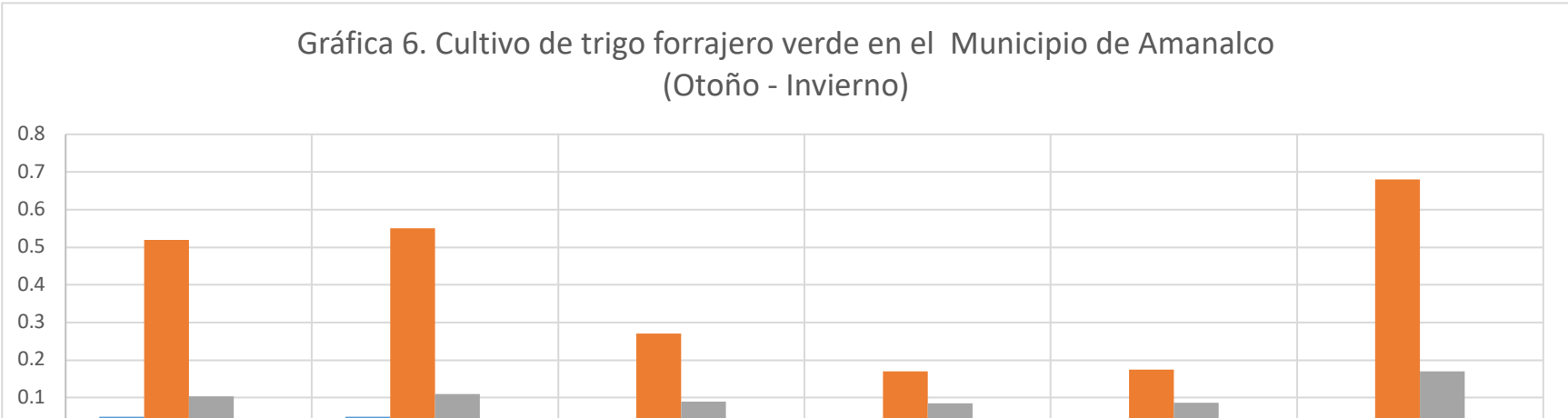


En la gráfica 4 se presentan los datos del cultivo de papa en el Municipio de Amanalco, para el ciclo de cultivo otoño -invierno. Su producción fue continua del año 2003 al 2006, alcanzó su mayor valor en el año 2005, seguido del año 2003 y su menor valor de producción se presentó en el año 2009. El valor de la producción fue mayor en el año 2005 seguido de los años 2004 y 2003. La superficie sembrada muestra su mayor valor en el año 2005 seguido del año 2003; en cuanto al rendimiento el cultivo de papa fue mayor para el año 2005. De los años 2007, 2008, 2011 al 2015 y 2017 no se cuenta con registros del cultivo.



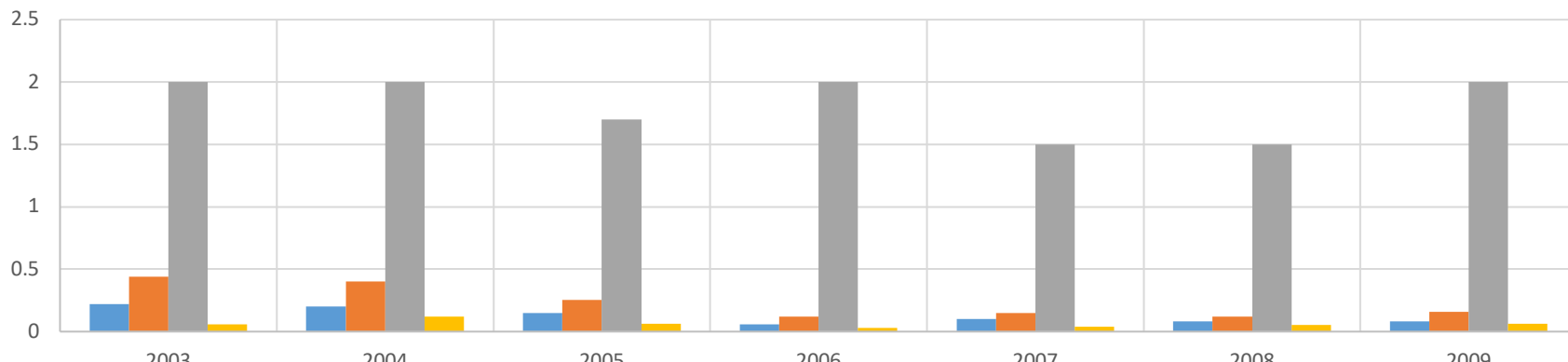
En la gráfica 5 se presenta el cultivo de frijol en el Municipio de Amanalco 2003 – 2010. Este es un cultivo de otoño - invierno y su producción fue constante del año 2004 al 2008, posterior a este periodo no se cuenta con registros de este cultivo, la producción y el valor de la producción alcanzó su mayor valor en los años 2005 y 2004. La superficie sembrada fue mayor en el año 2005; respecto al rendimiento su mayor valor fue en el año 2004, mostrando una tendencia a la disminución para los siguientes años analizados.

Gráfica 6. Cultivo de trigo forrajero verde en el Municipio de Amanalco (Otoño - Invierno)



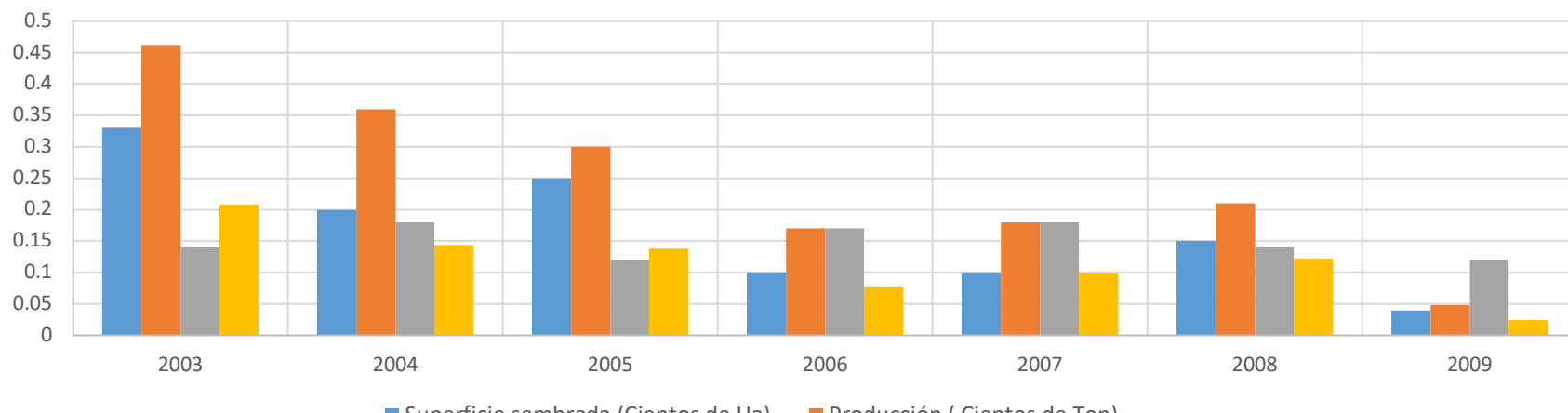
En la gráfica 6 se presenta el cultivo de trigo forrajero en el Municipio de Amanalco 2010 – 2016. Este es un cultivo de otoño - invierno y su producción fue continua durante 6 años del periodo analizado, alcanzó su mayor valor en el año 2016 seguido de los años 2011 y 2010, registrando su menor producción para el año 2013. El valor de la producción muestra sus mayores valores en los años 2011 y 2016, el menor valor de la producción se observa en los años 2013 y 2014. La superficie sembrada fue mayor en los años 2010 y 2011 y presentó una disminución en los años 2012 al 2014; respecto al rendimiento obtenido en el cultivo el mayor valor se observa en el año 2016 seguido de los años 2011 y 2010. Con años previos a este periodo analizado no se cuenta con registros del cultivo de trigo forrajero.

Gráfica 7. Cultivo de trigo de grano en el Municipio de Amanalco (Otoño - Invierno)



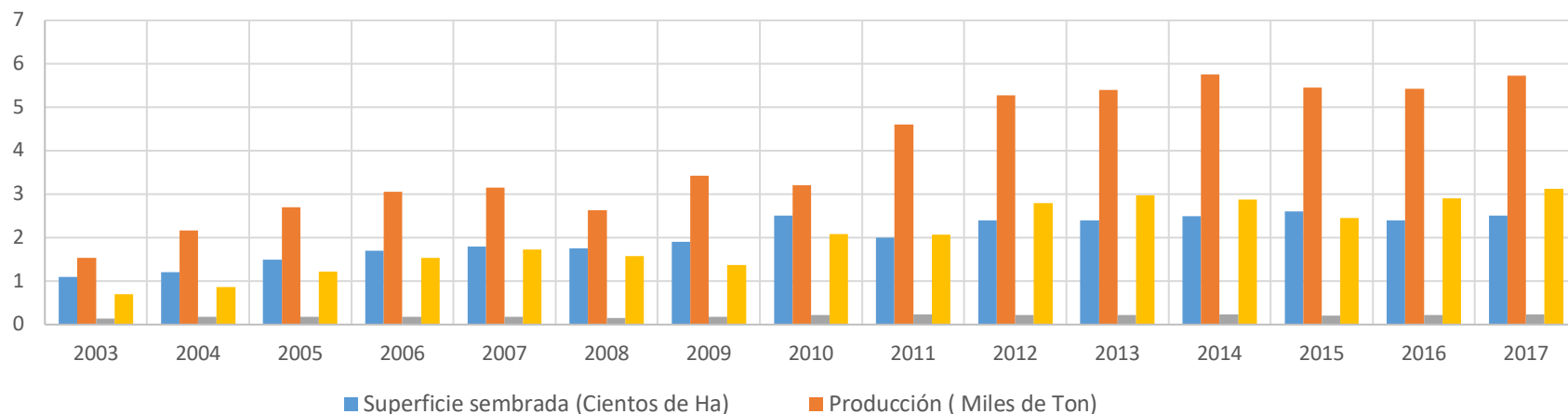
En la gráfica 7 se presenta el cultivo de trigo de grano en el Municipio de Amanalco 2003 – 2009. El ciclo del cultivo es de otoño - invierno y su producción fue continua del año 2003 al 2009 y alcanzó su mayor registro en el año 2003 seguido de los años 2004 y 2005, mostrando una tendencia a la disminución para los siguientes años analizados. El valor de la producción muestra su mayor valor en el año 2004 y su menor valor para el año 2006. La superficie sembrada fue mayor en el año 2003 seguido del 2004, esta variable presentó una disminución en los últimos cuatro años analizados; respecto al rendimiento obtenido en el cultivo alcanzó sus mayores valores en los años 2003, 2004, 2006 y 2009, registrando su menor rendimiento para los años 2007 y 2008. Con datos posteriores a este periodo analizado no se cuenta con registros del cultivo de trigo de grano.

Gráfica 8. Cultivo de cebada forrajera en verde en el Municipio de Amanalco (Otoño - Invierno)



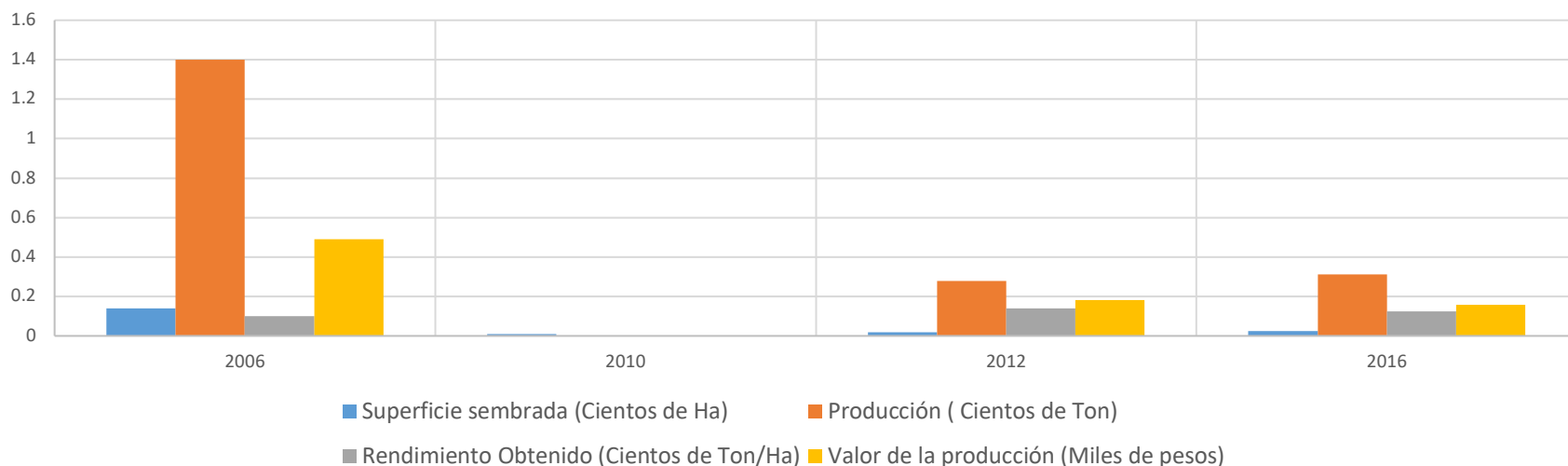
En la gráfica 8 se presenta el cultivo de cebada forrajera en el Municipio de Amanalco 2003 - 2009. El ciclo del cultivo es otoño – invierno la producción se llevó a cabo a partir de 2003 al 2009 con una clara tendencia a la disminución en todas las variables analizadas, en el año 2003 el cultivo de cebada forrajera tuvo la mejor producción seguido de los años 2004 y 2005; el valor de la producción muestra que los valores siguen el mismo comportamiento que el de la producción su mayor valor se presentó en el año 2003 seguido de los años 2004, 2005 y 2008. La superficie sembrada fue mayor en el año 2003 seguida del año 2005, respecto al rendimiento fue mayor en el año 2004 seguido de los años 2006 y 2007. Con años posteriores a este periodo analizado no se cuenta con registros del cultivo.

Gráfica 9. Cultivo de avena forrajera en verde en el Municipio de Amanalco (Otoño - Invierno)



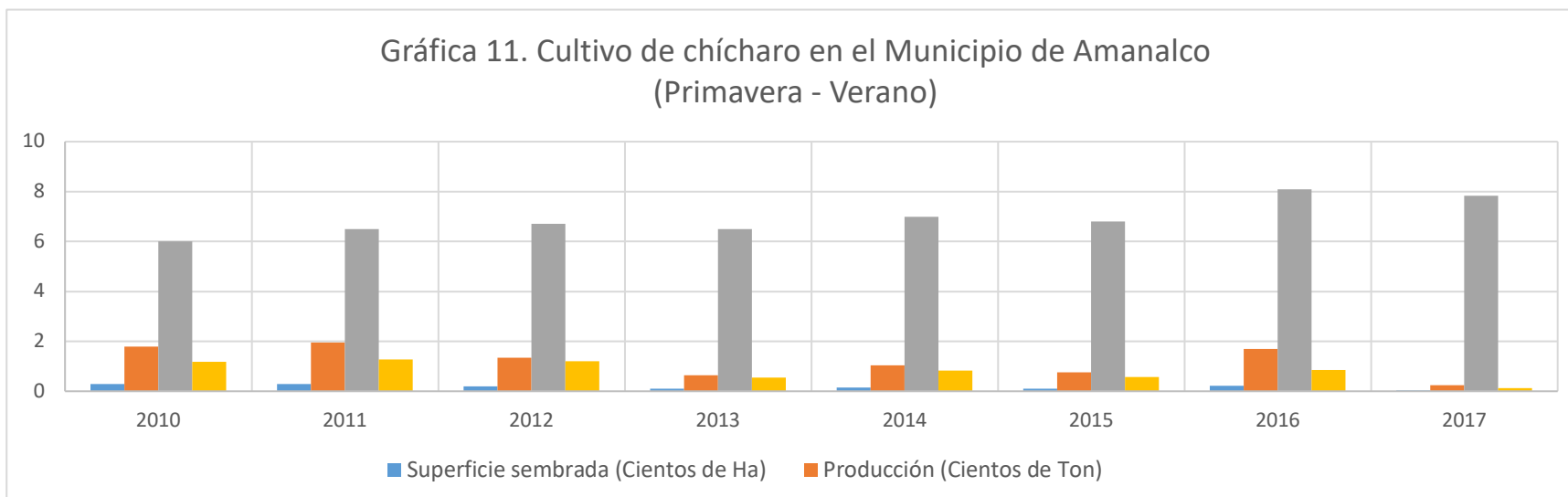
En la gráfica 9 se presenta el cultivo de avena forrajera en verde en el Municipio de Amanalco 2003 - 2017. El ciclo del cultivo es otoño – invierno, la producción fue continua y creciente en el periodo analizado y presentó su mayor valor en el año 2014 seguido del año 2017; el valor de la producción fue mayor en el año 2017 seguido del año 2013, el comportamiento fue similar al de la producción. La superficie sembrada fue mayor en el año 2015 seguido de los años 2010 y 2017, respecto al rendimiento fue mayor en los años 2011 y 2013.

Gráfica 10. Cultivo de tomate verde en el Municipio de Amanalco (Otoño - Invierno)



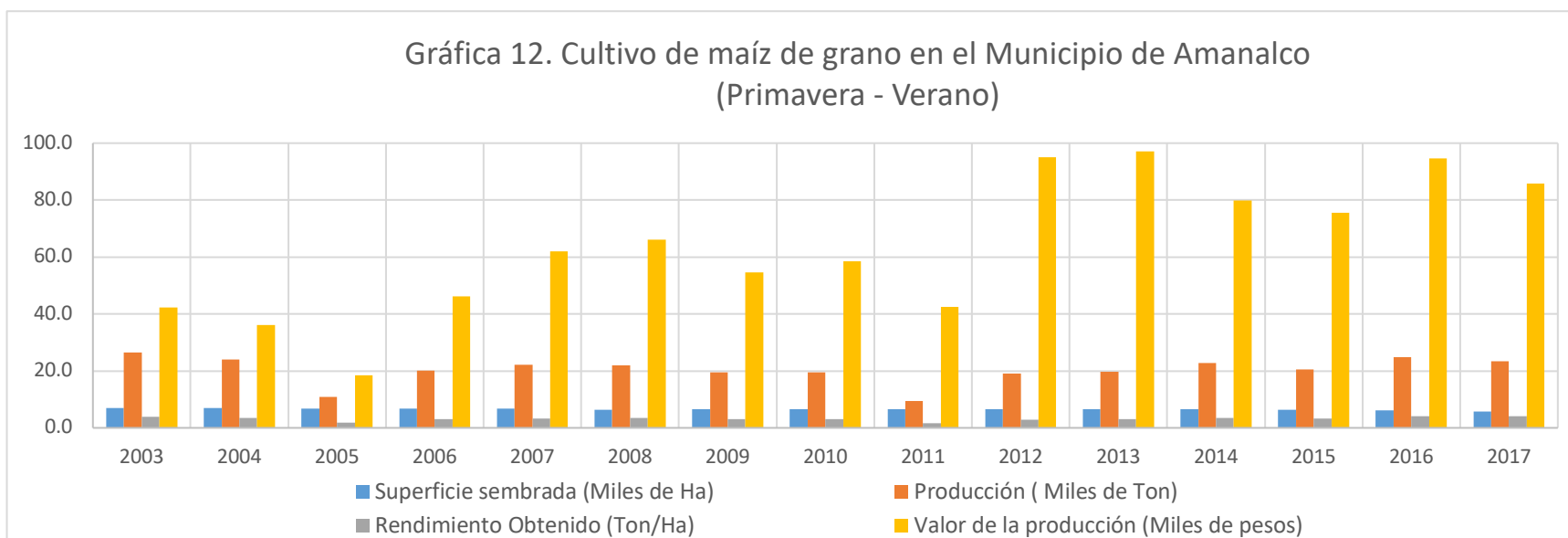
En la gráfica 10 se presenta el cultivo de tomate verde en el Municipio de Amanalco. El ciclo del cultivo es otoño – invierno, la producción, el valor de su producción y la superficie sembrada fue mayor en el año 2006; respecto al rendimiento fue mayor en el año 2012 y 2016. El cultivo de tomate verde presentó una tendencia de disminución para los últimos años analizados y sólo se cuenta con registro de los cuatro años presentados.

Cultivos del municipio de Amanalco ciclo primavera – verano.



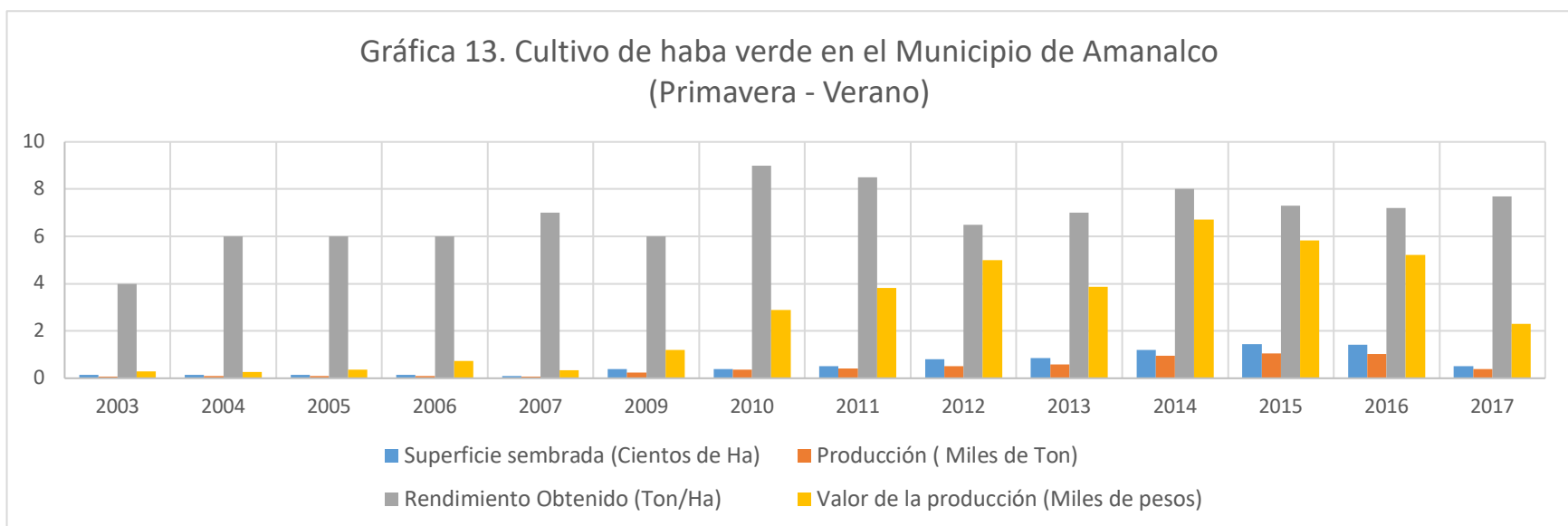
En la gráfica 11 se presenta el cultivo de chícharo en el Municipio de Amanalco 2010 - 2017. En el ciclo del cultivo primavera – verano, la producción fue constante ocho años a partir del 2010 y alcanzando su mayor producción en el 2011 y 2016; el valor de la producción fue mayor en el 2011 y 2012. La superficie sembrada fue mayor en el año 2010 y 2011 mostrando una clara disminución en los últimos seis años del periodo analizado; el rendimiento mostró un aumento de esta variable para los años 2016 y 2017. Con años previos a este periodo analizado no se cuenta con registros del cultivo.

Gráfica 12. Cultivo de maíz de grano en el Municipio de Amanalco (Primavera - Verano)

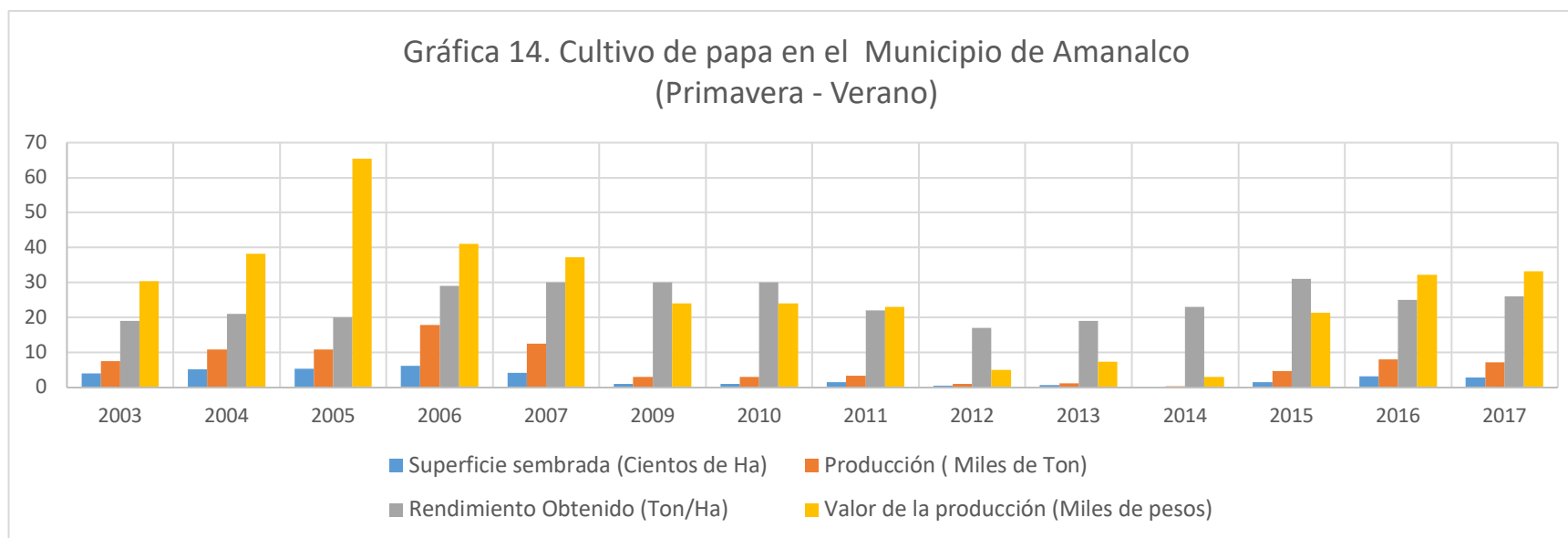


En la gráfica 12 se presenta el cultivo de maíz de grano en el Municipio de Amanalco 2003 - 2017. En el ciclo del cultivo primavera – verano, se observa que la producción ha sido continua con una tendencia irregular teniendo sus mayores valores en el año 2003 y 2016; el valor de la producción fue mejor en el año 2013 seguido del 2012 y 2016, cabe mencionar que el valor de la producción fue mayor en los últimos cinco años. La superficie sembrada fue mayor en el 2003 y 2004; el rendimiento fue mayor en el año 2017 y 2016 seguido del año 2003.

Gráfica 13. Cultivo de haba verde en el Municipio de Amanalco (Primavera - Verano)

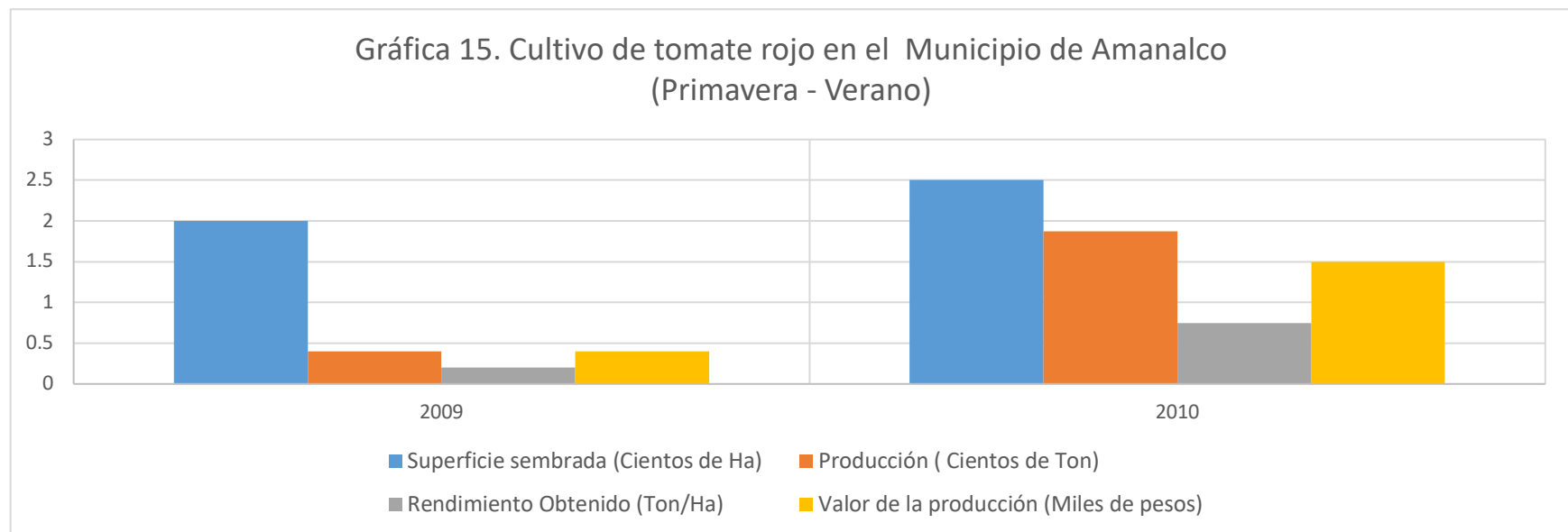


En la gráfica 13 se presenta el cultivo de haba verde en el Municipio de Amanalco 2003 - 2017. En el ciclo del cultivo primavera – verano, la producción fue continua y creciente siendo mayor en el año 2015 seguido del 2016 y 2014; el valor de la producción fue mayor en el año 2014 seguido del 2015 y 2016, se observó un aumento de esta variable en los últimos nueve años del periodo analizado; el rendimiento muestra un a tendencia irregular, siendo mayor en el año 2010 y 2011.

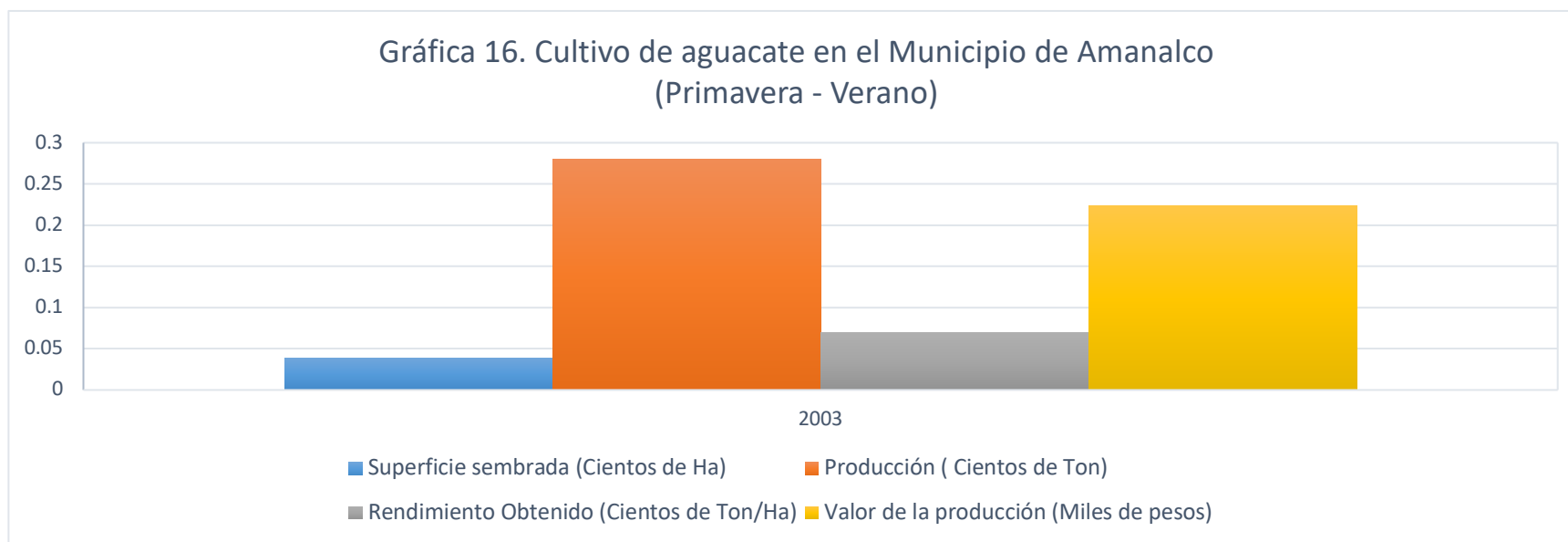


En la gráfica 14 se presentan los datos del cultivo de papa en el Municipio de Amanalco 2003 - 2017, para el ciclo de cultivo primavera – verano. Su producción fue mayor en el año 2006 seguido del año 2007 y 2005 y su menor producción se presentó en el año 2014; el valor de la producción fue mayor en el año 2005 seguido de los años 2006 y 2004. La superficie sembrada fue mayor en año 2006 seguido del año 2005; en cuanto al rendimiento el cultivo de papa fue mayor en el año 2015 seguido de los años 2007, 2009 y 2010. Del año 2008 no se cuenta con registro del cultivo de papa.

Gráfica 15. Cultivo de tomate rojo en el Municipio de Amanalco (Primavera - Verano)

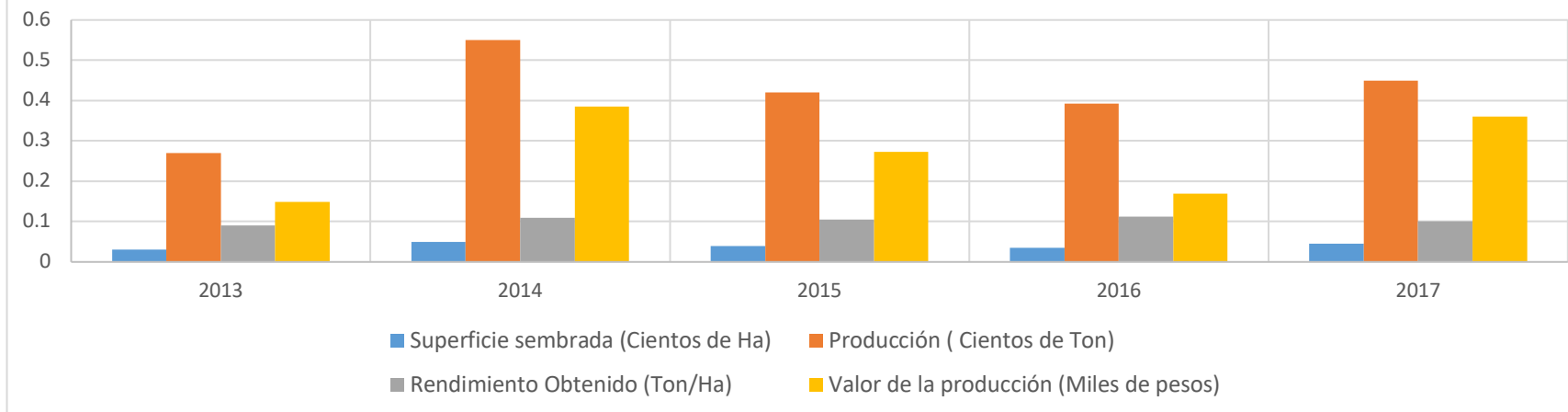


En la gráfica 15 se presentan los datos del cultivo de tomate rojo en el Municipio de Amanalco, para el ciclo de cultivo primavera – verano. La producción, el valor de la producción la superficie sembrada y el rendimiento fue mayor en el año 2010. El cultivo de tomate rojo en este ciclo de cultivo se llevó a cabo en los años 2009 y 2010 y con años previos y posteriores a este periodo analizado no se cuenta con registros.



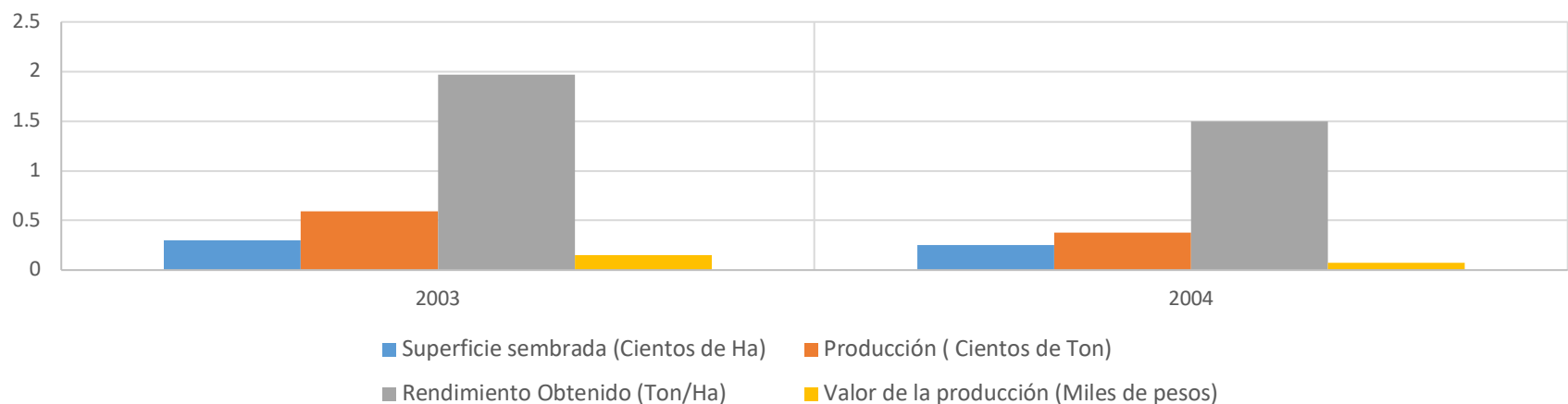
En la gráfica 16 se presentan los datos del cultivo de aguacate en el Municipio de Amanalco, para el ciclo de cultivo primavera – verano. La producción, el valor de la producción la superficie sembrada y el rendimiento en este ciclo de cultivo se llevó a cabo sólo en el año 2003 y con años posteriores a este año analizado no se cuenta con registros.

Gráfica 17. Cultivo de tomate verde en el Municipio de Amanalco (Primavera - Verano)



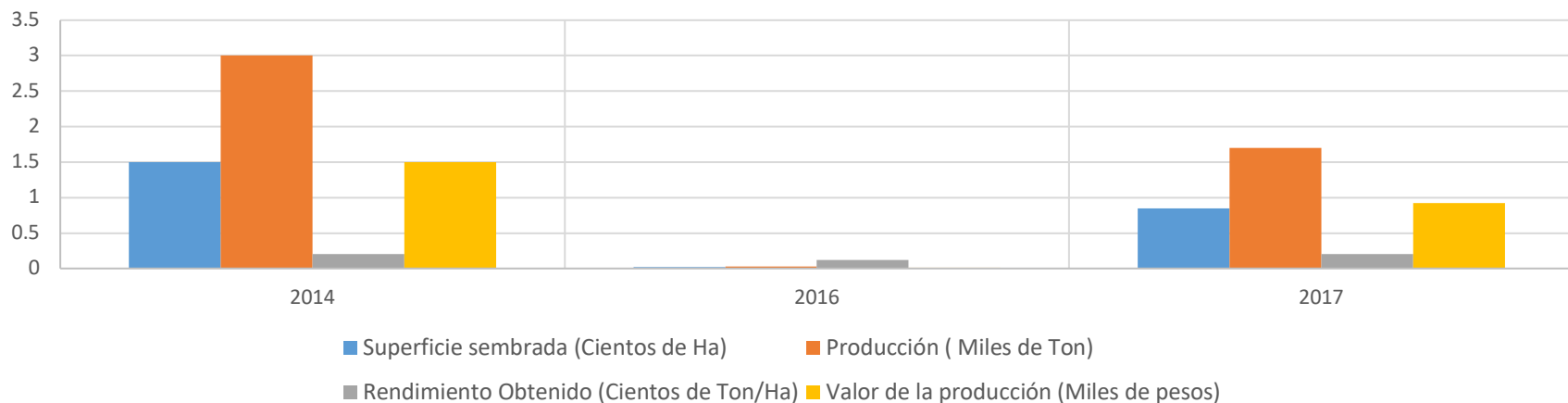
En la gráfica 17 se presentan los datos del cultivo de papa en el Municipio de Amanalco 2013 - 2017, para el ciclo de cultivo primavera – verano. La producción fue constante en este periodo analizado siendo mayor en el año 2014 y en 2017; el valor de la producción y la superficie sembrada muestran un comportamiento similar al de la producción y alcanzaron su mayor valor en los años 2014 y 2017; respecto al rendimiento fue mayor en el año 2016 seguido de los años 2014 y 2015. En años previos a 2013 no se cuenta con registros sobre el cultivo de tomate verde.

Gráfica 18. Cultivo de trigo de grano en el Municipio de Amanalco (Primavera - Verano)



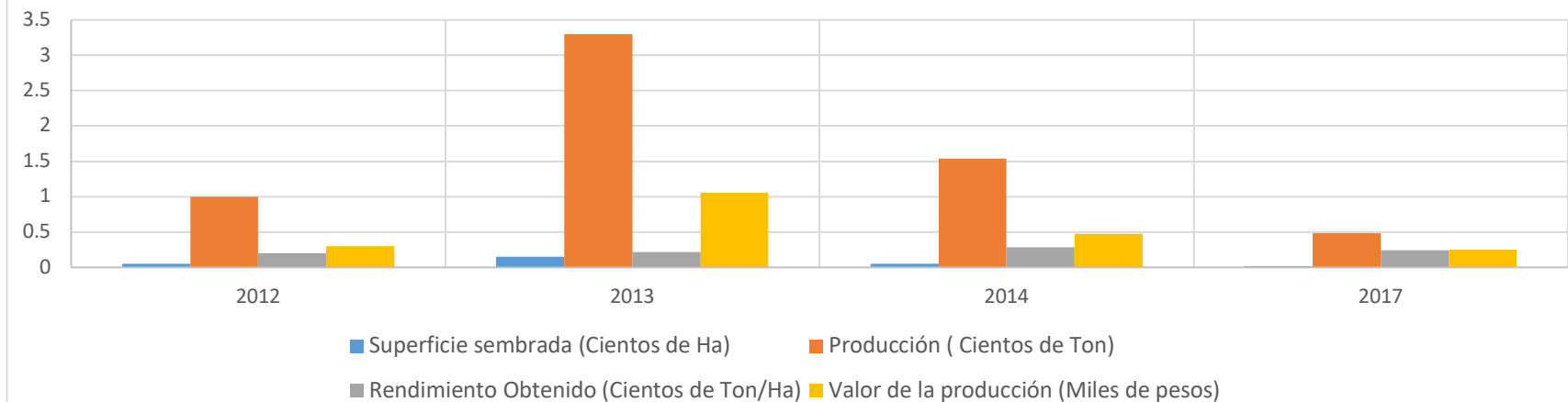
En la gráfica 18 se presentan los datos del cultivo de trigo de grano en el Municipio de Amanalco, para el ciclo de cultivo primavera – verano. La producción, el valor de la producción, la superficie sembrada y el rendimiento fue mayor en el año 2003. El cultivo de trigo de grano en este ciclo de cultivo se llevó a cabo en los años 2003 y 2004 y con años posteriores a este periodo analizado no se cuenta con registros.

Gráfica 19. Cultivo de triticale forrajero en verde Municipio de Amanalco (Primavera - Verano)

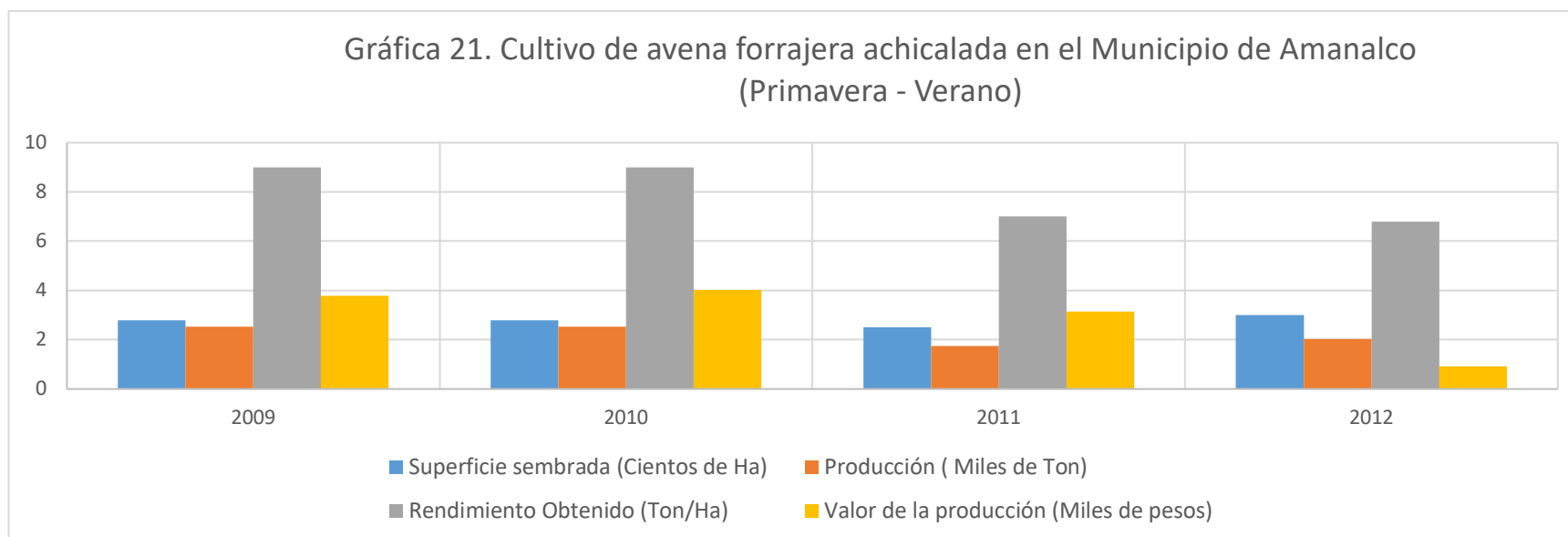


En la gráfica 19 se presentan los datos del cultivo de triticale forrajero en verde en el Municipio de Amanalco, para el ciclo de cultivo primavera – verano. La producción, el valor de la producción y la superficie sembrada fue mayor en el año 2014; respecto al rendimiento fue similar en el año 2014 y 2017. El cultivo de triticale forrajero en verde en este ciclo de cultivo se llevó a cabo en los años 2014, 2016 y 2017 y con años previos a este periodo analizado no se cuenta con registros.

Gráfica 20. Cultivo de zanahoria en el Municipio de Amanalco (Primavera - Verano)

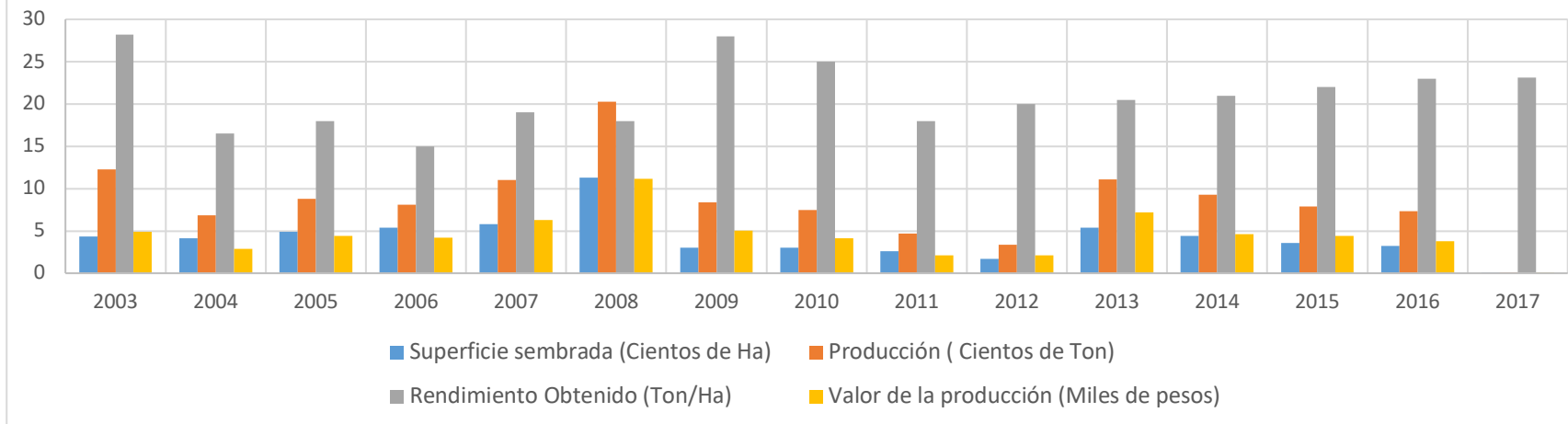


En la gráfica 20 se presentan los datos del cultivo de zanahoria en el Municipio de Amanalco, para el ciclo de cultivo primavera – verano. La producción, el valor de la producción y la superficie sembrada fue mayor en el año 2013; respecto al rendimiento fue mayor en los años 2014 y 2017. Con años previos a este periodo analizado y del 2015 y 2016 no se cuenta con registros del cultivo de zanahoria.



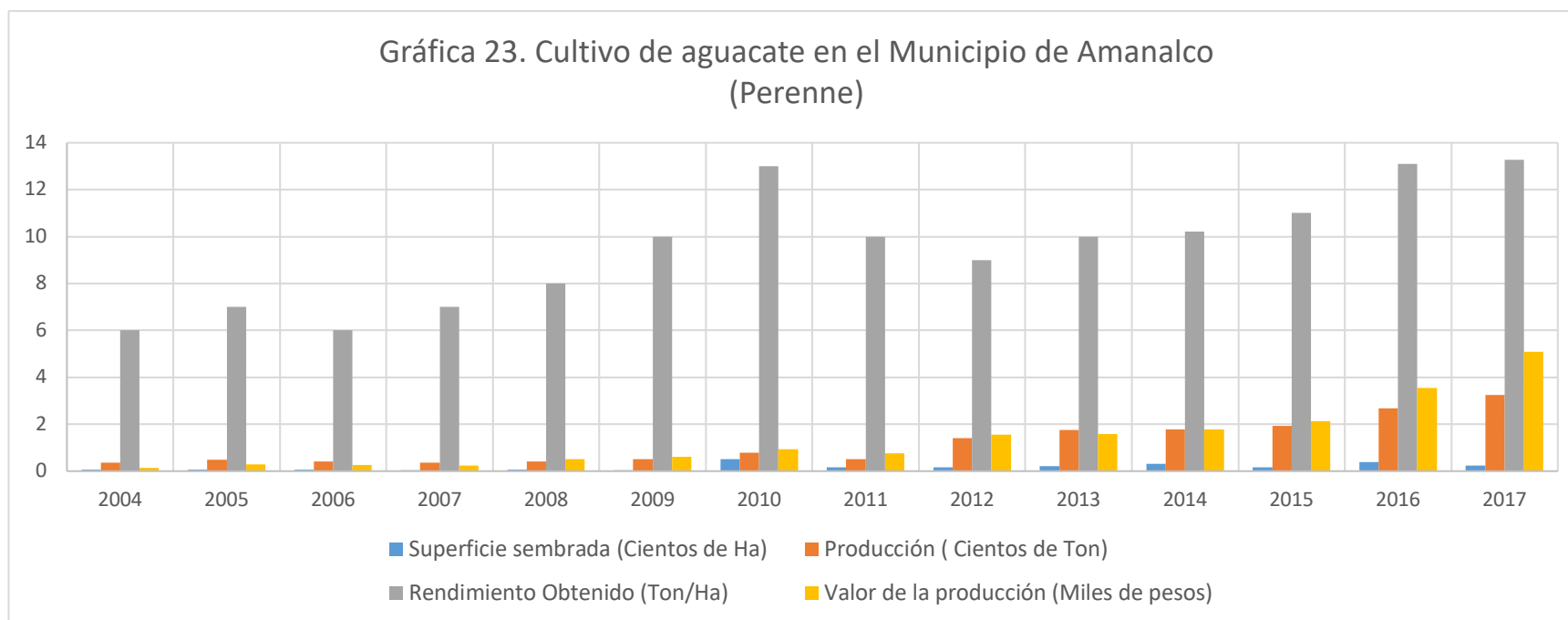
En la gráfica 21 se presentan los datos del cultivo de avena forrajera achicalada en el Municipio de Amanalco 2009 - 2012, para el ciclo de cultivo primavera – verano. La producción fue constante en este periodo analizado siendo mayor en los años 2009 y 2010; el valor de la producción muestra un comportamiento similar al de la producción y alcanzó su mayor valor en los años 2010 y 2009. La superficie sembrada fue mayor en el año 2012; respecto al rendimiento fue mayor y similar en los años 2009 y 2010. En años previos a 2009 y posteriores a 2012 no se cuenta con registros sobre el cultivo de avena forrajera achicalada.

Gráfica 22. Cultivo de avena forrajera en verde en el Municipio de Amanalco (Primavera - Verano)



En la gráfica 22 se presentan los datos del cultivo de avena forrajera en verde en el Municipio de Amanalco 2003 - 2017, para el ciclo de cultivo primavera – verano. Su producción fue constante en el periodo analizado y fue mayor en el año 2008 seguido de los años 2013, 2003 y 2007 y su menor producción se presentó en el año 2017; el valor de la producción y la superficie sembrada muestran un comportamiento similar al de la producción y fue mayor en el año 2008 seguido del año 2013. Respecto al rendimiento fue mayor en los años 2003 y 2009 seguido del 2010 y se observa una tendencia al aumento en esta variable a partir del año 2011.

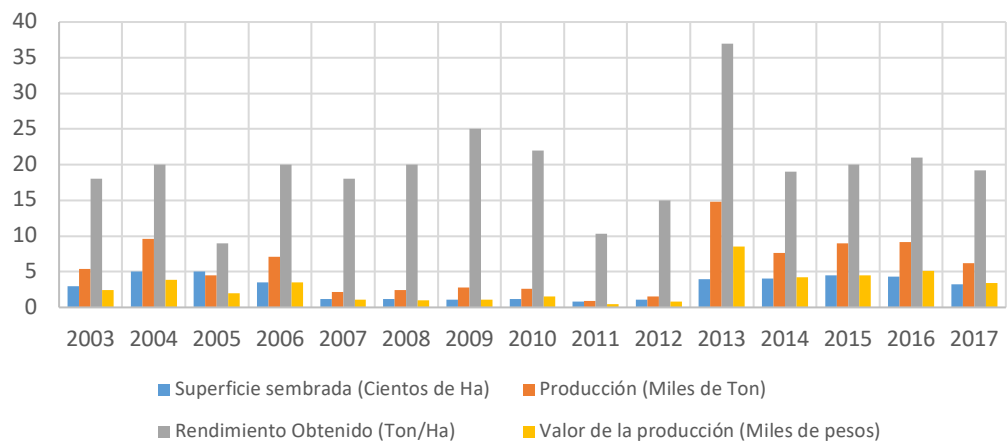
Cultivos del municipio de Amanalco ciclo perenne.



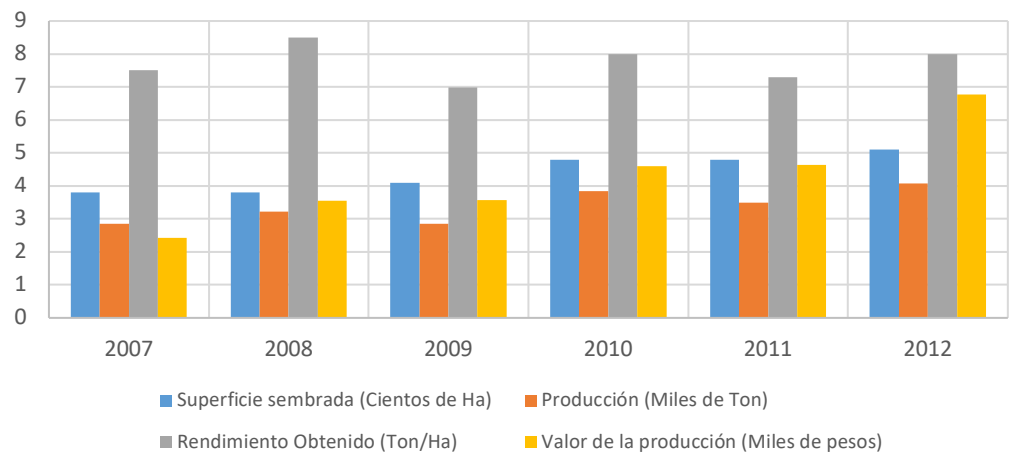
En la gráfica 23 se presentan los datos del cultivo de aguacate en el Municipio de Amanalco 2003 - 2017, es un cultivo perenne. Su producción fue constante en el periodo analizado y fue mayor en el año 2017; el valor de la producción muestra un comportamiento similar al de la producción y fue mayor en el año 2017. La superficie sembrada fue mayor en el año 2010 seguido del año 2016; respecto al rendimiento fue mayor en el 2017 seguido del 2016 y 2010. Es evidente la tendencia al aumento en las variables analizadas para el cultivo de aguacate.

Producción del municipio de Valle de Bravo en el ciclo agrícola Otoño Invierno

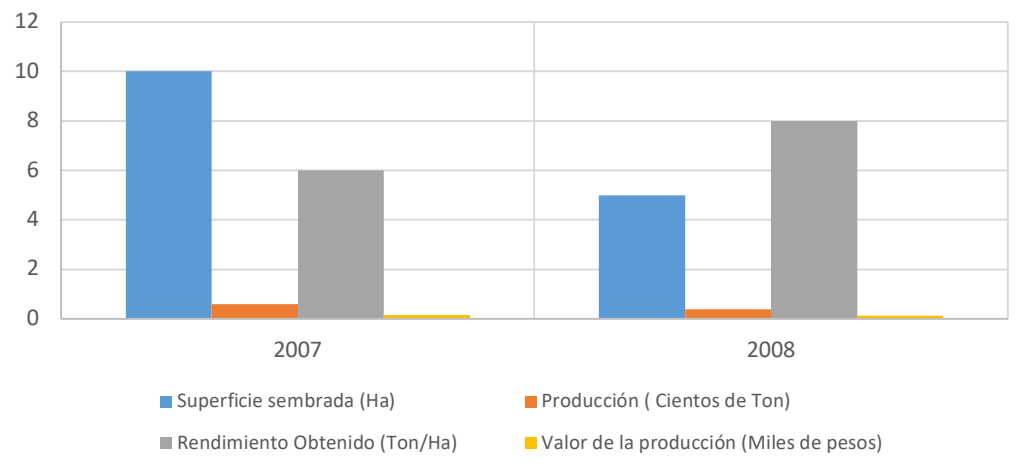
Cultivo de Avena forrajera en verde Municipio de Valle de Bravo
(Otoño - Invierno)



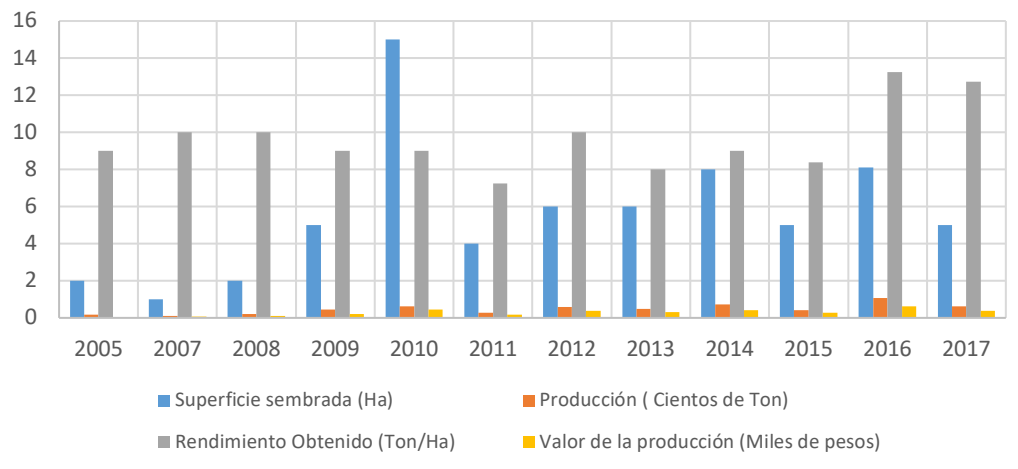
Cultivo de Avena forrajera seca Municipio de Valle de Bravo
(Otoño - Invierno)



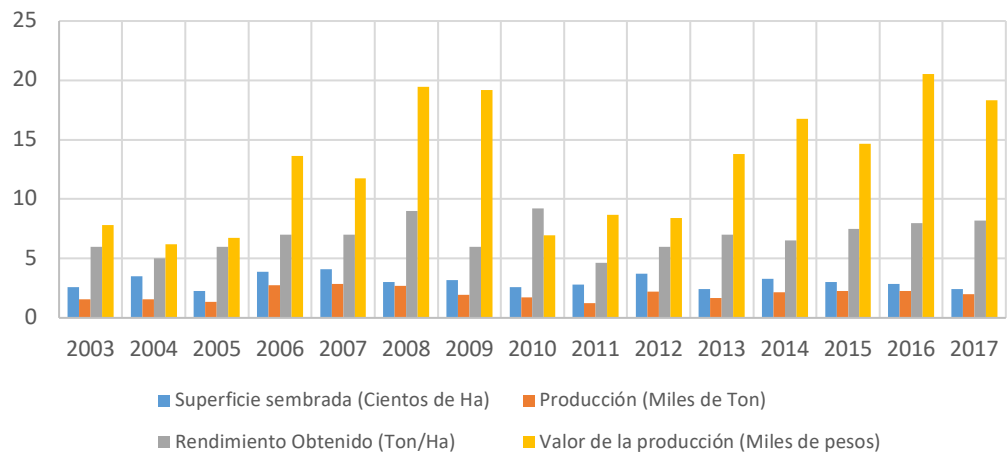
Cultivo de Brócoli Municipio de Valle de Bravo
(Otoño - Invierno)



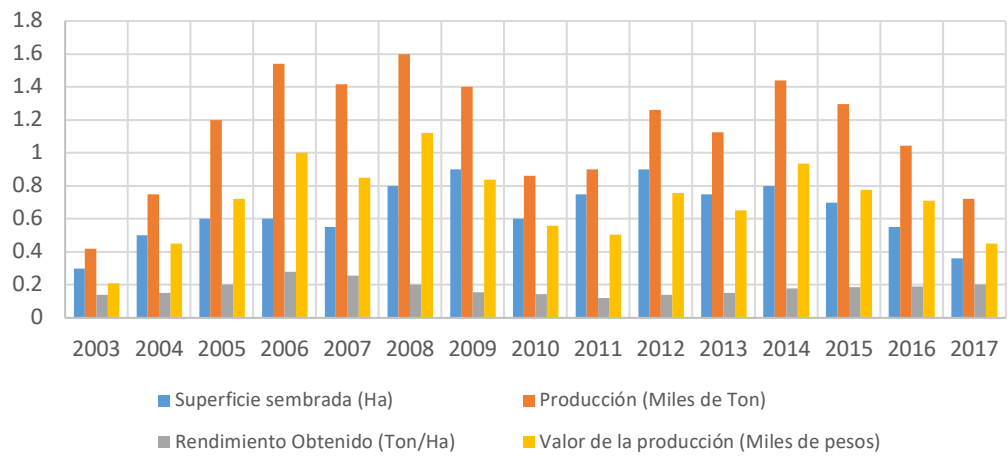
Cultivo de Calabacita Municipio de Valle de Bravo
(Otoño - Invierno)



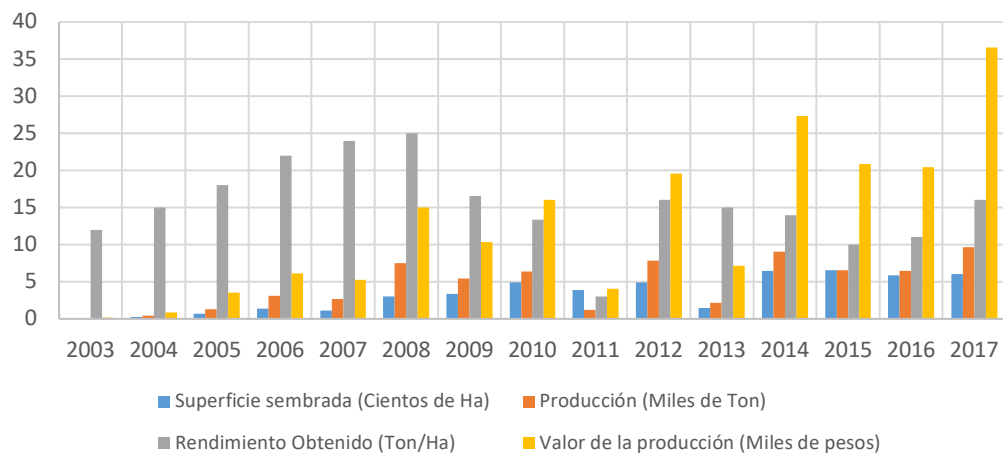
Cultivo de Chícharo Municipio de Valle de Bravo
(Otoño - Invierno)



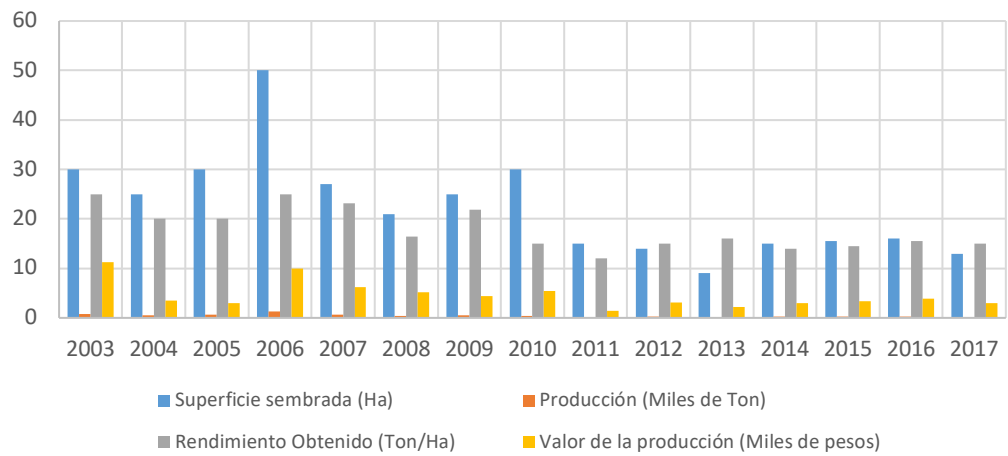
Cultivo de Ebo (janamargo o veza) Municipio de Valle de Bravo
(Otoño - Invierno)



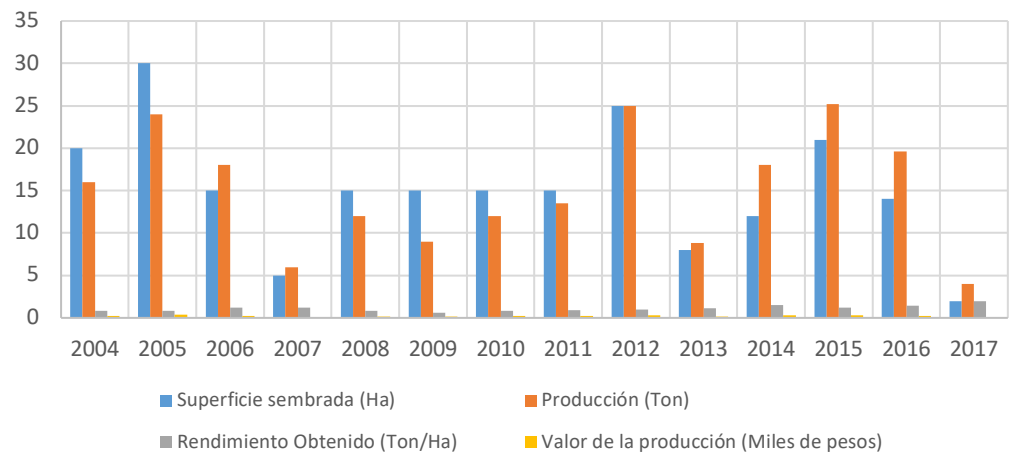
Cultivo de Elote Municipio de Valle de Bravo
(Otoño - Invierno)



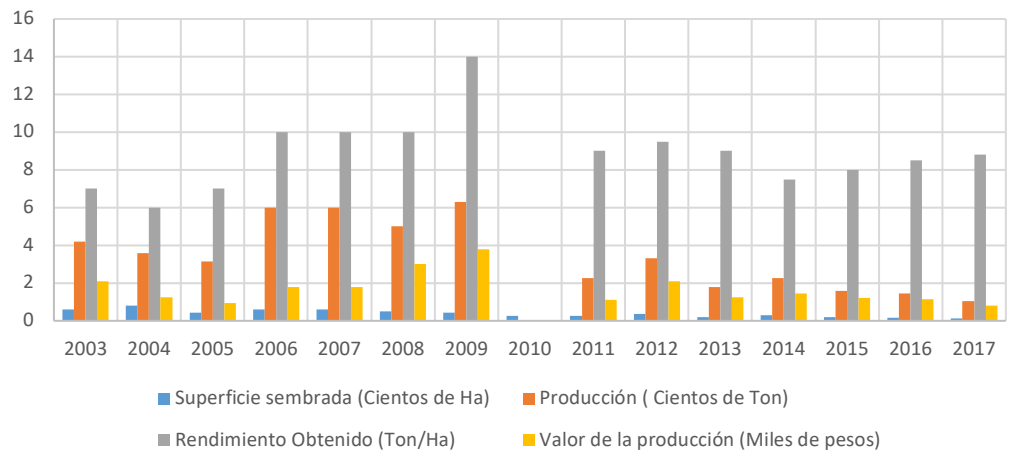
Cultivo de Fresa Municipio de Valle de Bravo
(Otoño - Invierno)



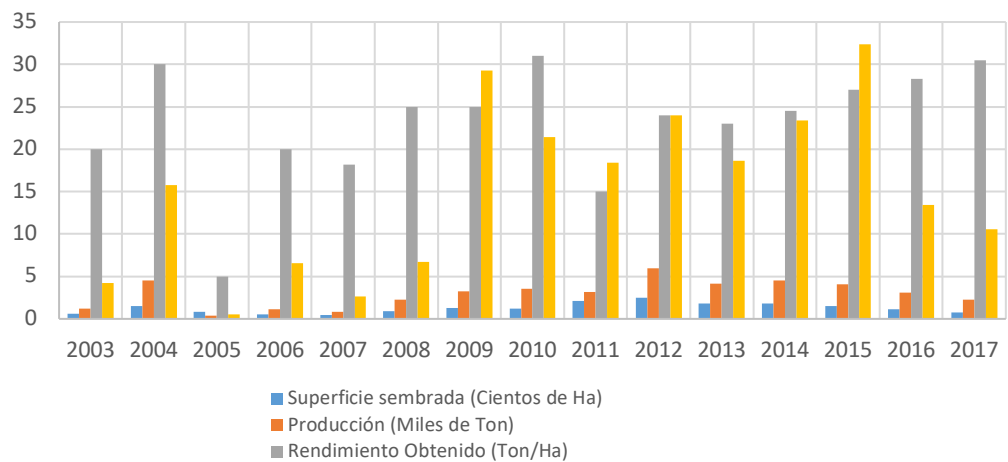
Cultivo de Frijol Municipio de Valle de Bravo
(Otoño - Invierno)



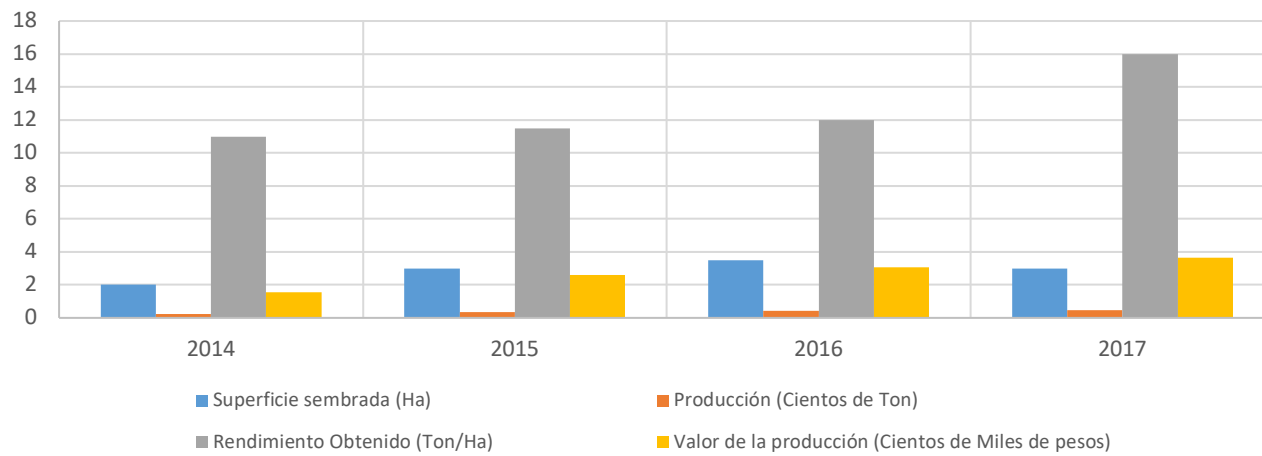
Cultivo de Haba verde Municipio de Valle de Bravo
(Otoño - Invierno)



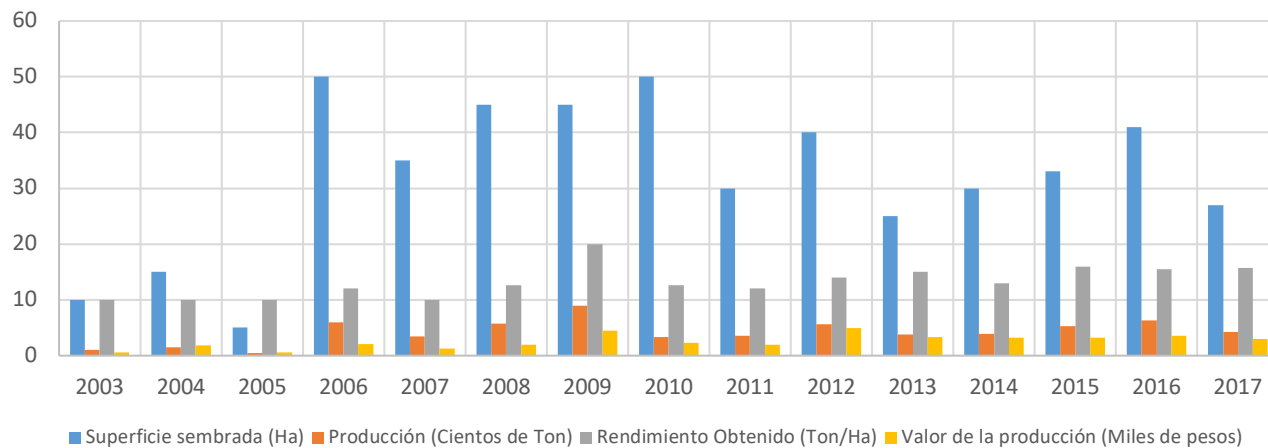
Cultivo de Papa Municipio de Valle de Bravo
(Otoño - Invierno)



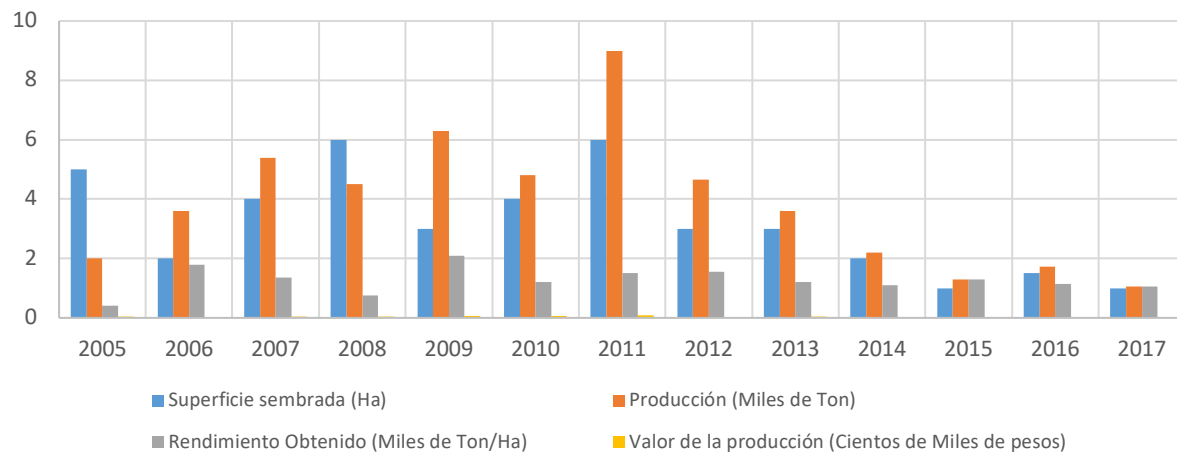
Cultivo de Tomate rojo (jitomate) Municipio de Valle de Bravo
(Otoño - Invierno)



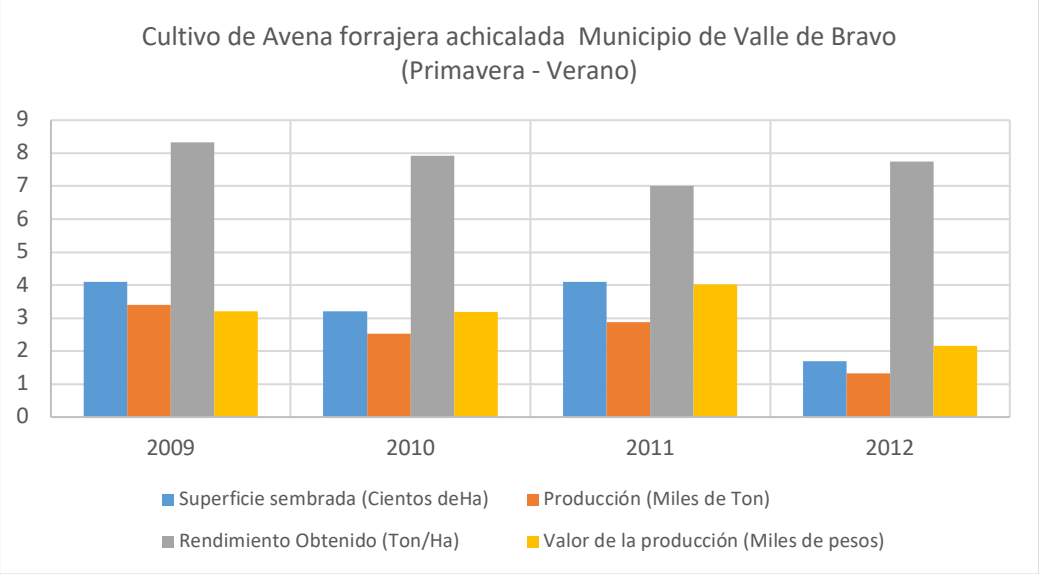
Cultivo de Tomate verde Municipio de Valle de Bravo
(Otoño - Invierno)



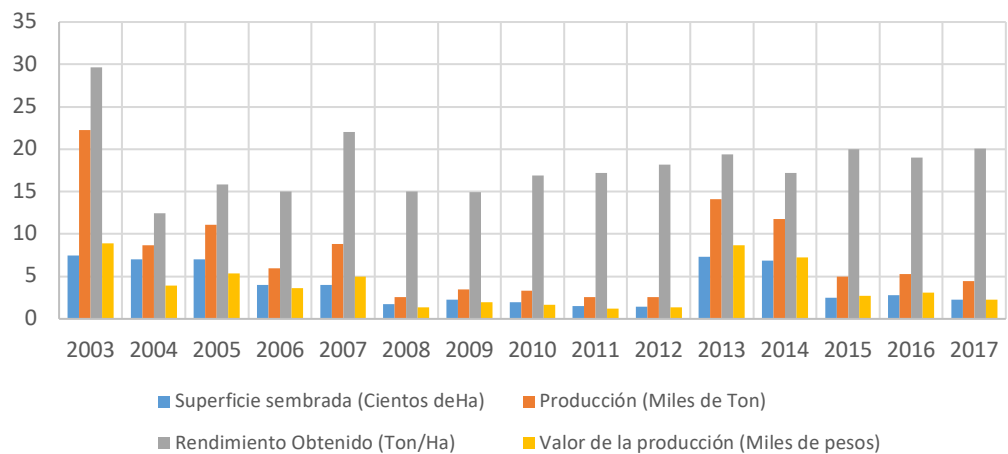
Cultivo de Trigo ornamental Municipio de Valle de Bravo
(Otoño - Invierno)

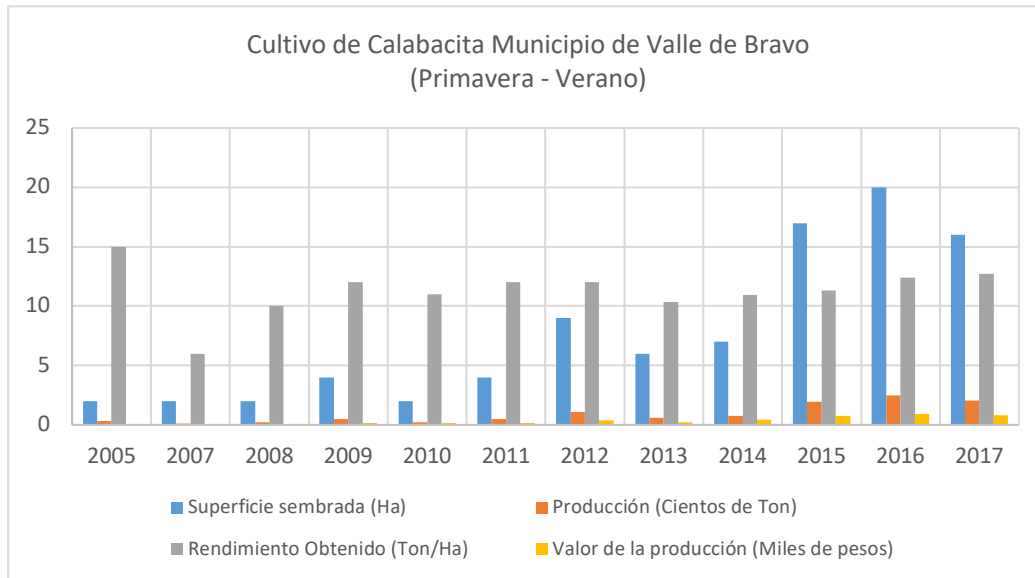


Producción agrícola del Municipio de Valle de Bravo en el ciclo productivo Primavera Verano

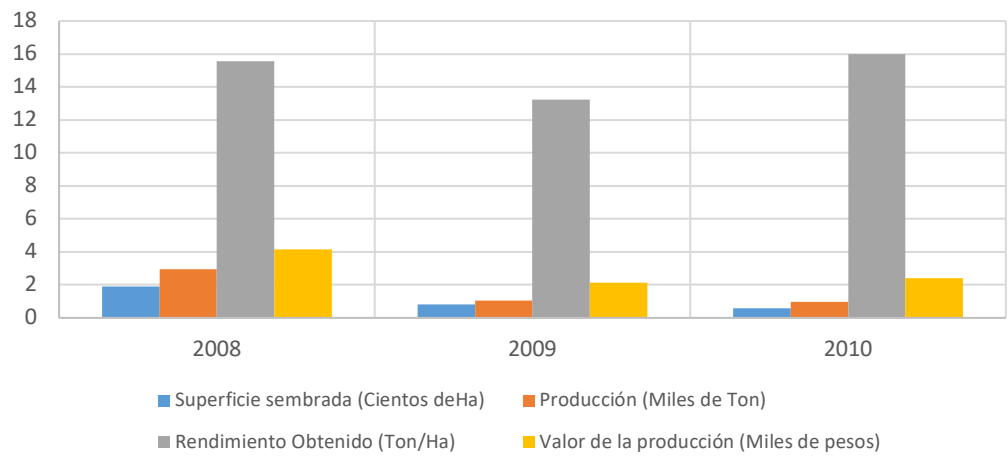


Cultivo de Avena forrajera en verde Municipio de Valle de Bravo
(Primavera - Verano)

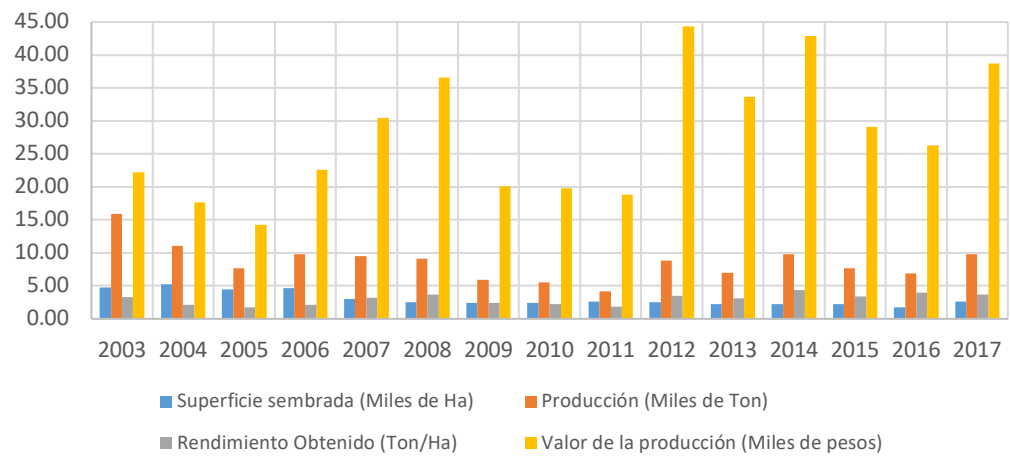




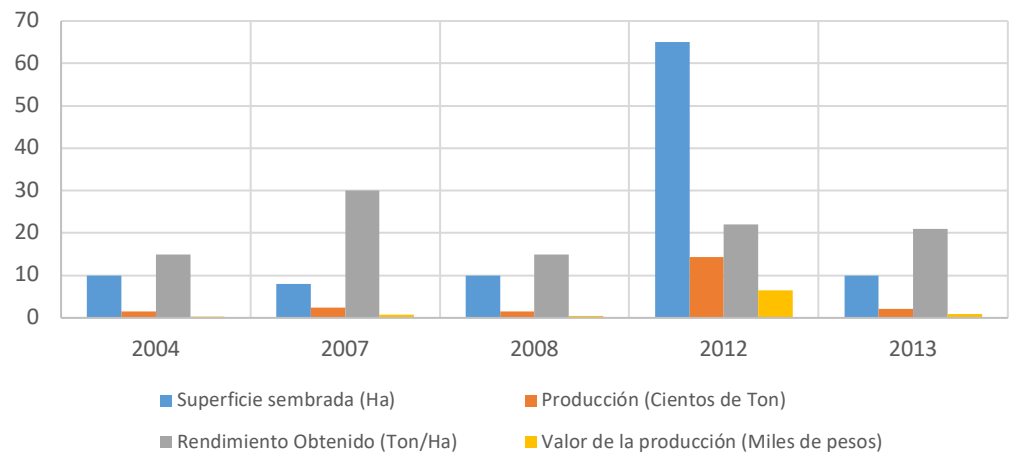
Cultivo de Elote Municipio de Valle de Bravo
(Primavera - Verano)



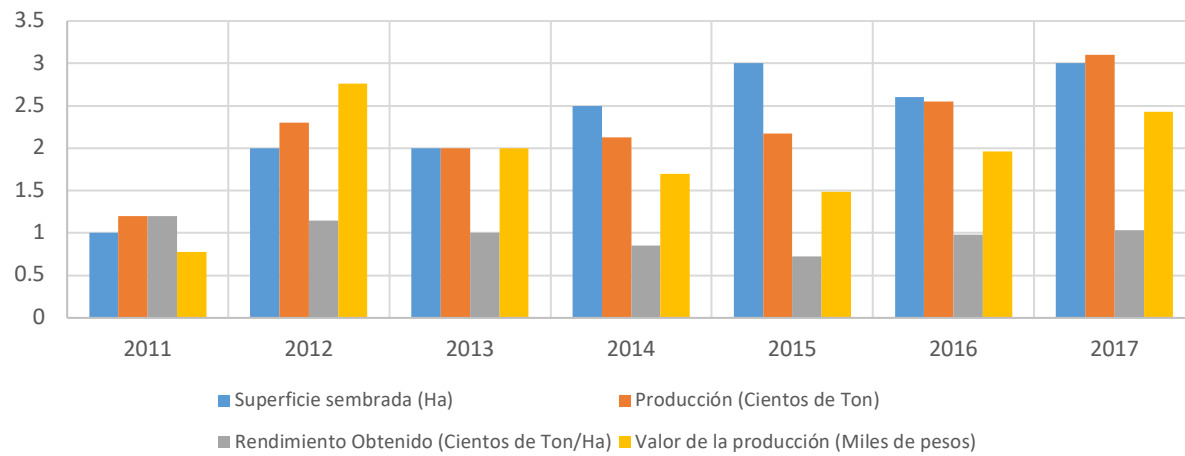
Cultivo de Maíz grano Municipio de Valle de Bravo
(Primavera - Verano)



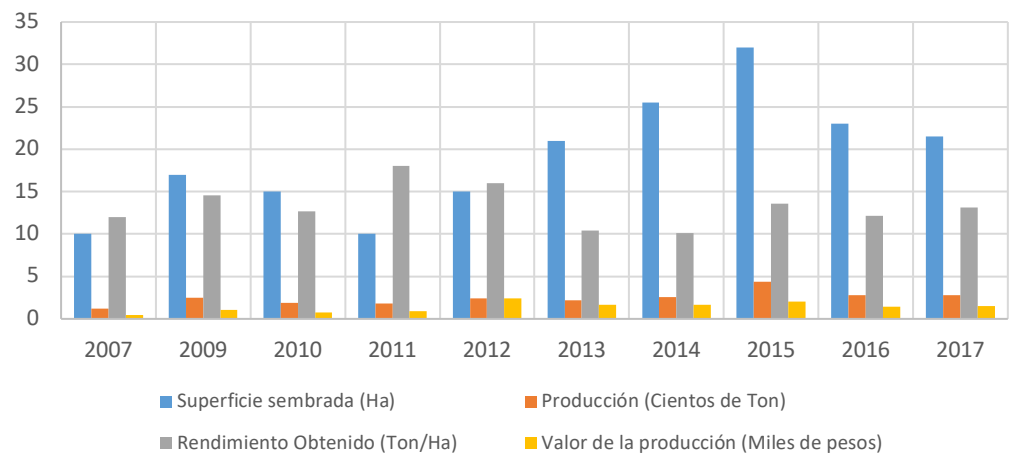
Cultivo de Papa Municipio de Valle de Bravo
(Primavera - Verano)



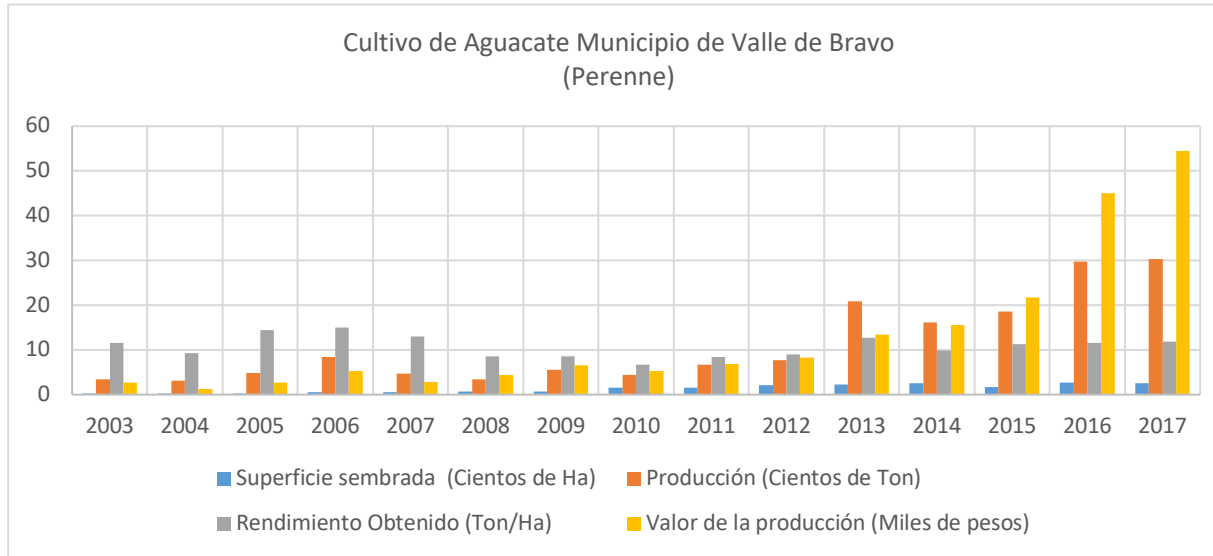
Cultivo de Tomate rojo (jitomate) Municipio de Valle de Bravo
(Primavera - Verano)



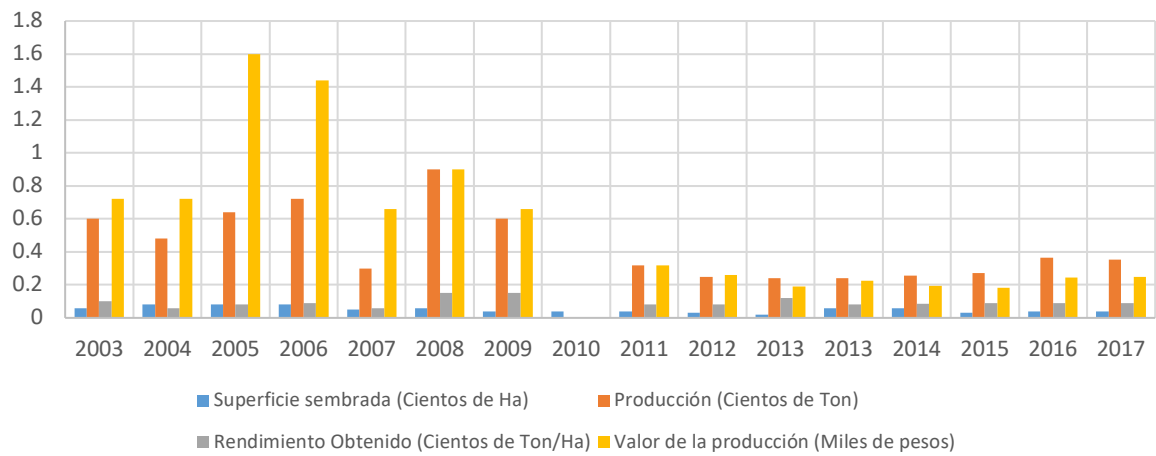
Cultivo de Tomate verde Municipio de Valle de Bravo
(Primavera - Verano)



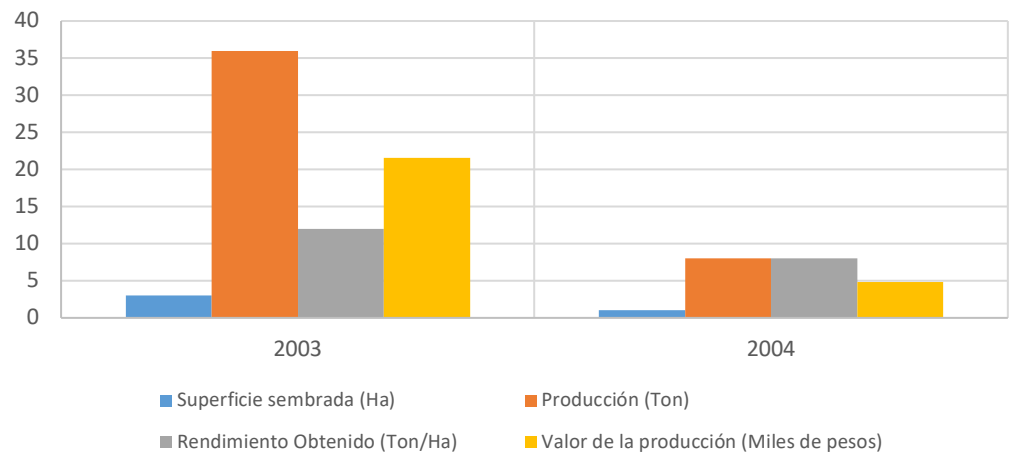
Producción agrícola del Municipio de Valle de Bravo en el ciclo productivo Primavera Verano



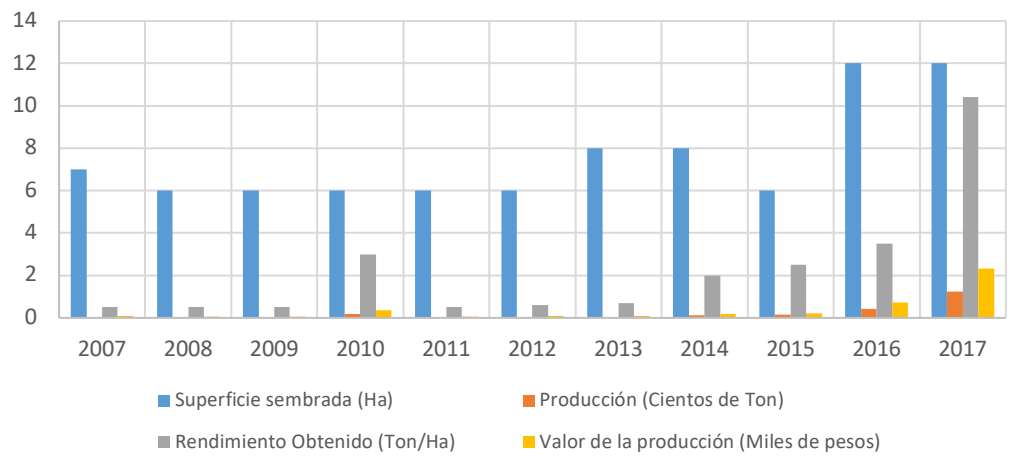
Cultivo de Alcachofa Municipio de Valle de Bravo
(Perenne)



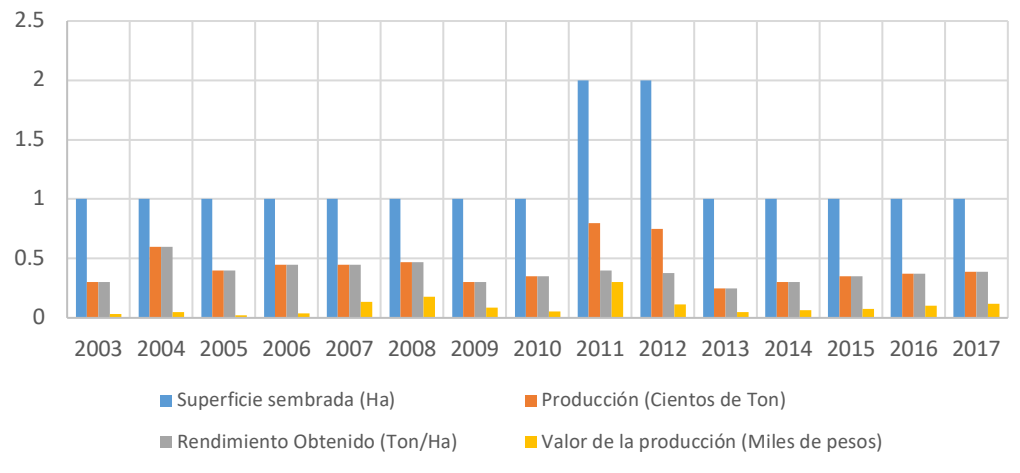
Cultivo de Alfalfa verde Municipio de Valle de Bravo
(Perenne)



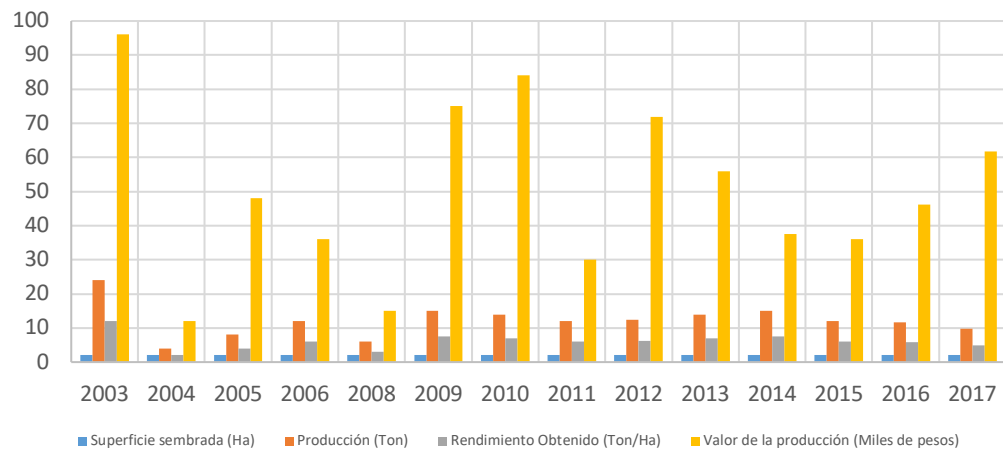
Cultivo de Arándano Municipio de Valle de Bravo
(Perenne)



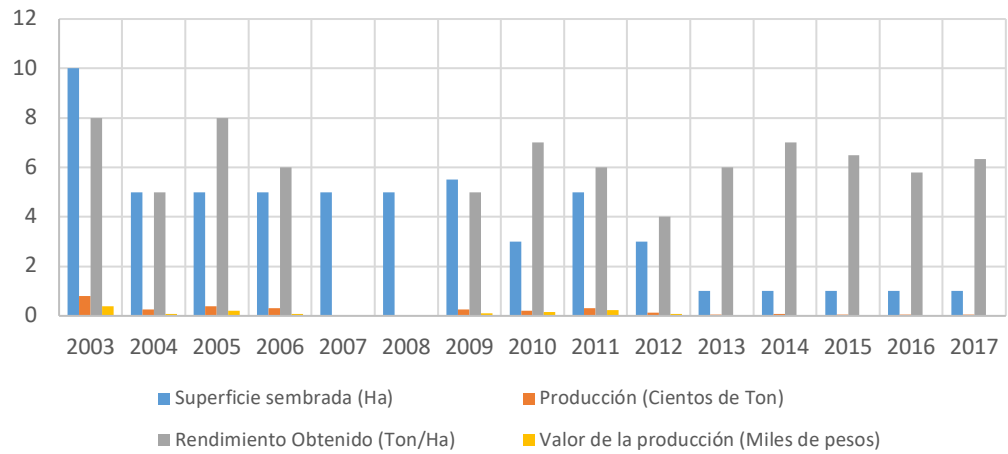
Cultivo de Caña de azúcar fruta Municipio de Valle de Bravo
(Perenne)



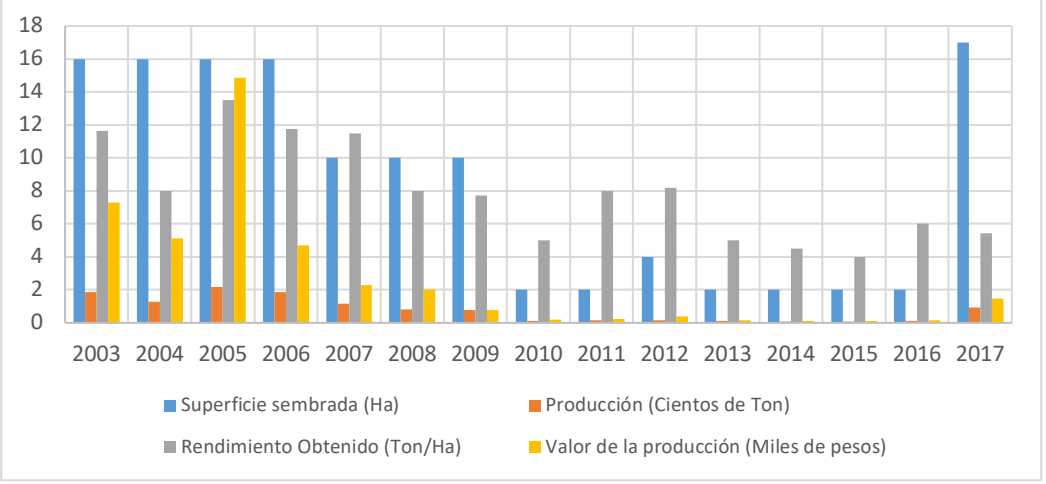
Cultivo de Ciruela Municipio de Valle de Bravo
(Perenne)



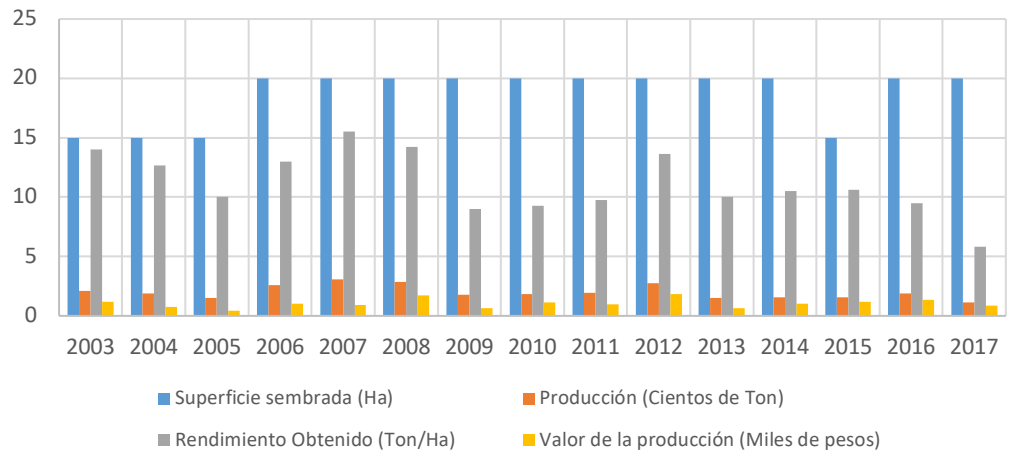
Cultivo de Durazno Municipio de Valle de Bravo
(Perenne)



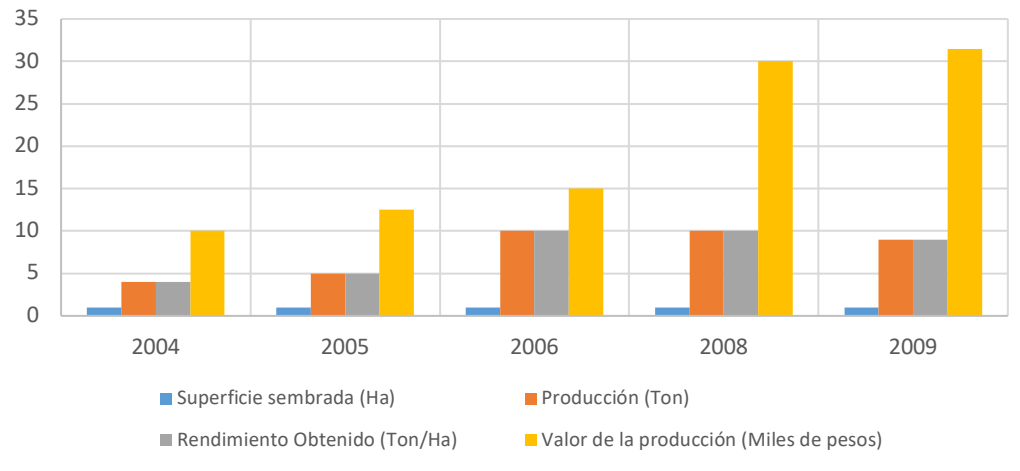
Cultivo de Frambuesa Municipio de Valle de Bravo
(Perenne)



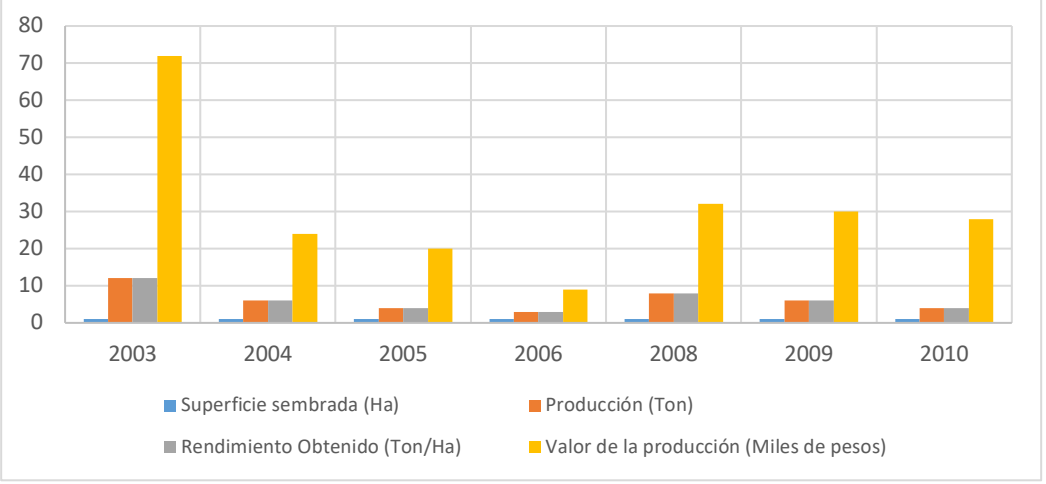
Cultivo de Guayaba Municipio de Valle de Bravo
(Perenne)



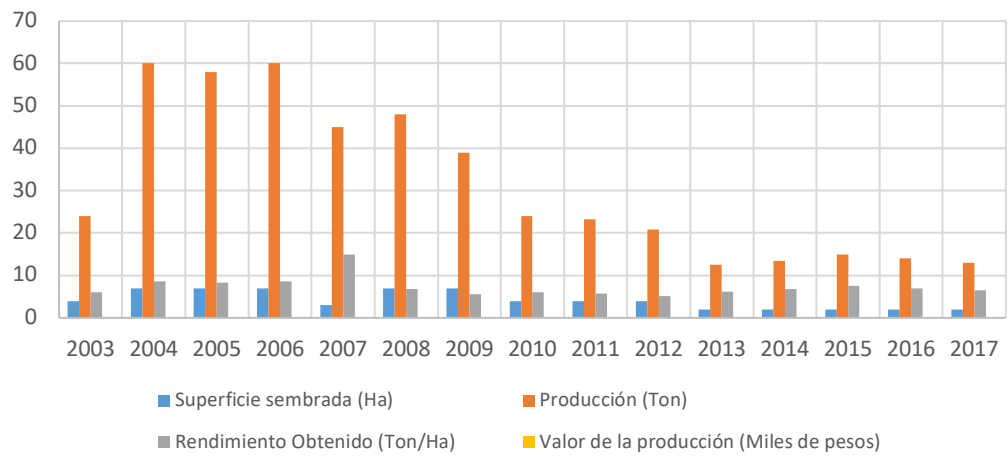
Cultivo de Limón Municipio de Valle de Bravo
(Perenne)



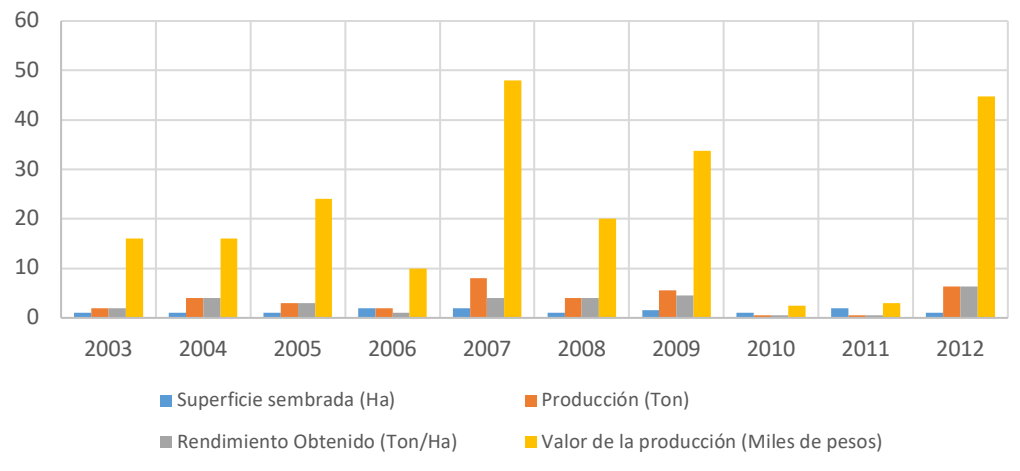
Cultivo de Mamey Municipio de Valle de Bravo
(Perenne)



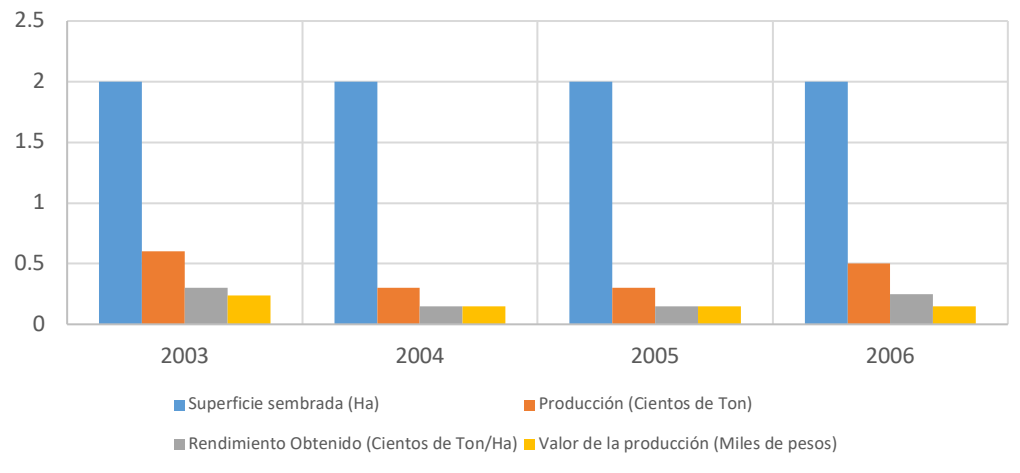
Cultivo de Mango Municipio de Valle de Bravo
(Perenne)



Cultivo de Manzana Municipio de Valle de Bravo
(Perenne)



Cultivo de Papaya Municipio de Valle de Bravo
(Perenne)



Cultivo de Zorzamora Municipio de Valle de Bravo
(Perenne)

