



CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS
DEL NOROESTE, S.C.

Programa de Estudios de Posgrado

EVALUACIÓN DE INDICADORES DE
SUSTENTABILIDAD AGROECOLÓGICA EN
SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA DE BAJA
CALIFORNIA SUR, MÉXICO

TESIS

Que para obtener el grado de

Doctor en Ciencias

Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales
(Orientación Agricultura Sustentable)

Presenta

Yarelis Alvarez Morales

La Paz, Baja California Sur, Abril de 2015

ACTA DE LIBERACION DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B. C. S., siendo las 12 horas del día 16 del mes de Abril del 2015, se procedió por los abajo firmantes, miembros de la Comisión Revisora de Tesis avalada por la Dirección de Estudios de Posgrado del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., a liberar la Tesis de Grado titulada:

"Evaluación de indicadores de sustentabilidad agroecológica en sistemas de producción agrícola de Baja California Sur, México"

Presentada por el alumno (a):

Yarelis Alvarez Morales

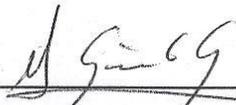
Aspirante al Grado de DOCTOR EN CIENCIAS EN EL USO, MANEJO Y PRESERVACION DE LOS RECURSOS NATURALES CON ORIENTACION EN **AGRICULTURA SUSTENTABLE**

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron su **APROBACION DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

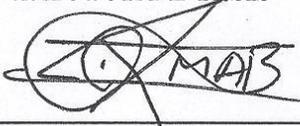
LA COMISION REVISORA



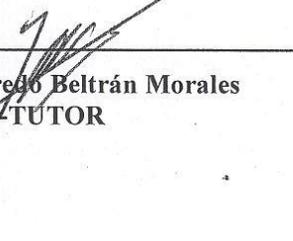
Dr. Enrique Troyo Diéguez
DIRECTOR DE TESIS



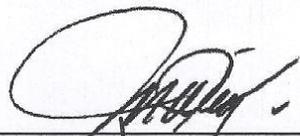
Dra. Alejandra Nieto Garibay
CO-TUTOR



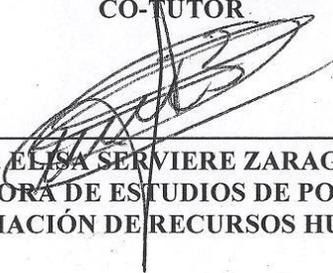
Dr. Bernardo Murillo Amador
CO-TUTOR



Dr. Félix Alfredo Beltrán Morales
CO-TUTOR



Dr. Jesús Navejas Jiménez
CO-TUTOR



DRA. ELISA SERVIERE ZARAGOZA,
DIRECTORA DE ESTUDIOS DE POSGRADO
Y FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

Comité Tutorial

Dr. Enrique Troyo Diéguez - Director de tesis
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste.

Dra. Alejandra Nieto Garibay – Cotutor
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste.

Dr. Bernardo Murillo Amador - Cotutor
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste.

Dr. Luis Alfredo Beltrán Morales – Cotutor
Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABS).

Dr. Jesús Navejas Jiménez – Cotutor
INIFAP

Jurado de Examen de Grado

Dr. Enrique Troyo Diéguez
Dra. Alejandra Nieto Garibay
Dr. Bernardo Murillo Amador
Dr. Luis Alfredo Beltrán Morales
Dr. Jesús Navejas Jiménez
Dra. Lilia Alcaraz Meléndez (Suplente)
Dr. Luis G. Hernández Montiel (Suplente)

Comité Revisor de Tesis

Dr. Enrique Troyo Diéguez
Dra. Alejandra Nieto Garibay
Dr. Bernardo Murillo Amador
Dr. Félix Alfredo Beltrán Morales
Dr. Jesús Navejas Jiménez

RESUMEN

En este trabajo se propusieron y evaluaron indicadores de sustentabilidad agroecológica en tres regiones agrícolas semiáridas de Baja California Sur (B.C.S.), el Valle de Santo Domingo (VSD), el Valle del Vizcaíno Guerrero Negro (VVGN) y la Cuenca Agrícola de La Paz (CALAP), a partir de indicadores de aptitud de los factores clima (FC), agua (FA), suelo (FS), social (FSc) y productivo (FP), y utilizando como herramienta metodológica el “Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad” (MESMIS). La información se obtuvo a través del estudio climático de las tres zonas, el análisis fisicoquímico de los suelos, así como la caracterización social y productiva de cada zona mediante la aplicación de entrevistas individuales semiestructuradas y observación directa en campo. Se evaluaron 39 indicadores de sustentabilidad cuyos valores de referencia se determinaron con base a fuentes documentales. Para el FC se seleccionaron cinco indicadores, de ellos solamente dos alcanzaron puntuación favorable, el mejor desempeño lo obtuvo el VVGN (0.62), sin embargo este factor resultó deficiente en las tres regiones analizadas. El FA se evaluó a partir de 7 indicadores, este factor alcanzó la condición de *aceptable* en el VVGN Y CALAP; el mejor desempeño fue del VSD (0.81) el cual fue calificado como *óptimo*. Para evaluar el FS se seleccionaron 10 indicadores; en las tres localidades analizadas este factor resultó de condición *deficiente*. Para el FSc se evaluaron 8 indicadores; en este caso, el VSD se clasificó como *óptimo* con un desempeño de 0.85, en la CALAP este factor se clasificó como *aceptable*, mientras que el VVGN obtuvo un desempeño de 0.63 por lo que se clasificó como deficiente. Para el FP se seleccionaron 9 indicadores, el mejor valor lo obtuvo el VSD (0.83), por tal razón en esta zona el FP se clasificó como *óptimo*. Por su parte, el VVGN mostró una condición *aceptable* (0.70), mientras que en la CALAP el factor productivo fue calificado como *deficiente* (0.60).

Según los umbrales de vulnerabilidad propuestos, se pudo inferir que la región con mayor vulnerabilidad a efectos adversos del clima y a procesos de degradación del suelo y el agua es la CALAP, cuyos indicadores principales se ubicaron en la categoría “altamente vulnerable”; el VVGN alcanzó también dicha categoría mientras que el VSD se calificó como región agrícola “vulnerable”. Los valores del Índice Holístico de Riesgo (IHR) encontrados en las unidades productivas sugieren al VSD como la zona agrícola con mayor capacidad de respuesta ante la perturbaciones medioambientales; para dicha localidad se estimó un nivel de resiliencia “medio” (IHR = 1.7), mientras que la CALAP mostró el mayor IHR (2.2) y un nivel de resiliencia “bajo”. Se evaluó la propuesta del Índice de Adaptación al Cambio Climático (Iacc) en los principales cultivos de las zonas estudiadas, donde el pepino resultó el cultivo con mayor potencial de adaptación para las zonas productoras del Estado, con un Iacc = 0.72 mientras que el espárrago fue el cultivo con menos posibilidades de adaptación con Iacc = 0.18. Una vez determinado el Índice de Sustentabilidad Agroecológica (ISAE), se observó que la CALAP alcanzó el menor índice en las tres localidades (0.61). Este valor fue calificado como “*Poco sustentable*”. En este sentido El VVGN obtuvo un índice de 0.66 y se ubicó en una posición intermedia entre las tres zonas, pero también esta región fue calificada como “*poco sustentable*”. El ISAE en el VSD alcanzó un valor de 0.73 que corresponde a una región “*Medianamente sustentable*”. Se comprobó que la metodología MESMIS resultó una herramienta válida para evaluación de indicadores de sustentabilidad agroecológica en zonas semiáridas, por lo que sería de interés realizar un segundo ciclo de evaluación, tal como propone la metodología, con el objetivo de observar avances o retrocesos en los diferentes factores que intervienen en los sistemas de producción agrícola.

ABSTRACT

In this work agro-ecological sustainability indicators were proposed and evaluated in three semiarid agricultural regions of Baja California Sur (BCS), Santo Domingo Valley (VSD), Vizcaíno-Guerrero Negro Valley (VVGN) and the agricultural basin of La Paz (CALAP), including indicators of climate factors (FC), water (FA), soil (FS), social (FSC) and productive (FP). Analyses were based on the methodological tool "Framework For Management Systems Evaluation incorporating Natural Resource Sustainability Indicators" or MESMIS (Spanish initials).

The information was obtained through the study of the three climate types of zones, the physicochemical analysis of soil, and the social and productive characterization of each zone by applying semi-structured individual interviews and direct observation in the field. 39 sustainability indicators whose reference values were estimated based on documentary sources were evaluated. For FC, 5 indicators were selected, of which only two reached favorable score, the best performance was obtained VVGN (0.62); however, this factor was *deficient* in the three regions analyzed. To evaluate FA, seven indicators were selected; this factor reached *acceptable* condition at all three locations where the best result was estimated for VSD (0.81). The soil was evaluated from 10 indicators. In the three zones this factor was evaluated as poor. For FSc eight indicators were evaluated; in this case, the VSD is classified as *optimum* (0.85), in CALAP this factor was classified as *acceptable*, while the VVGN was evaluated as *poor*. For FP 9 indicators were analyzed; the highest value was obtained in VSD (0.83), for this reason, in this area FP was classified as *optimum*. The VVGN showed an acceptable condition (0.70), while in the CALAP, productive factor was rated as *poor* (0.60).

According to the proposed thresholds of vulnerability, the region most vulnerable to adverse effects of climate, land degradation processes and water scarcity is the CALAP, whose main indicators were located in the "highly vulnerable" category; the VVGN also reached that category while the VSD is classified as a "vulnerable" agricultural region. The values of the Holistic Risk Index (IHR) found in the production units suggest that the VSD is an agricultural area more responsive to the environmental disturbances; for this locality the level "medium" resilience (IHR = 1.8) was assigned, while the CALAP showed the highest IHR (2.4) and a level of "low" resilience. The proposed index "Adaptation to Climate Change" (Iacc) was applied on the main crops of the study areas, where cucumber crop was more adaptive potential for producing areas of the state, with an Iacc = 0.72, while asparagus showed a lower ability to adapt, with Iacc = 0.18. Once determined the Agroecological Sustainability Index (ISAE), it was found that the CALAP reached the lowest rate in the three localities (0.61). This value was rated as "not sustainable". In this sense, the VVGN obtained a rate of 0.66, hence it was classified at an intermediate position between the three areas, anyway, this region was also described as "not sustainable". The ISAE in VSD reached a value of 0.73 which corresponds to a "Moderately sustainable" region. The MESMIS methodology proved a valid tool to assessing sustainability indicators in semi-arid agroecological zones, so it would be interesting to conduct a second round of evaluation, as proposed methodology, in order to see progress or setbacks in the different factors that involved the agricultural production systems.

DEDICATORIA

A mis padres, en especial a mi madre Bárbara, quien ha apoyado de forma única cada momento bueno o malo de mi vida y ha sido siempre mi soporte personal.

A mi niña Vidha, que llegó y se convirtió en mi pedacito de cielo.

A mis hermanos Yailín y Osber por tanta confianza depositada en mí.

A mi paciente y comprensivo esposo Jim, quien ha hecho suyos mis problemas y me ha dado amor y fuerzas para sustentar mis sueños.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia toda.

Al CONACYT por el otorgamiento de la beca 256434 que me permitió llevar a cabo mis estudios de doctorado.

Al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C (CIBNOR), por recibirme y poner en mis manos los medios para realizar esta investigación.

A mi Director de Tesis Dr. Enrique Troyo Diéguez, por su inestimable asesoramiento académico y guía durante esta importante etapa de mi vida.

A mis Co-tutores, Dra. Alejandra Nieto Garibay, Dr. Bernardo Murillo Amador, Dr. Félix Alfredo Beltrán Morales, Dr. Jesús Navejas Jiménez, cuyos aportes fueron de suma relevancia para esta investigación.

Al proyecto CONACYT: Determinación y Construcción de Indicadores de la Huella Hídrica y Desertificación (CB-2009-01-134460).

A los Técnicos de los laboratorios de Edafología y Análisis Químico de Agua del CIBNOR, por su apoyo técnico para el análisis de las muestras de agua y suelo.

A todos los productores de La Cuenca de La Paz, el Valle de Santo Domingo y el Valle del Vizcaíno, que tuvieron a bien colaborar con este estudio para el cumplimiento de los objetivos.

Al personal de Posgrado, Dra. Elisa Serviere, Lic. Osvelia Ibarra, Lic. Leticia González, Horacio Sandoval, Tania, Lupita, Claudia; de igual manera a la Srta Silvia Edén Virgen mis respetos y admiración por su trabajo.

A mis amigos del Laboratorio de Hidrología e Irrigación, Téc. Juan Ernesto Vega Mayagoitia, Dr. Arturo Cruz, M.C. Álvaro González, Tony Díaz, Ernesto "El wero Díaz", Héctor Fraga, les agradezco infinitamente su amistad y apoyo incondicional desde los primeros momentos.

A mis queridos amigos: Carlos Michel Ojeda, Yarelys Ferrer, Yuneisy Agüero, Fernando Abasolo, Javier Santiesteban, Daulemys Batista, Roberto Carlos Alvarez, Nolberto Lucero e Ilse Fiedler.

A todos, mi más sincero agradecimiento.

INDICE DE CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES	4
2.1 El Desarrollo Sustentable	5
2.2 La sustentabilidad de los sistemas agrícolas.....	7
2.3 Las evaluaciones de sustentabilidad agroecológica	9
2.4 Metodologías para la evaluación de la sustentabilidad agroecológica.....	11
2.5 Evaluación de la sustentabilidad agroecológica mediante indicadores.....	12
2.5.1 Selección de indicadores de sustentabilidad agroecológica.....	15
2.6 El Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS)	16
2.7 Producción agrícola en Baja California Sur. Diagnóstico y Perspectivas.....	19
2.8. Caracterización agrícola de las zonas de estudio.	24
2.8.1. La cuenca de La Paz	24
2.8.2. El Valle de Santo Domingo, Municipio de Comondú	24
2.8.3. El Valle del Vizcaíno-Guerrero Negro.	25
2.9. Vulnerabilidad hidroedafoclimática de zonas agrícolas semiáridas	26
2.10 La resiliencia socio-ecológica de las regiones agrícolas.	26
3. JUSTIFICACIÓN	29
4. HIPÓTESIS.....	29
5. OBJETIVOS	30
5.1 Objetivo general.....	30
5.2 Objetivos específicos.....	30
6. MATERIALES Y MÉTODOS	31
6.1 Área de Estudio	31
6.2 Caracterización de los Factores Clima-Suelo-Agua en cada zona (Dimensión ambiental). Obtención de la Información.....	32
6.3 Estudio climático.....	32
6.4 Análisis químico de agua.....	34
6.5 Estudio fisicoquímico de suelo.	35
6.6 Estudio Socio- productivo.....	36
6.6.1 Caracterización socio-productiva de las regiones estudiadas	36
6.6.2 Valoración de la resiliencia socioecológica de zonas agrícolas de BCS. Índice Holístico de Riego (IHR)	37

6.6.2.1 Métodos para el estudio.....	37
6.6.2.2 Secuencia metodológica para evaluar la resiliencia socioecológica	38
6.6.2.3 Análisis de datos para estimación del IHR	41
6.6.3 Propuesta del Índice de Adaptación de Cultivos al Cambio Climático	42
6.7 Selección y evaluación de los Indicadores de Sustentabilidad	44
Agroecológica. Metodología MESMIS.....	44
6.7.1 Caracterización de los sistemas de manejo de recursos naturales.....	45
6.7.2 Determinación de las fortalezas y las debilidades de los sistemas agrícolas	45
6.7.3 Selección de criterios de diagnóstico	46
6.7.4 Identificación de los puntos críticos y selección de indicadores	47
6.7.5 Estandarización y ponderación de los indicadores de sustentabilidad agroecológica	48
6.8 Cálculo del índice de sustentabilidad agroecológica (ISAE)	49
6.9 Representación e integración de los indicadores de sustentabilidad.....	51
6.10 Análisis estadísticos	52
7. RESULTADOS	53
7.1 Caracterización de los factores abióticos: Clima, Agua y Suelo (Dimensión ambiental)	53
7.1.1 Estudio climático	53
7.1.1.1 Índices Hidroclimáticos	53
7.1.2 Análisis químico de agua.....	57
7.1.3 Análisis fisicoquímico de suelo.....	60
7.2 Análisis socio-productivo (Dimensión socio-productiva).....	65
7.2.1 Valoración de la resiliencia socioecológica de tres zonas agrícolas en BCS, México, mediante el Índice Holístico de Riesgo (IHR).....	68
7.2.1.1 Identificación de los eventos climáticos que afectan las zonas agrícolas: Amenazas.	68
7.2.1.2 Valoración de la vulnerabilidad de las zonas agrícolas a eventos climáticos....	69
7.2.1.3 Capacidad de respuesta de las regiones agrícolas	71
7.2.1.4 Evaluación del Índice Holístico de Riesgo (IHR). Resiliencia socioecológica. ..	72
7.2.2 Respuesta de los principales cultivos del estado al Índice de adaptación al cambio climático (IACC)	74
7.3 Identificación de puntos críticos. Selección y evaluación de indicadores de sustentabilidad agroecológica.	79

7.3.1 Criterio de diagnóstico, puntos críticos e indicadores de sustentabilidad seleccionados para la dimensión ambiental (Clima-suelo-agua).....	79
7.3.2 Criterio de diagnóstico, puntos críticos e indicadores de sustentabilidad seleccionados para la dimensión socio-productiva.....	90
7.4 Índice de sustentabilidad agroecológica (ISAE).....	96
7.5 Integración de los indicadores por atributo de sustentabilidad.....	97
7.6 conclusiones y recomendaciones.....	103
8. DISCUSIÓN.....	106
8.1 Caracterización de los factores abióticos: Clima, Suelo y Agua. (Dimensión ambiental).....	106
8.1.1 Estudio climático.....	106
8.1.2 Análisis químico de agua.....	108
8.1.3 Análisis fisicoquímico de suelos.....	111
8.2 Análisis socio-productivo (Dimensión socio-productiva).....	114
8.2.1 Valoración de la resiliencia socioecológica de las tres zonas agrícolas mediante el Índice Holístico de Riesgo (IHR).....	115
8.2.2 Respuesta de los principales cultivos del estado al Índice de adaptación al cambio climático (IACC).....	118
8.3 Selección y evaluación de indicadores de sustentabilidad agroecológica para la dimensión ambiental.....	120
8.4 Selección y evaluación de indicadores de sustentabilidad agroecológica para la dimensión Socio-productiva.....	122
8.5 Índice de sustentabilidad agroecológica (ISAE).....	123
9. CONCLUSIONES.....	125
10. LITERATURA CITADA.....	127
11. ANEXOS.....	144
Anexo 1. Entrevista a ejidatarios y productores individuales de las tres zonas agrícolas ..	144
Anexo 2. Artículo publicado en la revista Terra Latinoamericana.	148
Anexo 3. Artículo enviado a la revista Agronomy For Sustainable Development	148

INDICE DE TABLAS

Tabla I. Superficie cosechada y valor de la producción en las principales regiones agrícolas de Baja California Sur, ciclo 2013.	23
Tabla II. Coordenadas geográficas de las estaciones climáticas de las que se obtuvo información en cada zona.	34
Tabla III. Umbrales de vulnerabilidad para aptitud productiva de los factores agua, suelo y clima en regiones agrícolas semiáridas.	40
Tabla IV. Relaciones entre valores IHR, nivel de riesgo y niveles de resiliencia socioecológica.	42
Tabla V. Atributos de sustentabilidad utilizados para la evaluación de los sistemas productivos, según MESMIS (Masera <i>et al.</i> , 1999).	47
Tabla VI. Intervalos de valores para la interpretación de indicadores de sustentabilidad agroecológica (MESMIS).	49
Tabla VII. Propuesta de niveles de sustentabilidad para la evaluación de los sistemas agrícolas.	50
Tabla VIII. Valores ponderados de los indicadores de amenaza, vulnerabilidad y capacidad de respuesta para cada región agrícola.	68
Tabla IX. Valores de medias, mínimo y máximo de indicadores de amenazas, vulnerabilidad y capacidad de respuesta e Índice Holístico de Riesgo (IHR) para las tres zonas agrícolas.	70
Tabla X. Valores de los parámetros, sus factores y el índice de la adaptación al cambio climático (IACC) para cada cultivo.	75
Tabla XI. Criterio de diagnóstico y puntos críticos de la Dimensión Ambiental (Clima-suelo-agua).	80
Tabla XII. Selección y ponderación de indicadores para el factor clima (FC), en tres regiones de B.C.S.	82
Tabla XIII. Selección y ponderación de indicadores para el factor agua (FA), en tres regiones agrícolas semiáridas de B.C.S.	85
Tabla XIV. Selección y ponderación de indicadores del factor suelo agrícola (FS) en regiones de B.C.S.	88
Tabla XV. Criterios de diagnóstico y puntos críticos de la Dimensión Socio-productiva ...	90

Tabla XVI. Selección y ponderación de indicadores para el factor social (FSc), en tres regiones agrícolas semiáridas de B.C.S.....	91
Tabla XVII. Selección y ponderación de indicadores para el factor productivo (FP), en tres regiones agrícolas semiáridas de B.C.S.....	94
Tabla XVIII. Coeficientes ponderados de cada factor en las tres zonas agrícolas	96
Tabla XIX. Síntesis de los principales cultivos y sus requerimientos climáticos en tres regiones productoras de B.C.S.	107
Tabla XX. Estado actual de la disponibilidad de agua subterránea en tres acuíferos de B.C.S.	110
Tabla XXI. Niveles requeridos y reales de materia orgánica, conductividad eléctrica y pH en tres regiones agrícolas de Baja California Sur.	112

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ejes o dimensiones fundamentales del desarrollo sustentable (adaptado de Toledo, 2007).....	6
Figura 2. Volumen de la Producción Agrícola en BCS, 2006-2012 (toneladas).	21
Figura 3. Valor de la Producción Agrícola en BCS, 2006-2012 (millones de pesos).....	22
Figura 4. Valor de la Producción de principales cultivos en BCS, 2006-2012 (millones de pesos)	23
Figura 5. Localización de las zonas agrícolas de BCS. Áreas de estudio donde se ubican los predios.....	31
Figura 6. Indicadores para establecer los valores de “amenaza”, “vulnerabilidad” y “capacidad de respuesta”. Índice Holístico de Riesgo (IHR).....	41
Figura 7. Secuencia esquemática de actividades para la ejecución del MESMIS (adaptado de Galván, 2006).....	46
Figura 8. Promedios mensuales de IDHA e ISHA para dos estaciones seleccionadas de la CALAP.	53
Figura 9. Promedios mensuales de IDHA e ISHA para dos estaciones seleccionadas del Valle de Santo Domingo, BCS.	54
Figura 10. Promedios mensuales de IDHA e ISHA para dos estaciones seleccionadas del Valle del Vizcaíno- Guerrero Negro.....	55
Figura 11. Patrones mensuales de precipitación y temperatura en tres regiones de producción agrícola de BCS.....	56
Figura 12. Valores de pH, conductividad eléctrica (CE) y salinidad del agua utilizada para el riego en cinco localidades agrícolas de La Paz. (a): pH, (b): CE, (c): Salinidad	57
Figura 13. Dureza y Sólidos Disueltos Totales (SDT) del agua utilizada para riego en zonas agrícolas de BCS. (a): Dureza, (b): SDT.	58
Figura 14. Contenido de cloruros y sulfatos en el agua utilizada para el riego en zonas agrícolas de BCS. (a): Cloruros, (b): Sulfatos.....	59
Figura 15. Porcentajes de arena, limo y arcilla en suelos de tres zonas agrícolas de B.C.S. (a): arena, (b): arcillas, (c): limo.....	61
Figura 16. Niveles de pH y conductividad eléctrica (CE) en suelos de tres zonas agrícolas B.C.S. (a): pH, (b): CE.....	62

Figura 17. Contenido de calcio (Ca), fósforo (P) y bicarbonatos (HCO_3) en 3 zonas agrícolas de BCS. (a): Ca, (b): P, (c): HCO_3	63
Figura 18. Contenido de materia orgánica (MO) y densidad aparente (Dap) en tres zonas agrícolas de B.C.S. (a): MO, (b): Dap.....	65
Figura 19. Porcentaje de afectación de los eventos climáticos en cada región agrícola. .	73
Figura 20. Índice de adaptación al cambio climático (Iacc) de los principales cultivos que se establecen en las áreas de estudio.	76
Figura 21. Parámetros de $T_{\text{máx}}$ y $T_{\text{mín}}$ de los principales cultivos en las regiones estudiadas.....	77
Figura 22. Parámetros de ciclo de vida y necesidades de riego de los principales cultivos en las regiones analizadas.....	78
Figura 23. Diagrama representativo de los componentes del factor clima en tres regiones de B.C.S.....	83
Figura 24. Diagrama del estado de calidad de agua en tres regiones agrícolas de B.C.S.	86
Figura 25. Diagrama del estado de calidad de suelo en tres regiones agrícolas de B.C.S.	89
Figura 26. Diagrama del estado de los indicadores del factor social en tres regiones agrícolas de B.C.S.	93
Figura 27. Diagrama del estado de los indicadores del factor productivo en tres regiones agrícolas de B.C.S.	95

I. INTRODUCCIÓN

La agricultura debe ser una actividad sostenible y rentable, capaz de proveer suficiente producción para alimentar a la creciente población humana. Para Gliessman (2000), el desarrollo y práctica de la agricultura sustentable se basa en un modelo que considera los aspectos de conservación de los recursos, el conocimiento tradicional y la agricultura a pequeña escala, conjuntamente con los métodos y conocimiento ecológicos modernos.

Este modelo se fundamenta en la *Agroecología*, que se define como la aplicación de los principios y conceptos ecológicos para el diseño y manejo de agroecosistemas sostenibles. En este contexto, un agroecosistema es un sitio y conjunto de organismos y recursos, establecidos para la producción agrícola (rancho o finca), entendido como un ecosistema con estructura y funciones específicas (Altieri, 2002).

Las condiciones climáticas (temperatura, precipitación y otros factores) y algunos atributos del suelo, son los elementos fundamentales que determinan la distribución espacial de las especies vegetales. Al respecto, García *et al.* (2012) afirman que en las zonas áridas y semiáridas la disponibilidad de agua es el factor más importante que controla la sobrevivencia de las plantas y su producción. Así, el uso potencial de los recursos se puede considerar como la aptitud y capacidad de uso que posee un área de terreno, determinada por las características climáticas, topográficas y edáficas.

Para practicar una agricultura menos vulnerable, Sarandón (2002) hace alusión a la necesidad de producir en los ambientes que satisfagan los requerimientos agroecológicos de los cultivos, ya que al producir una especie fuera de su ambiente se encarece la tecnología de producción, se reduce el rendimiento y eventualmente puede disminuir la calidad de las cosechas.

De acuerdo con Wang *et al.* (2011), conocer las condiciones ambientales en las zonas de producción y comprender el ámbito geográfico en el que se conjunta dicha combinación de factores ambientales, adecuados para la producción de los cultivos, permitirá ubicar con precisión las zonas con mayor potencial de producción para las especies de importancia agrícola, pecuaria y forestal en las principales zonas productoras de una región determinada. En consecuencia, se tendrán mejores bases para la planeación y toma de decisiones tendientes al mejoramiento de los sistemas de producción, en beneficio de los productores de la región.

Para lograr dichos objetivos (generar propuestas de manejo integrales) es necesaria la diagnosis sistémica del agroecosistema. Luego, para describir y evaluar el grado de sustentabilidad de un sistema agrícola se requiere identificar las limitaciones que afectan su funcionamiento y las causas que generan tales limitaciones, para lo cual también es indispensable identificar las potencialidades. Con ello se logran determinar áreas prioritarias de investigación y se pueden hacer propuestas de solución, acordes con las necesidades reales de los productores de cada localidad (Maserá *et al.*, 1999).

El estudio de las condiciones climáticas, del agua y suelo, además de coadyuvar a la valoración de las condiciones reales de cada región, también puede mostrar los puntos fuertes y débiles, facilitando la adopción de los cambios o de las medidas correctoras más adecuadas. Debido a que en BCS no es conveniente ampliar la superficie cultivada dada la escasez de agua, que podría agravarse por efectos del clima, se tendrá que fomentar la productividad de cultivos con métodos compatibles con el ambiente y que faciliten el manejo eficiente del agua y suelo (SAGARPA, 2011).

Los análisis convencionales que se utilizan para determinar los resultados de los sistemas agropecuarios (ej. costo/beneficio), no son adecuados para evaluar su funcionamiento a largo plazo, ya que no integran al análisis las dimensiones sociales y ambientales, las cuales adquieren cada día mayor relevancia.

Para ello, se requiere una perspectiva más amplia que permita evaluar la sustentabilidad en un horizonte de tiempo mayor, así como el uso de indicadores cualitativos y cuantitativos, favoreciendo un abordaje sistémico del tema. Flores y Sarandón (2007) plantean que el uso de indicadores con valores claros, objetivos y generales, permite la operativización del concepto de sustentabilidad y mejora la toma de decisiones de los sistemas agropecuarios.

Según Sundström *et al.* (2008), han surgido nuevos temas de preocupación entre los productores como es el calentamiento global, el cual impacta el entorno agroambiental a través de una alta variabilidad climática. Los sistemas productivos más afectados en situaciones extremas (inundaciones, huracanes, sequías, heladas) son los que presentan menor posibilidad de adaptarse a los cambios.

Una de las formas de detectar dichos impactos consiste en la evaluación periódica de la sustentabilidad de los sistemas productivos y el ajuste de los mismos en base a los resultados de las evaluaciones. El concepto de sustentabilidad es dinámico y parte necesariamente de un sistema de valores; sin embargo, cabe mencionar que no existe y tampoco puede establecerse una definición universal de sustentabilidad (Rametsteiner *et al.*, 2011), sino que debe ser analizado de acuerdo al contexto ambiental y social en que se lleva a cabo el análisis.

Se debe incorporar la pluralidad de preferencias, prioridades y percepciones de lo que se pretende definir como desarrollo agropecuario sostenible. La definición más amplia de sustentabilidad es la que refiere a la posibilidad de mantener una serie de objetivos y propiedades ambientales y socioeconómicas deseados a lo largo del tiempo, tomando en cuenta las diversas dimensiones que tiene un agroecosistema (Artieri, 2002).

La evaluación de sustentabilidad es una herramienta para la planificación y el diseño de un sistema de manejo de recursos naturales con relación a su estabilidad productiva y mejora económica, aceptación social y cuidado del medio ambiente (Powlson *et al.*, 2011).

2. ANTECEDENTES

Baja California Sur (BCS) se extiende en una superficie de 7.3 millones de ha, de las cuales existe un potencial cultivable de 61 725 ha, asociadas a 4 230 productores. Las microrregiones en el estado con mayor intensidad de actividades agrícolas son el Valle de Santo Domingo, la microrregión norte en el Desierto de El Vizcaíno, la microrregión de La Paz y la de San José del Cabo, B.C.S. (SAGARPA, 2011).

Desde sus inicios, las actividades agropecuarias han sido importantes para Baja California Sur, no sólo de manera positiva por su aportación económica, sino también negativa, por el deterioro ambiental que han ocasionado. El efecto principal se manifiesta sobre la disponibilidad de agua, afectada por la sobreexplotación de los acuíferos, debido a que la extracción del agua subterránea ha sido superior a la recarga (Cruz-Falcón *et al.*, 2011).

Las actividades agrícolas bajo condiciones de cambio climático, requieren de escenarios precisos dada la vulnerabilidad de este sector a cambios en el clima y a su dependencia relativa de los regímenes de lluvia, especialmente los de temporal y humedad residual. En las zonas áridas y semiáridas se prevé una mayor frecuencia y severidad de las sequías y calor excesivo, condiciones que en su conjunto limitan significativamente el crecimiento de los cultivos, lo que puede ocurrir prácticamente en todo el estado (Andrade *et al.*, 2009). Por otro lado, las variables climáticas claves para el crecimiento de los cultivos, como la precipitación y temperatura, entre otras, serán posiblemente modificadas e impactarán la producción agrícola debido a consecuencias micro-climáticas derivadas de la amenaza del cambio climático global (Cline, 2007).

En este contexto, el Estado posee una superficie regable de 44 167 ha. La dotación anual de agua para uso agrícola asciende a la cantidad de 277.9 millones (M) de m³, de los cuales corresponden al Valle de Santo Domingo 170 M de m³, que representa 61% de la dotación total en la entidad.

La vegetación predominante es característica de las zonas áridas, la cual subsiste con una precipitación pluvial promedio que fluctúa de 80 a 270 mm anuales, con un clima de cálido a semicálido. En este sentido, la temperatura media anual oscila de 24 a 30 °C, lo que propicia diversos microclimas que hacen factible cultivar en el estado más de 50 tipos de productos hortícolas y más de 12 especies frutícolas (SAGARPA, 2011).

2.1 El Desarrollo Sustentable

El concepto de Desarrollo Sustentable fue utilizado por primera vez en el reporte denominado "Nuestro Futuro Común", también conocido como "Informe Brundtland", publicado por la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y Desarrollo (CMMAD, 1987). En este documento se identifican los elementos de la interrelación entre ambiente y desarrollo, donde se hace un llamado a todas las naciones del mundo a adoptarlo como el principal objetivo de las políticas nacionales y de la cooperación internacional (CMMAD, 1987). A raíz de ello, se desarrolló la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, más conocida como la "Cumbre de la Tierra", realizada en Río de Janeiro, Brasil en 1992.

Desde la publicación de dicho informe, el concepto de sustentabilidad ha cobrado cada vez mayor importancia. Actualmente se ha convertido en uno de los elementos clave para el manejo de recursos naturales, y se visualiza en el centro de las agendas de instituciones gubernamentales, de investigación, organizaciones no gubernamentales y otros grupos relacionados con el manejo de recursos naturales (Candelaria *et al.*, 2012). La discusión sobre el concepto de sustentabilidad y en general sobre 'desarrollo sustentable' ha sido muy amplia e incluye desde posiciones categóricamente retóricas hasta propuestas concretas que buscan hacer operativo este concepto a partir de una crítica fundamentada del modelo de desarrollo actual. La definición global se refiere a un 'metaconcepto' que parte de principios generales y deriva en una aplicación universal.

Sin embargo, no existe una definición única de sustentabilidad, pues en última instancia depende del sistema de valores. Según Giampietro (2004) existe una multiplicidad de perspectivas válidas para su definición y análisis (“dominios no-equivalentes”).

La sustentabilidad debe definirse localmente, prestando atención a la diversidad sociocultural y ambiental, en virtud a que se trata de un concepto complejo y multidimensional que implica entender la interrelación entre aspectos ambientales, económicos y sociales (Figura 1). Por lo anterior, no tiene sentido hablar de sustentabilidad ‘ambiental’ o ‘sustentabilidad económica’ (esta última definida también como “sustentabilidad débil”), sino de la sustentabilidad de los socioecosistemas en su conjunto (también denominada “sustentabilidad dura”) (Artieri y Nicholls, 2000).

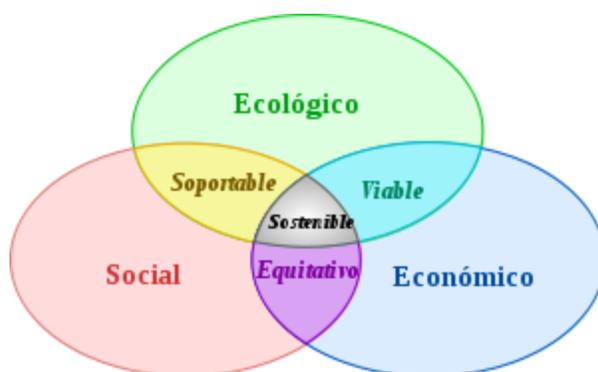


Figura 1. Ejes o dimensiones fundamentales del desarrollo sustentable (adaptado de Toledo, 2007).

Hacer operativo el concepto implica establecer una serie de principios o atributos generales de los sistemas de manejo sustentables, tales como como equidad, productividad, resiliencia, confiabilidad y otros (Artieri, 2013). Dichos atributos permiten entender la capacidad de los socioecosistemas de ser productivos, autorregularse y a la vez transformarse, las cuales son propiedades que han demostrado ser fundamentales para la sustentabilidad de dichos sistemas.

El primer principio de la Declaración de Río de Janeiro coloca a los seres humanos al centro de las preocupaciones relacionadas con el Desarrollo Sustentable, reconociendo el derecho de una vida saludable y productiva, en armonía con la naturaleza. La sustentabilidad demanda respetar, en la intervención humana, los umbrales que permitan que el ambiente mantenga a largo plazo sus capacidades para sostener la vida y los ecosistemas. Al respecto, se considera que el manejo sustentable de las tierras de uso agropecuario debe incluir:

(1) La necesidad de conservar el suelo, el agua y la diversidad genética a partir de mejoras en los sistemas productivos; (2) que dichas mejoras sean asimiladas y conducidas por los propios productores y, (3) que sean económicamente viables y representen mayores ingresos para los pobladores (López, 2006).

La nula o escasa capacitación y actualización de los productores rurales sobre el manejo adecuado de sus recursos naturales, ha sido una limitante más para la producción y, sobre todo, para el manejo sustentable de dichos recursos. Ante el conflicto de la pobreza consecuente al deterioro de los recursos naturales, es necesario revalorar el campo para vivir y sobrevivir, compatibilizar la competitividad y la sustentabilidad y estar convencidos del papel trascendental que deben desarrollar los hombres del campo, no sólo como productores de alimentos, sino como ciudadanos productores de energía renovable o protectores de las riquezas naturales (Tarango, 2005).

2.2 La sustentabilidad de los sistemas agrícolas

Según Ochoa *et al.* (2013), la mayoría de las investigaciones sobre agricultura tradicional sugieren que los sistemas de pequeña escala son sustentablemente productivos, biológicamente regenerativos, eficientes desde el punto de vista energético y socialmente justos o equitativos.

Los argumentos más comunes para reconocer que los sistemas campesinos son sustentables se basan en que la producción agropecuaria se lleva a cabo a través de una relación más armónica con la naturaleza, como consecuencia de una coevolución entre sociedad y medio ambiente.

Se considera un elemento importante al conocimiento tradicional que conlleva un manejo integrado y múltiple de los recursos disponibles. El consumo de insumos externos es bajo y los mecanismos de solidaridad comunitaria son esenciales para propiciar la estabilidad de los sistemas (Médiène *et al.*, 2011). Sin embargo, aún han sido escasos los esfuerzos para evaluar el estatus de sustentabilidad de dichos sistemas y el nivel en que las innovaciones tecnológicas propuestas mejoran el perfil de sustentabilidad.

Al considerar el centro de atención en las actividades agrarias, la FAO define el desarrollo sostenible como *“El manejo y conservación de la base de recursos naturales y la orientación de los cambios tecnológicos e institucionales, de manera que garantice la satisfacción de las necesidades humanas para las generaciones presentes y futuras, en el presente y en el porvenir. Este desarrollo sustentable (en los sectores de la agricultura, la silvicultura y la pesca) conserva los recursos de la tierra, el agua, plantas y animales, no degrada el ambiente, es técnicamente apropiado, económicamente viable y socialmente aceptable”* (FAO, 1988).

En la conferencia de Río, las ONG redactaron su propio Tratado de Agricultura Sustentable, definiéndola como *“un modelo de organización social y económica basado en una visión equitativa y participativa del desarrollo, que reconoce el ambiente y los recursos naturales como las bases de la actividad económica. La agricultura es sustentable cuando es ecológicamente segura, económicamente viable, socialmente justa, culturalmente apropiada y basada en un método científico holístico”* (ONU, 1992).

El concepto que integra los principales elementos comunes de las distintas definiciones (González, 2001) incluye los siguientes aspectos y consideraciones:

- Implica un manejo de los recursos y agroecosistemas, toda vez que se trata en general de ecosistemas artificiales y no de ecosistemas naturales.
- Contiene necesidades y en consecuencia, las demandas actuales y futuras que deben ser satisfechas en mejores condiciones, reflejadas en los precios, cada vez más estables y accesibles, de los productos agrarios.
- Implica mantener y mejorar la base de recursos naturales y, por ende, de la producción y la productividad.
- Incluye equidad y respeto por los valores de la comunidad.

La sustentabilidad requiere ser valorada con el propósito final de implementar técnicas o tecnologías que mejoren o minimicen el impacto ambiental. Los indicadores e índices surgen como la base de las metodologías de evaluación de sustentabilidad, debiendo cumplir una serie de requisitos para ser de utilidad.

Entre los requisitos que deben satisfacer, la integración de las tres dimensiones de la sustentabilidad (económica, social y ambiental) es fundamental y reviste la mayor importancia (Kiers *et al.*, 2008).

2.3 Las evaluaciones de sustentabilidad agroecológica

En la actualidad existe una creciente necesidad de desarrollar métodos para evaluar el desempeño de los sistemas socio-ambientales y guiar las acciones y políticas para el manejo sustentable de recursos naturales (Astier *et al.*, 2008). La pluralidad de perspectivas que integra el concepto de sustentabilidad impone un reto importante, pues dificulta llegar a acuerdos sobre la forma y los métodos de evaluación. Como afirma Galván-Miyoshi (2008), los indicadores han sido un elemento central en los esfuerzos por llevar a la práctica el concepto de sustentabilidad. Sin embargo, la selección de indicadores a utilizar y cómo aplicarlos a diversas situaciones no es un paso obvio. En términos generales, los esfuerzos dirigidos a proporcionar estrategias de evaluación de la sustentabilidad se pueden clasificar en tres grandes grupos:

Un primer grupo se ha centrado en la generación de listas de indicadores de sustentabilidad, enfocados principalmente en aspectos ambientales, económicos y, en menor medida, sociales e institucionales (Spangenberg *et al.*, 2002).

Sin embargo, tales enfoques carecen de una base teórica sólida para la selección de indicadores específicos, en virtud de que no es posible aplicar los indicadores a contextos diversos y tienen dificultades para discriminar los indicadores relevantes para la sustentabilidad de los sistemas de manejo. En consecuencia, finalmente no procuran integrar los resultados de los indicadores, por lo que aportan pocos elementos para la planificación y la toma de decisiones. Un segundo grupo está constituido por métodos de evaluación basados en la determinación de índices de sustentabilidad, en los cuales se agrega o sintetiza la información de los indicadores en un solo valor numérico (Esty *et al.*, 2005).

Al igual que las listas de indicadores, los enfoques mencionados no ofrecen un marco analítico sólido para la derivación de indicadores. Su construcción requiere decisiones arbitrarias o empíricas en cuanto a la selección, la ponderación y la agregación de los indicadores.

Un último grupo de métodos son los marcos de evaluación (Kumar *et al.*, 2009), los cuales son propuestas metodológicas flexibles que permiten guiar el proceso de evaluación mediante diferentes etapas o pasos. Más allá de una definición precisa, parten de atributos u objetivos generales que son aplicables en diferentes situaciones y sistemas de manejo y que sirven de guía para derivar criterios e indicadores más específicos.

En los últimos años se han desarrollado varios de estos métodos en el contexto del manejo de recursos naturales. En este sentido, Gravina *et al.* (2012) indicaron que los marcos de evaluación constituyen un avance importante en los esfuerzos para operativizar el concepto de sustentabilidad, toda vez que representan un vínculo entre el desarrollo teórico del concepto y su aplicación práctica.

2.4 Metodologías para la evaluación de la sustentabilidad agroecológica

Las metodologías de evaluación emergieron como una de las herramientas más útiles para hacer operativo el concepto de sustentabilidad, en virtud de que han permitido clarificar y reforzar los aspectos teóricos de la discusión sobre el tema, asimismo, para formular recomendaciones técnicas y de política para el diseño de sistemas más sustentables de manejo de recursos naturales (Galván- Miyoshi *et al.*, 2008). En efecto, en la medida en que las estrategias de desarrollo convencionales se empezaron a fracturar, debido a sus graves impactos ambientales y por la creciente desigualdad social, se hizo evidente la necesidad de un modelo alternativo basado en una relación armónica entre la sociedad y la naturaleza.

Este nuevo modelo se denominó 'Desarrollo Sustentable' y más allá de la abundante polémica sobre su uso con fines retóricos o políticos, fue concebido como un proceso que trataría de balancear las consideraciones socioeconómicas con los aspectos ambientales a fin de no comprometer el futuro del planeta en el largo plazo (Martínez, 2002).

De acuerdo con Altieri (2013), en el manejo de recursos naturales las consideraciones sobre sustentabilidad significaron un cuestionamiento severo del enfoque productivista o tipo 'revolución verde', como se lo conoció en la agricultura que se orientaba a optimizar la productividad biofísica de los sistemas y su rentabilidad económica a corto plazo, por encima de otras consideraciones importantes. El citado autor afirmó que desde hace tiempo se ha demostrado que los sistemas más productivos no son necesariamente los más sustentables. Por ejemplo, los sistemas a base de monocultivos de altos rendimientos que requieren grandes subsidios energéticos y provocan el progresivo agotamiento del agua o los suelos y la marginación de amplios sectores de productores.

También ha sido evidente que las evaluaciones convencionales, como las de tipo beneficio-costos, basadas solamente en la agregación de los aspectos relacionados con los sistemas productivos en términos monetarios, eran insuficientes o simplemente inadecuadas (Ding, 2008).

Fue necesario entonces derivar una serie de indicadores que permitieran concretizar dichas propiedades generales y, en última instancia, integrarlas armónicamente en marcos de evaluación que dieran cuenta del carácter multidimensional de los sistemas socio-ambientales.

2.5 Evaluación de la sustentabilidad agroecológica mediante indicadores

El debate en torno a la sustentabilidad se ha extendido y profundizado en múltiples direcciones. Así como han existido voces críticas que acentúan deficiencias y sesgos de la noción de sustentabilidad, también ha surgido una serie de interpretaciones, marcos conceptuales y metodologías, orientadas tanto al diseño de herramientas de evaluación de las cuestiones clave del desarrollo sustentable, como a la formulación de políticas para la gestión adecuada de los recursos naturales y del ambiente (Astier *et al.*, 2002).

Para avanzar en dichos esquemas, es necesario que la complejidad y multidimensión de la sustentabilidad sean simplificadas en valores claros, objetivos y de aplicación generalizada, denominados: *indicadores*.

De acuerdo con Ness *et al.* (2011), “un indicador es más que una estadística, es una variable que en función del valor que asume en determinado momento, despliega significados que no son aparentes inmediatamente y que los usuarios decodificarán más allá de lo que muestran directamente, porque existe un constructor cultural y de significado social que se asocia al mismo”. Es una variable que brinda las bases para evaluar tendencias ambientales, sociales y económicas o establecer metas de políticas.

Los indicadores pueden ser cualitativos (aparición de canalículos de erosión, percepciones sobre la utilidad de una tecnología, otros), cuantitativos (tasa de infiltración, rendimientos, valor de la producción, cantidad de nematodos por volumen de suelo, otros) o índices compuestos por la relación entre diferentes variables (índice de calidad del suelo, índice de desarrollo humano, índice de sequía) (Astier *et al.*, 2002).

Además, un indicador de sustentabilidad lleva implícito un conjunto de valores y metas evocados en el concepto de sustentabilidad (Ming-Lang, 2013). Por ello, los indicadores son muy importantes para hacer operativos los atributos de sustentabilidad en variables que se puedan medir localmente. Por esta razón, no existe una lista definida de indicadores; de hecho, los indicadores concretos dependerán de las características del problema específico bajo estudio, de la escala del proyecto, del grado de acceso y de la disponibilidad de datos.

El conjunto de indicadores seleccionados está relacionado con su criterio de formulación y debe responder a los objetivos de la evaluación. El uso de indicadores deberá permitir comprender de manera clara y objetiva los puntos críticos de un agroecosistema y permitirá a su vez percibir tendencias y tomar decisiones al respecto (Sarandón, 2002).

Los indicadores son signos de evaluación que se generan del análisis de los procesos que utilizan recursos ambientales para producir resultados. Se obtienen mediante una serie de parámetros específicos que, considerados en su conjunto y no de manera aislada, determinan la eficiencia, la economía, la equidad, el impacto ambiental y el productivo (López y Mantilla, 2006).

La OECD (2002) define *indicador* como "una variable que describe una característica del estado de un sistema, generalmente a través de datos observados o estimados". Algunos indicadores de acuerdo con Mayer (2008), pueden informar acerca de la posición de un sistema particular en relación con límites u objetivos y proporcionan señales para medir el progreso hacia metas que contribuyen conjuntamente al bienestar humano y a la estabilidad de los ecosistemas.

La característica principal de los indicadores es su capacidad para resumir y centrar la enorme complejidad del entorno dinámico a una cantidad manejable de información significativa (Godfrey y Todd, 2001). Por lo anterior, los indicadores de sustentabilidad, permiten la visualización de fenómenos, poniendo de relieve las tendencias, lo que permite simplificar, cuantificar, analizar y comunicar de un modo más simple la información compleja que se registre y acumule.

Además, proporcionan información clave que facilita el análisis de las tendencias y de las relaciones causa-efecto (Singh *et al.*, 2009).

Los indicadores son, por tanto, herramientas para llegar a un objetivo y guían para tomar decisiones sobre cómo usar los recursos naturales, los cuales se pueden clasificar atendiendo sus diferentes características descriptivas. En el sector agrícola los indicadores de sustentabilidad tienen importantes aplicaciones:

- Decidir la conveniencia o no de la adopción de diferentes propuestas o paquetes tecnológicos.
- Evaluar la introducción de un nuevo cultivo o el desplazamiento de un cultivo de una zona a otra.
- Analizar la estabilidad del rendimiento de los cultivos convencionales en una zona.
- Comparar diferentes sistemas de producción.
- Evaluar el riesgo o beneficio de un determinado sistema productivo en el tiempo.

Dichos indicadores, que expresan en cierto nivel y magnitud las interrelaciones entre el desarrollo socio-económico y los fenómenos ecológico-ambientales, constituyen para los tomadores de decisiones un punto de referencia para la evaluación del estatus de la sustentabilidad (Sánchez, 2009).

Las actividades agrícolas tienen una fuerte dependencia de los recursos naturales y a satisfacer la demanda de alimentos, aunque a menudo llevan a la sobreexplotación y al deterioro del ambiente. Es esencial, en consecuencia, el control preciso de los recursos naturales y de los cambios que se producen en los mismos. Además, los principales recursos de los que depende la actividad agrícola, la fertilidad del suelo y la biodiversidad, son difíciles de cuantificar y su deterioro no se refleja a corto plazo en los resultados productivos (Calatrava y Sayadi, 2006).

2.5.1 Selección de indicadores de sustentabilidad agroecológica

Según Claverias (2000), para la selección de indicadores se debe partir de las necesidades y problemas de los productores, así como de los proyectos y acciones que proponen las instituciones interesadas en la promoción del desarrollo. Para seleccionar los indicadores más adecuados deben tenerse en cuenta las características del sistema que se está evaluando y el grado de precisión que se pretende conseguir en dicha evaluación.

En este sentido, el proceso de selección de indicadores es tan importante como los propios indicadores: indicadores mal elegidos pueden proveer una apreciación débil o incorrecta del estado de situación del sistema en estudio (Glave y Escobal, 2000).

De manera análoga como ocurre en cualquier actividad productiva, a la agricultura se le exige demostrar su factibilidad técnica, su viabilidad económica y se debe también analizar su sustentabilidad. Los indicadores no solo van a permitir una valoración de la misma, también van a mostrar los puntos fuertes y débiles de cada sistema de producción, facilitando la adopción de los cambios o de las medidas correctivas más adecuadas (Fischer *et al.*, 2002).

Los indicadores de sustentabilidad se construyen a través de la evaluación de agroecosistemas reales, tomando como marco de referencia las características fundamentales de los agroecosistemas sustentables (Astier *et al.*, 2003). Las evaluaciones se realizan a través de criterios de diagnóstico que permiten construir indicadores del estado del sistema (Masera *et al.*, 1999).

Para este efecto, se han propuesto diversos métodos de diagnóstico (*e.g.*, FESLM, IICA, CIFOR, SAFE); uno de los métodos que se está empleando en la actualidad en varios países latinoamericanos con probado éxito es el método MESMIS (Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales mediante Indicadores de Sustentabilidad) (Masera *et al.*, 1999).

2.6 El Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS)

El método MESMIS, propuesto por el Grupo Interdisciplinario para Tecnología Rural Apropiada de México (GIRA), consiste en un procedimiento de evaluación de la sustentabilidad de sistemas de recursos naturales que se ha aplicado en diferentes situaciones (Astier y Hollands, 2007; Frías y Delgado, 2003; Gomero y Velásquez, 2007) con aceptación por parte de técnicos y productores.

Es una herramienta para la planificación y el diseño de sistemas de manejo de recursos naturales, que permite mejorar el perfil social y ambiental. Un aspecto indispensable para diseñar y aplicar este marco de evaluación es la realización de un proceso participativo, que debe promover la discusión y retroalimentación de evaluadores y evaluados, como forma de construir colectivamente una herramienta para la medición de agroecosistemas a partir de indicadores. Para ello se hace necesario el conocimiento de la comunidad involucrada y contar con facilitadores, que incorporen un enfoque de investigación participativa, mediante el cual se promueva el diálogo de experiencias y saberes (Ding, 2008).

Asimismo, considera una perspectiva de trabajo interdisciplinario, que permite determinar de manera integral (incluyendo las interrelaciones entre aspectos sociales, económicos y ambientales) las limitantes y posibilidades para la sustentabilidad de los sistemas de manejo (Astier y Hollands, 2007). El MESMIS permite medir la sustentabilidad a través de la comparación de dos sistemas o más al mismo tiempo o analizar la evolución de un sistema a través del tiempo (Sarandón, 2002).

El componente temporal es uno de los aspectos más difíciles de manejar ya que es intrínseco a la definición de sustentabilidad. Una escala temporal sugerida por Smyth & Dumansky (citado por Sarandón, 2002), fijan un límite de 25 años para evaluar sustentabilidad e insustentabilidad de los sistemas de producción.

Por su parte, Mas de Noguera (2003) hizo énfasis en que el MESMIS es un esfuerzo por abordar, con una mirada integral y sistémica, la evaluación de la sustentabilidad, que a la vez resulta una herramienta práctica para ser utilizada en el campo.

El uso de indicadores permite decidir la incorporación de nuevas tecnologías, cultivos y/o rubros de producción, asimismo, para evaluar sus riesgos en el tiempo. El diseño, desarrollo y aplicación exitosa de indicadores exigen un enfoque sistémico y holístico, con un conocimiento robusto del ecosistema.

La metodología propone caracterizar el sistema, el contexto socio-ambiental y el ámbito espacial de la evaluación, incluyendo todos los componentes del sistema, los insumos, la producción y el manejo, considerando las características sociales y económicas de los productores y su forma de organización.

Para evaluar la sustentabilidad con el MESMIS, se utilizan 7 atributos básicos de un agroecosistema (Maserá *et al.*, 1999): Productividad, estabilidad, confiabilidad, resiliencia, adaptabilidad, equidad y autogestión. A partir de los atributos citados, se identifican los puntos críticos para la sustentabilidad del sistema, los que luego se relacionan con tres áreas de evaluación (ambiental, social y económica).

Para cada área de evaluación se definen criterios de diagnóstico e indicadores específicos (Maserá *et al.*, 1999). Tal procedimiento garantiza una relación coherente entre los indicadores y los atributos generales, siendo diseñados para un sistema de manejo concreto, en un lugar y tiempo determinado y con un entorno social y ambiental específico.

Guzmán y Alonso (2007) apuntan que la información que ofrece el MESMIS es útil para la discusión y toma de decisiones a distintos niveles: para los agricultores, que pueden tomar medidas para aspirar a la sustentabilidad; para los actores políticos o directivos, que tienen la posibilidad de elaborar políticas y estrategias agrarias que corrijan los puntos críticos que ponen en peligro la sustentabilidad del sistema; y para los investigadores y técnicos, que tienen la posibilidad de obtener información sistémica clave para comprender las interrelaciones y los diversos problemas que afectan la sustentabilidad de los agroecosistemas.

Desde la óptica metodológica, las evaluaciones de sustentabilidad de los sistemas productivos evolucionaron de marcos de evaluación en la década de 1990; como ejemplos, destacan el marco FESLM (Gameda y Dumanski, 1994) y el marco del CIFOR para sistemas forestales (Prabhu *et al.*, 1999). Los métodos mencionados constituyeron un avance significativo, toda vez que permitieron dar mayor coherencia al proceso de derivación y al monitoreo de indicadores.

De manera simultánea, también se han alcanzado avances importantes en las técnicas gráficas de integración de resultados basados en criterios múltiples, aunque todavía no necesariamente ligadas a las evaluaciones de sustentabilidad. Ejemplos importantes son el diagrama AMOEBA de Ten Brink (1991), los mapas para la representación multiescalar de Giampietro y Pastore (2000) y los mapas para evaluación de sustentabilidad de Clayton y Radclife (1996), que han facilitado notablemente el trabajo de interpretación de los resultados de la evaluación.

Sin embargo, la mayor parte de las metodologías inicialmente propuestas concebían a la evaluación como un proceso lineal, sin un sustento teórico sólido para la derivación de indicadores. Varias de estas metodologías se quedaron en artículos científicos y nunca fueron validadas en campo. A partir de los citados antecedentes, Speelman *et al.* (2007) afirmaron que el desarrollo del MESMIS propone varios cambios e innovaciones fundamentales para paliar las deficiencias detectadas en los métodos anteriores. Así, se derivó un proceso de evaluación de sustentabilidad cíclico, con un enfoque participativo, sistémico y multiescalar, validado mediante estudios de caso, que tiene como meta fundamental aportar elementos concluyentes para mejorar los sistemas de manejo de recursos naturales. De esta forma, se busca entender de manera integral las limitantes y las posibilidades para la sustentabilidad de los sistemas de manejo que surgen de la intersección de procesos ambientales con los ámbitos social y productivo. Tal como plantean Astier y Hollands (2007), el MESMIS presenta una estructura flexible para adaptarse a diferentes niveles de información y capacidades técnicas disponibles localmente e implica un proceso de evaluación participativa.

La sustentabilidad se concibe y aplica de manera dinámica, multidimensional y específica a un determinado contexto socio-ambiental y espacio-temporal. Guzmán y Alonso (2007) explicaron que los sistemas de manejo sustentables son aquellos que “permanecen aún cambiando”, para lo cual tienen la capacidad de ser productivos, de autoregularse y de transformarse, sin perder su funcionalidad.

2.7 Producción agrícola en Baja California Sur. Diagnóstico y Perspectivas

En Baja California Sur (BCS) las actividades agrícolas iniciaron en la década de los 40's del Siglo XX, con la finalidad de brindar oportunidad de desarrollo socioeconómico a los habitantes de las regiones rurales del Estado. En ese entonces escasamente poblado, algunas zonas mostraban potencial para dicha actividad. Desde sus inicios, las actividades agropecuarias han sido importantes para Sudcalifornia, no sólo de manera positiva por su aportación económica, sino también negativa, por el deterioro ambiental que han ocasionado. El efecto principal se manifiesta sobre la disponibilidad del agua, afectada por la sobreexplotación de los acuíferos, debido a que la extracción hídrica ha sido superior a la recarga anual (SAGARPA, 2006).

La agricultura en BCS consume en promedio 80% del agua dulce disponible en los acuíferos de las regiones productoras, razón por la que se encuentran sobreexplotados. En consecuencia, la agricultura es una de las actividades que habrá de racionalizar el uso de los recursos e insumos disponibles, que requiere el diseño y aplicación de medidas para enfrentar la inminente escasez de agua. Cabe destacar la importancia que conlleva la implementación de estrategias de conservación del agua para la agricultura, con la finalidad de revertir y remediar mayores repercusiones futuras sobre los acuíferos y evitar escenarios de contaminación por intrusión salina (Meza, 2001).

La amenaza del cambio climático global ha causado preocupación entre los científicos, ya que las variables climáticas que son clave para el crecimiento de los cultivos, como la precipitación y temperatura, entre otras, serán posiblemente modificadas e impactarán la producción agrícola.

Aunque los efectos de los cambios en el clima sobre la producción de cultivos varía de una región a otra, se espera que tales cambios conlleven efectos significativos y de envergadura significativa, principalmente en las zonas tropicales, subtropicales y semiáridas del país, por lo que la planeación agrícola en este contexto se convierte en un aspecto clave, principalmente en las regiones agrícolas con regímenes de precipitación que se encuentran entre semiárido y árido, donde la agricultura requiere de la irrigación para su desarrollo y fortalecimiento (Cline, 2007).

De manera específica, hacia el sur del Estado se pueden presentar impactos por el efecto de huracanes y tormentas tropicales posiblemente más agresivas, donde eventualmente se esperaría un aumento en las precipitaciones, las cuales dañarían los cultivos debido a la erosión y en algunos casos ocasionarían inundaciones extraordinarias.

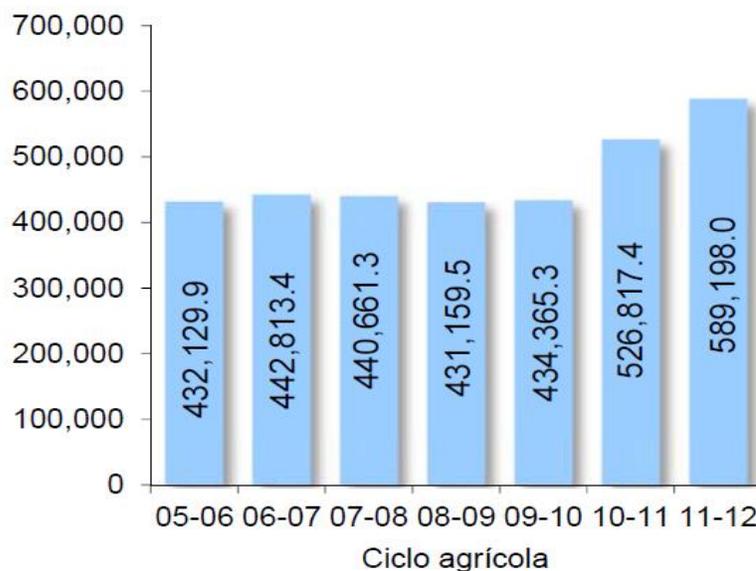
Un incremento en la intensidad de los ciclones tropicales causará daño en los cultivos en ecosistemas costeros, mientras que al subir el nivel del mar, los acuíferos costeros se verán afectados por procesos de intrusión marina y salinización (Doering *et al.*, 2002).

Debido a que en BCS no es conveniente ampliar la superficie cultivada dada la escasez de agua, que podría agravarse por efectos climáticos, se tendrán que realizar esfuerzos significativos para fomentar la productividad de los cultivos con medios compatibles con el ambiente y fundamentalmente con el manejo eficiente del recurso hídrico (SAGARPA, 2010).

En fechas recientes, la transferencia de tecnología se centra en la adecuación y validación de nuevos cultivos, principalmente para el ahorro de agua y a la diversificación de la producción, aunque no se ha experimentado considerando variaciones posibles debidas al cambio climático.

Debe tomarse en cuenta que la aptitud del suelo para la agricultura, con tecnología apropiada en promedio es de nivel medio y bajo, debido a la extrema aridez, la escasez de agua y la baja fertilidad de los suelos, entre otros factores (González-Sousa *et al.*, 2006).

En promedio, en el estado la superficie cosechada a partir de 2008 ha mostrado una tendencia a la baja, recuperándose a partir del ciclo 2010-2011, alcanzando una extensión de 38,592.7 ha. Durante el ciclo 2011-2012, el volumen total de la producción agrícola ha manifestado un incremento sustancial en los últimos años. Por su parte, en el ciclo 2011-2012 la producción fue poco más de 589,000 toneladas (Figura 2), 11.8% mayor a la del año previo (Gov. del Edo, 2013). Los cultivos más representativos son del grupo de perennes (38.7%), hortalizas (24.1%) y básicos (23.1%). Del grupo de hortalizas, destaca el tomate y el chile; de los perennes alfalfa y naranja, y de los básicos, papa y maíz.

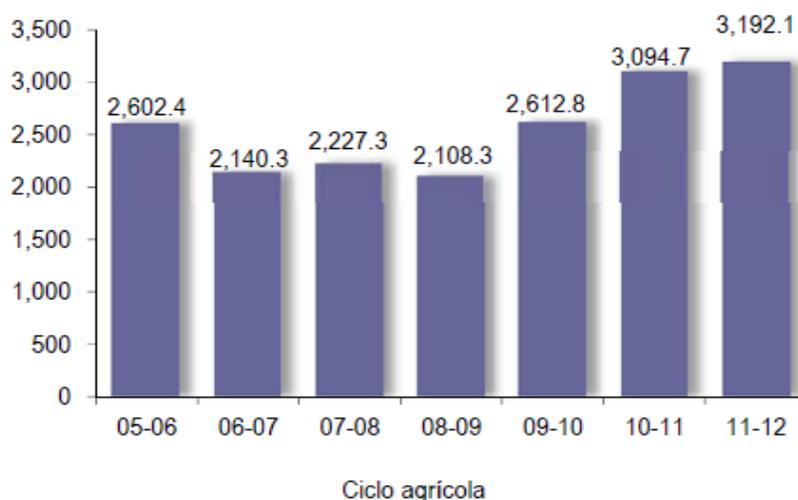


Fuente: Gobierno del estado de Baja California Sur. 2013

Figura 2. Volumen de la Producción Agrícola en BCS, 2006-2012 (toneladas).

Según informes del Gobierno del Estado (2013), el valor total de la producción agrícola durante 2011-2012 fue de 3,192 millones de pesos (Figura 3), que refleja un incremento y un nivel sustancialmente mayor en los últimos 5 años.

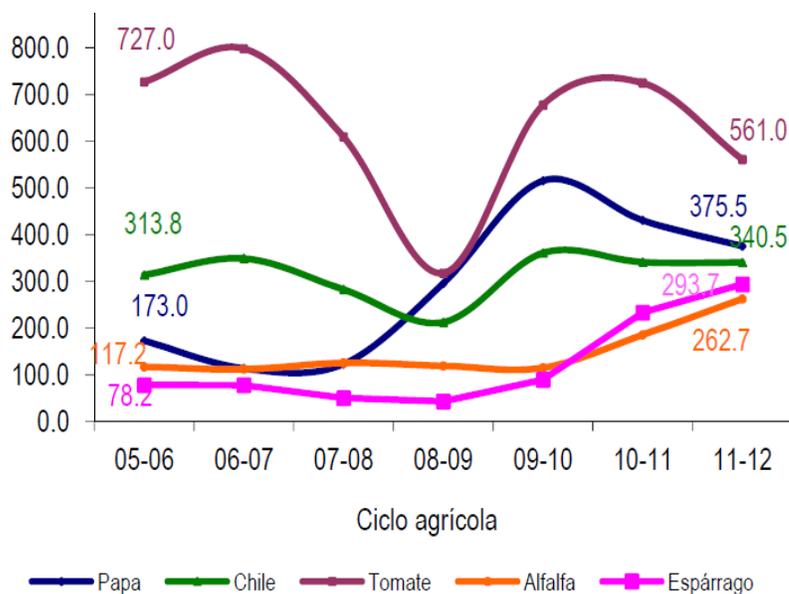
La participación más importante la manifestaron los cultivos perennes (29.9%), hortalizas (29.8%), básicos (21.3%) y orgánicos (9.0%). Esta misma fuente confirma que durante el 2010-2011, los cultivos de mayor valor fueron el tomate (17.6%), papa (11.8%), chile (10.7%), alfalfa (9.1%) y espárrago (9.2%), que en conjunto aportaron el 58.4% del valor de la producción total en el Estado (Figura 4). De manera complementaria, destacan también los cultivos de garbanzo, maíz, naranja y fresa.



Fuente: Gobierno del estado de Baja California Sur. 2013

Figura 3. Valor de la Producción Agrícola en BCS, 2006-2012 (millones de pesos)

De la superficie agrícola del estado, el 75% corresponde a la agricultura de riego y el 25% restante a la agricultura de temporal (Gov. del Edo, 2013). En un escenario tendencial, en el área hidroagrícola solo se realizan acciones sistemáticas que ponen en riesgo la conservación de la superficie actual de riego



Fuente: Gobierno del estado de Baja California Sur. 2013

Figura 4. Valor de la Producción de principales cultivos en BCS, 2006-2012 (millones de pesos)

La información sinóptica sobre la superficie cosechada y valor de la producción en las principales regiones productoras de B.C.S se muestra en la tabla 1, donde se observa que el Distrito de Comondú, donde se ubica el VSD, es la región agrícola más importante en el estado.

Tabla I. Superficie cosechada y valor de la producción en las principales regiones agrícolas de Baja California Sur, ciclo 2013.

Distrito	Superficie sembrada (ha)	Superficie cosechada (ha)	Valor de la producción (Miles de pesos)
Comondú (VSD)	28,089.30	26,573.50	1,147,686.46
La Paz (CALAP)	3,688.00	3,208.50	533,536.15
Los Cabos	2,061.50	1,745.50	128,655.27
Mulegé (VVGN)	2,602.75	2,370.75	715,267.85
Total	36,441.55	33,898.25	2,525,145.74

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SIAP, 2013

2.8. Caracterización agrícola de las zonas de estudio

2.8.1. La cuenca de La Paz

El Municipio de La Paz dispone de un potencial agrícola de 15,173 ha; cuenta con una superficie regable de 8,447 ha, de las cuales el 48% se riegan con sistemas presurizados y el 52% se riega por métodos de superficie o gravedad. En dicha cuenca se identifican tres principales zonas agrícolas: Los Valles de La Paz – El Carrizal, El Valle de los Planes y Todos Santos. Referente al recurso agua para riego, el Municipio de La Paz tiene autorizada una dotación anual de 43.6 millones de m³, la cual es extraída a través de 217 pozos profundos, 70 pozos a cielo abierto, 5 manantiales, 2 plantas de bombeo y 1 galería filtrante (SAGARPA, 2006).

Las propias condiciones ambientales y necesidades de extracción, han causado que en los últimos 30 años el nivel freático haya bajado entre 3 y 15 m, según la proximidad a la línea costera, ocasionando que actualmente se tengan pozos con profundidad desde 30, llegando en algunos casos hasta 120 m, con niveles de bombeo frecuentemente desde 60 m de profundidad. Asimismo, se conoce que el acuífero de La Paz es uno de los más explotados en el Estado, cuya sobreexplotación es mayor al 150% (Cruz, 2007).

2.8.2. El Valle de Santo Domingo, Municipio de Comondú

En el Municipio de Comondú, se concentra la mayor parte de la actividad agrícola, al disponer de una superficie potencial de 55,000 ha, con 1681 agricultores, de los cuales 1,004 son ejidatarios y 677 pequeños propietarios. En esta porción de BCS se identifican dos zonas agrícolas, el Valle de Santo Domingo y la región de La Purísima – Comondú. El Valle de Santo Domingo cuenta con 23,216 ha regables, de las cuales 32 % se riega con sistemas presurizados y 68 % con sistemas de riego por gravedad.

En la Zona la Purísima - Comondú se dispone de 430 ha irrigadas 100 % mediante gravedad (SAGARPA, 2006). Datos de CONAGUA (2009) confirman que la agricultura en estas zonas se realiza mediante el aprovechamiento de 721 pozos profundos, dos presas derivadoras y 5 manantiales. Es importante destacar que en el 2004 se logró por primera vez en la historia reciente el equilibrio del acuífero en el Valle de Santo Domingo, al registrarse en dicho año una extracción de 167.2 millones de m³ en dicho año agrícola, cuando la recarga fue de 171 millones de m³ cúbicos anuales.

2.8.3. El Valle del Vizcaíno-Guerrero Negro

Informes de SAGARPA (2006), señalan que Mulegé es el municipio que tiene la mayor dimensión geográfica, al contar con una superficie de 3.3 millones de ha, que representan el 44% del total estatal, con un potencial de tierras clasificadas para uso agrícola de 13,700 ha. Cuenta con 792 agricultores de los cuales 563 son ejidatarios y 229 pequeños propietarios. En este municipio se tienen identificadas cuatro áreas agrícolas, el Valle de Vizcaíno, con 6,790 ha, Valle de Mulegé con 973, San Bruno - San Lucas con 301 y la zona de San José de Magdalena - Santa Águeda con 51 ha. Dichas regiones agrícolas en su conjunto agrupan el 18.4% de la superficie regable del estado con 8,115 ha, de las cuales el 75.5% se encuentra está tecnificada con sistemas de riego presurizado y 24.5% cuenta con sistemas de riego superficial o por gravedad.

Según CONAGUA (2008), la agricultura en esta zona se realiza con agua extraída del subsuelo por medio de 207 pozos profundos, 35 a cielo abierto, 2 presas derivadoras y 3 manantiales con una dotación global de agua de 49 millones de m³ y una extracción promedio anual de 54 millones de m³ registrándose en esta región una sobreexplotación del 10%.

2.9. Vulnerabilidad hidroedafoclimática de zonas agrícolas semiáridas

Shengcai *et al.* (2011) afirman que la vulnerabilidad puede ser entendida como la incapacidad de un sistema para absorber, mediante autoajuste, los efectos de un determinado cambio en su ambiente, es decir, su inflexibilidad para adaptarse a dicho cambio y la susceptibilidad que tiene de ser afectado o de sufrir una pérdida. En este sentido, es importante documentar el efecto negativo de los factores que inciden en los sistemas agrícolas y evaluar la vulnerabilidad de los mismos ante distintos escenarios de cambio (Brenkert y Malone., 2005). Estudios relacionados con dicha problemática son relevantes, en particular a escala regional, que permitan diseñar estrategias de adaptación de las regiones y sectores más vulnerables, de manera que influyan en el diseño de políticas de desarrollo sustentable.

Monterroso *et al.* (2009) apuntaron que el análisis de la vulnerabilidad permite establecer indicadores de vulnerabilidad ambiental, socio-económica y demográfica ante eventos asociados al cambio climático y a otros tipos de contingencias, a nivel local, regional o nacional, para lo cual pueden utilizarse enfoques cuantitativos mediante estadísticas e indicadores o enfoques cualitativos que analicen los mencionados procesos.

Las actividades agrícolas bajo condiciones de cambio climático, requieren de escenarios precisos dada la vulnerabilidad de este sector a cambios en el clima y a su dependencia de los regímenes de lluvia, especialmente los de temporal y humedad residual. Por otro lado, las variables climáticas clave para el crecimiento de los cultivos, como la precipitación, temperatura y otras, serán posiblemente modificadas e impactarán la producción agrícola debido a la amenaza del cambio climático global (Cline, 2007), con efectos a escala local.

2.10 La resiliencia socio-ecológica de las regiones agrícolas

En 1973 Crawford Holling introdujo por primera vez el concepto de resiliencia como una forma de comprender los procesos a través de los cuales los ecosistemas se auto-mantienen y persisten frente a las perturbaciones y los

cambios. Posteriormente, dicho concepto adquirió un alto grado de desarrollo ya que se adoptó en estudios sobre la forma en que las sociedades se comportan para llevar adelante sus actividades y los impactos que las transformaciones tienen en el devenir de los sistemas humanos. En la actualidad, uno de los principales enfoques o estrategias que desde el ámbito científico se están desarrollando para responder a los desafíos que los cambios ambientales, y en particular el cambio climático, están ejerciendo sobre la sustentabilidad de sistemas agrícolas, es la denominada “Resiliencia Socioecológica”. Este concepto fue desarrollado por Folke (2006), el cual incorpora ideas de adaptación, aprendizaje, innovación, novedad y autorganización de los sistemas, además de la capacidad de persistir después de la perturbación. Ríos *et al.* (2013) consideró adecuada dicha perspectiva para el estudio de los sistemas agrícolas, porque en ellos las interacciones socioecológicas generan reajustes y cambios constantes en las dinámicas y estructuras del sistema, siendo necesario que las interacciones se ajusten adaptativamente para que el sistema sea sustentable. La resiliencia de un socioecosistema se concibe como su capacidad para hacer frente a los cambios y no precisamente para resistirse a ellos, toda vez que son inevitables. Se trata, por tanto, de la habilidad de un socioecosistema para absorber creativamente la transformación sin perder su identidad como tal. Según Escalera y Ruiz (2011), una débil resiliencia da paso a la vulnerabilidad de los socioecosistemas, que verían comprometida su continuidad ante las transformaciones externas o internas que no son capaces de integrar o asimilar.

En América Latina, El Niño u Oscilación del Sur (ENOS) es la fuente más importante de variabilidad y ha causado grandes pérdidas económicas e impactos sociales. Los huracanes han incrementado su frecuencia y severidad en el norte de América Latina y el Caribe, afectando severamente a la región caribeña, México y a Centroamérica (Conde y Saldaña, 2007). En el caso de México, se han observado importantes cambios en los patrones de lluvia durante fuertes eventos de El Niño (1982-1983; 1997-1998), asimismo, durante fuertes eventos de La Niña (1988- 1999).

En las zonas áridas y semiáridas, se prevé una mayor frecuencia e intensidad de las sequías y calor excesivo, condiciones que en su conjunto limitan significativamente las actividades agrícolas (Andrade *et al.*, 2009). Es clave incrementar la capacidad de adaptación de los sistemas agrícolas, de manera que se fortalezca su resiliencia, de tal manera que pueda mantener la integridad de sus funciones frente a cambios notorios (Folke *et al.*, 2010). Lo más importante es comprender como los sistemas pueden desarrollarse, adaptarse y a la vez persistir en el tiempo, lo cual es uno de los desafíos más importantes en un mundo cada vez más dominado por los seres humanos con una interacción gradualmente más agresiva con su entorno (Kimani *et al.*, 2015).

3. JUSTIFICACIÓN

Los análisis convencionales que se utilizan comúnmente para evaluar los sistemas agrícolas en BCS, resultan inadecuados para estimar su sustentabilidad a largo plazo, ya que en general incluyen las dimensiones económica y productiva pero no integran las dimensiones sociales y ambientales. Para ello, se requiere una perspectiva más amplia que permita evaluar la sustentabilidad en un horizonte de tiempo mayor, así como el uso de indicadores cualitativos y cuantitativos, favoreciendo un abordaje sistémico del tema. En este trabajo se parte del supuesto de que el uso de indicadores que integren las tres dimensiones, permite la operativización del concepto de sustentabilidad y mejora la toma de decisiones en los sistemas de producción agrícola. El objetivo se basa en proponer un conjunto de indicadores ambientales, sociales y productivos para evaluar la sustentabilidad a nivel predial de sistemas de producción agrícola de zonas semiáridas. Por lo anterior y desde el punto de vista científico, la contribución del presente estudio es el mejoramiento y adaptación de un método de evaluación de la sustentabilidad agroecológica a localidades representativas de las regiones semiáridas productoras de Baja California Sur (B.C.S), repetible con validez y eficiencia en zonas similares, y generar a su vez un modelo de selección de cultivos con potencial de adaptación a condiciones ambientales restrictivas.

4. HIPÓTESIS

Si el estado de los recursos naturales requeridos por la agricultura en una región semiárida, es afectado por la naturaleza de su entorno ambiental y socio-productivo, el nivel de sustentabilidad agroecológica es un reflejo de las tendencias de indicadores ambientales y socio-económicos implícitos en una metodología sistémica, donde su ajuste con valores de dicha región permitirá evaluar con información fidedigna el nivel de sustentabilidad.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Seleccionar, evaluar e integrar indicadores de sustentabilidad agroecológica en tres regiones agrícola de Baja California Sur, mediante la adecuación y aplicación del método MESMIS.

5.2 Objetivos específicos

- ✓ Analizar el desempeño de los factores clima, agua, suelo, social y productivo en tres zonas agrícolas semiáridas de B.C.S, como indicadores de la dimensión ambiental y socio-productiva.
- ✓ Valorar la resiliencia socioecológica y la vulnerabilidad de tres zonas productoras del B.C.S frente a fenómenos climáticos y a condiciones restrictivas de clima, agua y suelo.
- ✓ Construir un modelo para la selección de cultivos potencialmente adaptables a las condiciones restrictivas del estado y zonas semiáridas similares, mediante los requerimientos agronómicos de los mismos y las características socio-productivas prevaecientes.
- ✓ Determinar el índice de sustentabilidad agroecológica para las tres principales regiones agrícolas del estado de B.C.S a partir de los diferentes factores que intervienen en los agroecosistemas.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Área de Estudio

El estudio se realizó de febrero del 2010 a noviembre del 2014 en tres zonas agrícolas ubicadas en el estado de Baja California Sur (BCS): La Cuenca Agrícola de La Paz (CALAP), el Valle del Vizcaíno-Guerrero Negro (VVGN) y el Valle de Santo Domingo (VSD). La investigación inició con un diagnóstico en áreas agrícolas representativas para el estudio en cada zona (Figura 5). Para este efecto, en la CALAP se seleccionaron 3 Ejidos: El Centenario, Chametla y El Carrizal; en el VSD se trabajó en las áreas de Cd. Insurgentes y Cd. Constitución y en el VVGN la investigación tuvo lugar en Guerrero Negro y el Valle del Vizcaíno.

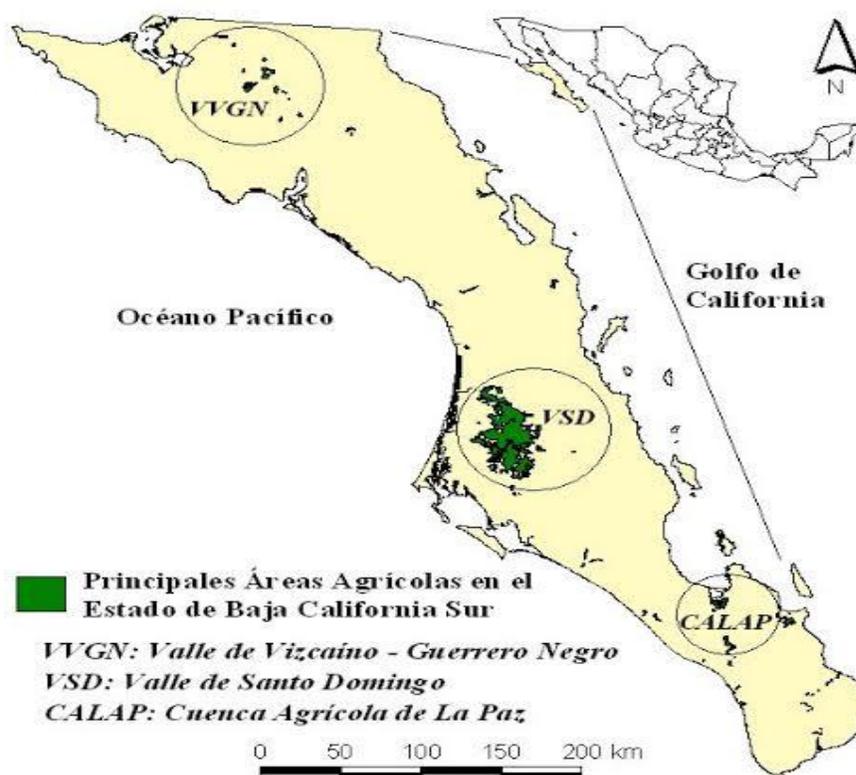


Figura 5. Localización de las zonas agrícolas de BCS. Áreas de estudio donde se ubican los predios.

El clima en las zonas de estudio es semiárido, la precipitación pluvial promedio histórica fluctúa entre 100 y 200 mm, con una temperatura media anual de 24 a 30 °C. Las actividades agrícolas en el estado son importantes no sólo de manera positiva por su aportación económica, sino también negativa por el deterioro ambiental que han ocasionado. El efecto principal se manifiesta sobre la disponibilidad de agua, afectada por la sobreexplotación de los acuíferos y la presencia de altos niveles de sales en los suelos (Troyo *et al.*, 2010).

6.2 Caracterización de los Factores Clima-Suelo-Agua en cada zona (Dimensión ambiental). Obtención de la Información

Para caracterizar cada factor en las zonas de estudio se procedió de la siguiente manera:

- I. *Factor Clima (FC)*: Se sistematizó la información climática, datos diarios de temperatura máxima, mínima y media y de valores de precipitación promedio mensual y anual.
- II. *Factores Agua (FA) y suelo (FS)*: Se colectaron muestras del agua utilizada para riego en los ranchos seleccionados de cada zona, así como muestras de suelo para el análisis de sus características para uso agrícola.

6.3 Estudio climático.

Se recopiló información climática de las zonas de estudio, obtenidas de las estaciones: Observatorio La Paz y El Carrizal para la CALAP; para el VVGN los datos se obtuvieron de las estaciones Vizcaíno y Guerrero Negro y para el VSD los datos correspondieron a las estaciones de Cd. Insurgentes y Santo Domingo. La información analizada correspondió al período 1980-2012 (Tabla 1). Las variables climáticas analizadas fueron la temperatura máxima, mínima, promedio mensual y anual (°C); precipitación promedio mensual y anual (mm).

Con los datos obtenidos se construyeron los indicadores: *índice de disponibilidad ambiental* y el *índice de sequía hidroambiental*.

Los índices se calcularon de acuerdo al método de De Martonne, modificado por Troyo *et al.* (2004). El modelo seleccionado fue una función binomial donde X1 es la temperatura media mensual en °C y X2 es la precipitación mensual en mm, de tal forma que $A_{\text{mod}} f(t, pp)$. El citado índice muestra un valor con mayor sensibilidad para la interpretación, cuya escala está limitada de 0 a 10 unidades, aplicable a condiciones de precipitación menor a 100 mm mensuales, característico de las zonas áridas. Dicha función fue definida de la siguiente forma (Ecuación 1):

$$IDHA = Ke \frac{(12pp)}{t + 10} \quad (1)$$

donde: IDHA es el índice de disponibilidad hidro-ambiental; pp es la precipitación mensual en mm; t es la temperatura media mensual en °C y Ke es un coeficiente adimensional de ajuste de escala, con valor de 0.33. La condición hídrica fue complementada definiendo la siguiente relación (Ecuación 2):

$$ISHA = 10 - IDHA \quad (2)$$

donde: ISHA es el índice de sequía hidro-ambiental.

El factor de ajuste Ke en la ecuación (1), planteado para modificar el Índice de De Martonne, se estableció con valor de 0.33, ya que en las condiciones de aridez de la zona de estudio, se ajusta con mayor sensibilidad numérica a la variación de los periodos de sequía.

Para el desarrollo de los trabajos de campo y laboratorio, se emplearon los siguientes recursos:

- GPS, cartas topográficas de la región de estudio, bolsas, pala, botellas de plástico.
- Vehículo para las salidas de campo.
- Equipo y métodos de los Laboratorios de Edafología, Análisis Químico Proximal, Análisis Químico de Agua y de Espectrofotometría de Absorción Atómica, del CIBNOR, y los reactivos requeridos en cada determinación.

Tabla II. Coordenadas geográficas de las estaciones climáticas de las que se obtuvo información.

Zonas	Estación	Latitud	Longitud	Altitud, msnm
CALAP	El Carrizal (ID 03077)	23°45'12"	110°16'04"	78
	Observatorio La Paz (ID 03074)	24°07'19"	110°19'16"	19
VVGN	Díaz Ordaz ID 03073)	27°38'10"	113° 27'25"	12
	Guerrero Negro (ID 03174)	27°58'44"	114°01'54"	10
VSD	Cd Constitución (ID03068)	26°05'36"	111°46'31"	40
	Santo Domingo (ID 03063)	25°29'16"	111°55'45"	18

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de INIFAT, 2006

6.4 Análisis químico de agua

Se realizó un inventario de los pozos de agua presentes en cada finca y el uso de la misma para el riego de los cultivos. Las muestras de agua, una vez tomadas, se les aplicó los reactivos correspondientes para la posterior determinación de oxígeno y demás parámetros en el Laboratorio de Análisis Químico de Aguas del CIBNOR. Los parámetros de calidad del agua de riego fueron los siguientes.

- pH
- Conductividad eléctrica (dS/m^{-1})
- Dureza total (mg L^{-1})
- Cloruros (mg L^{-1})
- Sólidos disueltos totales (SDT), ppm
- Salinidad (mg L^{-1})
- Sulfatos (mg L^{-1})

Las técnicas utilizadas en los análisis se basaron en las siguientes normas:

- MPT-LANI01-02-08 (pH). Procedimiento para la determinación de pH en aguas. Basado en la norma mexicana NMX-AA-008-SCFI-2000.
- MPT-LANI01-03 (CE). Procedimiento conductividad eléctrica: método de la NMX-AA-093-SCFI-2000. Determinación de la conductividad eléctrica en agua.
- MPT-LAN01/12-02 (Dureza total). Se determinó utilizando el método

volumétrico con EDTA, APHA, AWAA, WPCF (métodos estándar para el examen de aguas. (2005, 21st. Ed).

- PT-LAN01/13-02 (Cloruros). Método argentométrico, titulación con nitrato de plata, APHA, AWAA, WPCF (métodos estándar para el examen de aguas). 2005, 21st. Ed.
- MPT-LAN01/01-02. Sólidos disueltos totales (SDT): Se determinaron con un medidor de SDT marca Hach Modelo CO150.
- MPT-LAN01/17-02 (Salinidad). Se determinó con un medidor de Salinidad marca ORION Modelo 135A.
- MPT-LAN01/16-02 (Sulfatos). Se utilizó el método turbidimétrico de precipitación del cloruro de bario, APHA, AWAA, WPCF, Standard methods for the examination of water and wastewater, 1980, 15 th ed
- MPT-LAN01/14-02 (Oxígeno disuelto). Método de Winkler. (Strickland y Parsons, 1972, A practical handbook of seawater analysis, Fish, Res, Bd. Canada bulletin 167. 2nd. Ed).

6.5 Estudio fisicoquímico de suelo.

Las muestras de suelo se tomaron a 30 y 60 cm de profundidad para analizarse posteriormente en laboratorios del CIBNOR; la información acumulada corresponde a un total de 135 fincas agrícolas muestreadas en las tres regiones; se tomaron 45 muestras en cada zona las que se almacenaron a temperatura ambiente para luego determinar la conductividad eléctrica, densidad aparente, materia orgánica, pH, textura y contenido nutrimental, a partir de cuyo análisis es posible sugerir los sistemas productivos adecuados para los mismos. Al mismo tiempo, la observación sobre el suelo permite integrar los aspectos relacionados con su fertilidad química y física, incluyendo la estabilidad de su estructura.

Las determinaciones se realizaron con las técnicas y procedimientos de la NOM-021-RECNAT-2000, la cual establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos (SEMARNAT, 2000).

En dichos análisis se utilizaron las siguientes técnicas analíticas:

- ✓ **pH:** MPT-LANI02-02 (NOM-021 SEMARNAT 2000, Método AS -02).
- ✓ **Conductividad Eléctrica (CE):** MPTLANI02-03 (M. L. Jackson 1976).
- ✓ **Materia orgánica:** MPT-LAN02-04 (NOM-021 SEMARNAT 2000, Método AS-07).
- ✓ **P soluble:** MPT-LAN02/05-06 (M. L. Jackson 1976).
- ✓ **Ca (calcio)** MPT-LAN02/09-03 (M. L. Jackson 1958).
- ✓ **Mg (magnesio)** MPT-LAN02/10-03 (M. L. Jackson 1958).
- ✓ **HCO₃ (bicarbonatos)** MPT-LAN02/12-03 (M. L. Jackson 1976).
- ✓ **N-NO₃ (nitrógeno en forma de nitratos)** MPT-LAN02/08-06 (Solorzano, 1969).
- ✓ **Textura (método de Bouyoucos)** MPT-LAN02/01-023 (NOM-021 SEMARNAT 2000) (Método AS -09).
- ✓ **Dap (Densidad aparente)** Ortiz Villanueva (1990) Método del cilindro.

Es preciso destacar que el laboratorio de edafología del CIBNOR, se encuentra acreditado por la Entidad Mexicana de Acreditación, A.C., en correspondencia con la Norma NMX-EC-17025-IMNC-2006 (ISO/EC 17025:2005).

6.6 Estudio Socio- productivo

6.6.1 Caracterización socio-productiva de las regiones estudiadas

Se realizaron 135 entrevistas a ejidatarios y productores individuales y directivos de las áreas en estudio (45 en cada zona) para obtener información verídica de sus fincas, asimismo de los aspectos relacionados con los sistemas de manejo y producción agrícola, los ingresos familiares que perciben, el grado de integración de género en cada finca, los recursos materiales con lo que cuentan para efectuar las actividades productivas y la dependencia de insumos externos, entre otros aspectos. Asimismo, se recopiló información relacionada con la adopción de

técnicas agroecológicas encaminadas al aprovechamiento y mejoras de los recursos naturales.

Es necesario destacar que, para corroborar la información brindada por los entrevistados, se requirió información útil de las siguientes dependencias de gobierno: CONAFOR, SAGARPA, CONAGUA, INIFAP, Gobierno del Estado. Asimismo, de organismos locales, incluyendo la Asociación de Usuarios de Agua de Uso Agrícola en la cuenca, el COTAS y la Asociación de Usuarios de Aguas Residuales.

6.6.2 Valoración de la resiliencia socioecológica de zonas agrícolas de BCS. Índice Holístico de Riego (IHR)

6.6.2.1 Métodos para el estudio

Se emplearon métodos de investigación de campo basados en la observación directa y en la realización de entrevistas semiestructuradas como técnica interactiva de recolección de datos, con la intención de dialogar con productores y directivos de cada región sin intermediarios. Al respecto, se hizo énfasis en el contacto con la realidad, buscando obtener el máximo de información acerca de los eventos climático que afectan de manera severa cada zona agrícola así como su intensidad, duración, frecuencia y los niveles de daño reconocidos que conllevan a pérdidas económicas y de producción.

También se indagó acerca de las posibles prácticas que realizan para disminuir el nivel de vulnerabilidad de sus fincas a eventos climáticos y a la participación de instituciones interesadas en atenuar dichos daños.

Se realizaron 135 entrevistas distribuidas de tal manera que se pudo conformar un número representativo desde el punto de vista estadístico para cada comunidad de productores. En la CALAP las entrevistas se realizaron a 45 productores en las Delegaciones de La Paz y El Carrizal, en el VSD se aplicaron 50 entrevistas en las Delegaciones de Insurgentes y Constitución y en el VVGN se entrevistaron 40 productores en las Delegaciones de Guerrero Negro y Vizcaíno. La inclusión de

directivos de las zonas en las entrevistas realizadas, permitió corroborar información y datos ofrecidos por los productores.

6.6.2.2 Secuencia metodológica para evaluar la resiliencia socioecológica

Para medir y valorar la resiliencia se utilizó el “Índice Holístico de Riesgo” propuesto por Barrera *et al.* (2011), una ecuación que permite identificar y clasificar los indicadores de *amenazas*, *vulnerabilidades* y *capacidad de respuesta* encontrados en los sistemas agrícolas, logrando una comprensión más profunda de las variables implicadas y donde el “riesgo” denota la probabilidad de que los productores puedan sufrir daños a causa de un evento climático o desastre. La “amenaza” considera la probabilidad de que ocurra un riesgo (intensidad, frecuencia) frente al cual la comunidad de productores y sus fincas es vulnerable. La “vulnerabilidad” se concibe como la incapacidad de una comunidad de productores para “absorber”, mediante el autoajuste, los efectos de un determinado cambio en su ambiente, esto es, su “inflexibilidad” para adaptarse a dicho cambio. Por su parte, la “capacidad de respuesta” está determinada por los atributos, mecanismos y acciones de manejo de los productores, organizaciones, instituciones y sociedad para reducir los riesgos de los citados fenómenos y sobrevivir, resistir y recuperarse de los daños causados. De acuerdo con la ecuación anterior, una comunidad o agroecosistema está en mayor riesgo en la medida en que la amenaza y la vulnerabilidad son mayores y su capacidad de respuesta y recuperación es menor. La Figura 6 muestra los indicadores y las variables que relacionan el Índice Holístico de Riesgo.

a) Identificación de las amenazas

Durante la entrevista se indagó acerca de los eventos climáticos que afecta de manera más frecuente las actividades agrícolas de las zonas estudiadas. Las preguntas estuvieron dirigidas a la caracterización de dicho evento por parte de los productores y su percepción acerca de las principales limitantes para las actividades productivas así como de los cambios climáticos observados por lo

menos en la última década y los niveles de daños asociados a este tipo de fenómenos extremos.

b) Determinación de la vulnerabilidad

Para determinar el nivel de vulnerabilidad de cada una de las zonas a eventos climáticos extremos, fue necesario considerar la ubicación de las fincas visitadas, su cercanía a fuentes de agua, así como la diversidad vegetal de cada una enfatizando en el total de la cobertura vegetal y su susceptibilidad a la erosión del suelo y a la disponibilidad del agua. Los aspectos mencionados se consideraron en las entrevistas realizadas teniendo en cuenta que la vulnerabilidad está relacionada con el potencial intrínseco de una región de estar expuesta a una amenaza y en consecuencia a ser propensa a desafíos medioambientales.

Dentro esta variable, se consideró también la *vulnerabilidad* de las zonas estudiadas a las condiciones adversas del clima (precipitación y temperatura), agua y suelo. Este aspecto se determina en función de 2 factores (Guillaumont y Simonet, 2011):

Exposición: Concepto que tiene que ver con el grado en el cual los sistemas agrícolas estudiados están expuestos a una variación en el clima (se refiere a las anomalías de temperatura y precipitación), así como a limitantes en cuanto a la disponibilidad y calidad del agua y suelo para uso agrícola.

Sensibilidad: Se refiere al grado en el que los sistemas agrícolas son afectados negativamente por los estímulos causados por el clima y limitantes en cuanto a los recursos agua y suelo. Se consideró la sensibilidad agrícola referida al efecto de los factores sobre el funcionamiento de los predios analizados.

En este análisis se establecieron umbrales de vulnerabilidad para los factores Clima-Agua-Suelo (Tabla III) y se utilizaron enfoques cualitativos y cuantitativos para el análisis de los mencionados factores (Monterroso *et al*, 2009).

Tabla III. Umbrales de vulnerabilidad para aptitud productiva de los factores agua, suelo y clima en regiones agrícolas semiáridas.

Factores	Variables	No vulnerable	Vulnerable	Altamente vulnerable
Clima	Tmed (°C)	22 < Tmed < 26	25 < Tmed < 30	4 > Tmed > 29
	pp (mm)	> 450	200 a 450	< 200
Suelo	pH	6.5 a 7.5	6 a 7.8	6 > pH > 8
	C.E (dSm ⁻¹)	1.5	1.5 a 2.5	> 2.5
	M.O (%)	> 1.9	0.8 a 1.8	< 0.8
Agua	pH	6 a 8	8 a 9	5 > pH > 9
	C.E (dSm ⁻¹)	< 1.0	2 a 3	> 3
	Disponibilidad	Rec > Extrac	Rec = Extrac	Recarga < Extrac

Fuente: Elaboración propia adaptada de: Meza-Sánchez y Reygadas-Prado (2001); Guzmán et al. (2008). *Tm: Temperatura media, pp: Precipitaciones, C.E: Conductividad eléctrica, MO: Materia orgánica, Rec: Recarga hídrica, Extrac: Extracciones.

Las variables seleccionadas para cada factor reflejaron los aspectos más importantes que definen la aptitud productiva de los cultivos en regiones agrícolas frente a los factores abióticos *Agua-Suelo-Clima*, cuyos valores están en función de los límites particulares de zonas semiáridas.

c) Estimación de la capacidad de respuesta

Para estimar la capacidad de respuesta y recuperación de los sistemas productivos, se realizó un análisis de las labores culturales encaminadas a la conservación y uso eficiente del agua y el suelo, el uso de fertilizantes orgánicos, la utilización de cultivos resistentes y a la capacidad de recuperación de los efectos de eventos climáticos severos. Se consideró asimismo el nivel de conocimiento de los productores acerca de las posibles medidas preventivas para reducir los riesgos y si cuenta con organizaciones o instituciones que le puedan brindar apoyo para enfrentar dichos eventos.

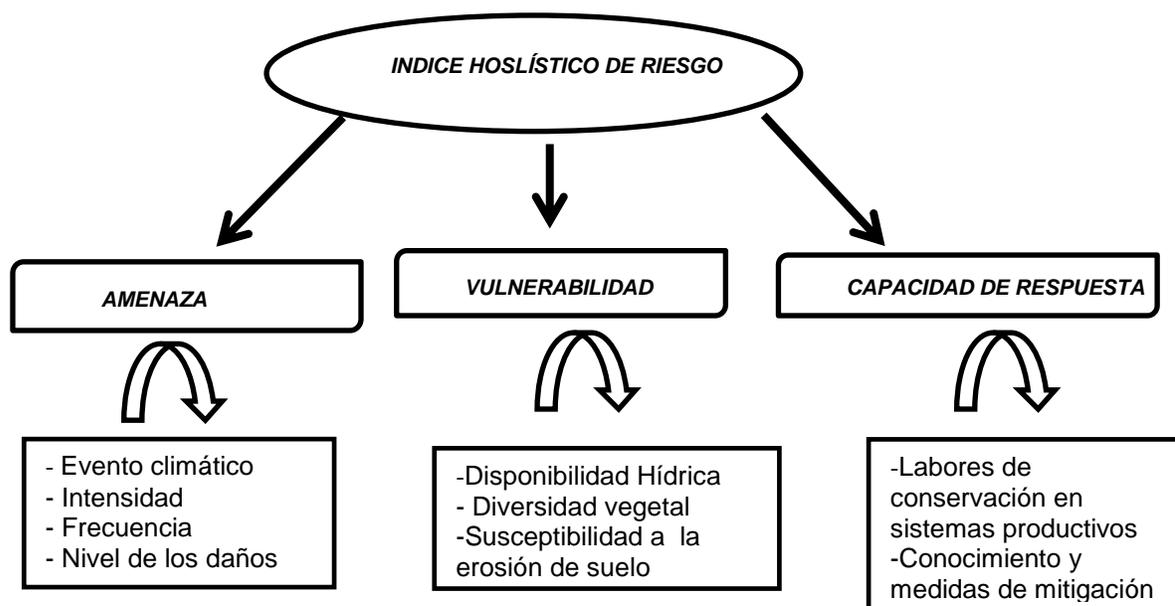


Figura 6. Indicadores para establecer los valores de “amenaza”, “vulnerabilidad” y “capacidad de respuesta”. Índice Holístico de Riesgo (IHR).

6.6.2.3 Análisis de datos para estimación del IHR

Los indicadores de amenaza, vulnerabilidad y capacidad de respuesta se determinaron a partir del análisis de tres eventos climáticos: sequías, huracanes y heladas. En los tres casos se asignaron valores numéricos a los diferentes niveles categóricos en escalas de 0 a 3 para la expresión en escala cuantitativa. Para el cálculo de los valores de amenaza, vulnerabilidad y capacidad de respuesta se utilizaron las siguientes expresiones:

$$\mathbf{Amenazas}_n = (\text{Intensidad} + \text{Frecuencia} + \text{Pérdidas de producción})n / 3 \quad (3)$$

Donde: (n) Indica el tipo de evento

$$\mathbf{Vulnerabilidad} = (\text{Disponibilidad hídrica} + \text{Diversidad de plantas} + \text{Susceptibilidad a la erosión del suelo})/3 \quad (4)$$

$$\text{Capacidad de respuesta} = (\text{Labores de Conservación} + \text{Nivel de conocimientos} + \text{Apoyos del gobierno})/3 \quad (5)$$

El índice fue calculado con la siguiente ecuación (Barrera *et al*, 2011):

$$\text{Riesgo} = \frac{\text{Amenaza} + \text{Vulnerabilidad}}{\text{Capacidad de respuesta}} \quad (6)$$

El IHR se clasificó según las siguientes escalas (Tabla IV):

Tabla IV. Relaciones entre valores IHR, nivel de riesgo y niveles de resiliencia socioecológica.

Valor IHR	Nivel Riesgo	Nivel Resiliencia Socioecológica
< 0	muy bajo	Muy alto
0 a 1	bajo	alto
1.1 a 1.9	Medio	Medio
2.0 a 2.9	alto	bajo
>3	Muy alto	Muy bajo

Fuente: Modificado de Barrera *et al.* (2011).

6.6.3 Propuesta del Índice de Adaptación de Cultivos al Cambio Climático (IACC)

Para la construcción de un índice para clasificar los cultivos de acuerdo a la expresión de su potencial de adaptación y productivo en zonas agrícolas áridas, vulnerables a las condiciones ambientales adversas como la sequía y las altas temperaturas, nos basamos en dos razones principales:

- (1) Optimizar los sistemas y programas de selección de los cultivos en determinados lugares o microrregiones.

(2) Mejorar y mantener la productividad de los agroecosistemas en zonas semiáridas, teniendo en cuenta las características agronómicas de cada cultivo y la naturaleza hidrológica y ambiental de la región agrícola, como lo sugieren (Falcón *et al*, 2014). El índice se construyó a partir de los valores de referencia para los parámetros: Ciclo de vida del cultivo (Cc), necesidades de riego (NR) y tolerancia a las altas y bajas temperaturas (Tmáx) y (Tmín) respectivamente, toda vez que dichos parámetros condicionan la adaptación y productividad de los cultivos (Yadav *et al*, 2011). El índice se obtuvo a través del algoritmo lineal expresado con la función:

$$Iacc = f(Cc, NR, Tmin, Tmax) \quad (7)$$

A partir de las tendencias numéricas a obtener sobre la base de las restricciones agronómicas para las zonas de estudio y de acuerdo con la primera aproximación, el factor 'Cc' contribuye al Iacc con 33%, el factor 'NR' con 33% y los factores 'Tmáx' y 'Tmín' con 17% cada uno, formulando la ecuación de la siguiente forma:

$$IACC=0.33*((300-Cc)/270)+0.33*((150-NR)/120)+0.17*((12-Tmín)/11)+0.17*((40-Tmáx)/15) \quad (8)$$

Donde:

Cc: Ciclo de vida del cultivo (días)

NR: Necesidades de riego (cm)

TMín: Tolerancia a bajas temperaturas (°C)

TMáx: Tolerancia a altas temperaturas (°C)

En el marco numérico de la expresión anterior, para el factor Cc se definió el umbral de 300 días como el límite para la función lineal numérica correspondiente, de tal forma que Cc debe ser menor a 300 para evitar la nulidad de dicho factor y teniendo en cuenta que para condiciones restrictivas de recursos hídricos, es evidente que en zonas áridas y semiáridas un cultivo de ciclo corto resulta más ventajoso, según (Sandquist, 2014).

Para el factor NR, el umbral definido fue de 150 cm, toda vez que es una cantidad de agua que de manera razonable se puede considerar como un valor límite máximo, cuyo exceso en zonas áridas y semiáridas representaría sobreuso o sobreexplotación del recurso hídrico (SAGARPA, 2010).

Con relación a la tolerancia de los cultivos a temperaturas máximas ($T_{m\acute{a}x}$) y mínimas ($T_{m\acute{i}n}$), Wheeler *et al.* (2000) señalaron que los cultivos tienen un valor umbral mínimo mayor que el punto de congelación del agua, umbral que determina para cada especie la temperatura mínima por debajo de la cual las plantas cesan de crecer normalmente o bien terminan por colapsar.

En este sentido la temperatura óptima varía según las especies, pero casi siempre está comprendida entre 10° y 25°C y aunque las plantas pueden tolerar temperaturas más bajas durante períodos cortos de tiempo, se debe evitar acercarse al valor letal. Por esta razón, se definió 11°C como la temperatura mínima y 40°C como la temperatura máxima, considerando que se trata de cultivos que se establecen en zonas áridas.

El Iacc se calculó para las principales especies agrícolas que se cultivan en las zonas de estudio y que reportan mayor producción agrícola en la región, cuyos valores fueron comparados en cada caso con un cultivo prototipo ideal. El modelo fue construido tomando en cuenta los parámetros que constituyen los principales requerimientos de información necesarios en la planeación y ordenamiento agrícola de una localidad o región productora y se definieron límites o restricciones numéricas de acuerdo a las respuestas ecofisiológicas y niveles de tolerancia de cultivos convencionales (Ojeda *et al.*, 2010).

6.7 Selección y evaluación de los Indicadores de Sustentabilidad

Agroecológica. Metodología MESMIS

A partir de las variables seleccionadas en cada uno de los factores analizados, se construyeron los indicadores de sustentabilidad definidos para 5 componentes: Clima, Agua, Suelo, Social y Productivo.

Se utilizaron como referencia y guía metodológica el "Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo Incorporando Indicadores de Sustentabilidad" (MESMIS), propuesto por Masera *et al.* (1999). Dicho método ha sido utilizado en varios estudios de casos para evaluar la sustentabilidad en sistemas agrícolas (López-Ridaura, 2000; Astier *et al.*, 2003; Mas de Noguera, 2003; Astier *et al.*, 2008).

6.7.1 Caracterización de los sistemas de manejo de recursos naturales

Durante el primer paso del ciclo de evaluación se deben identificar los sistemas de manejo que se van a analizar, así como su contexto socio-ambiental y las escalas espacial y temporal de la evaluación. La Figura 7 muestra la secuencia esquemática que demanda el MESMIS para su realización, representado como un proceso cíclico en el que las conclusiones y recomendaciones del primer ciclo de ejecución son el punto de partida para un nuevo momento de evaluación.

6.7.2 Determinación de las fortalezas y las debilidades de los sistemas agrícolas

Después de caracterizar los sistemas de manejo, es importante analizar los aspectos o los procesos que limitan o fortalecen la capacidad de los sistemas para sostenerse en el tiempo. Al identificar las fortalezas y las debilidades se parte, conceptualmente de los criterios de diagnóstico para hacer preguntas clave como ¿cuáles son los factores o los procesos ambientales, técnicos, sociales y económicos, ya sea de forma individual o combinada, que pueden tener un efecto positivo o negativo en los retornos, la eficiencia o la conservación de recursos de los sistemas de manejo?. En otras palabras, ¿cuáles son los puntos donde el agroecosistema es más vulnerable o presenta problemas? y ¿cuáles son los puntos donde es más robusto?

La identificación de las fortalezas y las debilidades del sistema es una tarea indispensable para centrar y dar dimensiones manejables al problema bajo análisis.

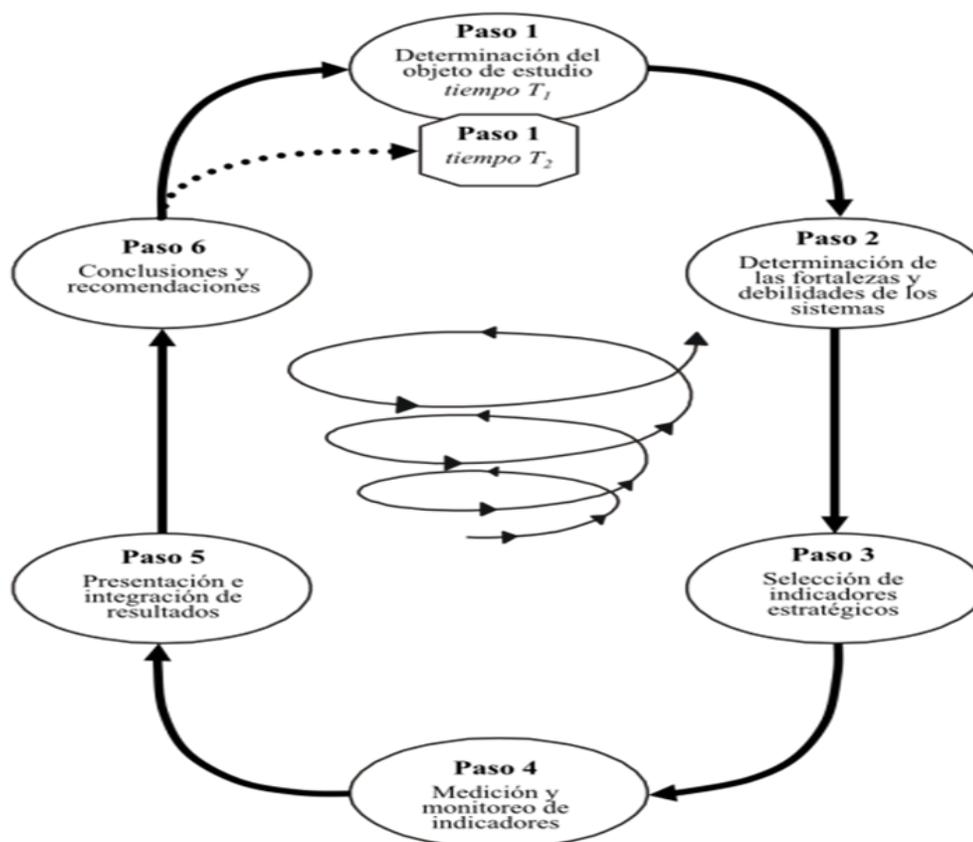


Figura 7. Secuencia esquemática de actividades para la ejecución del MESMIS (adaptado de Galván, 2006).

6.7.3 Selección de criterios de diagnóstico

MESMIS parte del supuesto de que un agroecosistema sustentable es aquel que posee los siguientes atributos: Productividad, Estabilidad, Confiabilidad, Resiliencia, Adaptabilidad, Equidad, y Autosuficiencia (Tabla V).

En la presente investigación, cada atributo se evaluó a través de diversos criterios de diagnóstico, por medio de los cuales fueron definidos los puntos críticos y posteriormente los indicadores que permitieron evaluar el grado de sustentabilidad.

Tabla V. Atributos de sustentabilidad utilizados para la evaluación de los sistemas productivos, según MESMIS (Masera *et al.*, 1999).

ATRIBUTOS DE SUSTENTABILIDAD	
Productividad	Capacidad de un sistema para brindar el nivel requerido de bienes y servicios.
Estabilidad	Propiedad del sistema de tener un estado de equilibrio dinámico estable, Capacidad de mantener constante la productividad.
Confiabilidad	Capacidad de mantener la productividad deseada en niveles cercanos al equilibrio frente a perturbaciones ambientales.
Resiliencia	Capacidad del sistema de retornar al estado de equilibrio después de una perturbación grave y mantener su potencial productivo.
Adaptabilidad	Capacidad del sistema de encontrar nuevos niveles de equilibrio ante cambios a largo plazo. Búsqueda de nuevas estrategias de producción.
Equidad	Distribución justa tanto intra como intergeneracional de los beneficios y costos relacionados con sistema de manejo de recursos naturales.
Autosuficiencia	Capacidad de controlar las interacciones con el exterior, según prioridades, objetivos y valores endógenos.

Fuente: Elaboración propia.

6.7.4 Identificación de los puntos críticos y selección de indicadores

Una vez analizados los atributos y criterios de diagnóstico, se realizó el reconocimiento de los aspectos positivos o negativos que le dan solidez o fragilidad a los sistemas analizados, permitiendo detectar aquellos puntos críticos del manejo del sistema que atentan o comprometen la sustentabilidad. Esto posibilitará prestar especial atención al manejo de tales aspectos con el fin de observar avances o retrocesos en los sistemas.

A partir de los puntos críticos, se derivaron los indicadores más significativos en relación a las propiedades o atributos de los mismos y a las dimensiones de evaluación a la que corresponden.

La selección de indicadores se basó en la interpretación de los resultados de los estudios climáticos, de suelo, agua y la dimensión socio-productiva. Cada uno de los citados indicadores finalmente seleccionados, reflejaron las características esenciales de cada factor objeto de estudio en correspondencia con las variables de las cuales se derivan.

6.7.5 Estandarización y ponderación de los indicadores de sustentabilidad agroecológica

Una de las dificultades más comunes en el uso de indicadores deriva de las diferentes unidades en que se expresan las distintas variables, teniendo en cuenta que se evalúan aspectos ecológicos, productivos, sociales, económicos y de otros tipos. Dicha diversidad de variables dificulta enormemente la interpretación de los resultados. Por otro lado, se debe procurar que todos los indicadores sean de proporcionalidad directa, lo cual implica que a mayor valor, el resultado sugiera mayor sustentabilidad. Lo anterior evitará errores de interpretación y facilitará el análisis posterior (Sarandón, 2002). Para la creación y mantenimiento de las bases de datos relacionadas con cada indicador, principalmente del eje productivo, de manera adicional se genera y se calcula en cada caso el nivel de desempeño (ND) que se estima para cada observación o registro, a partir de la siguiente ecuación (Galván- Miyoshi, 2008):

$$ND = (V - V_{\min}) / (V_{\max} - V_{\min}) * 100 \quad (9)$$

Donde:

ND = Nivel de desempeño del indicador,

V = Valor medido del indicador,

V_{máx} = Valor máximo del indicador y

V_{mín} = Valor mínimo del indicador.

Los valores obtenidos para cada indicador se transformaron posteriormente a una escala de 10 puntos propuesta por MESMIS y que a su vez fue adaptada de Astier *et al.* (2008) (Tabla VI).

Tabla VI. Intervalos de valores para la interpretación de indicadores de sustentabilidad agroecológica (MESMIS).

Clasificación	Intervalo	Valoración (puntos)
Óptimo	0.81 a 1.0	[8.0 a 10.0]
Aceptable	0.66 a 0.80	[6.0 a 8.0]
Deficiente	0.41 a 0.65	[4.0 a 6.0]
Crítico	0.1 a 0.40	[2.0 a 4.0]
Falla (pérdida total) ó inutilidad	0.0	[0.0 a 2.0]

Fuente: Adaptado de Astier *et al.*, 2008

Para la construcción de los indicadores e interpretación de los mismos, la ponderación es un paso fundamental e inevitable, para llegar con éxito a la evaluación de las sustentabilidad. En este sentido se determinó, entre los indicadores, cuáles de ellos son los más importantes o si son todos iguales, considerando la intensidad, 'carga' o 'peso' de su participación. Esto dependerá de la función e influencia del indicador de interés, sobre la sustentabilidad de los sistemas bajo análisis.

6.8 Cálculo del índice de sustentabilidad agroecológica (ISAE)

La determinación del índice de sustentabilidad estuvo en función del coeficiente ponderado para cada factor evaluado en los sistemas agrícolas y el número de indicadores seleccionados para cada uno (Ecuación 10). Una vez determinado el ISAE, se valoró en una escala de niveles propuesta por Gravina y Leyva (2012), que finalmente reflejó el nivel de sustentabilidad de las zonas agrícolas (Tabla VII), basado en los sistemas productivos evaluados.

$$\text{ISAE} = K_{pc} \cdot FC + K_{pa} \cdot FA + K_{ps} \cdot FS + K_{psc} \cdot FSc + K_{pp} \cdot FP \quad (10)$$

Donde:

ISAE = Índice de sustentabilidad agroecológica

FC = $[\sum(IC)]/TP$, Kpc es el coeficiente ponderado para el factor clima.

FA = $[\sum(IA)]/TP$, Kpa es el coeficiente ponderado para el factor agua.

FS = $[\sum(IS)]/TP$, Kps es el coeficiente ponderado para el factor suelo.

FSc = $[\sum(ISc)]/TP$, Kpsc es el coeficiente ponderado para el factor social.

FPp = $[\sum(IP)]/TP$, Kpp es el coeficiente ponderado para el factor Productivo.

Para los propósitos de esta investigación, se asignó $Kpi = 0.2$; sin embargo, en el supuesto de que se tenga la certeza por experiencias acumuladas se podrá asignar una ponderación más precisa, o bien, Kpi se puede calcular de acuerdo a la siguiente ecuación:

$Kpi = \text{número de indicadores del factor "i" / Número total de indicadores.}$

Tabla VII. Propuesta de niveles de sustentabilidad para la evaluación de los sistemas agrícolas.

NIVELES DE SUSTENTABILIDAD			
No sustentable	Poco sustentable	Medianamente Sustentable	Sustentable
0 - 0.5	0.51 - 0.70	0.71 - 0.90	>0.90
No hay beneficio	Poco beneficio	Beneficios perceptibles	Beneficios esperados

Fuente: Modificado de Gravina y Leyva, 2012

Descripción de la escala (Astier *et al.*, 2008)

Nivel (0-0.5): Este es el nivel más bajo de sustentabilidad fijado. Se asigna este intervalo cuando no se observa ningún beneficio productivo, cuando prevalecen condiciones totalmente desfavorables y que signifique una situación de alto riesgo del sistema o localidad. Este nivel pone en alerta a los evaluadores e indica que se debe poner especial atención a los sistemas agrícolas que se están valorando, a sus prácticas de manejo y al uso de los recursos naturales.

Nivel (0.51 - 0.70): Este nivel refleja algún beneficio en la actividad agrícola de la zona; es un nivel bajo de sustentabilidad e indica que se debe poner gran atención a cada atributo de sustentabilidad en la zona, toda vez que de seguir una tendencia negativa, se puede llegar a un estatus de “No Sustentable”.

Nivel (0.71 - 0.90): Este nivel indica que hay beneficios en los sistemas agrícolas que se están evaluando y exhorta a seguir trabajando en las mejoras de cada atributo de sustentabilidad en aras de hacer un uso correcto de los recursos necesarios para las actividades agrícolas.

Nivel (>0.90): Este nivel de sustentabilidad muestra que hay beneficios perceptibles en la zona agrícola y expresa un sistema sustentable, con las condiciones deseables y óptimas para el desarrollo agrícola de la zona en cuestión y una apreciable preservación de los recursos naturales.

6.9 Representación e integración de los indicadores de sustentabilidad

La representación gráfica de los indicadores se realizó mediante un diagrama tipo radial (amiba) el cual se basa en la aplicación de ejes radiales con origen común y escalas estandarizadas. Regularmente se representan indicadores distintos con valores previamente estandarizados para fines de comparación (Galván-Miyoshi, 2008).

En dicho diagrama se representaron los valores de los indicadores, de manera que se pudo observar cuál de las regiones estudiadas posee indicadores más cercanos a la situación ideal, lo que permite prestar especial atención al manejo de tales aspectos con el fin de observar avances o retrocesos en los mismos y posibilitando la elaboración de sugerencias para fortalecer la sustentabilidad de los sistemas de manejo en las zonas bajo análisis.

Se elaboró un escenario de cada una de las zonas agrícolas para tener un panorama que permita definir cuál es más sustentable. Se retomaron aspectos que previamente fueron analizados a detalle en cada indicador.

Cada atributo de sustentabilidad fue integrado tomando como base las fortalezas y debilidades de cada zona en relación con aspectos que se derivan de atributo, lo que obedece a la intención de construir un escenario general de cada sistema y evitar una visión parcial de la realidad.

6.10 Análisis estadísticos

Las variables abióticas, correspondientes a los atributos del clima y a las propiedades del agua y suelo, se analizaron mediante métodos univariados, determinando relaciones simples (evaluación preliminar de tendencias y asociación paramétrica) y se construyeron gráficas de barras.

En el caso de los parámetros donde se observó variación y diferencias significativas, se aplicaron análisis de varianza y comparación entre medias, por el método de Tukey (con $p < 0.05$ o 0.01) (StatSoft Inc, 2011).

Para la valoración de la resiliencia socioecológica se aplicaron análisis de correspondencias múltiples para establecer asociaciones entre las localidades y las diversas categorías de amenazas, vulnerabilidad y capacidad de respuestas. Para la comparación de IHR entre localidades se analizaron las tablas de frecuencia y se aplicaron pruebas de Kruskal-Wallis.

7. RESULTADOS

7.1 Caracterización de los factores abióticos: Clima, Agua y Suelo (Dimensión ambiental)

7.1.1 Estudio climático

A continuación se muestran los resultados obtenidos mediante el análisis climático, una vez procesados los datos de las estaciones objeto de estudio.

A partir de los datos de precipitación, temperatura y empleando el método de Martonne modificado por Troyo *et al.* (2004), se determinaron los índices de disponibilidad hidro-ambiental (IDHA) y el índice de sequía hidro-ambiental (ISHA) en cada estación (Fig. 8, 9 y 10).

7.1.1.1 Índices Hidroclimáticos

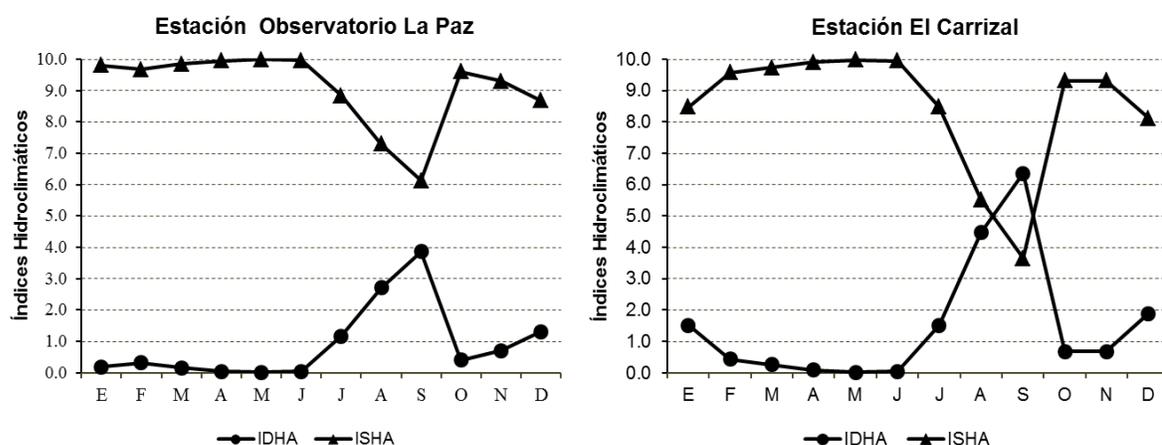


Figura 8. Promedios mensuales de IDHA e ISHA para dos estaciones seleccionadas de la CALAP.

De acuerdo con la información obtenida, se observó muy baja disponibilidad hídrica en las 4 estaciones durante el periodo de estudio; el mayor IDHA fue de 6 y se observó en la estación del Carrizal en la CALAP (Fig. 8).

Con relación al ISHA, las estaciones mostraron altos índices de sequía en casi todos los meses del año, revelando valores entre 4 y 10; este último valor significa extrema sequía y se manifestó principalmente en los meses de abril, mayo y junio. La estación de Guerrero Negro en el VVGN mostró los mayores valores de ISHA en la mayoría de los meses (Fig. 10). Dichos resultados son similares a los obtenidos por Mercado (2011), quien reportó en su estudio sobre las cuencas de Comondú y La Paz, que esta última reveló los mayores valores para IDHA en el mes de septiembre, mientras que en los meses restantes, el ISHA fue muy elevado en la escala nominal.

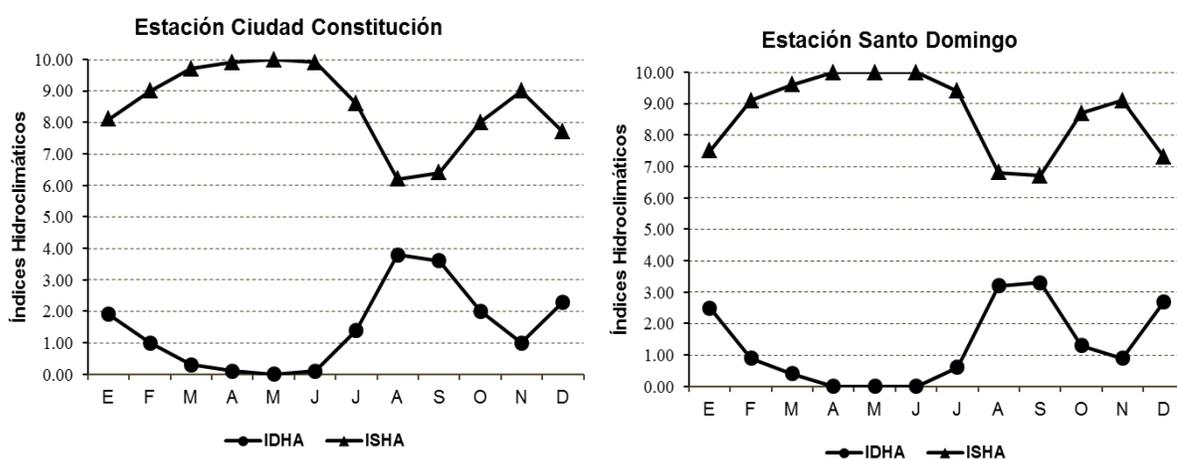


Figura 9. Promedios mensuales de IDHA e ISHA para dos estaciones seleccionadas del Valle de Santo Domingo, BCS.

Los resultados obtenidos manifiestan una condición de déficit hídrico, lo que impone la necesidad de buscar medidas que permitan hacer un uso más eficiente del agua proveniente del acuífero, por parte de los sectores usuarios urbano y agrícola; para este último, es apremiante la implementación de sistemas de riego más adecuados para la optimización de la producción en estas tres regiones.

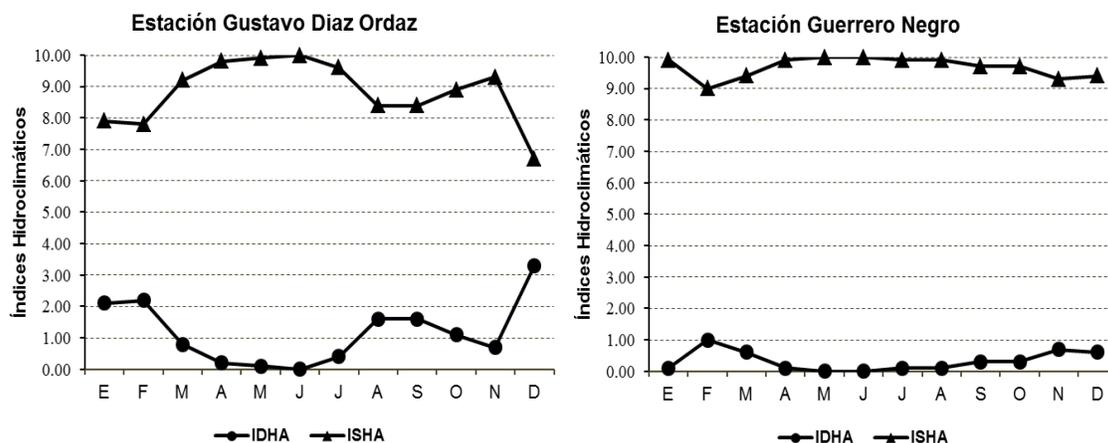


Figura 10. Promedios mensuales de IDHA e ISHA para dos estaciones seleccionadas del Valle del Vizcaíno- Guerrero Negro.

La tendencia de las temperaturas en todas las estaciones muestra que el mes más caliente en las tres zonas tiene lugar durante el verano y el más frío es enero. En este sentido, las regiones de estudio se caracterizan por tener veranos cálidos, propios de las zonas áridas subtropicales donde las altas tasas de evaporación y evapotranspiración generan pérdidas considerables de agua, por lo cual, la implementación de sistemas de riego presurizados es una de las medidas más urgentes para disminuir el elevado volumen de extracción de agua de los acuíferos, consecuente de prácticas de riego deficientes. En resumen, la Figura 11 muestra los patrones mensuales de precipitación y temperatura en cada zona. Los meses de agosto y septiembre coinciden con los valores de lluvia más elevados; en este sentido, la CALAP reporta la mayor precipitación en el periodo con 56 mm, registrada para septiembre, mientras que los promedios más bajos tuvieron lugar en el VVGN, con pp de 21 mm, registrada para diciembre. El mayor promedio de temperatura máxima (tmax) se observó para el VSD alcanzando 38 °C, en tanto que el menor valor promedio de tmax se registró para el VVGN. Por su parte, el menor valor temperatura media (Tmed) en el periodo de estudio (18 °C) se observó para el VVGN y el mayor valor para tmed (24 °C) en la CALAP.

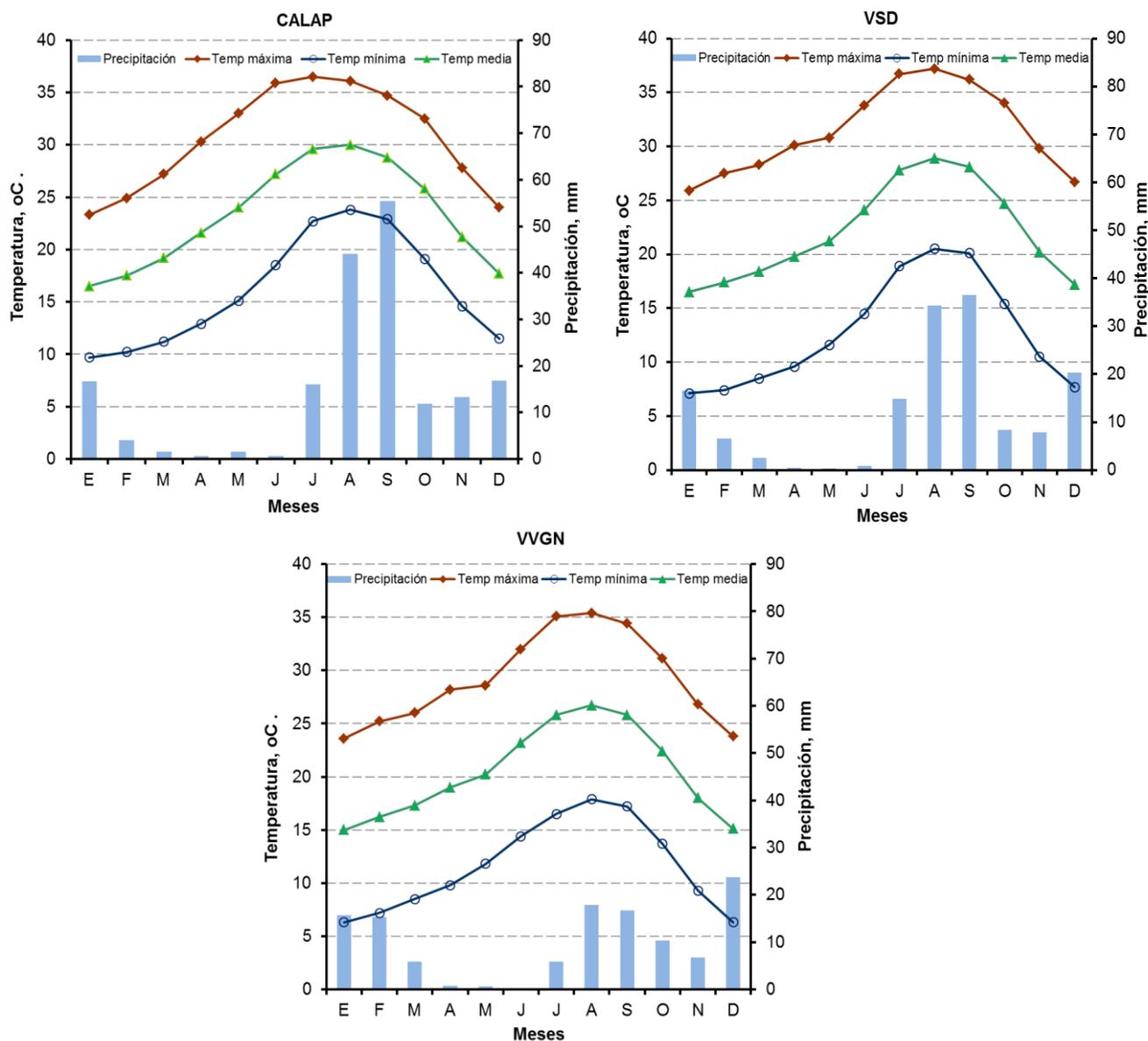


Figura 11. Patrones mensuales de precipitación y temperatura en tres regiones de producción agrícola de BCS.

A pesar de que no se observaron variaciones significativas en los valores de precipitación en las tres zonas, cabe resaltar que las lluvias son de carácter torrencial, debido a la ocurrencia de tormentas tropicales, principalmente en la época de verano, por lo que el aprovechamiento de la precipitación se reduce a la

poca cantidad de agua que se infiltra en el suelo, magnitud proporcionalmente muy baja, comparada con la alta tasa de escurrimiento hacia las costas, lo que promueve erosión hídrica y pérdida de suelo.

7.1.2 Análisis químico de agua

Durante el recorrido por las fincas fue de interés conocer la calidad del agua utilizada por los productores para el riego de los cultivos, por lo que se tomaron muestras que fueron posteriormente analizadas.

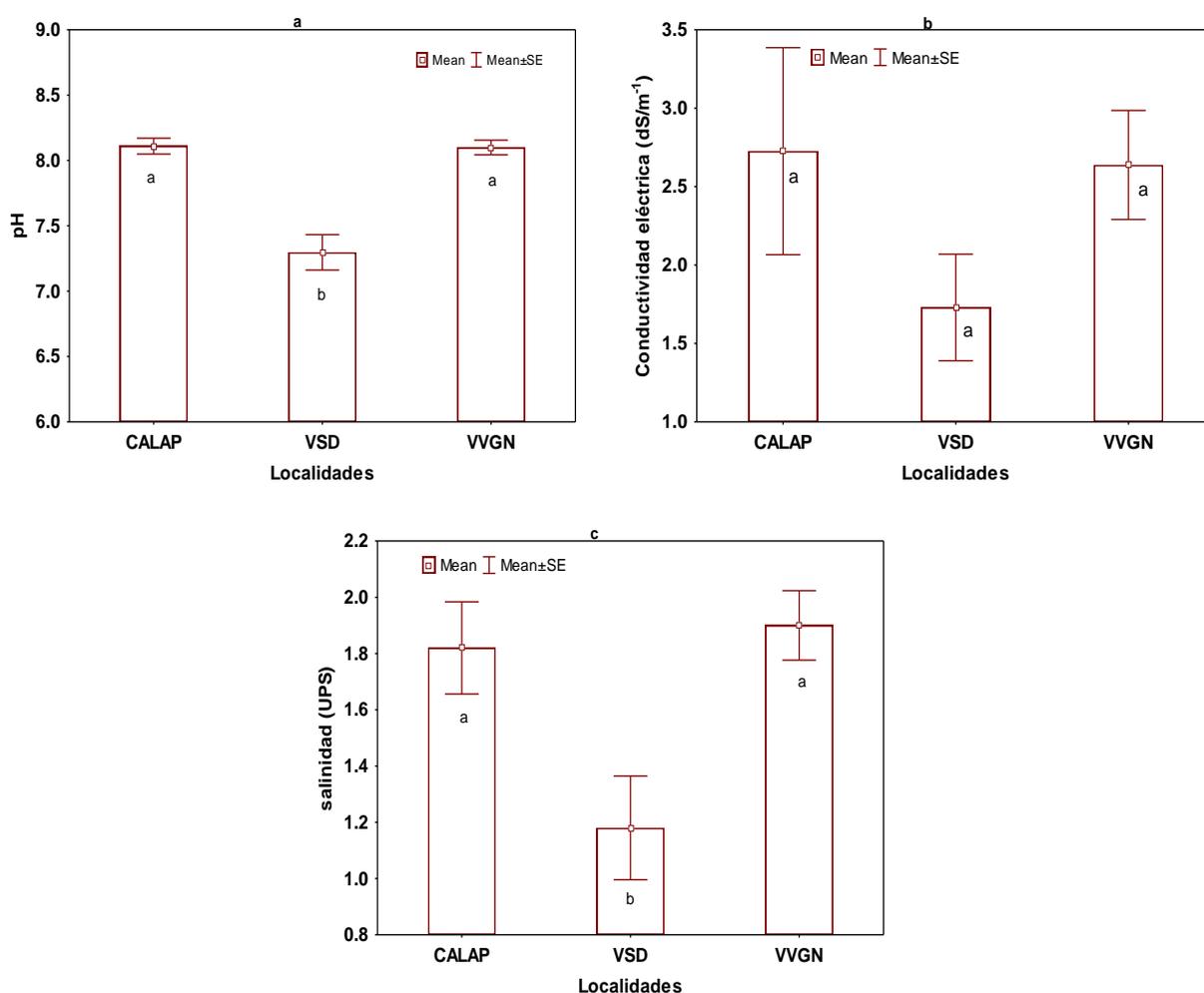


Figura 12. Valores de pH, conductividad eléctrica (CE) y salinidad del agua utilizada para el riego en cinco localidades agrícolas de La Paz. (a): pH, (b): CE, (c): Salinidad

El análisis químico reveló que el agua para riego en el VVGN y CALAP poseen mayores niveles promedio de pH (8.2 y 8.1 respectivamente) (Fig. 12a); ambas zonas se diferenciaron significativamente con el VSD la cual mostró el valor menor en este parámetro, coincidiendo también estas localidades con los mayores índices de conductividad eléctrica (2.9 y 2.1 mS m^{-1} respectivamente) (Fig. 12b). Este último parámetro fue superior en el VVGN, cuyo valor no mostró diferencias con el obtenido en la CALAP, sin embargo fue notable la diferencia entre el VVGN con el VSD. Como se esperaba, los valores de salinidad (Fig. 12c) fueron también superiores en estas dos zonas, diferenciándose de manera estadística con los valores encontrados en el VSD. Los resultados obtenidos se toman en cuenta como parámetros indicadores de la presencia de sales en el agua. De esta manera se puede inferir que en la CALAP y el VVGN, el agua que se incorpora al suelo para el riego de cultivos posee considerables contenidos de sales que pueden afectar la calidad del suelo y el desarrollo de los cultivos.

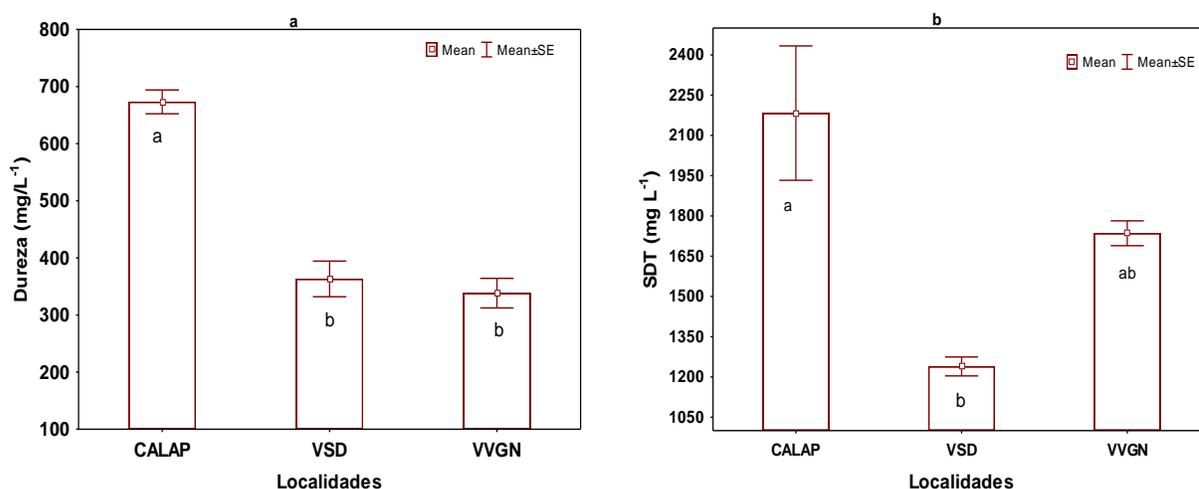


Figura 13. Dureza y Sólidos Disueltos Totales (SDT) del agua utilizada para riego en zonas agrícolas de BCS. (a): Dureza, (b): SDT.

La dureza del agua resultó mayor en los pozos de la CALAP, donde alcanzó un valor de 680 mg L^{-1} (Fig. 13a). Este resultado mostró diferencias significativas con las muestras de agua procedentes del VSD y el VVGN, cuyos valores fueron superiores a 300 mg L^{-1} , considerándose el agua de las tres localidades como “agua dura”. La dureza constituye un parámetro significativo de calidad del agua; se define como la concentración de compuestos minerales de cationes polivalentes presentes en el agua, en particular sales de magnesio y calcio, que al encontrarse en niveles elevados, su uso para riego agrícola resulta perjudicial para las plantas y para el suelo (Steinich *et al.*, 1996).

El agua muestreada en los pozos de la CALAP mostró mayor contenido de sólidos disueltos totales (SDT) (2150 mg L^{-1}), concordando también con la localidad con mayor valor de pH (Fig. 12a). Este resultado de SDT para CALAP no fue estadísticamente diferente del el valor promedio del VVGN, pero si mostró diferencias con el valor encontrado en el VSD. Los SDT son la suma de todos los minerales, metales y sales disueltos en el agua y constituye un aspecto importante a tener en cuenta para evaluar la calidad del agua de riego, por la incorporación de sales que puede ocasionar en el suelo.

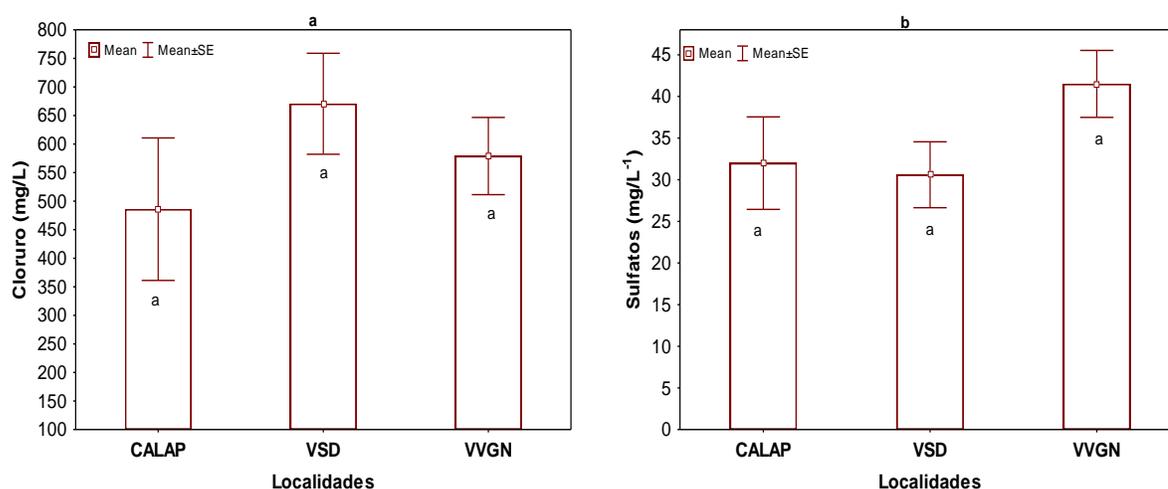


Figura 14. Contenido de cloruros y sulfatos en el agua utilizada para el riego en zonas agrícolas de BCS. (a): Cloruros, (b): Sulfatos.

La presencia de altas concentraciones de Cl^{-1} en el agua utilizada para el riego agrícola, también se hizo evidente durante el estudio. El agua del VSD mostró la mayor concentración de Cl^{-1} , con valor de 650 mg L^{-1} (Fig. 14a), y aunque no se observó diferencia entre las localidades estudiadas, cabe señalar que los niveles de dicho anión se observaron por arriba de 450 mg L^{-1} , lo que sugiere determinado riesgo de toxicidad para los cultivos. Sin embargo, los niveles de sulfatos (Fig.14b) encontrados en el agua de las tres zonas no le confieren aún un riesgo de saturación con dicho elemento que pueda considerarse significativo.

7.1.3 Análisis fisicoquímico de suelo

Una vez tomadas las muestras de suelo, se analizaron 12 parámetros fisicoquímicos, cuyos resultados se exponen en la presente sección.

La Figura 15 muestra las características de los suelos en cuanto a su contenido de arena, arcilla y limo. Los mayores porcentajes de arena (Fig. 15a) se observaron en los suelos del VVGN (74%), cuyo valor fue estadísticamente diferente del porcentaje encontrado en el suelo agrícola de las fincas del VSD. Por lo anterior, se puede afirmar que dichos suelos poseen una alta velocidad de infiltración del agua y por ende, baja retención de humedad. Esta característica trae consigo la necesidad de incrementar el número de riegos en cada uno de los ciclos agrícolas de esta zona, sobre todo cuando se conoce que en esta región prevalecen altas temperaturas que provocan pérdida de agua por evapotranspiración.

El porcentaje de arcilla fue mayor en los suelos del VSD y la CALAP (Fig. 15b), localidades que se mostraron 24.5% y 22% (respectivamente) de esta fracción mineral. Al considerar la influencia que ejercen las arcillas en el suelo dependiendo de su composición mineralógica y la proporción en la que intervienen en el mismo, se infiere que los suelos del VSD y de la CALAP pueden retener un poco más de humedad que los del VVGN, pues en los primeros es más lento el movimiento del aire y el agua, en virtud de que el drenaje y la infiltración son menores en suelos con mayor proporción de arcillas (Bullinger-Weber *et al.*, 2006).

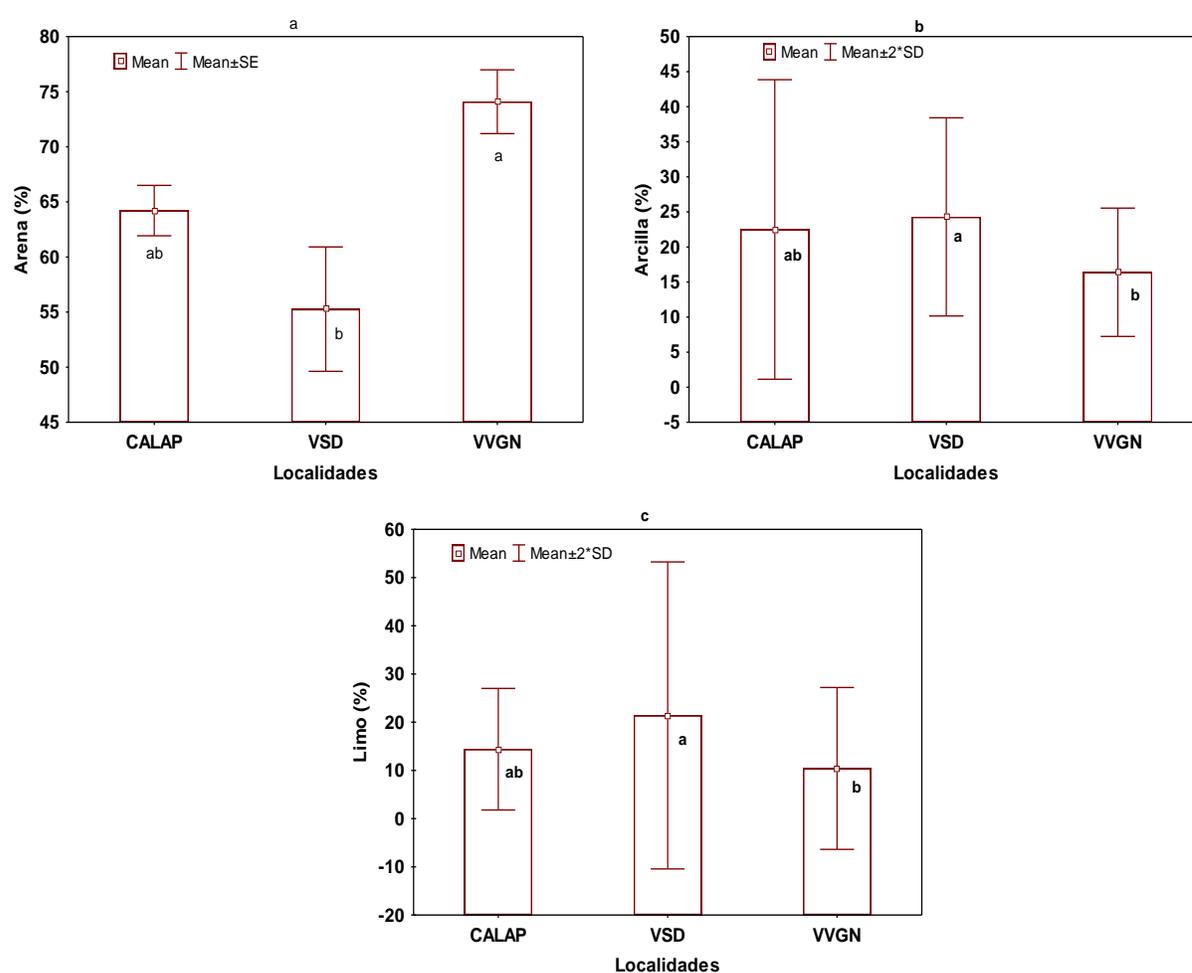


Figura 15. Porcentajes de arena, limo y arcilla en suelos de tres zonas agrícolas de B.C.S. (a): arena, (b): arcillas, (c): limo.

Con relación a la proporción de limos en los suelos (Fig. 15c), los muestreos en fincas del VSD demostraron que contienen mayor contenido de esta fracción (21%), para la que solo se detectaron mostró diferencias significativas con los suelos analizados en el VVGN, en el que se observaron los menores niveles (10%). Las características físicas particulares de los limos (Pecorari *et al.*, 1990), confieren al horizonte superficial de los suelos rasgos de fragilidad estructural, tales como una débil resistencia mecánica y con ello, susceptibilidad a la degradación. Con base en los resultados obtenidos en el análisis de la textura de los suelos, se puede afirmar que los suelos en estas zonas se clasifican como franco arenosos, los cuales según Mercado-Mancera *et al.* (2011), están sometidos a una mayor presión por las actividades agrícolas y por el incremento en el cambio de uso del suelo para fines habitacionales. En la Figura 16 se muestran los valores de pH (Fig. 16a) y CE (Fig. 16b) en los suelos.

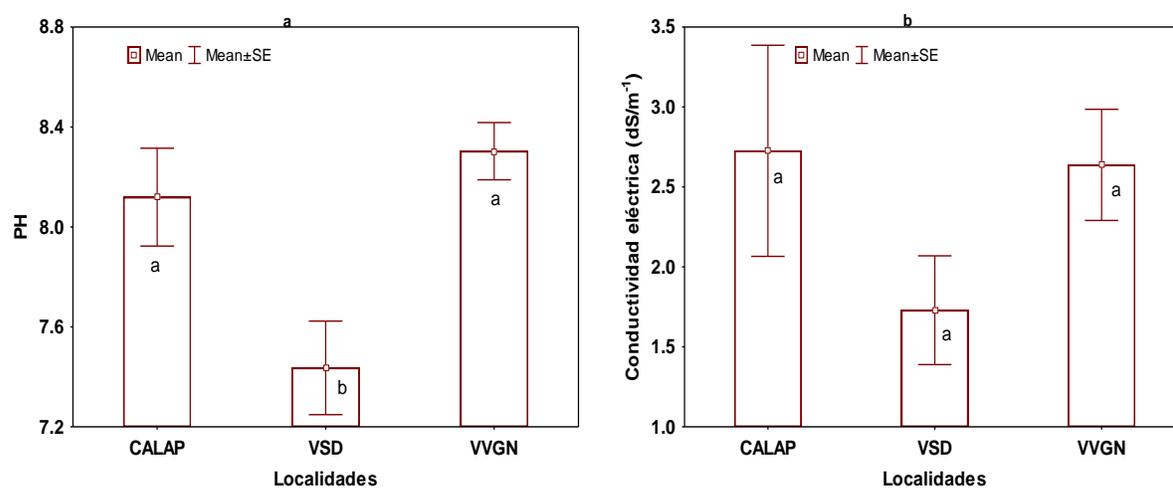


Figura 16. Niveles de pH y conductividad eléctrica (CE) en suelos de tres zonas agrícolas B.C.S. (a): pH, (b): CE.

Los promedios de pH oscilaron entre 7.4 y 8.3, este último valor se observó en VVGN el cual no mostró diferencia estadística con CALAP, pero si con el VSD. La tendencia al aumento de este parámetro en los suelos es desfavorable para los cultivos, inhibiendo la absorción de nutrientes del suelo o haciéndolos indisponibles para las plantas (Puga *et al.*, 2006). Por su parte, la CE osciló entre 1.8 y 2.7 dS m⁻¹ y no manifestó diferencias estadísticas entre zonas. El mayor valor se encontró en suelos de la CALAP por lo que se pueden considerar como suelos ligeramente salinos según Suárez *et al.*, (2006), lo que puede estar dado por el manejo inadecuado del recurso hídrico y su efecto en las condiciones químicas del suelo. Los contenidos de Ca, P y HCO₃ constituyeron variables a evaluar en los suelos agrícolas de las tres regiones productivas; la Fig. 17 expone los valores de los mismos en cada localidad.

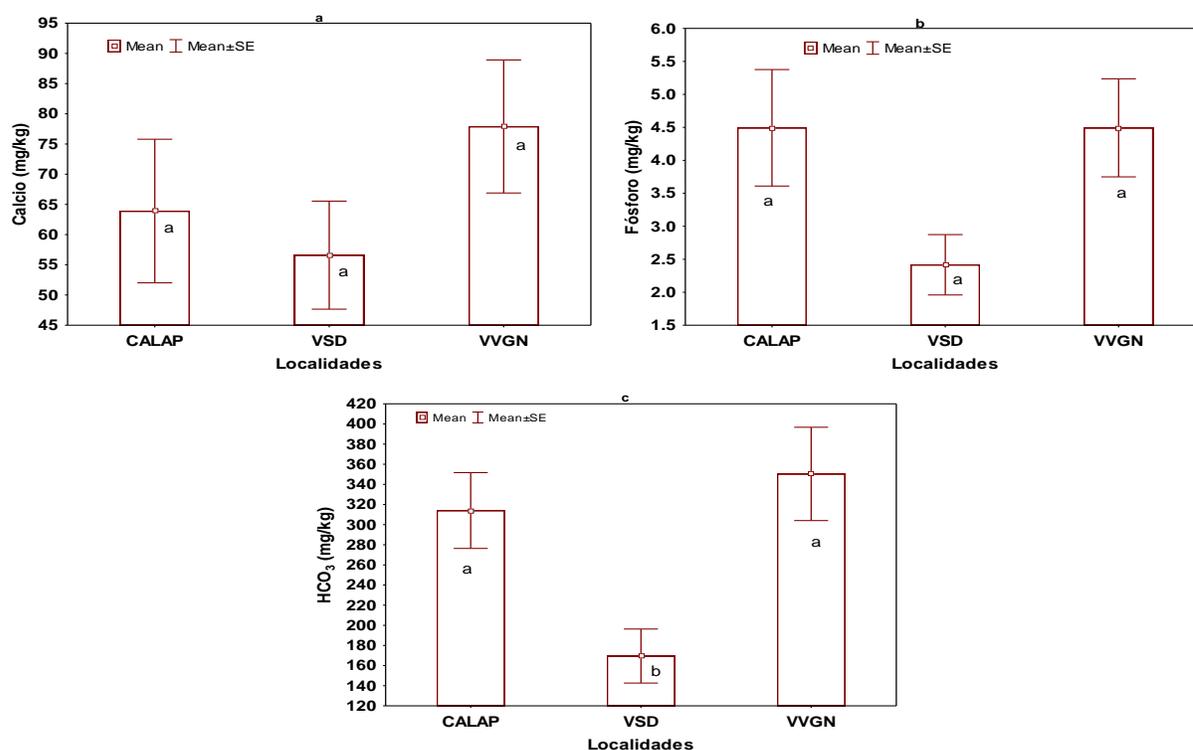


Figura 17. Contenido de calcio (Ca), fósforo (P) y bicarbonatos (HCO₃) en 3 zonas agrícolas de BCS. (a): Ca, (b): P, (c): HCO₃.

En los suelos del VVGN se encontró el mayor contenido del macroelemento Ca (76 mg kg^{-1}) cuyo valor no mostró diferencia estadística con los suelos de las otras dos zonas (Fig. 17^a). El contenido de P en el suelo resultó bajo en las tres zonas (Fig.17b), aunque este elemento fue superior en la CALAP y el VVGN (4.5 mg kg^{-1}), no se encontraron diferencias estadísticas en cuanto a su contenido entre las zonas muestreadas.

La presencia de alto contenido de HCO_3 en el suelo implica condiciones de alcalinidad, por lo que en suelos de las zonas áridas, este anión representa un aspecto negativo si se encuentra en altas concentraciones (López *et al.*, 2003). El análisis de suelo demostró que, de las zonas analizadas (Fig. 17c), los suelos de VVGN presentaron el mayor contenido de HCO_3 (350 mg kg^{-1}), siendo estadísticamente diferente al VSD, que mostró el menor valor (160 mg kg^{-1}). La solubilidad de los bicarbonatos en el suelo se ve afectada fuertemente por las altas temperaturas, lo que hace posible su concentración en la superficie del suelo, causando serios problemas para el desarrollo radicular de las plantas (Ibáñez *et al.*, 2004).

La materia orgánica (MO) es un parámetro importante para determinar la fertilidad y calidad agrícola de un suelo. Durante el desarrollo de esta investigación, se ha constatado que en los suelos del VSD se observó un mayor predominio de MO (Fig. 18a), donde su contenido es de 0.72%, sin embargo dicho porcentaje se considera muy bajo en suelos agrícolas. En el resto de las zonas evaluadas su contenido fue también menor de 1%. Bajo porcentaje de MO genera mayor necesidad de adición de fertilizantes nitrogenados para obtener mayores rendimientos.

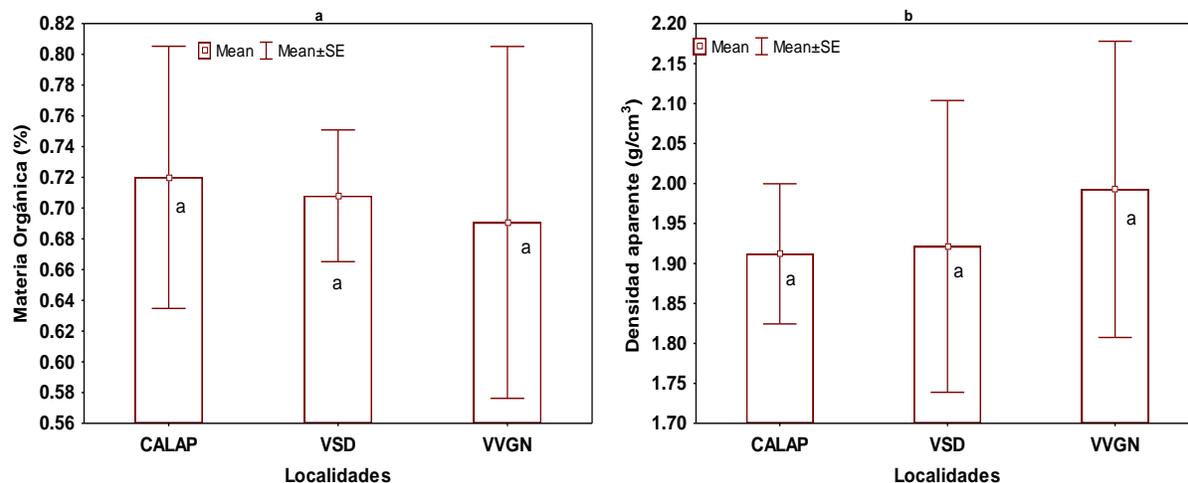


Figura 18. Contenido de materia orgánica (MO) y densidad aparente (Dap) en tres zonas agrícolas de B.C.S. (a): MO, (b): Dap.

La Dap es una propiedad del suelo relacionada con su textura, estructura y capacidad de retención de humedad. A pesar de que esta variable no mostró diferencias significativas entre las zonas estudiadas (Fig.18b), es necesario destacar que en los suelos de del VVGN arrojaron el mayor valor en este parámetro (2.0 g cm⁻³). Este aspecto tiene importancia para predecir el movimiento del agua en el suelo y los posibles riesgos de degradación y eventual arrastre de los agregados (Ingaramo *et al.*, 2003).

7.2 Análisis socio-productivo (Dimensión socio-productiva)

La valoración de la dimensión socio-productiva fue posible gracias a la información que facilitaron los productores entrevistados, los cuales permitieron el análisis de aspectos relacionados con el sistema de manejo en sus predios, así como el vínculo familiar y su influencia en las labores productivas.

La integración de la familia a las actividades agrícolas, supone un cambio significativo en la distribución del trabajo productivo y doméstico y le da solidez al sentido de responsabilidad y constancia que permitirá luego desarrollar la habilidad y destreza en el manejo de los recursos naturales en sus predios así como la distribución del trabajo de manera equitativa.

Del total de productores entrevistados, solo la minoría refirió contar con la totalidad de los miembros de la familia vinculados al trabajo en el rancho; en este sentido, el VSD y la CALAP mostraron los mayores porcentajes de vinculación (72% y 64% respectivamente) mientras que el VVGN obtuvo el porcentaje menor (30%).

Un aspecto de interés que refleja el nivel económico de un predio es precisamente la autosuficiencia alimentaria la cual se considera buena cuando en un rancho o predio, la producción de alimentos es suficiente para autoabastecerse, en cantidad y en calidad. Sin embargo las respuestas aportadas por los productores reflejan la incapacidad de las fincas de estas zonas para satisfacer sus necesidades alimentarias solo con el resultado de las actividades agrícolas.

En la CALAP el mayor porcentaje de respuestas (52%) indicó que la producción del rancho no es suficiente para la manutención de los miembros de la familia. Asimismo, en esta zona 88% de los productores coincidieron en que la dependencia de insumos externos y el acceso irregular a créditos y apoyos por parte del gobierno son las principales causas que generan la insuficiente producción, toda vez que limita en alguna medida la implementación de sistemas más tecnificados para optimizar los recursos, por ejemplo el recurso agua a través de riego presurizado.

El 94% de ranchos visitados en el VSD poseen este tipo de riego o se encuentran en transición al menos en el 50% de la superficie cultivada. Sin embargo, en el VVGN y la CALAP existen todavía numerosos predios con sistemas de riego convencional por gravedad.

A pesar de que existen programas de apoyo gubernamental donde solo se solicita el 30 % del costo al productor, un número importante de agricultores manifiestan que es difícil acceder a los apoyos por cuestiones económicas (insuficiencia para la parte complementaria), mientras que otros afirman que estos recursos le son ofrecidos aun cuando no los solicitan.

La asesoría y capacitación para incorporar nuevas formas de producción, así como estrategias agroecológicas adecuadas y de protección de los recursos naturales es motivo de preocupación entre los campesinos de las localidades

analizadas, si se tiene en cuenta que 64% de las respuestas en el VVGN indican insatisfacción en cuanto a la capacitación ofertada por organismos e instituciones. El diálogo dejó ver que la falta de asistencia técnica causa disminución de rendimientos por el inadecuado manejo agronómico del predio y cultivos.

En este sentido, el 100% de ranchos visitados posee un sistema agroproductivo diversificado convencional, con manejo exclusivamente basado en agroquímicos.

A pesar de que el 100% de los entrevistados posee un historial de más de 10 años en labores agrícolas, el total de ingresos con que cuentan en el hogar no se generan del trabajo productivo del predio. El mayor porcentaje de entrevistados asumió que por lo menos 40 % de los ingresos se generan de trabajo externo. En la CALAP y el VVGN se observó mayor necesidad de trabajo externo por parte de las familias visitadas para compensar los bajos ingresos que proceden de sus fincas. Es necesario destacar que el relevo generacional en cada predio se considera un aspecto preocupante, a consecuencia de que menos del 10% de los productores en cada zona de estudio afirma que cuenta con relevo generacional para darle continuidad a la producción agrícola de su predio.

Los canales de comercialización inadecuados constituyen una inquietud latente entre los agricultores de las tres zonas, debido a la existencia de empresas acaparadoras de productos que fijan precios de compra sin tener en cuenta el incremento en los costos de producción de los cultivos.

Aunado a lo anterior, brindan apoyo para los productores, pero condicionado a previa firma de convenios con los mismos. Por otro lado, la comercialización solo a escala local o regional es motivo de insatisfacción por parte de los agricultores. La percepción acerca de la categoría de cada rancho según sus productores fue un aspecto abordado durante la entrevista; en este sentido, la mayoría de los rancheros ubicó su predio en la categoría de *convencionales en aparente estabilidad*, sin embargo en la CALAP se observó el mayor porcentaje de predios *deteriorados e improductivos* (41 %) y con presencia de vegetación silvestre.

7.2.1 Valoración de la resiliencia socioecológica de tres zonas agrícolas en BCS, México, mediante el Índice Holístico de Riesgo (IHR)

7.2.1.1 Identificación de los eventos climáticos que afectan las zonas agrícolas: Amenazas.

Los valores obtenidos para cada indicador que compone las variables: *amenaza*, *vulnerabilidad* y *capacidad de respuesta*, expresados en escalas de 0 a 3 en función de cada zona, se presentan en la Tabla VIII. Los huracanes, las sequías y las heladas fueron los principales fenómenos climáticos que según los productores entrevistados afectan a las zonas agrícolas de Baja California Sur. Los tres eventos mencionados están incluidos en las respuestas dadas por los agricultores del VVGN, sin embargo en la CALAP y en el VSD solo afectan la producción agrícola los largos períodos de sequía y los huracanes. El VSD resultó la zona agrícola que reportó mayor frecuencia, intensidad y pérdidas económicas asociadas a la sequía y al paso de los huracanes

Tabla VIII. Valores ponderados de los indicadores de amenaza, vulnerabilidad y capacidad de respuesta para cada región agrícola.

Zonas	-----Amenazas-----			-----Vulnerabilidad-----			----Capac. de Resp ----			IHR
	Frec.	Intens.	Péridid	Disp. Hídric	Divers plant	Susc Eros.	Labores conserv	Nivel conoc	Apoyos gubern.	
CALAP	1.7	1.1	1.4	2.8	1.3	1.6	1.3	2	1.4	2.2
VSD	1.8	1.6	1.9	2.8	2.4	2.0	1.8	2.6	2.8	1.73
VVGN	1.8	1.4	1.5	3.0	1.7	2.0	1.3	2.6	2.4	1.79
Val. Ideal	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	3.0	3.0	0.00

Fuente: Elaboración propia: **Frec:** Frecuencia, **Intens:** Intensidad, **Péridid:** Pérdidas, **Disp. Hídric:** Disponibilidad Hídrica, **Divers. Plant:** Diversidad de plantas, **Susc. Eros:** Suceptibilidad a la erosión, **Labores conserv:** labores de conservación. **Nivel conoc:** nivel de conocimiento, **Apoyos gubern:** apoyos gubernamentales.

Según los productores, los cambios climáticos se expresan en una acentuada disminución e irregularidad en las lluvias. Por otro lado, se conoce que el efecto más inmediato y visible de los huracanes sobre las unidades productivas, es el daño a los cultivos, al ganado, a la propiedad del hogar, a los bienes de producción y a la infraestructura física; confirman asimismo que estos daños pueden provocar situaciones de escasez de alimentos.

Sin embargo, los productores de las zonas del VSD y CALAP expresan que: “Los huracanes nos dejan lluvias para poder producir” y afirman que es precisamente la temporada de huracanes la que favorece la recarga de los acuíferos para incrementar la disponibilidad de agua de estas regiones, pero al mismo tiempo y dependiendo de su intensidad, puede debastar los cultivos, en consecuencia, pueden enfrentar el riesgo de sufrir cuantiosas pérdidas económicas en lo que respecta a la maquinaria agrícola, infraestructura y equipos de riego.

7.2.1.2 Valoración de la vulnerabilidad de las zonas agrícolas a eventos climáticos

El VSD también demostró ser la zona agrícola más vulnerable a eventos climáticos, con un valor ponderado de (2.4) debido a que, al poseer mayor cantidad de cultivos establecidos, las condiciones adversas del clima provocan daños más visibles y evidentes (Tabla IX). En el caso de las variables de vulnerabilidad, esta zona no mostró una diferencia significativa con respecto al VVGN (2.2) pero sí con CALAP. Es preciso destacar que la diversidad vegetal fue lo que marcó mayor diferencia con respecto al resto de las variables.

En este sentido, la CALAP arrojó los valores menores en los indicadores que describen la vulnerabilidad (1.9), posiblemente porque esta zona es la que posee menor producción agrícola y donde existe mayor cantidad de suelo en transición de uso o en barbecho, pues más del 40 % de los predios agrícolas se encuentran abandonados, improductivos o han cambiado su uso para fines habitacionales, eco-turísticos y de recreo, por lo que desde el punto de vista de la producción agrícola la zona puede considerarse como la menos vulnerable.

Tabla IX. Valores de medias, mínimo y máximo de indicadores de amenazas, vulnerabilidad y capacidad de respuesta e Índice Holístico de Riesgo (IHR) para las tres zonas agrícolas.

Zonas	Amenazas	Vulnerabilidad	Capacidad de respuesta	IHR
CALAP	1.4a (1.0 - 2.0)	1.9a (1.7 - 2.3)	1.6a (1.0 - 2.3)	2.2a (1.5 - 3.7)
VSD	1.8a (1.0 - 2.2)	2.4b (2.0 - 2.7)	2.4b (1.7 - 2.7)	1.7b (1.3 - 2.7)
VVGN	1.6a (1.2 - 2.2)	2.2ab (2.0 - 2.7)	2.1a (1.0 - 2.7)	1.8b (1.3 - 3.9)

Fuente: Elaboración propia

Sin embargo, los suelos de CALAP se encuentran en mayor grado de exposición a efectos mecánicos y a la agresividad climática lo cual incrementa su potencial de deterioro y erosión, tornándose menos fértiles y por ende improductivos. De acuerdo con Ravera *et al.* (2014), la vulnerabilidad de los suelos de regiones áridas depende del clima actual así como de la vegetación natural, pues la pluviometría, la radiación solar y el viento son factores determinantes en los fenómenos de erosión física y de degradación química y biológica del suelo.

La disponibilidad hídrica fue un aspecto interesante reflejado en las respuestas dadas por los agricultores de los predios visitados, toda vez que no se refirieron a este indicador como una debilidad ya que el 98% de los entrevistados aseguró poseer pozos para el riego agrícola. Los aspectos más importantes que definen la aptitud productiva en regiones agrícolas semiáridas se proponen en la tabla II como umbrales de vulnerabilidad. Según los datos analizados, se infiere que la región con mayor vulnerabilidad a variaciones del clima y a fenómenos de deterioro del agua y el suelo es CALAP, cuyos indicadores principales se ubican en la categoría de “altamente vulnerable”.

Por su parte, el VVGN también alcanza esta categoría y se sitúa en una posición intermedia entre las 3 regiones; en este sentido, el VSD se ubica en la categoría de “vulnerable” al poseer algunos indicadores con niveles aceptables, tales como la CE del suelo y el pH de suelo y el agua, aunque se observaron cercanos al límite inferior de los valores ideales.

7.2.1.3 Capacidad de respuesta de las regiones agrícolas

Durante este estudio se comprobó que en el VSD la capacidad de respuesta de los ranchos agrícolas ante perturbaciones climáticas es mayor que el resto de las zonas estudiadas (2.4), debido a que los indicadores que describen esta variable alcanzaron valores superiores en esta localidad que en el VVGN Y CALAP (Tabla IX). La capacidad de respuesta de una zona o región agrícola a eventos climáticos está en función, entre otros aspectos, de los mecanismos y acciones de manejo de sus productores para reducir los riesgos de estos fenómenos y recuperarse de los daños causados (Artieri, 2013).

Según las entrevistas realizadas, los agricultores del Valle de Santo Domingo mostraron mayor nivel de conocimiento acerca de los fenómenos climáticos que los afectan, así como las medidas preventivas para reducir los daños que provocan. Sin embargo no conocen si existen en su municipio instituciones para prevención de los riesgos naturales que puedan brindar orientación y apoyo a las comunidades y sus productores.

El intercambio con los agricultores nos permitió conocer sus insatisfacciones relacionadas con la escasa capacitación que tienen acerca de la elaboración y uso de fertilizantes orgánicos, lo que hace que estas técnicas para conservar el suelo no se realicen en sus predios. El uso de materia orgánica es una alternativa que no es rentable para los campesinos de estas zonas, debido a que no se encuentran centros de elaboración cercanos a sus ranchos y traerlo de otros lugares encarece la producción.

Cabe destacar que algunos agricultores de estas localidades, mostraron cierto descontento con los programas de apoyo que el gobierno federal está otorgando a los productores y ejidatarios, pues en la mayoría de los casos los créditos que se solicitan para las labores productivas, llegan cuando los cultivos están próximos a cosecharse y en algunos casos como en la CALAP y VVGN existe una opinión casi generalizada entre los entrevistados de que no es equitativa la forma en la que se entregan estos apoyos por parte del estado y desconocen los requisitos que las autoridades tienen en cuenta para ello.

7.2.1.4 Evaluación del Índice Holístico de Riesgo (IHR). Resiliencia socioecológica.

La figura 19 muestra la frecuencia de rangos del IHR y los porcentajes de casos relacionados con el fenómeno climático que afecta las actividades agrícolas en cada zona. La sequía es el evento con mayores porcentajes de casos en las tres localidades siendo superior su presencia en el VSD (70 %).

Asimismo la CALAP exhibe la mayor afectación por huracanes con el 40% de los casos; mientras que el VVGN se destaca por ser la región cuyos productores refieren afectación por heladas aunque con porcentaje inferior al 10%.

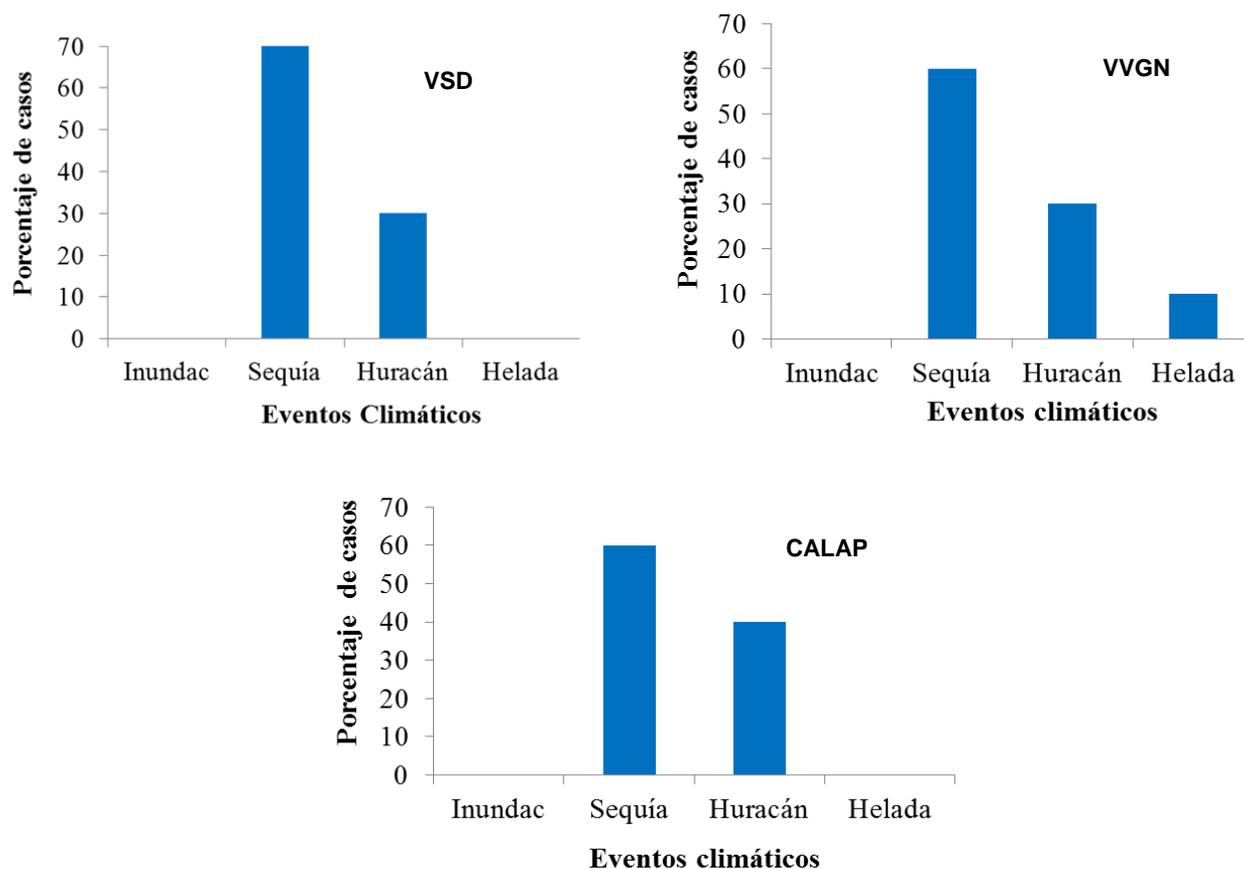


Figura 19. Porcentaje de afectación de los eventos climáticos en cada región agrícola.

Mediante la ponderación equitativa de las variables asociadas a cada uno de los indicadores de Amenazas, Vulnerabilidad y Capacidad de Respuesta, fueron calculados a su vez los respectivos IHR para cada zona agrícola. La mayoría de los predios (más del 60%) en cada zona agrícola, mostraron valores de IHR entre 1.7 y 2.2, lo cual según Barrera *et al.* (2011), corresponde a niveles de riesgo de medio a alto o a niveles de resiliencia socioecológica de medios a bajos

Los resultados obtenidos indican que el IHR es diferente en cada región (Tabla IX), encontrándose el menor valor (1.7) en el VSD (*Kruskal-Wallis test: H (2, N= 30) =2,357745 p =,3076*) el cual no mostró diferencias significativas con el VVGN (1.8), sin embargo el mayor IHR fue arrojado por la CALAP (2.2) mostrando diferencias estadísticas con el resto de las zonas. Los valores de IHR así como su relación inversa con los niveles de resiliencia socioecológica, se ajustan con la realidad de las regiones de estudio. Mediante el análisis de las frecuencias se pudo establecer asociación entre las variables evaluadas en cada indicador, lo que demostró que fueron las variables del indicador “Capacidad de Respuesta” las que tuvieron mayor influencia en los resultados del IHR en cada localidad.

Por esta razón, a pesar de que el VSD resultó la zona agrícola más vulnerable, ésta a su vez mostró mayor capacidad de respuesta ante perturbaciones medioambientales, por lo que se considera que esta región posee un nivel de resiliencia “medio” (Tabla IV). Por su parte el VVGN también alcanza este nivel de resiliencia socioecológica, sin embargo la CALAP mostró el mayor IHR y un nivel de resiliencia “bajo”. En este sentido, Rohr *et al.* (2013) afirmaron que el desempeño agrícola observado después de eventos climáticos extremos, han revelado que la resiliencia a los efectos de estos fenómenos está íntimamente relacionada con la capacidad de respuesta de las fincas y sus productores.

7.2.2 Respuesta de los principales cultivos del estado al Índice de adaptación al cambio climático (IACC)

Como era de esperar, los cultivos estudiados evidenciaron valores más bajos de IACC que el 'cultivo ideal'. La tabla X muestra la secuencia de cultivos según la especie, los valores de cada factor y el IACC. En consecuencia, el “cultivo ideal” alcanzó el valor más alto del índice propuesto, IACC = 1. Mientras tanto, el pepino = 0,721, cártamo = 0,690, sandía = 0,688, Fresa = 0,657, calabacita = 0,664, tomate = 0,628, papa = 0,622, cebolla = 0,622, trigo = 0,615, garbanzo = 0,588, pimiento = 0,562, maíz = 0,551, chiles picosos = 0,538, frijol común = 0,476, y espárragos = 0,182.

Tabla X. Valores de los parámetros, sus factores y el índice de la adaptación al cambio climático (IACC) para cada cultivo

Cultivos	Cc (días), NR (cm)	Tmin, Tmax (°C)	Factor CV	Factor NR	Factor Tmáx	Factor Tmin	Iacc
Fresa	90, 70	11.1, 25.1	0.256	0.220	0.168	0.013	0.657
Calabacita	60, 63	7.1, 29.9	0.293	0.221	0.059	0.090	0.664
Cártamo	130, 38	10.1, 37.9	0.208	0.284	0.147	0.051	0.690
Cebolla	130, 52	10.1, 34.9	0.208	0.249	0.114	0.051	0.622
Pimiento	135, 60	10.1, 31.9	0.202	0.228	0.081	0.051	0.562
Chiles pic.	150, 65	7.1, 28.9	0.183	0.216	0.048	0.090	0.538
Espárragos	300, 90	12.1, 24.9	0.000	0.152	0.004	0.026	0.182
Frijol	140, 70	10.1, 26.9	0.196	0.203	0.026	0.051	0.476
Garbanzo	120, 32	10.1, 26.1	0.220	0.300	0.018	0.051	0.588
Maíz	130, 38	14, 29.9	0.208	0.284	0.059	0.000	0.551
Papa	120, 35	10.1, 29.9	0.220	0.292	0.059	0.051	0.622
Pepino	90, 32	10.1, 34.9	0.257	0.300	0.114	0.051	0.721
Sandía	110, 32	10.1, 34.1	0.232	0.300	0.105	0.051	0.688
Tomate	125, 38	12.1, 34.1	0.214	0.284	0.105	0.025	0.628
Trigo	120, 42	5.1, 24.9	0.220	0.274	0.000	0.116	0.615
Cult. ideal	30, 20	1, 40	0.330	0.330	0.170	0.170	1.000

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con el estudio de caso, el pepino es el cultivo más adecuado porque tiene requisitos similares a los del cultivo ideal; el período de cultivo es de alrededor de 90 días con necesidades de agua de solo 32 cm durante su ciclo y puede desarrollarse en amplios intervalos de temperaturas máximas y mínimas. Mientras que el espárrago es el cultivo con menor posibilidades de adaptación, ya que tiene el mayor período de crecimiento y requiere de más agua para su desarrollo. Según los antecedentes, el espárrago necesita establecerse en zonas con temperaturas entre 12 y 23 °C, por lo tanto en condiciones ambientales de B.C.S este cultivo no alcanzaría rendimientos óptimos, a menos que se cultive en las mejores condiciones agro-ambientales. La posición de cada cultivo de acuerdo al Iacc pone de manifiesto su nivel de adaptación en correspondencia con cada parámetro (Fig. 20).

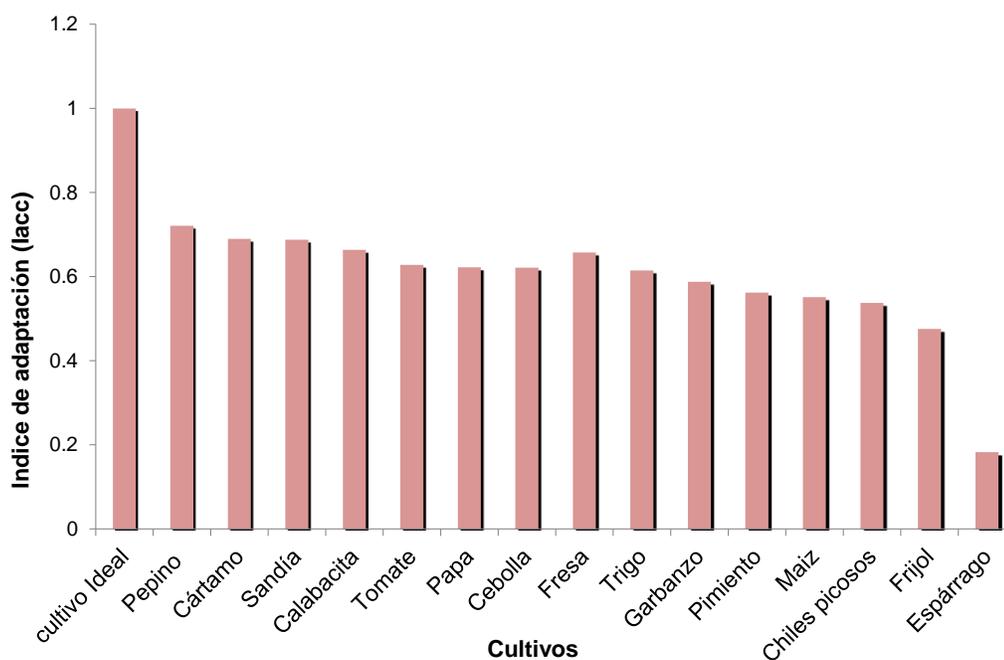


Figura 20. Índice de adaptación al cambio climático (Iacc) de los principales cultivos que se establecen en las áreas de estudio.

Después del pepino, los cultivos que se muestran con mejor adaptación son el cártamo, la sandía, la calabacita y la fresa, toda vez que alcanzaron valores preponderantes en los parámetros que componen este índice y que los ubican en las posiciones más cercanas al cultivo ideal. Por otro lado, este análisis demostró que el maíz y el frijol se consideran, junto al espárrago, los cultivos con menos posibilidades de adaptación debido a la exigencia de los mismos a condiciones ambientales que no se ajustan a las prevalentes en zonas semiáridas.

Los cultivos que mostraron mejor desempeño, se establecen en las zonas de la CALAP y el VSD con excepción de la fresa, que se cultiva durante el ciclo otoño-invierno en el VVGN. En este sentido, el frijol y el maíz que obtuvieron los menores índices, se establecen en ambos ciclos en las tres zonas de estudio.

La Figura 21 expone el desempeño del lacc en relación al comportamiento de la $T_{\text{máx}}$ y la $T_{\text{mín}}$. Se percibe claramente que el lacc aumenta en la medida que se incrementa la tolerancia de los cultivos a la $T_{\text{máx}}$; en este sentido, se observa que cuando los cultivos logran tolerar alrededor de 45°C de temperatura, el lacc se notó con un incremento de hasta 0.2. Lo mismo sucede con la relación entre la $T_{\text{mín}}$ y el lacc, donde es evidente que los cultivos que pueden tolerar valores bajos de $T_{\text{mín}}$ poseen mayor índice de adaptación; en este caso se observaron los mayores índices de tolerancia a $T_{\text{mín}}$ por debajo de 5°C . Con respecto a este parámetro, el cultivo ideal sería aquel que bajo condiciones extremas de temperaturas tanto máxima como mínima pueda expresar un potencial productivo aceptable.

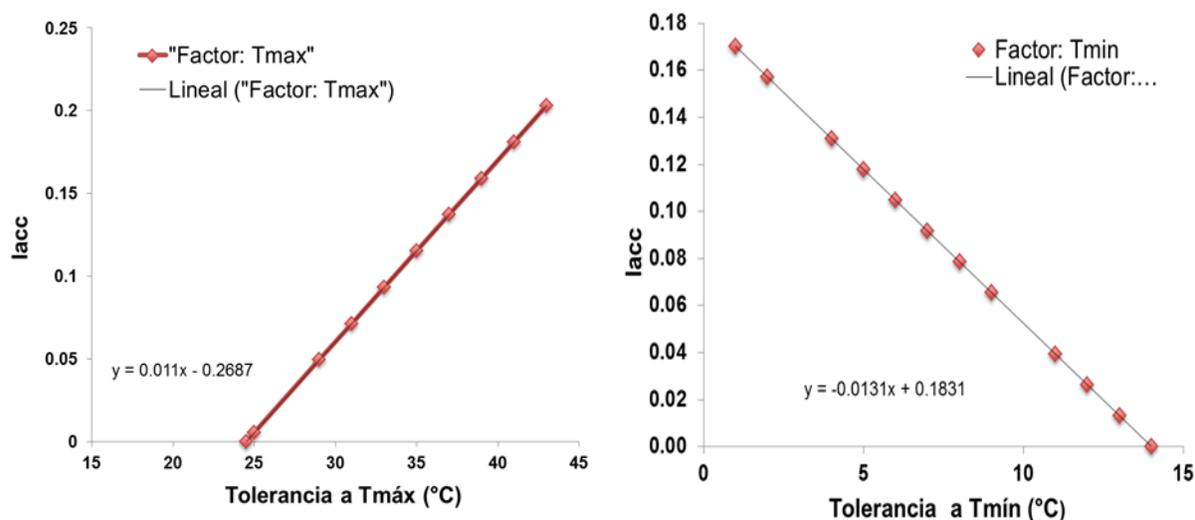


Figura 21. Parámetros de $T_{\text{máx}}$ y $T_{\text{mín}}$ de los principales cultivos en las regiones estudiadas.

Al considerar las condiciones o exigencias de este parámetro para las diferentes especies vegetales, se debe tener en cuenta la temperatura mínima letal (por debajo de la cual se producen daños en la planta) y la temperatura máxima por la que la planta no puede alcanzar una determinada fase vegetativa, de floración o fructificación. Según Wheeler *et al.* (2000), la temperatura óptima varía según las especies, pero casi siempre está comprendida entre 10° y 25°C. Las plantas pueden tolerar temperaturas menores durante períodos cortos de tiempo, pero se debe evitar acercarse al valor letal.

El período de cultivo es uno de los aspectos que se consideran para hacer un uso racional del agua y del suelo en regiones agrícolas con restricciones de dichos recursos, los cuales generalmente son cultivos de ciclo corto, que requieren pequeñas cantidades de agua y no agotan el suelo.

Los parámetros *ciclo de cultivo* y *necesidades hídricas* también se relacionaron con el lacc (Fig. 22). Se espera que los cultivos con ciclo de vida corto, sean más propicios para estas zonas áridas, si se tiene en cuenta su permanencia en el suelo y el uso que puedan hacer de los nutrientes y el agua disponible.

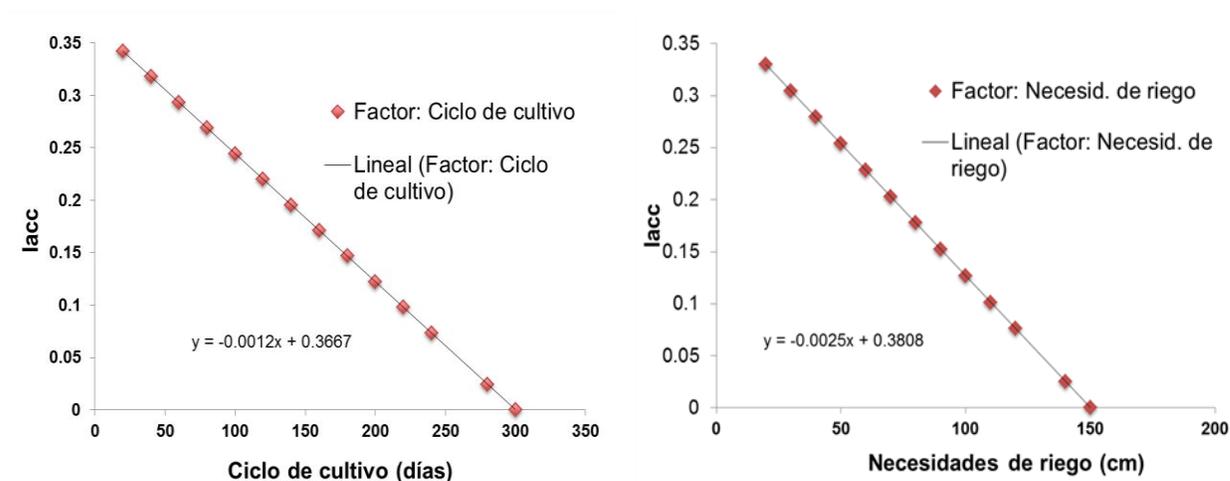


Figura 22. Parámetros de ciclo de vida y necesidades de riego de los principales cultivos en las regiones analizadas.

El modelo que se propone muestra que mientras se acortan los días de cultivo el lacc se hace mayor, alcanzando el mejor índice con un ciclo menor de 50 días. La relación del índice de adaptación con las necesidades hídricas indica que los cultivos con menor exigencia de riego, alcanzan un mayor lacc, lo cual garantiza un ahorro considerable del recurso agua sobre todo en zonas áridas, donde la disponibilidad hídrica es una de las principales limitantes para la producción agrícola. En este factor, el mejor índice se observó con NR por debajo de 50 cm con el que alcanzó un lacc de 0.33, sin embargo el índice es nulo ó 0 con NR superiores a 150 cm.

7.3 Identificación de puntos críticos. Selección y evaluación de indicadores de sustentabilidad agroecológica.

Para la validación del método MESMIS en las zonas estudiadas, se definieron como puntos críticos aquellos factores o aspectos ambientales, técnicos, sociales o productivos que de forma individual o combinada pueden ejercer un efecto crucial en la supervivencia del sistema; también en aquellos donde el agroecosistema presenta problemas o es más vulnerable. Después de priorizar los puntos críticos se definieron los indicadores y se establecieron los parámetros para su valoración y la forma de medición.

7.3.1 Criterio de diagnóstico, puntos críticos e indicadores de sustentabilidad seleccionados para la dimensión ambiental (Clima-suelo-agua)

Para la derivación de los indicadores se tomó en cuenta que respondan a los atributos de sustentabilidad, para lo cual se utilizaron criterios de diagnóstico. El papel de dichos criterios es describir los atributos de sustentabilidad, pues representan un nivel de análisis más detallado que los atributos, pero más general que los indicadores.

De hecho, constituyen el vínculo necesario entre los atributos, las fortalezas y las debilidades de los sistemas de manejo y los indicadores, con el interés de que estos últimos permitan evaluar de manera efectiva y coherente la sustentabilidad de los sistemas.

Para el análisis de la dimensión ambiental se tomó como criterio de diagnóstico la *conservación de los recursos*, a partir del cual se formularon los puntos críticos para cada uno de los factores ambientales que se evaluaron (Tabla XI), que muestran los aspectos más significativos que afectan o ponen en riesgo el funcionamiento eficiente de los sistemas en estudio.

Tabla XI. Criterio de diagnóstico y puntos críticos de la Dimensión Ambiental (clima-suelo-agua).

Criterio de Diagnóstico	Puntos Críticos		
	Clima	Suelo	Agua
Conservación de recursos	Promedio anual de precipitaciones	Estabilidad de la estructura	Dureza
	Temperatura media anual	Conductividad eléctrica	Presencia de aniones indicadores de salinidad
	Ocurrencia de sequías	Contenido de materia orgánica (Fertilidad)	Conductividad eléctrica
	Afectación por huracanes	Capacidad de retención de humedad	

Fuente: elaboración propia

Una vez determinados los puntos críticos para la dimensión ambiental se seleccionaron 22 indicadores, de los cuales cinco correspondieron al factor 'Clima', siete al factor 'Agua' y diez al factor 'Suelo' los que fueron aplicados para el análisis de la sustentabilidad agroecológica de las regiones en estudio.

Dichos indicadores se seleccionaron de acuerdo a la disponibilidad de datos, sensibilidad a cambios temporales y a la capacidad de ser cuantificados; constituyen variables con alto grado de agregación, fáciles de medir y repetibles, aún cuando no son universales ya que fueron elegidos en función del tipo de ambiente, suelo y agua de las regiones de estudio, son aplicables en regiones similares.

Según la propuesta de intervalos definida, de los cinco indicadores del FC en las regiones estudiadas (Tabla XII), la *temperatura media* en VVGN y *posibilidad de heladas* en CALAP, alcanzaron la máxima puntuación posible (10 puntos), toda vez que la temperatura media en dicha región muestra un valor preponderante que favorece la producción agrícola, mientras que las posibilidades de heladas que puedan afectar la agricultura en la CALAP, son prácticamente nulas (AgrInfo.in 2011).

Tabla XII. Selección y ponderación de indicadores para el factor clima (FC), en tres regiones de B.C.S.

IC: Indicadores del Factor Clima (FC)	V.R.	VVGN ^{@&†}	VSD ^{&*}	CALAP ^{#†}
1. Temperatura media ^{†*}				
a) Entre 17 y 22 °C	10	10		
b) Entre 14 y 17 o entre 22 y 25 °C	6		6	
c) Menor de 14 °C mayor de 25 °C	2			2
2. PP anual ^{†‡}				
a) Mayor de 400 mm	10			
b) Entre 250 y 400 mm	7			
c) Menor de 250 mm	4	4	4	4
3. Ocurrencia de sequías ^{†‡}				
a) Un mes con lluvia 'cero' o no efectiva, 11 meses con PP útil	10			
b) De 2 a 4 meses al año con lluvia 'cero'	7	4	4	4
c) 5 meses o más con lluvia 'cero' o no efectiva	4			
4. Posibilidad de heladas ^{&*†}				
a) Posibilidad de heladas muy baja o nula	10			10
b) Baja probabilidad de heladas ocasionales, solo una en promedio anual	6	6	6	
c) Alta probabilidad de heladas	1			
5. Riesgo de huracanes, viento o inundaciones durante el ciclo del cultivo ^{±§}				
a) Riesgo muy bajo o nulo	10			
b) Baja probabilidad de huracanes, solo uno anual en promedio	7	7	7	7
c) Posibilidad alta o muy alta	4			
Total Favorable Máximo Posible (Suma Superior)	50	31/50 =	27/50 =	27/50 =
Total No Favorable Mínimo Posible (Suma Inferior)	15	0.62	0.54	0.54

Fuente: [@]Chávez, 2010a; [&] SMN-CNA, 2012; [†]Troyo *et al.*, 2009; [§]Díaz, 2010. [#]Elaboración propia a partir de análisis en laboratorio e integración de bases de datos del CIBNOR, S.C. [†]AgrilInfo.in, 2011; [±]Salinas *et al.*, 1990; ^{*}Meza y Reygadas, 2001. V.R: Valores de referencia; VVGN: Valle del Vizcaíno-Guerrero Negro; VSD: Valle de Santo Domingo; CALAP: Cuenca Agrícola de La Paz, BCS.

El riesgo por huracanes, vientos o inundaciones obtuvo el mismo valor en las tres zonas (7 puntos), reportándose solo un evento en promedio anual, mientras que el resto de los indicadores alcanzó menos de 6 puntos en las tres regiones, considerándose como debilidades en este factor. El promedio de precipitación anual y los períodos largos de sequías fueron indicadores que alcanzaron valores críticos en las 3 zonas de estudio.

El mayor valor total favorable se obtuvo en VVGN con desempeño de 0.62, 31 puntos de 50 (total máximo favorable), por lo que se valora como deficiente en la tabla de intervalos para la calificación de los indicadores. En este sentido, el VDS y la CALAP obtuvieron valores menores (0.54 ambos), por lo cual se infiere que las condiciones del clima en dichas zonas no son del todo favorables para la producción agrícola. La tendencia de cada indicador para el FC en las 3 regiones se muestra en la figura 23. Aunque el VVGN posee condiciones de *temperatura* menos desfavorables para la producción agrícola, su ubicación geográfica lo hace también vulnerable a los *riesgos de huracanes y vientos*.

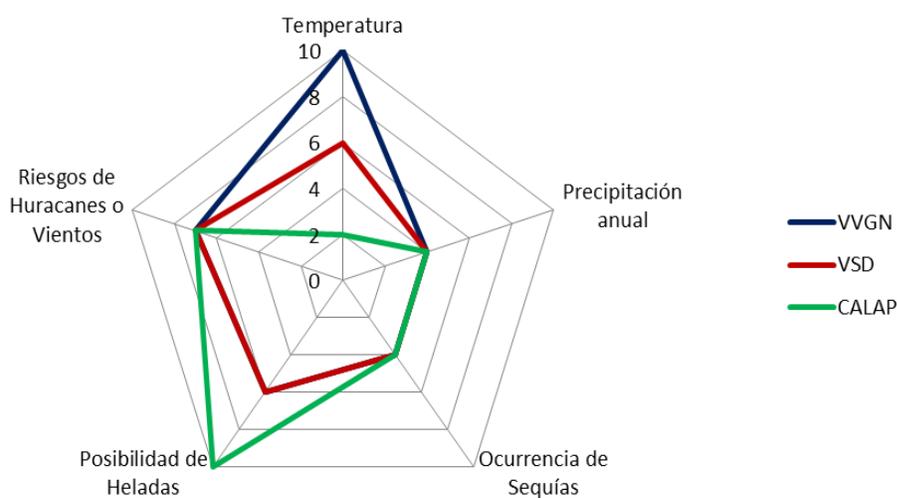


Figura 23. Diagrama representativo de los componentes del factor clima en tres regiones de B.C.S.

Los tres sitios poseen condiciones vulnerables a la *ocurrencia de sequías* y *escasas precipitaciones*, debido a la condición árida de dichas zonas, lo que evidencia la necesidad de medidas que permitan un uso racional del agua.

Según los índices IDHA e ISHA, la disponibilidad hídrica en CALAP fue baja en el periodo analizado, coincidiendo los valores mayores de IDHA en agosto y septiembre, que corresponden al período de lluvia.

El ISHA revela que las estaciones estudiadas mostraron altos índices de sequía en la mayoría de los meses del año, con valores entre 9.9 y 10, lo cual significa sequía extrema, principalmente en abril, mayo y junio (Duan *et al.*, 2008).

Para el FA se seleccionaron 7 indicadores representativos de las variables con mayor información disponible (Tabla XIII), de los cuales se considera como principal fortaleza la *Seguridad en la disponibilidad de agua para usuarios* y como principales debilidades los niveles de *conductividad eléctrica* (CE) y el desconocimiento de la *presencia de contaminantes peligrosos* en el agua. En el VSD se observó el máximo valor favorable (57) con desempeño de 0.81, por lo que se deduce que el agua para riego es de calidad *óptima*, según la tabla de intervalos para la calificación de los indicadores, en este sentido, el VVGN y la CALAP alcanzaron la condición de *acceptable* con valores de 0.75 y 0.66, respectivamente.

Tabla XIII. Selección y ponderación de indicadores para el factor agua (FA), en tres regiones agrícolas semiáridas de B.C.S.

IA: Indicadores del Factor Agua (FA)	V.R.	VVGN [Ⓜ]	VSD ^{Ⓢ%Ⓢ}	CALAP [Ⓢ]
1. Seguridad en la disponibilidad del agua, de mayoría de usuarios[Ⓢ]				
a) Para 10 años o más (con título de concesión)	10	10	10	10
b) Menos de 10 años, con título de concesión (renovación)	5			
c) Sin título de concesión; derecho de agua alquilado o rentado	0			
2. pH del agua de riego^{±Ⓢ}				
a) Entre 6 y 8	10		10	
b) Entre 5 y 6 o entre 8 y 9	7	7		7
c) menor de 5 o mayor de 9	4			
3. CE del agua de riego, mmhos cm⁻¹ o dS m⁻¹ ¶±Ⓢ				
a) Menor de 1.0	10			
b) Entre 1.0 y 2.0	8		8	
c) Entre 2.0 y 3.0	6	6		6
d) Mayor de 3.0	4			
4. SDT (sólidos disueltos totales), mg L⁻¹ ¶±				
a) 0 a 1000	10			
b) 1000 a 2000	8	8	8	
c) 2000 a 3000	6			6
d) > 3000	4			
5. Dureza, mg L⁻¹ ¶				
a) 0 a 250	10			
b) 250 a 500	8	8	8	
c) 500 a 750	6			6
d) > 750	4			
6. Presencia de aniones indicadores de salinidad Cl⁻¹ + SO₄⁻², mg L⁻¹ ¶±Ⓢ				
a) 0 a 250	10			
b) 250 a 500	8	8	8	
c) 500 a 750	6			6
d) > 750	4			
7. Presencia de contaminantes peligrosos (plaguicidas, metales pesados)				
a) Concentración menor de la que indica la NOM [†]	10			
b) Desconocida o no disponible	5	5	5	5
c) Mayor de la NOM [†]	0			
Total Favorable Máximo Posible (Suma Superior)	70	52/70 =	57/70 =	46/70 =
Total No Favorable Mínimo Posible (Suma Inferior)	20	0.75	0.81	0.66

Fuente: [Ⓜ]Chávez, 2010b; [Ⓢ]Cardona *et al.*, 2004; [¶]Richards, 1954; [±]Ayers y Westcot, 1987; [Ⓢ]Elaboración propia a partir de análisis en laboratorio e integración de bases de datos; [Ⓢ]Wurl *et al.*, 2011; [Ⓢ]CONAGUA, 2012; [Ⓢ]Mercado *et al.*, 2011; [Ⓢ]Meza y Reygadas, 2001; [Ⓢ]SEMARNAT, 2000, 2001, 2003, 2004. NOM-021-SEMARNAT-2000; NOM-023-SEMARNAT-2001; NOM-138 SEMARNAT/SS-2003; NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004. SSA, 1994. NOM-127-SSA1-1994.

Los indicadores del VSD se encuentran cercanos a la condición ideal, los valores de CALAP se ubican más alejados de estos valores de referencia y los del VVGN en una posición intermedia (Figura 24). Aún cuando de manera conjunta la calidad del agua se valora como aceptable, es necesario realizar estudios a nivel de microrregión, para detallar de forma específica y a escala menor la calidad del agua. La cercanía al mar de los pozos agrícolas de CALAP y del VVGN explica los niveles de salinidad expresada como CE (Troyo *et al.*, 2009).

En el presente trabajo no se enfatizó en la determinación de contaminantes y metales pesados en el agua para el riego agrícola, por lo que se sugiere un estudio detallado sobre la presencia y acumulación de dichos elementos en las zonas evaluadas, dada la sospecha e indicativos de la presencia de arsénico en el agua.

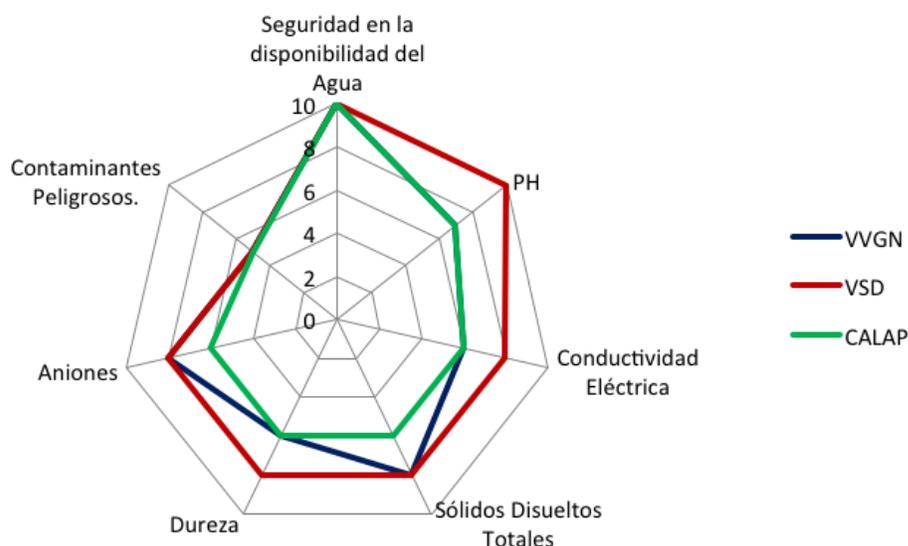


Figura 24. Diagrama del estado de calidad de agua en tres regiones agrícolas de B.C.S.

De los indicadores seleccionados para el FS, se consideraron como debilidades: *los valores críticos para la estabilidad de la estructura, su capacidad de retención de humedad, niveles de conductividad eléctrica y contenido de MO* asociado a la *baja disponibilidad de fósforo y nitratos* (Tabla XIV).

Para el FS, el VSD registró el máximo valor favorable (65), lo cual representa un desempeño de 0.65, por lo que se infiere que las condiciones del suelo en esta zona se encuentran en una condición *deficiente*. Así mismo, CALAP y VVGN mostraron desempeños aun más bajos (0.57), por los que estas regiones se clasificaron también como deficientes.

Los resultados confirman lo planteado por Mercado *et al.* (2011), quienes comprobaron que los suelos de las principales zonas agrícolas de CALAP poseen bajos niveles de MO y altas concentraciones de sales, lo que ha provocado una considerable disminución de la productividad y el abandono de numerosas unidades productivas.

Tabla XIV. Selección y ponderación de indicadores del factor suelo (FS) en zonas agrícolas de BCS.

IS: Indicadores del Factor Suelo (FS)	V.R.	VVGN [#]	VSD [§]	CALAP [#]
1. Estabilidad de la estructura				
a) Floculada, no alterada, muy buena agregación	10			
b) Parcialmente alterada; factible recuperarla	6	6	6	6
c) Destruída, defloculada; costosa recuperación	2			
2. Capacidad de retención de humedad				
a) Óptima; muy conveniente, sin encharcamiento	10			
b) Capacidad media de retención de humedad	7		7	7
c) Muy baja o casi nula: riegos muy frecuentes	4	4		
3. Tipo de textura, velocidad de infiltración				
a) Limo arenosa, textura franca o media.	10			
b) Muy arenosa, arenosa. Infiltración alta	7	7		
c) Arcillosa, limo-arcillosa. Infiltración baja o escasa;	4		4	4
4. pH del extracto de saturación [¶]±				
a) Entre 6 y 8	10		10	
b) Entre 5 y 6 o entre 8 y 9	7	7		7
c) Menor de 5 o mayor de 9	4			
5. C.E. del extracto de saturación [¶]±				
a) Menor de 1.0	10			
b) Entre 1.0 y 2.0	8		8	
c) Entre 2.0 y 3.0	6	6		6
d) Mayor de 3.0	4			
6. Densidad aparente, g mL⁻¹				
a) Baja a muy baja, < 1.5	10			
b) Media, 1.5 a 2	8	8	8	
c) Alta a muy alta, > 2	6			6
7. Contenido de materia orgánica (MO)				
a) Más de 1.75%	10			
b) De 0.75 a 1.75%	7			
c) Menos de 0.75%	5	5	5	5
8. Contenido de fósforo disponible				
a) Medio a alto	10			
b) Bajo o nulo	5	5	5	5
9. Contenido de N-NO₃				
a) Medio a alto	10			
b) Bajo o nulo	5	5	5	5
10. Presencia de cationes relacionados a CIC (Na; Ca+Mg), mg/Kg de suelo [¶]±				
a) Media: entre 100 y 1500	10			
b) Alta: entre 1500 y 3500	7		7	7
c) Muy baja o nula: < 100	4	4		
d) Muy alta: > 3500	1			
Total Favorable Máximo Posible (Suma Superior)	100	57/100 =	65/100 =	57/100 =
Total No Favorable Mínimo Posible (Suma Inferior)	40	0.57	0.65	0.57

Fuente: [¶]Richards, 1954; [±]Ayers y Westcot, 1987; [§]Mercado *et al.*, 2011; [#]Elaboración propia

Respecto al estado del suelo en las zonas de estudio, se observó claramente que el VSD posee los indicadores de *pH* y *conductividad eléctrica* más cercanos a los valores ideales (referencia), sin embargo, sus suelos son muy deficientes en cuando a su *textura* y *velocidad de infiltración* (Figura 25). Es claro que en estas regiones, el suelo está sometido a mayor presión, tanto por las actividades agrícolas y en el caso específico de la CALAP, por el incremento en el cambio de uso de suelo para fines habitacionales, eco-turísticos y recreativos.

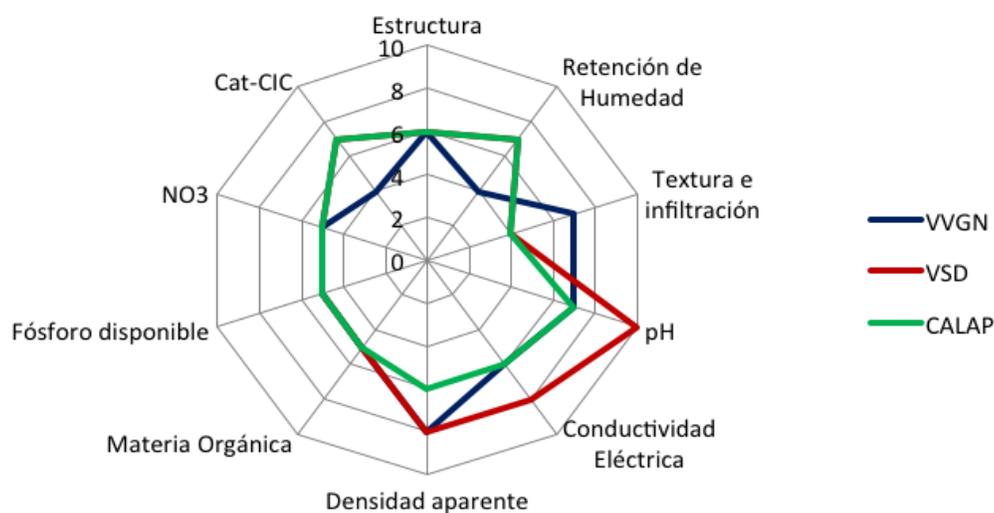


Figura 25. Diagrama del estado de calidad de suelo en tres regiones agrícolas de B.C.S.

La escasez de MO en los suelos fue uno de los aspectos más relevantes de este estudio, lo cual se reflejó en las tres zonas analizadas. Es importante señalar que el aporte de MO por parte de la vegetación natural es muy bajo, dado que predomina la vegetación tipo matorral xerófilo, ausente de hojas en su mayoría durante los períodos secos. Conde y Saldaña (2007) afirmaron que la pérdida de partículas finas del suelo provoca también la pérdida de MO, en virtud de que la misma se combina con las partículas finas del suelo. Por lo anterior, en regiones áridas, los efectos de la erosión eólica puede ser exacerbada por el deterioro de las propiedades del suelo y su potencial biológico.

7.3.2 Criterio de diagnóstico, puntos críticos e indicadores de sustentabilidad seleccionados para la dimensión socio-productiva.

Según el análisis de las entrevistas a productores de las zonas, se determinaron como criterios de diagnóstico en esta dimensión la *fragilidad socio-productiva* de los sistemas y *su capacidad de cambio e innovación* (Tabla XV). Se observó que los puntos críticos determinados denotan cierta debilidad en aspectos esenciales que influyen en el funcionamiento y estabilidad de los predios, como la *autosuficiencia alimentaria* y los *sistemas de manejo* implementados en cada finca.

Tabla XV. Criterios de diagnóstico y puntos críticos de la Dimensión Socio-productiva.

Criterio de Diagnóstico	Puntos Críticos	
	Social	Productivo
Fragilidad socio-productiva	Integración de la familia al trabajo agrícola	Agrodiversidad
	Autosuficiencia alimentaria	Percepción del predio
	Dependencia de insumos externos	Sistemas de manejo agroproductivo
Capacidad de cambio e innovación	Asesoría y capacitación	Resistencia o tolerancia a estrés
	Generación de empleo. Necesidad de trabajo adicional	Canales de comercialización

Fuente: Elaboración propia

Para la evaluación del factor socio-productivo se seleccionaron y ponderaron 17 indicadores de sustentabilidad. En el factor social se evaluaron 8 indicadores y 9 en el factor productivo, a los que se les asignó un valor en escala de 0 a 10 según su desempeño de sustentabilidad en cada región. Para el factor social se consideró como principal fortaleza el *Historial y experiencia* de los productores en las labores agrícolas, ya que en las tres localidades este indicador obtuvo la máxima puntuación, debido a que la totalidad de productores entrevistados afirmaron tener más de 10 años de experiencia como agricultores (Tabla XVI).

Tabla XVI. Selección y ponderación de indicadores para el factor social (FSc), en tres regiones agrícolas semiáridas de BCS.

Isc: Indicadores del Factor Social (FSc)	V.R.	VVGN	VSD	CALAP
1. Integración de la familia al proceso productivo en el predio				
a) Buena, 100% de los miembros de la familia integrados a labores productivas	10			
b) Media, al menos el 50 % de familia participa en las tareas agrícolas	7		7	7
c) Deficiente, solo un miembro de la familia se ocupa de las labores del predio	4	4		
2. Autosuficiencia Alimentaria				
a) Producción suficiente de alimentos (calidad y cantidad)	10			
b) Produce alimentos pero no es suficientes para satisfacer las necesidades	7	7	7	
c) No existe producción de alimentos en el rancho para autoabastecerse	4			4
3. Dependencia de insumos externos para la productividad del predio				
a) El 100% de la producción agrícola se realiza con medios propios	10			
b) Se necesita al menos 40% de insumos externos para la producción	7	7	7	7
c) Depende totalmente de insumos externos para producir	4			
4. Acceso a créditos y apoyos Gubernamentales				
a) Reciben créditos y apoyos oportunos para la producción Agrícola	10		10	
b) Reciben créditos aunque a destiempo para su utilización en las labores	7	7		7
c) No reciben apoyos ni créditos de organismos o instituciones	4			
5. Nivel de conocimientos para enfrentar eventos de contingencia				
a) Bueno, poseen nivel óptimo de conocimientos e instrumentos sociales	10		10	10
b) Medio, Poseen niveles aceptables de conocimientos e instrumentos sociales	7			
c) Deficiente, no poseen conocimientos ni cuentan con instrumentos sociales	4	4		
6. Asesoría y Capacitación				
a) Buena, reciben constantemente capacitación y asesoramiento	10		10	
b) Media, han recibido asesoría o capacitación al menos una vez en promedio anual	7	7		7
c) Deficiente, no reciben capacitación ni asesoramiento para el manejo	4			
7. Historial y experiencia en labores agrícolas				
a) Buena, más de 10 años dedicado a labores productivas	10	10	10	10
b) Media, de 5-10 años	7			
c) Deficiente, menos de 5	4			
8. Generación de empleo. Necesidad de trabajo adicional				
a) La totalidad de ingresos en el hogar proceden de la actividad del predio	10			
b) Al menos el 50% de los ingresos se generan del trabajo del rancho	7		7	
c) Ingresos en la finca representan solo 20% (depende de trabajo externo)	4	4		4
Total Favorable Máximo Posible (Suma Superior)	80	50/80 =	65/80 =	56/80 =
Total No Favorable Mínimo Posible (Suma Inferior)	32	0.63	0.85	0.70

Fuente: Elaboración propia, V.R: Valores de referencia; VVGN: Valle del Vizcaíno-Guerrero Negro; VSD: Valle de Santo Domingo; CALAP: Cuenca Agrícola de La Paz, BCS.

En este sentido, se consideraron las principales debilidades la *integración de la familia en el proceso productivo* del predio, la *autosuficiencia alimentaria* así como la *dependencia de insumos externos* y la *escasa generación de empleo*, que conlleva a la *necesidad de trabajo adicional*.

El VSD obtuvo la mejor calificación al alcanzar en la suma conjunta de sus indicadores un total favorable de 68 puntos con un desempeño de 0.85, el cual se valoró como *óptimo* en la tabla de clasificación. En esta zona los indicadores alcanzaron las mejores puntuaciones; el *acceso a créditos y apoyos* por parte del gobierno e instituciones así como el nivel y frecuencia de *asesoría y capacitación* que reciben los campesinos, mostraron ventaja con respecto al resto de las zonas.

El factor social en el VVGN se calificó como *deficiente*, con un desempeño de 0.63, por su parte la CALAP obtuvo 0.70 como desempeño final en este factor, el cual fue valorado como aceptable en esta zona.

El estudio demostró que el VSD posee más indicadores cercanos a los valores ideales que las restantes zonas (Fig. 26), el VVGN se encuentra más alejado de lo que se define como situación ideal y la CALAP se ubica en una posición intermedia.

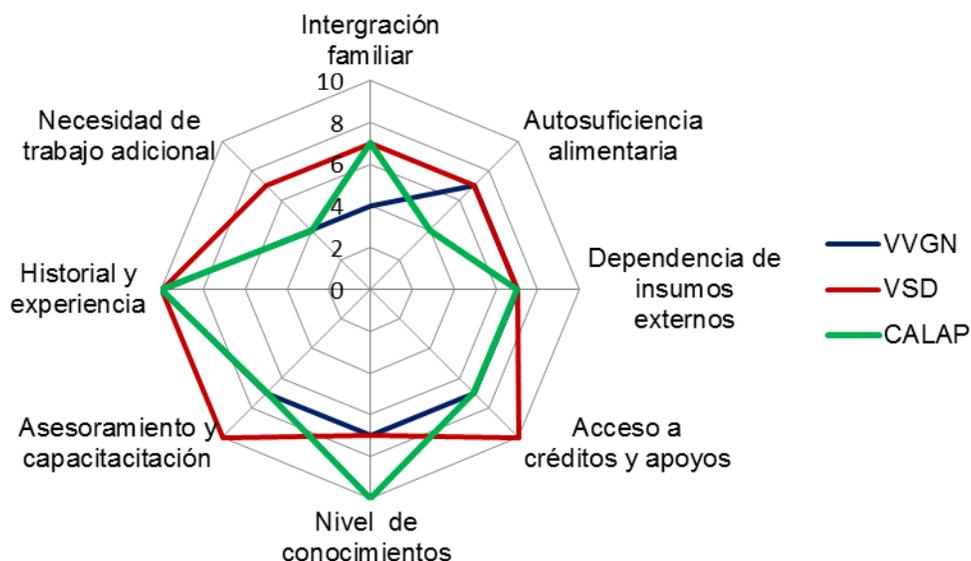


Figura 26. Diagrama del estado de los indicadores del factor social en tres regiones agrícolas de B.C.S.

Se seleccionaron y evaluaron 9 indicadores para el factor productivo (Tabla XVII), donde se identificaron como principales fortalezas el '*rendimiento actual o potencial*'; dicho indicador se valoró como aceptable ya que las respuestas de los productores afirman que los rendimientos alcanzan al menos 75% con relación al promedio de las zonas. La '*competencia por malezas*' en los cultivos establecidos también se consideró como fortaleza toda vez que se observó solo un nivel de competencia medio y un control efectivo de las mismas.

Sin embargo se definieron como debilidades: los *sistemas de manejo agroproductivos* en los predios, que en su mayoría se identificaron como '*diversificado convencional manejado con agroquímicos*', asimismo, la '*agrodiversidad*' también se consideró como debilidad, dada la escasa presencia de especies en los campos, la que se calificó como '*media*' (de 2 a 3 especies en el predio).

Tabla XVII. Selección y ponderación de indicadores para el factor productivo (FP), en tres regiones agrícolas semiáridas de B.C.S.

IP: Indicadores del Factor Productivo (FP)	V.R.	VVGN	VSD	CALAP
1. Agrodiversidad a) Alta, más de cuatro especies establecidas b) Media, de 2 a 3 especies en el predio c) Pobre, domina el monocultivo	10 7 4	7	7	7
2. Percepción de la categoría del rancho a) Ranchos altamente tecnificados b) Ranchos convencionales en aparente estabilidad c) Ranchos deteriorados e improductivos con vegetación silvestre	10 7 4	7	7	4
3. Sistemas de manejo agroproductivo a) Orgánico diversificado, con poco uso de insumos b) En transición a orgánico, con sustitución de insumos c) Diversificado convencional, manejado con agroquímicos	10 7 4	4	4	4
4. Competencia por malezas a) Cultivo vigoroso, se sobrepone a malezas o malezas controladas b) Presencia media de malezas, cultivos con algún nivel de competencia c) Cultivos estresados dominados por malezas	10 7 4	7	10	7
5. Sistemas de riego para cultivos a) Más del 70 % de riego presurizado (alta eficiencia en el uso del agua) b) En transición a riego presurizado (al menos 50% de la superficie) c) El riego se realiza totalmente de manera convencional por gravedad	10 7 4	7	10	7
6. Resistencia o tolerancia a estrés (sequía, heladas, etc.) a) Soportan sequía, lluvias intensas, heladas. Recuperación rápida b) Sufren en época de estrés, se recuperan lentamente c) Suscep. No se recuperan más del 25% de la siembra después de un estrés severo	10 7 4	7	7	7
7. Resistencia a la incidencia de enfermedades o plagas a) Resistentes, menos del 20% de cultivos con síntomas leves b) Entre 20-45% de cultivos con síntomas de leves a severos c) Susceptible a enfermedades o plagas (50 % de cultivos enfermos)	10 7 4	7	10	7
8. Rendimiento actual o potencial a) Bueno, 75% de rendimiento con relación al promedio de la zona b) Medio, 50 al 75% del rendimiento con relación al promedio de la zona c) Bajo, menos del 50% con relación al promedio de la zona	10 7 4	10	10	7
9. Canales de comercialización a) Realiza comercialización de productos a nivel nacional e internacional b) Comercializa los productos a nivel estatal o regional (estados vecinos) c) La comercialización agrícola es solo a escala local	10 7 4	7	10	4
Total Favorable Máximo Posible (Suma Superior)	90	$63/90 =$ 0.70	$75/90 =$ 0.83	$60/90 =$ 0.60
Total No Favorable Mínimo Posible (Suma Inferior)	36			

Fuente: Elaboración propia V.R: Valores de referencia; VVGN: Valle del Vizcaíno-Guerrero Negro; VSD: Valle de Santo Domingo; CALAP: Cuenca Agrícola de La Paz, BCS.

La mejor puntuación en este factor la obtuvo el VSD con un total favorable de 75 y un desempeño de 0.83 siendo este el mejor desempeño alcanzado entre los factores evaluados, por lo que el factor productivo se clasificó como 'óptimo' en esta zona.

El VVGN mostró un desempeño 'aceptable' (0.70), mientras que en la CALAP el factor productivo fue calificado como 'deficiente' ya que esta zona expuso las puntuaciones menores en la mayoría de los indicadores y por ende el desempeño más bajo (0.60).

En la figura 27 se expone la posición de cada indicador evaluado en el factor productivo. El VSD, con un desempeño *óptimo*, logró ubicar los indicadores en puntos más próximos a lo que se describió como situación ideal o de referencia. La CALAP resultó la zona con menor desempeño, cuyos indicadores se observaron más alejados del valor ideal y el VVGN se situó en un punto intermedio entre las dos regiones

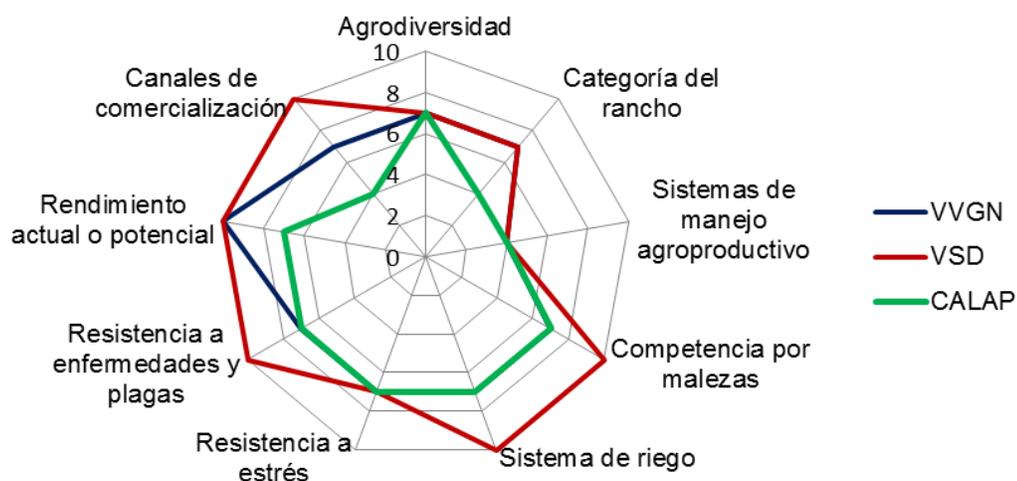


Figura 27. Diagrama del estado de los indicadores del factor productivo en tres regiones agrícolas de B.C.S.

7.4 Índice de sustentabilidad agroecológica (ISAE)

Para el cálculo del Índice de Sustentabilidad Agroecológica (ISAE) se utilizaron los coeficientes ponderados (Kp) y el número de indicadores seleccionados para para cada factor evaluado en los sistemas agrícolas (Tabla XVIII).

Tabla XVIII. Coeficientes ponderados de cada factor en las tres zonas agrícolas.

Coeficientes de los factores	Zonas			No. de indicadores
	VVGN	VSD	CALAP	
Kpc (Clima)	0.13	0.11	0.11	5
Kpa (Agua)	0.15	0.16	0.13	7
Kps (Suelo)	0.12	0.13	0.11	10
Kpsc (Social)	0.13	0.17	0.14	8
Kpp (Productivo)	0.14	0.16	0.12	9
ISAE	0.66	0.73	0.61	-

Fuente: Elaboración propia

La contribución de cada factor coincidió con el porcentaje de variabilidad, en virtud de que no se cuenta con referencias previas. El valor de Kpi para todos los factores fue asignado en 0.20, asumiendo que cada uno ejerce el mismo peso en el índice de sustentabilidad,

A partir de los resultados obtenidos sobre los factores considerados para la determinación del ISAE, se obtuvieron los siguientes resultados por valle o cuenca:

$$\text{ISAE VVGN} = 0.20 \cdot 0.62 + 0.20 \cdot 0.75 + 0.20 \cdot 0.57 + 0.20 \cdot 0.66 + 0.20 \cdot 0.70 = \mathbf{0.66}$$

$$\text{ISAE VSD} = 0.20 \cdot 0.54 + 0.20 \cdot 0.81 + 0.20 \cdot 0.65 + 0.20 \cdot 0.85 + 0.20 \cdot 0.83 = \mathbf{0.73}$$

$$\text{ISAE CALAP} = 0.20 \cdot 0.54 + 0.20 \cdot 0.66 + 0.20 \cdot 0.57 + 0.20 \cdot 0.70 + 0.20 \cdot 0.60 = \mathbf{0.61}$$

Se observa que el ISAE para CALAP alcanzó el menor valor en las tres localidades (0.61). En la tabla de niveles de sustentabilidad (Tabla VI), este valor es calificado como 'Poco sustentable' el cual refleja que, aunque existe algún beneficio en la actividad agrícola de la zona, es un nivel bajo e indica que se debe poner especial atención a cada atributo de sustentabilidad, pues de seguir una tendencia negativa, se puede llegar a una situación de 'No Sustentable'.

Estos resultados coinciden con los obtenidos por Gravina y Leyva (2012), quienes evaluaron la sustentabilidad de una agroecosistema en la República de Venezuela, donde encontraron valores alejados del nivel aceptable de sustentabilidad en zonas agrícolas que mostraron indicadores con categoría deficientes y manejo agroproductivo deficiente. El VVGN se ubicó en una posición intermedia entre las tres zonas, aunque también esta región fue calificada como 'poco sustentable' con un índice de 0.66.

Al estimar el ISAE del VSD, el cual se considera la principal región productora de B.C.S, se obtuvo un valor de 0.73 que corresponde a una zona 'Medianamente sustentable'. Este nivel indica que hay beneficios en el sistema agrícola evaluado y exhorta a seguir trabajando en las mejoras de cada atributo de sustentabilidad en aras de hacer un uso correcto de los recursos necesarios para las actividades agrícolas.

Es necesario destacar que en las tres localidades, la valoración para los indicadores de precipitación anual y ocurrencia de sequías (Factor Clima), alcanzaron las calificaciones menores posibles, dada su baja pluviosidad, incidencia de sequías y extrema aridez. De cualquier manera, el intervalo resultante entre el ISAE máximo (0.73) menos el mínimo (0.61) es muy estrecho, por lo que se hace urgente prestar atención a cada punto crítico derivado de la evaluación en las tres regiones, con el objetivo de incrementar el desempeño sustentable de dichas zonas.

7.5 Integración de los indicadores por atributo de sustentabilidad

En este paso se describen los resultados obtenidos por factor, comparando su tendencia en cada región y determinando los niveles de sustentabilidad de los agroecosistemas analizados mediante la integración por atributos. Las interacciones entre indicadores se vinculan con los puntos débiles que poseen las zonas con el desempeño de los sistemas productivos, lo que determina el nivel de sustentabilidad ambiental, social y productiva de los mismos.

Para el Factor Clima se observaron tres grandes limitantes que corresponden a los indicadores de *Temperatura media*, *Promedios mensuales de precipitaciones* y los *Periodos frecuentes de sequía*. Dichos aspectos se pueden traducir como problemas climáticos prioritarios para el desarrollo agrícola en el estado, pues se comprobó que en este factor ninguna zona alcanzó niveles óptimos.

Para el Factor Agua se identificaron dos indicadores restrictivos que constituyeron las principales limitantes en común para las zonas: El *pH* y la *Conductividad eléctrica* determinados en el agua. En este factor solo el agua que se emplea para riego en el VSD se consideró de calidad óptima, aunque se obtuvieron niveles aceptables en la calidad del agua de VVGN y en la CALAP.

En el Factor Suelo fueron 5 indicadores los que delimitaron el nivel de sustentabilidad de las zonas: la *estabilidad de la estructura*, la *capacidad de retención de humedad*, dada por la textura que predomina en los suelos de las regiones áridas, así como el *contenido de MO* en el suelo y su CE.

Los indicadores del Factor Social mostraron cuatro puntos débiles en su desempeño, que hace girar la atención a aspectos como la *'Integración de la familia' a las labores agrícolas*, el nivel de *'Autosuficiencia alimentaria'* y a la escasa *Fuente de empleo* que se genera en cada localidad, unido a la alta *Dependencia de insumos externos* que poseen la mayoría de las fincas. Sin embargo, se reconoció el nivel óptimo que alcanzó en VSD este factor, dadas las puntuaciones alcanzada por indicador en esta región. Cabe mencionar que el Factor Social fue aceptable en su desempeño en las dos restantes zonas.

El estudio del Factor Productivo demostró que las tres principales deficiencias se asociaron a los *Sistemas de manejo agroproductivo* implementados en los predios, a la pobre *Agrodiversidad* y a los inadecuados *Canales para la comercialización* de los productos.

A pesar de ello, en el VSD se comprobó un desempeño óptimo con relación a este factor, por el contrario en la CALAP el resultado de la evaluación productiva fue deficiente. Se elaboró un escenario de cada una de las zonas agrícolas para tener un panorama que permita definir cuál posee mayor nivel de sustentabilidad. Se retomaron aspectos que previamente fueron analizados a detalle en cada indicador. Cada atributo de sustentabilidad fue evaluado tomando como base los indicadores de cada localidad para evitar una visión parcializada de la realidad.

a) Productividad

A pesar de que el nivel de productividad no se considera óptimo en ninguna de las zonas de estudio, debido a que no existe la requerida capacidad para brindar el nivel adecuado de bienes y servicios que demanda este atributo, es necesario destacar que el desempeño productivo en el VSD se considera superior que en el resto de las zonas, debido a que las actividades productivas en las fincas de esta localidad mostraron mejor autosuficiencia. Aunque no existe la necesaria mano de obra familiar para satisfacer las actividades agropecuarias, los agricultores poseen mejor infraestructura, canales de comercialización y condiciones desde el punto de vista económico, ya que en su mayoría pueden acceder con mayor prioridad a créditos y apoyos de instituciones lo que les ha permitido tener ventajas productivas con respecto al VVGN y a la CALAP.

b) Estabilidad.

La búsqueda de soluciones a los problemas promueve un equilibrio sin que disminuya la dinámica de trabajo, no obstante, en las tres zonas se nota muy poco interés entre los productores en cuanto a su unión para el establecimiento de acuerdos, definir la implementación de estrategias y proponer soluciones a los problemas que se van presentando en el proceso productivo, de tal modo que su producción sea un tanto más estable y confiable, razón por la que se infiere que las tres zonas poseen el mismo nivel de estabilidad.

La mayoría de los productores principalmente en el VSD requieren cierto grado de contratación de trabajadores, sobre todo para las cosechas de papa y hortalizas; lo anterior demuestra que ninguno de estos sistemas es realmente generador de empleos estables.

Hay productores que contratan trabajadores de manera permanente, pero esto depende más de las condiciones y recursos de cada productor que de los contextos de cada zona, pues esta forma de contratación requiere brindarles a los trabajadores y su familia ciertas condiciones de vida y el acceso a otros recursos. En consecuencia, es precisamente la contratación de trabajadores lo que encarece la producción, volviendo menos rentable la unidad productiva, además, es una realidad que cada año hay menos oferta de mano de obra para trabajar.

c) Resiliencia.

En el análisis de la resiliencia socioecológica, el VSD resultó ser más resiliente que las demás localidades, esto enfocado a la capacidad de cada región de asimilar y responder a perturbaciones de índole ambiental, asimismo, para retornar al estado de equilibrio y mantener su potencial productivo a pesar de eventos climáticos desfavorables. En este sentido, la capacitación del personal en la agricultura por parte de organismos, es una de las actividades más importantes en la prevención de desastres naturales, sin embargo, este aspecto constituye una debilidad en estas zonas. La información obtenida de los agricultores del Valle de Santo Domingo dejó ver un mayor nivel de conocimiento acerca de los fenómenos que afectan a la agricultura, así como las medidas encaminadas a reducir los riesgos y mitigar los daños. Se infiere lo anterior, aún cuando las medidas referidas por los productores estuvieron más bien dirigidas a la protección de equipos agrícolas y no a medidas agrotécnicas para la protección y/o recuperación agrícola. A pesar de que el análisis de la resiliencia sugirió al VSD como la zona agrícola más vulnerable, a su vez, la misma mostró mayor capacidad de respuesta ante las perturbaciones medioambientales, por lo cual para dicha localidad se estimó un nivel de resiliencia '*medio*'; por su parte, la CALAP se definió como la zona menos resiliente.

El conocimiento de los productores acerca de la existencia de instituciones u organizaciones encargadas de establecer mecanismos para el adecuado funcionamiento de los canales de comunicación y orientación, resolver conflictos y mantener el orden y la capacidad de gestión ante diferentes eventos, constituye un aspecto clave en la concepción de una comunidad resiliente.

d) Confiabilidad

Se considera que las tres localidades tienen el mismo nivel de confiabilidad, pues hasta cierto punto son capaces de mantener la productividad y los beneficios a pesar de la problemática que periódicamente deben afrontar relacionadas con las condiciones climáticas, el progresivo deterioro de los recursos naturales, la escasa capacitación y el limitado acceso de algunos productores a apoyos por parte del gobierno. Los agricultores de estas zonas han logrado adaptar parcialmente sus sistemas productivos y mantener sus niveles de vida a pesar de las frecuentes sequías, los huracanes y en menor grado las heladas. Al respecto, los daños ocasionados por estos eventos no han provocado que los productores abandonen las actividades productivas, aunque en ocasiones han enfrentado pérdidas considerables de sus cultivos, particularmente por sequías y huracanes.

e) Adaptabilidad

Las tres regiones mostraron cierto nivel de flexibilidad o adaptabilidad, enfocada a la búsqueda de nuevas estrategias para mantener la producción en las fincas, pues han sido capaces de desarrollar nuevas actividades en el momento en que su actividad tradicional entró en crisis. Es preciso mencionar que en algunas fincas del VSD y VVGN, la producción de leche y queso en pequeña escala, se ha convertido en una estrategia para aumentar los ingresos frente a las pérdidas agrícolas, lo cual crea a su vez una fuente adicional de ingresos monetarios al sistema de producción. En la CALAP se observó la implementación de áreas de recreo, así como salones para fiesta y albercas, como forma de brindar servicios e incrementar ingresos.

Entre las principales adaptaciones que se han implementado desde décadas atrás en las zonas productoras del estado destacan: la tecnificación (uso de maquinaria y agroquímicos), empleo de nuevas estrategias de producción (uso de variedades mejoradas, cultivo de forrajes), cambios en el destino de la producción (autoconsumo a mercado y viceversa).

f) Equidad

El VSD se mostró más equitativo que el VVGN y la CALAP. En CALAP se encontró cierto descontento relacionado con el desconocimiento de la oferta y los procedimientos de gestión de apoyos así como de los programas para asesoramiento y capacitación que pueden influir en el quehacer agropecuario de los productores mediante asesorías, talleres, demostraciones y algunos implementos. Sin embargo en el VSD, casi la totalidad de los productores afirmaron recibir apoyos crediticios para emprender sus labores productivas y se observan además mejores condiciones de vida en las fincas de esta zona.

Esta situación crea una tendencia al deterioro de las relaciones sociales y da origen a múltiples problemas, como el incumplimiento de acuerdos y contratos con empresas, así como la falta de credibilidad y respeto hacia delegados e integrantes del Comisariado Ejidal. Esto hace a los sistemas inequitativos, lo que ocasiona que no se puedan realizar obras de beneficio colectivo.

g) Autosuficiencia

Según la información obtenida, la mayor capacidad de controlar las interacciones con el exterior según las prioridades de cada región fue el VSD, por lo que se consideró la zona agrícola con mayor autosuficiencia. Por otro lado el VVGN se igualó en este aspecto con un nivel medio de autogestión. Sin embargo la CALAP resultó la zona con menos capacidad de autosuficiencia, dados sus resultados productivos y desempeño económico. En general, la producción que se obtiene en estas regiones no produce excedentes notorios, sin embargo, posibilita que las familias al menos satisfagan necesidades elementales como vivienda, vestido y alimentación, y tengan acceso a servicios como agua, electricidad, transporte y educación básica.

7.6 conclusiones y recomendaciones

Este paso es el último del método MESMIS, en el cual se realiza una síntesis del proceso de evaluación y se ofrecen sugerencias para fortalecer la sustentabilidad de los sistemas de manejo en las regiones agrícolas estudiadas y mejorar los subsiguientes procesos de evaluación.

La valoración de los indicadores dejó claro que el VSD posee un nivel medio de sustentabilidad, ya que de los siete atributos, esta zona se mostró superior en cuatro de ellos: Productividad, resiliencia, equidad y autogestión. No obstante, las tres localidades tienen un nivel similar en cuanto a adaptabilidad, estabilidad y confiabilidad.

En este sentido, las CALAP y el VVGN alcanzaron el nivel de “Poco sustentable”, que aunque refleja algún beneficio en la actividad agrícola de la zona, indica que hay fisuras en la actividad productiva de los ranchos y se debe prestar atención a cada atributo de sustentabilidad dado el riesgo de seguir una tendencia negativa.

Indiscutiblemente, los cambios ambientales han adquirido una dimensión global, sin embargo los problemas socio-ambientales se caracterizan por su especificidad regional y local, ecológica, cultural y económica. Lamine (2014) señala que las estrategias de desarrollo sustentable, frecuentemente están siendo definidas sin un diagnóstico suficiente de los problemas ambientales y socio-productivos y sin incorporar propuestas alternativas basadas en las prioridades de cada región.

La misión fundamental de las instituciones públicas relacionadas de manera directa o indirecta con los procesos agrícolas deberá centrarse en asegurar que los productores con menos recursos, no sean excluidos de los beneficios del desarrollo. Esto significa, que la equidad debe llegar a las comunidades rurales a través de oportunidades reales, para que estas mismas puedan protagonizar la solución de sus problemas.

Ofrecer oportunidades significa reivindicar la inventiva tradicional y la organización-participación local y también poner a disposición de todos los estratos de agricultores, alternativas tecnológicas que sean compatibles o se ajusten a los recursos de los que ellos disponen y recibir además capacitación para que sepan aplicarlas y difundirlas para el escalonamiento de la agricultura sustentable.

Por otro lado, el logro de la autosuficiencia alimentaria y la conservación de los recursos naturales en cualquier región agrícola, debe considerarse un pre requisito para el desarrollo sustentable, Artieri (2013) señaló que esto no significa que no sean necesarios esfuerzos para brindar opciones a los muchos agricultores con poco capital para elevar su eficiencia y competitividad para acceder con éxito a los mercados locales, regionales e internacionales y así elevar sus ingresos. La cuestión es como balancear las necesidades y oportunidades sin que los agricultores pierdan su autonomía, organización, cultura y recursos naturales.

Las escasas prácticas agroecológicas en los campos de BCS son, sin duda, uno de los principales obstáculos para el logro de la sustentabilidad productiva de las zonas, teniendo en cuenta que esto desencadena una serie de consecuencias relacionadas con el uso racional de los recursos naturales de la región.

Algunas de las prácticas o componentes de sistemas alternativos recomendables para la protección y conservación de los recursos naturales en los predios agrícolas, incluyen:

- Rotaciones de cultivos que disminuyen los problemas de malezas, insectos plaga y enfermedades. Aumentan los niveles de nitrógeno disponible en el suelo, reducen la necesidad de fertilizantes sintéticos y, junto con prácticas de labranza conservadoras del suelo, reducen la erosión edáfica.
- Manejo integrado de plagas (MIP), que reduce la necesidad de plaguicidas mediante la rotación de cultivos, muestreos periódicos, registros meteorológicos, uso de variedades resistentes, sincronización de las plantaciones o siembras y control biológico de plagas.

- Sistemas de manejo para mejorar la salud vegetal y la capacidad de los cultivos para resistir plagas y enfermedades. Técnicas conservacionistas de labranza de suelo.

Es claro que no será posible lograr simultáneamente todos estos objetivos y atributos de sustentabilidad, ya que no es fácil obtener a la vez alta producción, estabilidad, autosuficiencia, equidad etc. La productividad de los sistemas puede ser afectada por cambios en los mercados locales, nacionales e internacionales. A su vez, el cambio climático global puede afectar a los agroecosistemas a través de sequías, heladas, inundaciones, huracanes, etc. Sin embargo, los problemas productivos de cada región y predio son altamente específicos del sitio y requieren de soluciones específicas (Sotheland *et al.*, 2015). El desafío es mantener una flexibilidad suficiente que permita la adaptación a los cambios ambientales y socioeconómicos impuestos desde afuera.

Finalmente, los elementos básicos de un agroecosistema sustentable son la conservación de los recursos renovables, la adaptación del cultivo al medio ambiente y el mantenimiento de niveles moderados, pero sustentables de productividad.

8. DISCUSIÓN

La presente investigación estuvo dirigida a la evaluación de indicadores de sustentabilidad agroecológica en zonas agrícolas de B.C.S, basado en el estudio climático, análisis fisicoquímico del suelo, análisis químico del agua utilizada para riego, así como la caracterización socio-productiva de los predios agrícolas.

8.1 Caracterización de los factores abióticos: Clima, Suelo y Agua. (Dimensión ambiental)

8.1.1 Estudio climático.

El análisis de las condiciones del clima en el período de estudio, evidenció una baja disponibilidad de humedad en las tres zonas analizadas en la cuenca, producto de la baja precipitación que ocurre en la región, y que se concentra en la época de verano solamente, generando la sequedad del ambiente.

Se hace necesario destacar que, derivado de las prácticas agrícolas inadecuadas, así como por un notable deterioro económico sufrido por los productores de estas localidades en los últimos años, el riesgo de degradación se agrava aún más ante el efecto de fenómenos naturales, lo cual conlleva a un deterioro ambiental que amenaza la estabilidad y equilibrio de los escasos recursos naturales de las zonas de estudio.

Asimismo, la variabilidad en los datos de lluvia proporciona una medida de los cambios en el medio natural y en el comportamiento de los sistemas agrícolas. En este sentido, la disminución de la precipitación y por ende la escasa disponibilidad de agua, promueve una mayor extracción de agua de los acuíferos y acelera su agotamiento.

Se conoce que el cambio climático complica el manejo de los recursos hídricos (Jackson *et al.*, 2001), por lo que no se desconoce que las zonas agrícolas de BCS sufren hoy el aumento en la frecuencia de la sequía y aridez, por lo cual se hace urgente implementar acciones que promuevan al incremento en la eficiencia del manejo del recurso hídrico en todas las actividades productivas que se desarrollan en la región (Cruz *et al.*, 2010).

La temperatura y la precipitación son los factores climáticos que condicionan la adaptación y la producción de los cultivos bajo la modalidad de temporal, por ello es posible determinar el grado de aptitud potencial de las zonas agrícolas en función de estas dos variables climáticas (Luo y Wu, 2010). La Tabla XIX muestra los principales cultivos que se desarrollan en las regiones estudiadas y sus requerimientos climáticos.

Tabla XIX. Síntesis de los principales cultivos y sus requerimientos climáticos en tres regiones productoras de B.C.S.

Regiones	Principales cultivos	Principales requerimientos	
		pp anual (mm/ciclo)	T. Med (°C)
Cuenca de La Paz	Tomate	280	18
	Chile verde	400	22
	Sorgo forrajero	350	24
	Maíz forrajero	500	18
Valle de Sto Domingo	Cártamo	300	22
	Garbanzo	360	22
	Naranja	1200/1500	23
	Papa	600	16
Valle El Vizcaíno	Chile verde	280	22
	Alfalfa	2000	20
	Ajo	450	15
	Fresa	900/1500	16

Fuente: INIFAP, 2008. Necesidades hídricas de los principales cultivos en Baja California. *pp: Precipitaciones, T. Med: Temperatura media.

La mayoría de los cultivos establecidos en estas zonas requieren de precipitaciones mayores de 280 mm anuales, cuando se conoce que en la península de BC ocurre un promedio anual de precipitaciones de solo 170 mm. Dicha condición obliga a los productores a aumentar la extracción de agua de los acuíferos para suplementar la escasa agua derivada de la lluvia, por lo que el análisis de las condiciones del clima, evidenció una notable vulnerabilidad de las tres regiones producto de la baja precipitación, generando la sequedad del ambiente y propiciando condiciones de temperaturas poco ideales para el desarrollo agrícola.

El estudio comprobó que indudablemente las localidades sufren el deterioro creciente de su entorno. El clima árido, con períodos cíclicos de años de sequía seguidos de lluvias muy concentradas en períodos cortos, hace que se favorezca la erosión. Esta situación conlleva además a que la vida productiva no posea un desarrollo lineal o sistemático, sino más bien inestable lo cual agudiza las dificultades de sus habitantes.

8.1.2 Análisis químico de agua

Antes de los 80's, el mayor uso de los pozos en el Estado se destinaba a la agricultura, pero debido a la utilización de nuevos sistemas y programas de riego así como la reducción de áreas agrícolas, empezó a utilizarse más como agua potable (CIGSA, 2001).

El análisis químico del agua que se emplea para el riego en las localidades muestreadas en este estudio, reafirma la conocida sobreexplotación de los acuíferos, lo que ha generado la intrusión salina, evidenciado por los valores de CE y pH del agua de riego en los pozos analizados, principalmente en las localidades de la CALAP y el VVGN. Tal fenómeno ha sido también demostrado por estudios recientes desarrollados en la CALAP por Cruz-Falcón (2007) y Mercado-Mancera (2011).

Según Suárez *et al.* (2006), las aguas con una CE mayor de 2 dS m^{-1} se consideran salinas y constituyen amenazas para la fertilidad del suelo en los que pueden apreciarse importantes descensos de producción en cultivos sensibles.

La cercanía al mar de los pozos agrícolas de la Cuenca de La Paz, puede explicar estos niveles de conductividad eléctrica y salinidad, tal y como lo señalaron Troyo-Diéguez *et al.* (2010), quienes plantearon que desde el punto de vista socioeconómico, para los acuíferos de La Paz y el de Santo Domingo, existen muchos indicios de sobreexplotación alarmantes, detectados en la disminución de los niveles estáticos y dinámicos, en la disminución del volumen obtenido por pozo y sobre todo en la intrusión de agua salina a los pozos cercanos al mar. Esto sugiere urgentes cambios en los sistemas de riego que proporcionen el agua más cerca del área radicular, y de este modo, las pérdidas de agua pueden reducirse, lo que permite incrementar significativamente su eficiencia (Unger y Howell, 2000).

El acuífero de La Paz es vulnerable a la invasión de agua de mar debido a la sobreexplotación, pero además no existe ninguna barrera que lo proteja, como es el caso de la costa del acuífero de Hermosillo, donde el flujo de agua de mar a tierra está controlado por las estructuras superficiales y los altos estructurales del basamento que actúan como barrera a la intrusión de agua de mar (Flores-Márquez, 1998).

El establecimiento de la calidad química del agua se basa en su comparación con indicadores comunes de acuerdo con los requerimientos de uso de dicha agua. Sin embargo, cuando se trata de gestionar un acuífero de forma sustentable, es necesario tener en cuenta la tendencia en la evolución de la calidad del agua y, en caso necesario, tomar medidas para frenar dicha tendencia e incluso invertirla (Garbagnati *et al.*, 2005).

Como señalaron Espejel *et al.* (2005), el propósito de construir nuevas bases para el desarrollo sustentable en el ámbito local, así como el objetivo de elevar el nivel de vida de la población urbano y rural, requieren nuevos instrumentos de gestión que aseguren el cuidado de las fuentes de captación hidráulica y permitan una restauración del equilibrio ecológico.

En este sentido Claudivan *et al.* (2005), enfatizaron en la necesidad de una correcta selección y uso de sistemas de riego y prácticas apropiadas que suministren la cantidad mínima suficiente de agua a la zona radicular de las plantas para satisfacer la demanda de evaporación y reducir al mínimo la acumulación de sales cerca de las raíces.

Estas prácticas deberán fomentarse entre los productores de estas zonas, para lograr minimizar el grave deterioro que se ha generado por el uso inadecuado del recurso hídrico y mejorar las condiciones socioeconómicas y ambientales de estos sistemas productivos (Nicholls y Artieri, 2013).

La Tabla XX muestra el estado actual del agua subterránea en los acuíferos de las zonas agrícolas estudiadas, el cual confirma un notable déficit en tres acuíferos, donde claramente la disponibilidad es nula, siendo superior el déficit en la CALAP. Estos datos confirman que no existe disponibilidad hídrica en ninguna de las tres regiones y que obviamente es uno de aspectos que marca la vulnerabilidad de la península en cuanto al recurso agua.

Tabla XX. Estado actual de la disponibilidad de agua subterránea en tres acuíferos de B.C.S.

Acuíferos	Recargas Mm ³ /año	Extracción Mm ³ /año	Déficit Mm ³ /año	Disponibilidad Mm ³ /año
La Paz CALAP	27.8	30.5	-2.5	0
Sto. Domingo (VSD)	188.0	189.09	-1.09	0
Vizcaíno (VVGN)	41.2	42.1	-0.8	0

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de CONAGUA, 2012 (última actualización)

8.1.3 Análisis fisicoquímico de suelos

Es importante señalar que en la CALAP, la tierra está sometida a mayor presión, tanto por las actividades agrícolas como por el incremento en el cambio de uso del suelo para fines habitacionales (Mercado, 2011). Además se han encontrado ranchos en los que las labores agrícolas han pasado a segundo plano luego de la construcción de albercas, áreas de recreo y salones de fiestas.

Durante los últimos años el empleo de agua residual tratada, ha sido una alternativa para contrarrestar la escases de este recurso en las zona agrícola del estado, sin embargo, este estudio comprobó que los suelos de estas localidades poseen altos niveles de conductividad eléctrica y de pH principalmente en la CALAP y el VVGN que puede estar relacionado con este tipo de práctica. Resultados similares fueron reportados por Zamora *et al.* (2008), quienes encontraron altos valores tanto de conductividad eléctrica como de pH en suelos del Estado de Falcón regados con agua residual.

La escasés de MO en el suelo, fue uno de los aspectos más relevantes de este estudio. En general, se detectó un bajo porcentaje de este componente en los suelos (no mayor de 0.75) en las diferentes regiones; donde las altas temperaturas, la falta de lluvias entre otros factores, pueden ser determinantes. Según Hillel y Rosenzweig (2002), la incorporación al suelo de residuos de cosecha, lo protegen del impacto erosivo de la lluvia, y del viento además constituyen prácticas agroecológicas que pueden incrementar de manera significativa el contenido de materia orgánica en el suelo, ayudar a la conservación de la humedad y disminuir la adición de fertilizantes químicos para obtener altos rendimientos en los cultivos. La fertilidad a corto plazo no debe ser el único factor a considerar en el manejo de los suelos agrícolas, puesto que la función de la materia orgánica reviste mayor importancia, por su influencia en las características fisicoquímicas y/o biológicas del suelo (Nascimento *et al.*, 2004).

Es importante señalar que en estas regiones, el aporte de MO al suelo por parte de la vegetación natural es muy bajo, dado que predomina la vegetación tipo matorral xerófilo ausente de hojas en la mayoría de las especies.

Elmore *et al.* (2008), afirmaron que la pérdida de partículas finas en el suelo puede provocar también la pérdida de materia orgánica, pues ésta se combina con las partículas finas del suelo. Por lo anterior, en regiones áridas y semiáridas la erosión eólica puede también ser exacerbada por el deterioro de las propiedades del suelo y su potencial biológico, originando pérdida de partículas finas y propiciando gradualmente una textura más arenosa.

Por otro lado, la acumulación de sales en el suelo reduce el espacio de los poros, la capacidad y circulación del aire y el mantenimiento de los nutrientes, especialmente los cationes que atrapan las sales (cloruros y sulfatos) y los carbonatos (Castro *et al.*, 2009). De esta manera, la presencia de sales ha contribuido a la degradación de la estructura y fertilidad de estos suelos; por lo que es de esperar una disminución progresiva de su productividad si no se toman las medidas adecuadas para su conservación.

La Tabla XXI expone datos acerca de los valores requeridos de los principales elementos que influyen en la calidad del suelo y su aptitud para la producción agrícola, e incluye así como los valores reales de cada uno en las zonas de estudio.

Tabla XXI. Niveles requeridos y reales de materia orgánica (MO), conductividad eléctrica (CE) y pH en tres regiones agrícolas de BCS.

Regiones	M. Orgánica (%)	C. E. (dSm ⁻¹)	pH
	Valor req/ valor real	Valor req/ valor real	Valor req/ valor real
Cuenca de La Paz	1.5 a 2 / 0.72	<1.5 / 2.7	6.5 a 7.5 / 8.1
Valle Sto. Domingo	1.5 a 2 / 0.75	<1.5 / 1.7	6.5 a 7.5 / 7.5
Valle El Vizcaíno	1.5 a 2 / 0.67	<1.5 / 2.6	6.5 a 7.5 / 8.3

Fuente: Adaptado de: AGRINFORM (2011).

En las tres zonas analizadas, el porcentaje de MO se encuentra por debajo de los niveles requeridos recomendados. Por otro lado, la acumulación de sales en el suelo se evidencia con los niveles de pH y conductividad eléctrica que muestran los mismos, lo que reduce el espacio de los poros, la capacidad y circulación del aire y el mantenimiento de los nutrientes (Castro *et al.*, 2009).

Es evidente que los efectos del cambio climático (CC) se incrementan en frecuencia e intensidad en las regiones áridas y semiáridas; según Ponvert *et al.* (2010), la insuficiente capacidad de dichas regiones para responder y recuperarse, incluyendo el comportamiento del hombre, que con su conducta puede contribuir a maximizar factores de riesgo, hace que sean mucho más vulnerables.

Entre otros casos, se aprecia que la deforestación fue un factor contribuyente al daño extenso de recientes huracanes en Centroamérica y el Caribe. En el caso específico de Baja California Sur, las condiciones del clima manifiestan recurrentes períodos de sequías que constituyen limitantes importantes para la producción agrícola.

Según las observaciones realizadas y los resultados alcanzados, las propuestas de manejo de los recursos agua y suelo para solventar las condiciones restrictivas predominantes y los posibles escenarios de CC en las zonas áridas y semiáridas de BCS, México, y de manera similar a otras que comparten características afines, deben considerar estrategias que permitan la conservación de los recursos naturales optimizando el uso agrícola (Trovo-Diéguez *et al.*, 2009). Para describir y evaluar un sistema agrícola en las condiciones actuales y en escenarios restrictivos, se requiere identificar las limitaciones que afectan su funcionamiento y las causas que las generan.

8.2 Análisis socio-productivo (Dimensión socio-productiva)

En la actualidad se reconoce que para lograr un cambio sustentable en la agricultura, debe considerarse una visión integral del sector agrícola. Ding (2008), hace referencia a la búsqueda del balance entre los diversos factores de la producción: los precios adecuados y oportunos, el crédito o financiamiento, la disponibilidad de insumos, el transporte, las técnicas de conservación y almacenamiento, el mantenimiento de la fertilidad del suelo, la idiosincrasia, la capacitación oportuna y eficaz, las costumbres y tradiciones de los productores, así como la conservación del agua, el mejoramiento del suelo y el control de la salinidad y la desertificación, como señalaron (Troyo-Diéguez *et al.*, 2010).

El desempeño socio-productivo de las zonas analizadas es una medida de la interrelación que existe entre los diferentes indicadores del desarrollo socioeconómico y los fenómenos ecológicos ambientales en cada unidad de producción. La evaluación mostró que en el VSD los indicadores en general alcanzaron las mejores puntuaciones y esta zona obtuvo la más alta calificación al poseer la mejor suma conjunta de sus indicadores. Su desempeño se valoró como *óptimo* en la tabla de clasificación y sus principales ventajas fueron el *acceso a créditos y apoyos* por parte del gobierno e instituciones así como el nivel y frecuencia de *asesoría y capacitación* que reciben los productores de esta zona.

En países donde la agricultura constituye un renglón importante en su economía, la incorporación de la familia campesina en su dimensión productiva en los planes y programas del Estado, ha contribuido a un mejor conocimiento y abordaje de la realidad rural. Sin embargo, Castañeda *et al.* (2010) enfatizaron en la necesidad de profundizar el enfoque de género en las comunidades, considerando que este aspecto es muy complejo, no sólo en el papel productivo diferencial de hombres y mujeres, sino en el carácter de sus relaciones, sus vínculos desiguales, manejo y control de recursos, la toma de decisiones, etc.

La participación activa de la familia en la producción agrícola de los ranchos visitados, constituye un aspecto a considerar. Los agricultores de CALAP y el VSD plantean que los integrantes jóvenes no se sienten comprometidos con las tareas productivas y no ven en ello una fuente de empleo estable, y en consecuencia, la migración a la ciudad es una de las alternativas de los hijos de los productores. Por lo antes expuesto, el relevo generacional se ha convertido en un problema para la continuidad de la mayoría de los predios de las zonas bajo estudio.

La *Necesidad de trabajo adicional* fue el indicador que obtuvo valores críticos en las tres zonas, esto deja ver ciertas fisuras aun en el desarrollo agrícola del Estado, enfocado principalmente en la situación económica de algunos productores, obligados a dedicar parte de su tiempo a realizar otro tipo de trabajo para garantizar la sobrevivencia de sus familias, dado los escasos ingresos que se derivan de las labores agrícolas.

8.2.1 Valoración de la resiliencia socioecológica de las tres zonas agrícolas mediante el Índice Holístico de Riesgo (IHR)

En la agricultura, la reducción del riesgo solo puede ser efectiva si se parte de la óptica de que la prevención de estos se logra actuando sobre sus causas, que son las condiciones de riesgo generadas en el proceso de desarrollo y solamente con un modelo adecuado y permanente de reducción de las vulnerabilidades conducentes a factores de riesgo, pueden ser enfrentados y resueltos (Van Walsum *et al.*, 2014).

Los resultados muestran que el VSD posee un nivel medio de resiliencia, a pesar de ser incluso la zona más vulnerable; lo anterior se infiere a partir de los valores de los indicadores que definen la capacidad de respuesta de la zona, los cuales fueron superior a los del VVGN y los de CALAP. Sin embargo, en dichas regiones es imprescindible desarrollar prácticas culturales así como estrategias agroecológicas y formas de organización socio-productiva, que les confieran mayor capacidad de resiliencia para enfrentar los fenómenos naturales que los afectan.

En las tres localidades donde se realizó este estudio, las prácticas agrícolas inadecuadas y el notable deterioro económico sufrido por los productores en los últimos años, agravan el riesgo ante el efecto de fenómenos naturales como los huracanes y la sequía extrema.

Los resultados alcanzados corroboran la necesidad de incrementar la adaptación de estos sistemas a perturbaciones medioambientales y la búsqueda de alternativas para capacitar y asesorar a los productores y su familia acerca de los riesgos que enfrentan en sus predios así como la manera de disminuir la vulnerabilidad y enfrentar peligros potenciales que, de acuerdo con Yadav *et al.* (2011), le confieren cierta inseguridad a la permanencia y productividad de las unidades de producción.

Aunque los efectos del cambio climático sobre los rendimientos agrícolas variarán de región a región, los efectos más dramáticos se esperan en países en vías de desarrollo. Las estadísticas oficiales predicen que los agricultores más pobres son especialmente vulnerables al cambio climático, debido a su exposición geográfica, bajos ingresos, mayor dependencia de la agricultura para su sobrevivencia y su limitada capacidad de buscar otras alternativas de vida (Rohr *et al.*, 2013).

La peor pobreza rural se ubica frecuentemente en zonas áridas o semiáridas y en laderas que son ecológicamente muy vulnerables. Si bien es cierto que para estos grupos vulnerables, pequeños cambios en el clima pueden tener impactos desastrosos, las estadísticas son muchas veces aproximaciones muy burdas que no toman en cuenta la heterogeneidad de la agricultura campesina, ni la diversidad de estrategias que los campesinos pueden utilizar para resistir e incluso recuperarse de sequías, inundaciones, huracanes, etc (Nicholls y Artieri, 2013).

En este sentido, la incorporación de prácticas de conservación y la introducción de sistemas agroforestales en el sistema de explotación agrícola, son alternativas agroecológicas que posibilitan la reducción de la vulnerabilidad en regiones donde existan contextos ecológicos poco ideales para la agricultura (Koohafkana *et al.*, 2012).

Tschakert y Dietrich (2010), explicaron que quizás el hallazgo más importante de los últimos años, es la revelación de que numerosos agricultores no solo lidian con la variación climática sino que de hecho se preparan para el cambio, minimizando la pérdida de rendimientos mediante el uso de una serie de técnicas tradicionales, como el uso de variedades locales resistentes a la sequía o los extremos de humedad, sistemas de cosecha de agua, sistemas diversificados de producción como policultivos y agroforestería así como técnicas de conservación de suelos y agua.

En diferentes áreas del mundo los agricultores han desarrollado sistemas agrícolas adaptados a las condiciones locales que les permiten una producción continua necesaria para subsistir, a pesar de cultivar en ambientes “frágiles”, con desventajas climáticas, suelos poco fértiles y baja disponibilidad de insumos externos (Nicholls y Altieri, 2009).

Se hace necesario, además, revalorar técnicas de producción agroecológicas en estas zonas con el objetivo de mejorar la capacidad adaptativa de sus agricultores para enfrentar el cambio climático, pues bajo sistemas agroecológicos existe una tendencia creciente hacia una mayor resiliencia en los sistemas de producción que llevan a cabo prácticas agroecológicas (Van walsum *et al.*, 2014).

Altieri *et al.* (2013) afirmaron que hoy día miles de proyectos a lo largo de África, Asia y América Latina demuestran convincentemente que las técnicas agroecológicas proporcionan la base científica, tecnológica y metodológica para contribuir con los pequeños agricultores a aumentar el manejo adaptativo y con ello la producción de los cultivos de una manera sostenible y resiliente.

Los análisis detallados del rendimiento agrícola posterior a eventos climáticos extremos han revelado que la resiliencia a desastres climáticos está estrechamente relacionada con el nivel de biodiversidad en las granjas (Di Falco y Chavas, 2008).

Un estudio realizado en laderas centroamericanas después del paso del huracán Mitch, reveló que los agricultores que practicaban la diversificación (el uso de cultivos de cobertura, el cultivo intercalado y la agroforestería) sufrieron menos daños que sus vecinos dedicados al monocultivo convencional. Y cuarenta días después de que el huracán Ike azotara Cuba en 2008, los investigadores descubrieron que las granjas diversificadas habían sufrido pérdidas de 50% comparadas con el 90 o 100% en zonas aledañas donde se practicaba el monocultivo. Además, las granjas manejadas agroecológicamente recuperaron su productividad más rápidamente que las granjas donde se practicaba el monocultivo (Nicholls y Artieri, 2012).

Estos son solo algunos ejemplos que demuestran la manera en que los agroecosistemas complejos pueden adaptarse y resistir los efectos del cambio climático. Se ha demostrado que los sistemas agroforestales protegen a los cultivos de las variaciones fuertes de temperatura, manteniéndolos cerca de sus condiciones óptimas (Hoyos *et al.*, 2013). Las estrategias que aumentan la resiliencia ecológica de los sistemas agrícolas son esenciales pero no suficientes para lograr la sustentabilidad. La resiliencia social, definida como la capacidad de grupos o comunidades para adaptarse frente a elementos externos de estrés, sean sociales o ambientales, debe ir de la mano con la resiliencia ecológica (Perrings, 2006).

8.2.2 Respuesta de los principales cultivos del estado al Índice de adaptación al cambio climático (IACC)

La agricultura requiere de un proceso de fortalecimiento para enfrentar los retos del cambio climático y la demanda creciente de alimentos. La mayor incertidumbre sobre el comportamiento climático repercute en un aumento de las dificultades para la planificación de las actividades agrícolas. Nicholls y Artieri (2012) afirmaron que la adaptación es un proceso integrado y flexible que depende del manejo sostenible de los recursos naturales. En la actualidad ya se cuenta con una gran cantidad de conocimientos sobre las tecnologías sostenibles y las prácticas

innovadoras para fomentar un mejor manejo de los recursos naturales y una mayor adaptación de los agroecosistemas.

La propuesta del Índice de Adaptación al Cambio Climático (Iacc), constituye una alternativa válida para seleccionar los cultivos con buen potencial de adaptación en los diferentes ambientes y contextos productivos de B.C.S, considerando los parámetros que influyen en los procesos fisiológicos de las plantas, como son los límites de tolerancia a temperaturas extremas y un ámbito de temperatura relativamente estrecho, en el cual su funcionamiento es óptimo. De igual forma relaciona los ciclos de cultivos de las plantas así como sus necesidades hídricas, aspectos que de manera conjunta definen el éxito de la producción.

El índice que se propone se enfoca a resolver el problema de los bajos rendimientos de los cultivos en estas regiones, aspecto que es crucial para la supervivencia de los agricultores que viven en ambientes marginales, donde las condiciones agro-climáticas siempre han sido un desafío. Eakin *et al.* (2014) hicieron referencia al uso de variedades/especies con buen nivel de adaptación, que muestren respuestas apropiadas al clima principalmente resistencia incrementada al calor y sequía, como una alternativa que garantiza que los cultivos obtengan su máximo potencial productivo y permite además un uso racional de los recursos naturales.

De acuerdo con Wheeler *et al.* (2000), los agricultores deben adaptar cuidadosamente sus prácticas al régimen local de temperaturas, tomando en cuenta las variaciones, los cambios estacionales y las respuestas de cada cultivo a cambios bruscos de este parámetro. La aplicación del Iacc a los cultivos que se establecen en las principales regiones productoras de B.C.S, permitirá mejorar y mantener la productividad de los agroecosistemas y optimizar los sistemas y programas de selección de los cultivos idóneos para determinados lugares o microrregiones.

El cultivo del pepino, la fresa, la calabacita y el cártamo son los cultivos que mejor pueden adaptarse a las condiciones que imperan en las regiones semiáridas cuyo establecimiento resultará en un considerable ahorro del recurso agua y en un uso racional del suelo. En el ámbito técnico y científico muchos países han avanzado en la construcción de escenarios y en la identificación de los impactos del cambio climático y la vulnerabilidad de la agricultura, e incluso la evaluación de los costos de estrategias de adaptación (Bautista y Mascha, 2011).

Bahadur y Bhandari (2009) mencionaron que algunos países de la región latinoamericana cuentan con líneas de investigación en genética y biotecnología específicas para cambio climático (por ejemplo, Argentina y Brasil), así como en innovación y transferencia de tecnología (riego, siembra directa). Otro grupo de países también ha progresado en los inventarios de las emisiones de gases de efecto invernadero del sector, junto con la medición de la huella de carbono de sus productos agrícolas (como Chile y Costa Rica). Sin embargo, Nicholls y Artieri (2012) aseveran que el desafío de América Latina y el Caribe, radica en la búsqueda soluciones a nivel local y regional que puedan trascender y aplicarse con éxito en ambientes similares, así como el rescate de prácticas indígenas y tradicionales que podrían permitir la adaptación de la agricultura, así como sistematizarlas y evaluar sus potencialidades en escenarios de cambio climático.

8.3 Selección y evaluación de indicadores de sustentabilidad agroecológica para la dimensión ambiental

En las condiciones actuales que enfrenta la agricultura en B.C.S, la planeación agropecuaria debe incluir el diagnóstico de las condiciones ambientales prevalecientes y la administración de la amplia gama de recursos involucrados y requeridos, así como de escenarios de contingencia y de cambio climático (Meza, 2001). Dichos esfuerzos deben focalizarse a las áreas productivas, con la finalidad de incrementar la eficiencia de la agricultura, teniendo como base, el análisis e interpretación de indicadores de sustentabilidad.

A partir de los resultados obtenidos, queda claro que las propuestas de manejo agroecológico para solventar las condiciones restrictivas predominantes y los posibles escenarios de cambio climático en las zonas analizadas y de manera similar en otras que comparten características y atributos afines, deben iniciar con el reconocimiento de las interrelaciones de los actores, factores y recursos que intervienen. Deben considerarse además, atributos y criterios sistémicos de manejo, como única forma de abordar un problema multidimensional (Flores *et al.*, 2007).

Se observa que si bien cada indicador surge de aspectos que tienen marcada influencia en los sistemas de producción agrícola, la puesta en práctica y utilización de indicadores de sustentabilidad, deben apuntar a mejorar e incrementar sustancialmente la eficiencia en el uso agrícola, para que se utilicen de manera óptima los recursos naturales en el campo.

Troyo-Diéguez *et al.* (2010) advirtieron sobre el riesgo de degradación que ya están enfrentando el suelo y el agua en las regiones de BCS y que puede llegar a convertirse en un recurso inutilizable desde el punto de vista agrícola, de no aplicarse las medidas y estrategias pertinentes de conservación, que coadyuven a la sustentabilidad.

Es importante informar a los agricultores y principalmente a los propietarios y usuarios de las tierras, sobre la situación en la cual se encuentran los recursos agua y suelo en sus ranchos o predios, la que pone en riesgo la agricultura local y regional y sobre todo, contar con su retroalimentación (Reed *et al.*, 2008). Asimismo, resulta relevante aumentar las inversiones en investigación agrícola, sobre todo para la conservación y uso sustentable del agua y el suelo, teniendo en cuenta que los cambios físicos y biológicos del suelo y la amenaza de deterioro del agua, son evidencias de la presión que sufren actualmente los recursos naturales en el territorio.

8.4 Selección y evaluación de indicadores de sustentabilidad agroecológica para la dimensión Socio-productiva

La construcción de indicadores con un enfoque social es compleja, ya que existen aspectos que no se pueden medir cuantitativamente; por lo anterior, es necesario evaluar de manera cualitativa, usando escalas categóricas que involucren un grado inherente de subjetividad (Passioura y Angus, 2010). Por ello fue necesario construir indicadores que se pudieran medir mediante una escala cualitativa y categórica (alto, medio y bajo) o (bueno, regular o malo), que a su vez, describieran las características y las relaciones de los puntos críticos que se identificaron en diferentes aspectos relacionado con la vida socio-productiva de los agricultores

Los resultados de la evaluación de indicadores sociales mostraron que la integración de la familia al proceso productivo en las zonas, es uno de los puntos críticos en este factor, unido a los bajos niveles de autosuficiencia alimentaria así como a la marcada dependencia de insumos externos que poseen los productores. Desde el punto de vista productivo, los sistemas de manejo en la mayoría de los predios, se identificaron como diversificado convencional, manejado con agroquímicos.

En este sentido, (Moeller *et al.*, 2014) señalaron que la expansión de prácticas agroproductivas convencionales (monocultivo, agroquímico), provoca una profunda crisis ecológica de escala planetaria, y que esto a su vez ha generado que la ciencia y científicos se enfrenten a nuevos retos sin precedente; como la necesidad de evaluar en términos ecológicos, la eficiencia de los sistemas de producción rural en un contexto de sustentabilidad.

Por otro lado, la dificultad de acceder a un paquete tecnológico completo por falta de recursos económicos, promueve la elección de las opciones más baratas pero menos sustentables y/o eficientes, como es el caso de la aplicación de plaguicidas de amplio espectro.

En varias oportunidades, algunos productores del VVGN y la CALAP nos dieron a conocer la dificultad que deben enfrentar para poder acceder a herramientas y equipos apropiados necesarios para realizar diversas labores. Las causas que originan dicha situación son diversas, entre las que destacan: la falta de recursos económicos para adquirirlas y la mala calidad y diseños de algunos implementos que existen en el mercado.

En términos metodológicos es relevante mencionar, como afirma Smith (2002), que existe un sesgo en la selección de indicadores, muchas investigaciones no consideran la necesidad de adoptar enfoques participativos para el desarrollo de indicadores, esta necesidad está ligada al hecho de que el concepto de sustentabilidad está determinado por valores productivos pero también sociales y necesidades humanas.

Al hablar de agricultores familiares, con frecuencia se hace referencia a la necesidad de generar “tecnologías apropiadas” quedando tal vez, en forma implícita la idea de que este sector necesita y/o reclama un tipo de tecnología, al contrario, Albicette *et al.* (2009) señalan que se requieren procesos de innovación apropiados y que se adapten a las características diferenciales de las familias productoras en aras de garantizar la sustentabilidad y su permanencia en el ámbito rural.

8.5 Índice de sustentabilidad agroecológica (ISAE)

Los resultados muestran que las zonas estudiadas presentan cierto nivel de sustentabilidad, toda vez que a lo largo de décadas han logrado sostenerse brindando productos y subproductos que permiten la satisfacción de las necesidades básicas de las familias agricultoras. Sin embargo, el nivel de sustentabilidad encontrado en estas zonas no significa la ausencia de problemas, pues este estudio hizo evidente los aspectos a los que es urgente prestar atención.

Por lo antes expuesto, los investigadores, productores y directivos de las zonas tienen mucho que aportar a la sustentabilidad de los sistemas de producción agrícola de estas regiones, buscando y proponiendo soluciones a problemas complejos, a través de talleres de autogestión, organización, liderazgo o resolución de conflictos, asimismo mediante la capacitación y asesoramientos.

Los elementos básicos de un agroecosistema sustentable son la conservación de los recursos renovables, la adaptación del cultivo al ambiente y el mantenimiento de niveles moderados, pero sustentables de productividad (Ewald *et al.*, 2001). Aunque la agricultura es una actividad basada en recursos renovables y algunos no renovables, la artificialización de los ecosistemas se asocia al agotamiento de algunos recursos. La reducción de la fertilidad del suelo, la erosión, la contaminación de aguas, etc., son manifestaciones claras de las externalidades de la agricultura. Además de implicar costos ambientales, dichas externalidades también implican costos económicos.

En la medida que la degradación sea más aguda, los costos de conservación serán mayores. Entonces uno de los desafíos importantes es analizar los costos ambientales como parte del análisis que se realiza en actividades agrícolas. (Astier *et al* (2008) sugiere que contabilidad ambiental, que incluye por ejemplo los costos de erosión, la contaminación por plaguicidas, etc., debe ser un aspecto crucial del análisis comparativo de diferentes tipos de agroecosistemas.

En las zonas estudiadas, la presencia de restricciones ecológicas y ciertas presiones económicas, constituyen serias limitantes en las actividades agrícolas, en el sentido de que el agricultor se encuentra, frecuentemente, virtualmente impedido de modificarla. En otros casos, el agricultor puede mejorar la estabilidad biológica del sistema, seleccionando cultivos más adaptados o desarrollando métodos de cultivos que permitan aumentar los rendimientos.

Se hace necesario reconocer, rescatar y reivindicar el enfoque o la percepción que se tiene de los productores y su estilo de vida, ya que son y seguirán siendo parte importante en la producción de alimentos y el manejo de los recursos naturales del país.

9. CONCLUSIONES

- Mediante el estudio climático se observó un bajo índice de disponibilidad hidro-ambiental en las tres regiones. Los indicadores, seleccionados y evaluados en el factor clima fueron calificados como deficientes, por lo que se infiere que en las tres zonas estudiadas las condiciones del clima no son favorables para la producción agrícola.
- Para el FA se evaluaron 7 indicadores. En el VSD se observó el máximo favorable y un desempeño de 0.81, por lo que se deduce que el agua para riego en esta zona es *aceptable*. El VVGN y la CALAP también alcanzaron condición de *aceptable*, sin embargo los valores de estas dos últimas zonas estuvieron cercanos al límite inferior de dicha condición, por lo que se encuentran en riesgo inminente.
- Para el FS se seleccionaron 10 indicadores; los resultados indican que en las tres zonas el desempeño de este factor fue *deficiente* al obtener valores por debajo de 0.65; notándose que las condiciones del suelo en estas regiones se consideran desfavorables para su uso agrícola.
- Se evaluaron 8 indicadores para el FSc; El VSD obtuvo la mejor calificación al poseer un desempeño de 0.85, el cual se valoró como *óptimo* en la tabla de clasificación. El factor social en el VVGN y la CALAP se clasificó como *aceptable*, al obtener desempeños de 0.66 y 0.70 respectivamente.
- Se seleccionaron y evaluaron 9 indicadores para el Fpp; el mejor desempeño lo obtuvo el VSD (0.83), por tal razón en esta zona el FPP se clasificó como *óptimo*. Por su parte, el VVGN mostró un desempeño *aceptable* (0.70), mientras que en la CALAP el factor productivo fue calificado como *deficiente*.

- La CALAP es la región con mayor vulnerabilidad a variaciones de temperatura, precipitaciones y a fenómenos como el deterioro del agua y el suelo, cuyos indicadores principales se ubican en la categoría de 'altamente vulnerable'. A su vez, el VSD se mostró como la zona agrícola más vulnerable a eventos climáticos con un valor ponderado de (2.4).
- El cálculo del IHR indicó que el VSD posee mayor capacidad de respuesta ante perturbaciones medioambientales, por lo que se considera que esta región posee un nivel de resiliencia "*medio*". El VVGN también alcanzó dicho nivel de resiliencia socioecológica, sin embargo CALAP mostró el mayor IHR y un nivel de resiliencia '*bajo*'.
- El pepino resultó el cultivo con mayor Iacc (0.72) para las zonas productoras de B.C.S, mientras que el espárrago se mostró como el cultivo con menos posibilidades de adaptación. La aplicación del modelo lineal demostró ser de utilidad para optimizar los sistemas y programas de selección de cultivos en regiones semiáridas, importante para mejorar y mantener la productividad en agroecosistemas con clima desfavorable para la producción agrícola.
- El cálculo del ISAE para cada zona agrícola, mostró que la CALAP alcanzó el menor valor en las tres localidades (0.61); esta zona fue calificada como '*Poco sustentable*'. En este sentido, El VVGN obtuvo un ISAE de 0.66 y se ubicó en una posición intermedia entre las tres zonas, aunque a la vez, esta región se calificó como '*poco sustentable*'. El VSD mostró el mayor ISAE (0.73) que corresponde a una zona "*Medianamente sustentable*".

10. LITERATURA CITADA

- AGRIINFO. 2011. Climatic Requirements of Horticultural Crops - Temperature. AgriInfo.in ©. En línea: <http://www.agriinfo.in/page=topic&superid=2&topicid=1023>. Fecha de consulta: Noviembre/ 2013
- Albicette, M., Brasesco, R. y Chiappe M. 2009. Propuesta de indicadores para evaluar la sustentabilidad predial en agroecosistemas agrícola-ganaderos del litoral del Uruguay. *Agrociencia*. (13): 48 - 68.
- Altieri, M. 2002. Agroecology: The science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Agriculture Ecosystems and Environment*. (93): 1-24.
- Altieri, M. A. y C. I. Nicholls-Estrada. 2000. Agroecología, teoría y práctica para una agricultura sustentable. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Primera edición. México DF. 235p.
- Altieri, M.A. 2013. Construyendo resiliencia socio-ecológica en agroecosistemas: Algunas consideraciones conceptuales y metodológicas". En *Agroecología y resiliencia socioecológica: adaptándose al cambio climático* (Nicholls CI, Rios LA, Altieri MA, eds). Proyecto REDAGRES. Medellín, Colombia. 104 p.
- Andrade-Cota, M., Portal L y P. Laporta-Cuña. 2009. Sequías en el sudoeste bonaerense: Vulnerabilidad e incertidumbre. *Geograficando* 5(5): 213-233.
- Astier, M y J. Hollands. 2007. Sustentabilidad y campesinado. Seis experiencias agroecológicas en Latinoamérica. Mundiprensa. Segunda edición. México. 219p.
- Astier, C. M., Mass-Moreno, M y Etchevers B. J. 2002. Derivación de indicadores de calidad de suelo en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia* 36(5): 605-620.

- Astier-Calderón, M., Masera, O. y Galván-Miyoshi Y. 2008. Evaluación de sustentabilidad. Un enfoque dinámico y multidimensional. La Sociedad Española de agricultura ecológica (SEAE), el Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental (CIGA-UNAM), Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiable A.C. (GIRA) y la Fundación Instituto de Agricultura Ecológica y Sustentable. España 200 p.
- Astier-Calderón, M., Pérez, E., Ortiz, T. y F. Mota. 2003. Sustentabilidad de sistemas campesinos de maíz después de cinco años: El segundo ciclo de evaluación MESMIS. LEISA. Revista de Agroecología- Ocho estudios de caso. (10): 39-46.
- Ayers, R. S. y D. W. Westcot. 1987. La calidad del agua en la agricultura. Riego y Drenaje 29. FAO. Roma, Italia. 7-12.
- Bahadur, G. y B. Dinanath. 2009. Una propuesta integrada para la adaptación al cambio climático. Leisa Revista de Agroecología. (3): 12-27.
- Barrera, J., Gomez, W. y J. Valle. 2011. Método Holístico para la toma de decisiones en manejo de plagas. El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) Tapachula, Chiapas, Mexico. 39 p.
- Bautista, J. A. y A. Mascha. 2011. Sustentabilidad y agricultura en la "región del mezcal" de Oaxaca. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 12 (3): 9-20.
- Brenkert-Antoinette, L y E. L. Malone. 2005. Modeling Vulnerability and Resilience to Climate Change: A Case Study of India and Indian States. Climatic Change. (72) 57-102.
- Bullinger-Weber, G., Reneé-Claire, L. and Jean-Michel G. 2006. Influence of some physicochemical and biological parameters on soil structure formation in alluvial soils. Eur. J. Soil Biol. (12): 1-14.
- Calatrava, J. and S. Sayadi. 2006. The role of livestock typical Mediterranean products in sustainable rural development: the case of small ruminant herding in less favored mountainous areas of South-eastern Spain. Animal Production from the Mediterranean. (119): 27-39.

- Candelaria-Martínez, B., Ruiz-Rosado, O., Pérez-Hernández, P., Gallardo-López, F., Vargas-Villamil, L., Martínez-Becerra, A. y Flota-Bañuelos G. 2014. Sustentabilidad de los agroecosistemas de la microcuenca Paso de Ovejas 1, Veracruz, México. Cuadernos de desarrollo rural. 11(73): 87-104.
- Cardona, A., Carrillo-Rivera, J. J., Huizar, R. and Graniel-Castro E. 2004. Salinization in coastal aquifers of arid zones: an example from Santo Domingo, Baja California Sur, Mexico. *Environmental Geology*. 3 (45): 350-366.
- Castro, E., Pacheco, A. y P. V. Coronado. 2009. Origen de los sulfatos en el agua subterránea del sur de la sierrita de Ticul, Yucatán. *Revista Académica de la FI-UADY*. (13): 49-58.
- Chávez-López, S. 2010. Hidrología de la Reserva de la Biosfera de El Vizcaíno, B.C.S. En: Beltrán-Morales, L. F.; Chávez-López, S. y Ortega-Rubio, A. Valoración Hidrosocial en la Reserva de la Biosfera del Vizcaíno, BCS. Edit. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, B.C.S., México. 218 p.
- CIGSA (Consultores en ingeniería Geofísica, S.A. de C.V.). 2001. Estudio de caracterización y modelación de la instrucción marina en el acuífero de La Paz B.C.S. Contrato CNA, GAS.013- PR01. 284p.
- Claudian, F. L., José, C., Marco, A.O. and Hugo, A. R. 2005. Changes in growth and in solute concentration in sorghum leaves and roots during salt stress recovery. *Environ. Exp. Bot.* (54): 69-76.
- Claverias, R. 2000. Metodología para construir indicadores de impacto. *Boletín Agroecológico*. 67p.
- Clayton, M. H. and N. J. Radcliffe. 1996. Sustainability: A Systems Approach. Westview Press Inc. Colorado. COSYDDHACy CONTEC. Guía metodológica para la educación de adultos: la pedagogía de la necesidad. Un sistema de educación no formal para el manejo de recursos naturales en la Sierra Tarahumara. Chihuahua, México. 32p.
- Cline, W. R. 2007. Global Warming and Agriculture: Impact Estimates by Country. Center for Global Development. Washington, DC. USA. 201 p.

- CMMAD (Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo). 1987. Informe (Nuestro futuro común). Comisión Mundial Para el Medio Ambiente y el Desarrollo.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2008. Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero 0302 Vizcaíno, Estado de Baja California Sur. México. 28 p.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2009. Actualización de la disponibilidad media de agua subterránea y modificación para su mejor precisión. Descripción geográfica del acuífero (0306) Santo Domingo. 26p.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2012. Registro Público de Derechos de Agua. En línea. <http://www.conagua.gob.mx/Repda.aspx?n1=5&n2=37&n3=115>. Fecha de consulta: Enero/2012.
- Conde, C y O. Saldaña. 2007. Cambio climático en América Latina y el Caribe: Impactos, vulnerabilidad y adaptación. *Revista Ambiente y Desarrollo*, 2 (23): 23 – 30.
- Cruz-Falcón, A. 2007. Caracterización y Diagnóstico del Acuífero de La Paz B.C.S. Mediante Estudios Geofísicos y Geohidrológicos. Tesis de Doctorado, IPN-CICIMAR, Diciembre de 2007. 139p.
- Cruz-Falcón, A., Troyo, E., Fraga, H., González, A. and Vega, J. E.. 2010. How to make water a sustainable resource for the city of La Paz B.C.S. 3rd International Symposium 2010. Towards the prevention of desertification. La Paz, BCS, México.
- Cruz-Falcón, A., R. Vázquez-González., J. Ramírez-Hernández., E.H. Nava-Sánchez, E. Troyo-Diéguéz., J. Rivera-Rosas. y J.E. Vega-Mayagoitia. 2011. Precipitación y recarga en la Cuenca de La Paz. *Universidad y Ciencia*. (3): 251-263.
- Di Falco, Salvatore and Jean-Paul, Chavas. 2008. Rainfall Shocks, Resilience, and the Effects of Crop Biodiversity on Agroecosystem Productivity. *Land Economics*. (84) 83-96.
- Díaz, S. C. 2010. Variabilidad de los ciclones tropicales que afectan a México. *Interciencia*, (35): 306-310.
- Ding-Grace, K.C. 2008. Sustainable construction—The role of environmental assessment tools. *Journal of Environmental Management*. (86): 451-464.

- Doering, O.C.; Randolph, J. C., Southworth, J. and Pfeifer, R. A. 2002. Effects of Climate Change and Variability on Agricultural Production Systems. Kluwer Academic Publishers. Norwell, Massachusetts, USA. 277p.
- Duan- X., Xie, Y. and G. Liu. 2008: Analysis of vulnerability of grain crop yields to impacts of climate change in Heilongjiang province. Chinese Journal of Agrometeorology. 29 (1): 28-41.
- Eakin, A., Wightman, P. M., David Hsu, V. R., Gil, R., Fuentes-Contreras, E., Megan. P. C., Tracy-Ann, N., Hyman, C. P., Borraz, F., González-Brambila, C., Ponce- León D., and Daniel M. Kammen. 2014. Information and communication technologies and climate change adaptation in Latin America and the Caribbean: a framework for action. *Climate and Development* (6): 231-247.
- Elmore, A. J., Kaste, J. M., Okin, G. S. and Fantle, M. S. 2008. Groundwater influences on atmospheric dust generation in deserts. *Journal of Arid Environments* (72): 1753-1765.
- Escalera, J. R. y Ruiz, E. 2011. Resiliencia Socioecológica: aportaciones y retos desde la Antropología. *Revista de Antropología Social*, (20): 109-135.
- Espejel, I., Hernández, A., Riemann, H., Hernández, L. 2005. Propuesta para un nuevo municipio con base en las cuencas hidrográficas Estudio de caso: San Quintín, B.C. *Gestión y Política Pública*. (1): 129-168.
- Esty, C. D., A. M. Levy, T. Srebotnjak. and Sherbinin A.. 2005. Environmental Sustainability Index: Benchmarking National Environmental Stewardship. Yale Center for Environmental Law & Policy, New Haven. 23p.
- Ewald, R., Helga, E., Pülzlb, J. and Alkan-Olssonc, P. F. 2011. Sustainability indicator development—Science or political negotiation?. *Ecological Indicators*. (11): 61-70.
- Falcón, M. C., Acosta, H., Vargas, F., Torres, M. y Herrera, L. B. 2014. Evaluación del conflicto de uso agrícola de las tierras a partir de su aptitud física como contribución a la explotación sostenible. *Cultivos Tropicales*. (35). 13-18.
- FAO, 1988. The Ad Hoc Working Group on NGO. Participation in Rural Development (WGNDR). Final Report. Italy. Rome. 34p.

- Fischer, G., Van Velthuisen, H.T., Shah, M. and Nachtergaele F.O. 2002. Global agro-ecological Assessment for Agriculture in the 21st Century: Methodology and Results. Fecha de consulta: 15 de Junio/2012. 102 p.
- Flores, C., Sarandón, S. y Vicente, L. 2007. Evaluación de la sustentabilidad en sistemas hortícolas familiares del partido de La Plata. Argentina, a través del uso de indicadores. *Revista Brasileña de Agroecología* 2 (1):180-184.
- Flores-Márquez, E. L., Campos, J. O., Chávez, R.E. and Castro, J.A. 1998. Salt intrusion of the Costa de Hermosillo aquifer, Sonora, México: A numerical simulation. *Geofísica Internacional*. 3 (37): 113-151.
- Folke, C., Carpenter, S. R., Scheffer, W., Chapin, B.M., Rockstrom, J. 2010. Resilience Thinking: Integrating Resilience, Adaptability and Transformability. *Ecology And Society*, (15): 102-119.
- Folke, C. 2006. Resilience: The emergence of a perspective for social–ecological systems analyses. *Global Environmental Change*, (16): 253–267.
- Frías, R. S. y Delgado, B. F. 2003. “Estudio de indicadores de sostenibilidad del sistema familiar campesino en eco-sistema de montaña: el caso de la comunidad de Tres Cruces”. En T. Gianella-Estrems y J. Chavez-Tafur (eds.). *LEISA Revista de Agroecología* (edición especial, ocho estudios de caso), LEISA, Lima, Perú. 236p.
- Galván-Miyoshi, Y. 2008. Integración de indicadores en la evaluación de sustentabilidad: De los índices agregados a la representación multicriterio. En: *Evaluación de sustentabilidad. Un enfoque dinámico y multidimensional*. UNAM/GIRA/ Mundiprensa/ Fundación Instituto de Agricultura Ecológica y Sustentable. España. 200p.
- Gameda, S., y J. Dumanski. 1994. “Framework for Evaluation of Sustainable Land Management: Case Studies of Two Rainfed Cereal-livestock Land Use Systems in Canada”. En 15th World Congress of Soil Science, INEGI /CNA, Acapulco, México. 122p.

- Garbagnati, M. A., González, S.P., Antón, I.R. y Mallea, A. M. 2005. Características físico químicas, capacidad buffer y establecimiento de la línea base ambiental del Río Grande, San Luis, Argentina. *Ecología Austral*. (15): 59-71.
- García-Orenes, F., Roldán, A., Mataix-Solera, J., Cerdà, M.A. Campoy, V. A. and F. Caravaca. 2012. Soil structural stability and erosion rates influenced by agricultural management practices in a semi-arid Mediterranean agro-ecosystem. *Soil Use and Management*. (28): 571–579.
- Giampietro, M. 2004. *MultiScale Integrated Analysis of Agroecosystems*. CRC Press, Londres.
- Giampietro, M. y G. Pastore. 2000. “The Amoeba Approach: A Tool for Multidimensional Analyses of Agricultural System Performance” En: J. Köhn, J. Gowdy, y J. van der Straaten (eds.). *Sustainability in Action. Sectoral and Regional Case Studies*. Cheltenham (UK).322p
- Glave, M. y J. Escobal. 2000. Indicadores de sostenibilidad para la agricultura andina. *Boletín Agroecológico*. 67p.
- Gliessman, R. S. 2000. *Agroecology: Ecological processes in sustainable agriculture*. Lewis Publishers. CRC Press LLC. USA. 357p.
- Gobierno del Estado de Baja California Sur. 2013. *Información Estratégica B.C.S 2013*. Secretaría de Promoción y Desarrollo Económico. 42p.
- Godfrey, L. and Todd, C. 2001. Defining thresholds for freshwater sustainability indicators within the context of South African water resource management. 2nd WARFA/Waternet Symposium: Integrated Water Resource Management: Theory, Practice, Cases. Cape Town. South Africa. En línea: <http://www.waternetonline.aboutWN/pdf/godfrey>. Consulta Julio/2013.
- Gomero- Osorio, L., y H. Velásquez -Alcántara. 2007. “Evaluación de la sustentabilidad del sistema de algodón orgánico en la zona de trópico húmedo del Perú, San Martín, Tarapoto”. En: M. Astier y J. Hollands (eds.). *Sustentabilidad y campesinado. Seis experiencias agroecológicas en Latinoamérica*, Mundiprensa / GIRA / ILEIA, México. 231p.

- González-Sousa, R., Montiel, S., Salinas, E., Acevedo, P., Herrera, A., Remond-Noa, R. Rodríguez, L. 2006. Construcción del Programa de Ordenamiento Territorial del Estado de Baja California Sur, México. *Revista Internacional de las Ciencias de la Tierra*. (108): 46-61.
- González, V. 2001. Evaluación de la sostenibilidad agraria en la práctica de ganaderías ecológicas. *Comité Andaluz de Agricultura Ecológica*. (5): 373-398.
- Gravina, B., Hernández, A. y Leyva-Galán, Á. 2012. Utilización de nuevos índices para la sostenibilidad de un agroecosistema en la República Bolivariana de Venezuela. *Cultivos Tropicales*. (33): 15-22.
- Guillaumont, P. and Simonet, C. 2011. To what extent are African Countries Vulnerable to climate change? Lessons from a new indicator of Physical Vulnerability to Climate Change. *Development*. (6): 1- 8.
- Guzmán, G. I. y Alonso, A.M. 2007. La investigación participativa en agroecología: una herramienta para el desarrollo sustentable. Una herramienta para el desarrollo sustentable. *Ecosistemas*. (16): 24-36.
- Guzmán, S., Valenzuela-Solano, Valencia, C., P. F., Jimenez-Trejo, A. y Carbaja-Ruiz, S. 2008. Necesidades hídricas de los principales cultivos de Baja California. Mexicali B.C. INIFAP. 30p.
- Hillel, D. and Rosenzweig, C. 2002. Desertification in relation to climate variability and change. *Advances in Agronomy*. (77): 1-44.
- Holling, C. S. Resilience and Stability of Ecological Systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*. (4): 1-23.
- Hoyos, N., Escobar, J., Restrepo, J.C., Arango, A.M., Ortiz, J.C. 2013. Impact of the 2010–2011 La Niña phenomenon in Colombia, South America: The human toll of an extreme weather event. *Applied Geography*. (39). 16-35.
- Ibáñez, C., Palomeque, S. y Fontúrbel, F. 2004. Elementos principales del suelo, geodinámica y dinámica de los principales componentes del suelo. En: Fontúrbel, F.; Ibáñez, C. y Abruzzese, G. (eds). *El recurso suelo: Bases Edafológicas, problemática, Administración y Contaminación*. Publicaciones Integrales. La Paz. 54 pp.

- Ingaramo, O., González, A. y Dugo, M. 2003. Evaluación de la densidad aparente en diferentes sistemas de laboreos de suelo, en el NO de la Península Ibérica. Comunicaciones Científicas y tecnológicas. Universidad Nacional del Nordeste. Argentina. 4p.
- INIFAP (Instituto Nacional de investigaciones Forestales, Agrícolas y Pesqueras). 2008. Características Ambientales y Áreas potenciales para cultivos en el municipio de La Paz, B.C.S. Publicación Técnica No 2. 48 p.
- Jackson, R.B., Carpenter, S.R., Dahm, C.N., McKnight, D.M., Naiman, R.J., Postel, S.L. and Running, S.W. 2001. Water in a changing world. *Ecological Applications* 11(4): 1027-1045.
- Kiers, E. T., R.R.B. Leakey., Izac, A. M., Heinemann, J.A., Rosenthal, E., Nathan, D., J. Jiggins. 2008. *ECOLOGY: Agriculture at a Crossroads*. *Science*. (320): 320-321.
- Kimani, S. K., Anthony O. Esilaba., Peterson N. M., Njeru, J., M. Miriti., John K. and Lekasi, S.K. 2015. Improving livelihoods in semi-arid regions of africa through reduced vulnerability to climate variability and promotion of climate resilience. *Climate Change Management. Adapting African Agriculture to Climate Change*. (8):25-33.
- Koohafkana, F., Altieri, M. A. & Holt-Gimenez, E. 2012. Green Agriculture: foundations for biodiverse, resilient and productive agricultural systems. *International Journal of Agricultural Sustainability*. (10): 61-75
- Kumar, R., Singh, A., Murty, H.R., Gupta., Dikshit, A.K. 2009. An overview of sustainability assessment methodologies. *Ecological Indicators*. (9): 189-112.
- Lamine, C. 2014. Sustainability and Resilience in Agrifood Systems: Reconnecting Agriculture, Food and the Environment. *Journal of the European Society for Rural Sociology*. (55): 41-61.
- López, J. y Mantilla, E. 2006. Los indicadores y la medición de a sostenibilidad. En: *Medición de la sostenibilidad ambiental*. Universidad Cooperativavde Colombia. Disponible en <http://site.ebrary.com/lib/bibliocordoba/121>. Consulta: Junio/2009.
- López, R.M. 2006. Elementos para el diseño de una política de uso sustentable de las tierras ganaderas de Sonora. *Estudios Sociales* 14(27): 140-157.

- López, A. R., Villavicencio, E., Real, M.A., Ramírez, J., Murillo, B. 2003. Macronutrientes en suelos de desierto con potencial agrícola. *TERRA Latinoamericana*. (21): 333-340.
- López-Ridauro, S. 2000. Sustentabilidad y manejo de recursos naturales. El marco de evaluación MESMIS. Mundi-Prensa, S.A., Gira, IE-UNAM. México, 160 pp.
- Luo H, and Wu, L. 2010. The research progress of agricultural vulnerability and adaptation measures to Climate Change in China. *Subtropical Soil and Water Conservation* (22): 23p
- Martínez-Castillo, R. 2002. Agroecología: atributos de sustentabilidad. *InterSedes: Revista de las Sedes Regionales*. En línea: III (mayo) Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=66630504>> consulta: enero/2015.
- Mas de Noguera. 2003. Aproximación a un sistema de indicadores de sostenibilidad para la ganadería ovina en la provincia de Castellón. *Noguera Asociación de Desarrollo Rural Cooperativo*. Castellón. 74 pp.
- Masera, O., Astier, M. y López, S. 1999. Sustentabilidad y manejo de recursos naturales. El marco de evaluación MESMIS. GIRA- Mundi-prensa, México. 34p.
- Mayer, A. 2008. Strengths and weaknesses of common sustainability indices for multidimensional systems. *Environmental Inter*. (34): 277-291.
- Médiène, M., Valantin-Morison, M., Sarthou and Tourdonnet, S. 2011. Agroecosystem management and biotic interactions: a review. *Agronomy for Sustainable Development*. (31): 491-514.
- Mercado-Mancera, G. 2011. Desertificación de cuencas agrícolas en Baja California Sur. Tesis de Doctorado. Programa de Estudios de Posgrado. CIBNOR. Junio del 2001. 180 pp.
- Mercado-Mancera, G., E. Troyo-D., A. Aguirre-G., B. Murillo-A., M. S. Trasviña-C., L. F. Beltrán-M. and J. L. García-H. 2011. Variables edafoclimáticas asociadas a la desertificación. *Trop. and Subtrop. Agroecosyst*. 13(2): 133-145.

- Meza, S.R. 2001. Regionalización de áreas potenciales para especies vegetales de importancia en Baja California Sur. Segundo Reporte de Resultados. Proyecto INIFAP No.2147-SIMAC 980107013. SAGAR-INIFAP-CIR Noroeste. Campo Experimental "Todos Santos" La Paz, B.C.S. México. 82 p.
- Meza-Sánchez, R. y D. D. Reygadas-Prado. 2001. Áreas potenciales y Tecnología de Producción de Cultivos en el Valle de Santo Domingo, B.C.S. Publicación Técnica Núm. 1. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias – Centro de Investigación Regional del Noroeste. La Paz, B. C. S. México. 133 p.
- Ming-Lang, Tseng. 2013. Modeling sustainable production indicators with linguistic preferences. *Journal of Cleaner Production*. (40): 46-56.
- Moelle, C., Sauerborn, J., Voil, A. M., Manschadi, M. P. and Holger, M. 2014. Assessing the sustainability of wheat-based cropping systems using simulation modelling: sustainability= 42?. *Sustainability Sciencs*. (9):1–16.
- Monterroso-Rivas, A. I., Conde-Álvarez, A., Gómez-Díaz, J. D y J. López-García. 2009. Vulnerabilidad y Riesgo en la Agricultura por cambio climático en el Estado de Veracruz, México Zonas Áridas. 11(1): 45-60.
- Nascimento, C., Barros, A., Melo, D. and Oliveira, A. 2004. Alteracoes químicas em solo e crescimento de milho e feijoeiro após aplicacao de lodo de esgoto. *Revista Brasileira de ciencia de solo*. 28 (2): 385-392.
- Ness, B. E., Urbel-Piirsalua, S. and Anderbergd, L. O. 2007. Categorising tools for sustainability assessment. *Ecological economic*. (60): 498-508.
- Nicholls-Estrada, C. I., Ríos-Osorio, L., y Altieri, M.A. 2013. Agroecología y resiliencia socioecológica: adaptándose al cambio climático. Red Iberoamericana de Agroecología para el Desarrollo de Sistemas Agrícolas Resilientes al Cambio Climático (REDAGRES). Primera Edición. Medellín, Colombia. 207p.
- Nicholls- Estrada, C. I. y Altieri. M. A. 2012. Estrategias agroecológicas para incrementar la resiliencia. *LEISA revista de agroecología*. (6): 14-19.
- Nicholls-Estrada, C. I. y Altieri, M. A. 2009. Cambio climático y agricultura campesina: Impactos y respuestas adaptativas. *LEISA Revista de agroecología*. (14): 5-8.

- Castañeda, N., Ascanio, C., Carosio, A. y Alva, M. E. 2010. El trabajo socio-productivo en el marco de la economía social y la igualdad y equidad de género. *Revista Venezolana de Estudios de la Mujer*. (15): 59-73.
- Ochoa-Ledezma, A., Pellegrini-Blanco, N. y Reyes-Gil, R. 2013. Alternativas Agrícolas conservacionistas para la sustentabilidad agroambiental. *Universidad, Ciencia y Tecnología*. (17): 113-122.
- OECD (Organization for Economic Cooperation and Development). 2002. *Guidelines for Multinational Enterprises. Annual Report*. 332p.
- Ojeda-Bustamante, W., Sifuentes-Ibarra, E., Íñiguez-Covarrubias, M. y Montero-Martínez, M. J. 2010. Impacto del cambio climático en el desarrollo y requerimientos hídricos de los cultivos. *Agrociencia*. (45): 1-11.
- ONU. 1992. Informe de la Conferencia de las Naciones Unidas (ONU) sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Río de Janeiro. Brasil.
- Passioura, J. B. and Angus, J.F. 2010. Improving productivity of crops in water-limited environments. *Adv Agronomy*. (106): 37–75.
- Pecorari, C., Guerif, J. and Stengel, P. 1990. Fitolitos en los suelos pampeanos argentinos: influencia sobre las propiedades físicas determinantes de los mecanismos elementales de la evolución de la estructura. *Ciencia del Suelo*. (8): 135-141.
- Perrings, C. 2006. Resilience and Sustainable Development. *Environment and Development economics*. (8): 417-427.
- Ponvert, D., Dámaso, R., Lau, A. y Balmaseda, C. 2010. La vulnerabilidad del sector agrícola frente a los desastres: Reflexiones generales. *Zonas Áridas* (11): 174-194.
- Powlson, D.S., Gregory, P.J., Whalley, W.R., Quinton, J.N. and Goulding, K.W. 2011. Soil management in relation to sustainable agriculture and ecosystem services. *Food Policy*. (36): S72-S87.

- Prabhu, R., Colfer, C. J. and Dudley, R. G. 1999. Guidelines for Developing, Testing and Selecting Criteria and Indicators for Sustainable Forest Management: A C&I Developer's Reference. CI Toolbox Series Center for International Forestry Research, Jakarta. En Línea: <http://www.cifor.cgiar.org/>. Consulta Abril/2012.
- Ravera, D. and Tarrasón, S. 2014. Rural change and multidimensional analysis of farm's vulnerability: a case study in a protected area of semi-arid northern Nicaragua. *Environment, Development and Sustainability*. (16): 873-901.
- Reed, M. S., Dougill, A. J. and Baker, T. R. 2008. Participatory indicator development: What can ecologists and local communities learn from each other?. *Ecological Applications*. 18(5): 1253–1269.
- Richards, L. A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington D.C; US Department of Agriculture. Agricultural Handbook 60. Riverside, CA. USA. 160p.
- Ríos, L., Salas, W. y Espinosa, J. 2013. Resiliencia socioecológica de los agroecosistemas. En: *Agroecología y resiliencia socioecológica: adaptándose al cambio climático* (Nicholls CI, Rios LA, Altieri MA, eds). Proyecto REDAGRES. Medellín, Colombia. 2013.
- Rohr, J. R., Johnson, Y., Philip, Z. W., Hickey, R. C., Helm, K. and Fritz, A. S. 2013. Implications of global climate change for natural resource damage assessment, restoration and rehabilitation. *Environmental Toxicology and Chemistry*. Global Climate Change. (32): 93–101.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2011. Indicador Estatal de Baja California Sur. Producción Agrícola, Pecuaria y Agroindustrial. 29p.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2010. Estimación de las demandas de consumo de agua. Colegio de Posgraduados. Montecillo. México. 33p.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación) 2006. Estadísticas Estatales: Baja California Sur. Producción agropecuaria. México. 31p.

- Salinas, C. A., Leyva, A., Lluch-Belda, D. y Díaz-Rivera, E. 1990. Distribución geográfica y variabilidad climática de los regímenes pluviométricos en Baja California Sur, México. *Atmósfera*, 3: pp. 217-237.
- Sánchez, G. 2009. Análisis de la sustentabilidad agraria mediante indicadores sintéticos: Aplicación empírica para sistemas agrarios de Castilla y León. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid. España. 251p.
- Sandquist, D. R. 2014. Plants in Deserts. *Ecology and the Environment. The Plant Sciences*. (8): 297-326.
- Sarandón, S.J. 2002. El desarrollo y uso de indicadores para evaluar la sustentabilidad de los agroecosistemas. En Santiago J. Sarandón (editor): *Agroecología. El camino hacia una agricultura sustentable*. Ediciones Científicas Americanas. 414p.
- SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, México). 2000. NOM-021-SEMARNAT-2000. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis.
- SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, México). 2001. NOM-023-SEMARNAT-2001. Especificaciones técnicas que deberán contener la cartografía y la clasificación para la elaboración de los inventarios de suelos.
- SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, México). 2003. NOM-138-SEMARNAT/SS-2003. Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y remediación.
- SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, México). 2004. NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004. Criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio.
- Shengcai, T. X., Yinlong, Ke J. and Jie P.G. 2011. Research Progress in Agricultural Vulnerability to Climate Change. *Climate Change Research*. (4): 203-210.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2013. Informes de Producción Agropecuaria y Pesquera. En Línea: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/> Consulta. Febrero/2015.

- Singh, R. K., Murty, H. R., Gupta, S. K. and Dikshit, A. K. 2009. An overview of sustainability assessment methodologies. *Ecology. Indicators*. (9): 189-212.
- SMN-CNA (Servicio Meteorológico Nacional - Comisión Nacional del Agua, México). 2012. Normales Climatológicas por Estación. En línea: http://smn.cna.gob.mx/index2.php?option=com_content&view=article&id=162:baja-california-sur&catid=14. Consulta: Abril/2015.
- Puga, S., Sosa, M., Toutcha, L. C. y Campos, A. 2006. Contaminación por metales pesados en el suelo provocada por la industria minera. *Ecología Aplicada*, 5 (1,2): 149-155.
- Spangenberg, J. H., S. Pfahl, y K. Deller. 2002. "Towards Indicators for Institutional Sustainability: Lessons from an Analysis of Agenda 21". *Ecological Indicators*. (42): 1-17.
- Speelman, E. N., López-Ridaura, S., Astier, M. y Masera, O. 2007. Ten years of Sustainability Evaluation using the MESMIS Framework: Lessons Learned from its Application in 28 Latin American Case Studies. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology* (14): 345-361.
- StatSoft Inc. 2011. STATISTICA. v.10. System reference. StatSoft, Inc. Tulsa, Oklahoma. USA. 1098 p.
- Steinich, B., Velázquez, G., Marín, L. and Perry, E. 1996. Determination of the ground water divide in the karst aquifer of Yucatan, Mexico, combining geochemical and hydrogeological data. *Geofísica Internacional*. (35):153-159.
- Suárez, L. D., Wood, D.J. and Lesch, M.S. 2006. Effect of SAR on water infiltration under a sequential rain-irrigation management system. *Agricultural Water Management* (86):150-164.
- Sutherland, W., Mick- Clout, J., Depledge, M., Lynn, V., Dicks, J., Dinsdale, A. C. & Entwistle, E. 2015. A horizon scan of global conservation issues for 2015. *Trends in Ecology and Evolution*. (30): 17-24.
- Tarango, A. L. 2005. Problemática y alternativas de desarrollo de las zonas áridas y semiáridas de México. *Revista Chapingo. Serie Zona Áridas* 4(2): 17-21.

- Ten Brink, B., J. E., S. Hosper, H. and Colin, F. 1991. A Quantitative Method for Description and Assessment of Ecosystems: the AMOEBA-approach". *Marine Pollution Bulletin*. (23): 265-270.
- Toledo, V. 2007. *Curso Internacional de Agroecología y Desarrollo Territorial con Identidad Cultural*. Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural. Medellín-Colombia.
- Troyo- Diéguez, E., Cruz-Falcón, A., Norzagaray, M., Beltrán-Morales, L.F., Murillo-Amador, B., Beltrán-Morales, F.A., García, J.L. y Valdez, R.D. 2010. Agotamiento hidro-agrícola a partir de la Revolución Verde: extracción de agua y gestión de la tecnología de riego en BCS Méx. *Estudios Sociales*. (36):177-201.
- Troyo-Diéguez, E., García, J.L., Murillo-Amador, B., Zamora, S.B., Fenech, L.L., Orona, C.I., Beltrán-Morales, F.A., y Ruiz, F.H. 2004. Modificación al Índice de Aridez de Martonne para su adecuación al estudio del balance del agua en cuencas de zonas áridas. XXXII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. 8 al 10 de noviembre de 2004. León, Guanajuato. México.
- Troyo-Diéguez, E., Murillo-Amador, Valdez-Cepeda. B., García-Hernández, J. L. Orona-Castillo, I., Beltrán-Morales L. F., Rueda-Puentes, E. and Cruz-Falcón, A. 2009. Construction and application of a scaled-linearized aridity index based on rainfall and air temperature data. 2009. Annual Symposium "Managing Hydrologic Extremes". Arizona Hydrological Society and the American Institute of Hydrology. Scottsdale, AZ, USA. pp: 1.
- Tschakert, Petra. and Dietrich K. 2010. Anticipatory Learning for Climate Change Adaptation and Resilience. *Ecology and Society* 15 (2): 23p.
- Unger, P.W. & Howell, T.A. 2000. Agricultural water conservation. A global perspective. *Journal of Crop Production* 2(2): 1-36.
- Van Walsum, E., Van Den Berg, L., Bruil, J. and Gubbels, P. 2014. From Vulnerability to Resilience: Agroecology for Sustainable Dryland Management. *GRFDavos Planet@Risk*. 2 (1): 1-8.

- Wheeler, T. R., Crauford, P., Richard, H. E., Porter, J. R., Prasad, P and Vara, V. 2000. Temperature variability and the yield of annual crops. *Agricultura, Ecosystems and Environment*. (28) 159-167.
- Wurl, J., M.A., Imaz-L, C. A., Breceda, S., Troyo-Diéguez, E., Valdez, A. R. y Murillo, B. 2011. El problema del agua en zonas áridas: dos ejemplos de B.C.S. En: Frutos-B., L. y Castorena-D., L. (eds). *Uso y gestión del agua en las zonas semiáridas: el caso Murcia (España) y B.C.S. (México)*. Univ. de Murcia.
- Yadav-Shyam, S., Redden, R. J., Hatfield, H. and Lotze-Campen, E. 2011. *Crop Adaptation to Climate Change*. John Wiley and Sons. Inc., New Delhi, India. 33p.
- Yungiang, w., mingan, S., Yuanjun Z and Zhipeng L. 2011. Impacts of land use and plant characteristics on drie soil layers in diferent climatic regions on the loess plateau of China. *Agricultural and forest Meteorology*. 151 (4): 437-448.
- Zamora, F., Rodríguez, N., Torres, D. y Yendis, H. 2008. Efecto del riego con aguas residuales sobre propiedades químicas de suelos de la Planicie de Coro, Estado de Falcón. *Bioagro*. 20(3): 193- 199.

11. ANEXOS

Anexo 1. Entrevista a ejidatarios y productores individuales de las tres zonas agrícolas



Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C

Buenos días Sr (a).

Con el objetivo de realizar un diagnóstico fidedigno de las condiciones reales en que se encuentran las zonas agrícolas de la región, estamos realizando entrevistas a ejidatarios y productores individuales de dichas áreas para obtener información verídica de sus ranchos así como los recursos materiales con lo que cuentan para llevar a cabo las actividades productivas, las características de los recursos agua y suelo y aspectos económico-sociales de los propietarios de los mismos. Esta actividad forma parte del proyecto: “*Plan de Manejo Integral de la Cuenca de La Paz, Baja California Sur*” **CIBNOR-CONAGUA** y tributa a una tesis de doctorado que pretende evaluar indicadores de sustentabilidad agroecológica en sistemas agrícolas de B.C.S

PREGUNTAS

I. Aspectos socio- Productivos

- 1) ¿Cuál es su nombre?
- 2) ¿Qué nivel de escolaridad posee?
- 3) ¿Cuánto tiempo tiene como productor agrícola?
- 4) ¿Cuál es el nombre del rancho?
- 5) ¿Cuál es la producción principal del predio?
- 6) ¿Qué Superficie total posee su finca?
- 7) De esa superficie, ¿cuánto tiene sembrada?
- 8) ¿Cuáles cultivos tiene establecidos y que superficie sembrada posee de cada uno?

- 9) ¿Posee registros del rendimiento de cada cultivo por ciclo?
- 10) ¿Cuál es el sistema de manejo agroproductivo del rancho?:
 - ___ Orgánico diversificado, con poco uso de insumos orgánicos o biológicos
 - ___ En transición a orgánico, con sustitución de insumos
 - ___ Diversificado convencional, manejado con agroquímicos
- 11) ¿Cuál es la dotación de agua que tiene asignada?, ¿La dotación es de pozo?, posee medidor ?
- 12) ¿Es suficiente el agua asignada para las labores productivas en su predio?
- 13) ¿Qué sistemas de riego posee para los cultivos?
- 14) Coméntenos acerca de la inversión monetaria que realiza anualmente para hacer producir el rancho y cuánto recupera de esa inversión (utilidades).
- 15) ¿Cuáles aspectos considera limitantes para la producción agrícola en esta zona y de manera particular, en su finca?
- 16) ¿Realiza la comercialización de los productos que obtiene en su rancho?, ¿cual es la forma de comercialización?
- 17) ¿Usted tiene algún ingreso monetario independiente de los ingresos que proporciona su rancho, referente a salario por trabajo con el gobierno, pensión etc.?
- 18) ¿Los recursos materiales con los que cuenta para su trabajo en el rancho son adquiridos por esfuerzos propios?
- 19) ¿Recibe o ha recibido créditos o apoyos oportunos para la producción agrícola?
- 20) ¿Cuántos miembros de su familia están vinculados de manera directa a las labores productivas del predio?
- 21) ¿La producción que obtiene de su rancho es suficiente en cantidad y calidad para autoabastecerse?
- 22) ¿Recibe usted capacitación o asesoramiento de organismos e instituciones que ayuden a fomentar la productividad del predio?

23) Según su percepción, ¿En cuál de las siguientes categorías ubicaría su rancho teniendo en cuenta las condiciones actuales del mismo?

- Ranchos convencionales en aparente estabilidad
- Ranchos altamente tecnificados
- Ranchos con sistemas de producción orgánica
- Ranchos deteriorados o degradados
- Ranchos improductivos con vegetación silvestre o malezas

II. Con relación a los fenómenos climáticos que pueden afectar la agricultura y la infraestructura de los sistemas de producción:

24) A su juicio, ¿cuáles son los eventos climáticos que afectan la producción agrícola en esta zona?

25) ¿Cómo considera la intensidad de esos fenómenos?:

- Severa
- Moderada
- Baja

26) ¿Con qué frecuencia se presentan estos eventos?

Sequías

- Un mes con lluvia nula ó "0"
- De 2-4 meses al año con lluvia nula ó "0"
- 5 meses o más con lluvia nula ó "0"

Huracanes, heladas, inundaciones

- Probabilidad muy baja o nula
- Baja probabilidad solo uno en promedio anual
- Probabilidad alta o muy alta

27) ¿Cómo valora usted el nivel de los daños, teniendo en cuenta las pérdidas de producción, la factibilidad de recuperación y las afectaciones a la infraestructura del rancho?

28) ¿Posee conocimientos acerca de las formas en que afectan estos eventos, las labores de recuperación y medidas para mitigar los daños que provocan?

Muchas gracias por su colaboración.