

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ÁREA DE POSGRADO  
MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA



Análisis de sustentabilidad de sistemas de riego por goteo en el Valle de Mexicali

T E S I S

Que presenta para obtener el grado de

MAESTRIA EN CIENCIAS

ING. BRANDO FABIÁN BRINGAS BURGOS

DIRECTOR DE TESIS:

DR. CARLOS RAÚL NAVARRO GONZÁLEZ

CO-DIRECTOR DE TESIS:

M.C. ISMAEL MENDOZA MUÑOZ

MEXICALI, B. C.

DICIEMBRE 2016

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para realizar los estudios de maestría.

A la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), por ser una segunda casa durante toda la formación profesional.

Al Dr. Carlos Navarro Méndez por el apoyo, motivación y paciencia brindados como director de tesis.

Al M.C. Ismael Mendoza Méndez, por haber hecho posible el posgrado con su apoyo como co-director.

A la Dra. Silvia Vanessa Medina León, por haber creído en mí y darme la oportunidad de ingresar al posgrado.

A la Dra. Margarita Gil Samaniego, por ser siempre un apoyo moral y profesional.

A la Ing. Jessika Rodríguez Sánchez, por todos los momentos de ánimo para cumplir este objetivo.

A la M.I. Lucy Olivares Fong, por inculcar la importancia de cuidar el medio ambiente.

A la M.C. Aida López Guerrero, por haberme enseñado las bases del pensamiento estratégico.

Al Ing. Alfonzo Zarate, por su apoyo en los recorridos por los campos y canales del distrito de riego.

Al Dr. Carlos Ail Katzim, por su apoyo brindado en el área de entomología.

A los productores, maquinistas y técnicos del Valle de Mexicali, por compartir sus valiosos conocimientos.

A los compañeros y amigos Federico, Arturo, Juan y Jorge, por su apoyo y compañía brindados durante el trabajo de campo.

A la Dra. María Isabel Escobosa García, por su apoyo y orientación en todas las etapas de la investigación.

Al M.C. Sergio Payan Ochoa, por compartir su experiencia y conocimientos.

A mi Padre, por ser un modelo a seguir.

## Resumen

El objetivo de esta tesis fue evaluar el manejo del recurso agua utilizando el sistema de riego por goteo a través de la comparación de sus elementos con los sistemas riego por gravedad en el Valle de Mexicali a través de la metodología MESMIS. La revisión de literatura mostró la dinámica de uso intensivo de las tierras que se ha llevado a cabo desde la llegada de inversión extranjera a principios del siglo 20. Desde entonces tales prácticas han cambiado el estado de los recursos naturales, sin embargo los criterios de producción no han cambiado mucho. La salinidad de los suelos, la alta densidad de plagas, las condicionantes sociales, entre otros factores; se ven reflejados en la necesidad de altas necesidades de insumos –los cuales son en su mayoría de importación– lo cual desemboca en la necesidad de grandes inversiones de capital para iniciar el proceso productivo, amenazando la sustentabilidad de la producción agrícola. A partir de estos factores, se abordaron de manera participativa los puntos críticos que amenazan dicha sustentabilidad agrícola a nivel productivo para posteriormente llevar a cabo la comparación y análisis de cómo el sistema de riego por goteo puede ayudar a disminuir el impacto de tales factores. El análisis se llevó a cabo con el cultivo de alfalfa como objeto de muestreo, tomando en cuenta que es el principal forraje del Valle de Mexicali, el tercer cultivo más sembrado por superficie y el mayor consumidor potencial de agua. En función de la problemática observada y la caracterización de los sistemas de manejo se derivaron 11 indicadores de sustentabilidad, 6 ambientales, 2 económicos y 3 sociales, utilizando una muestra de  $n = 11$  sistemas de riego por gravedad y  $n = 1$  riego por goteo. El análisis estadístico de los diferentes factores se llevó a cabo a través de pruebas de normalidad de Shapiro Wilks para riego por gravedad y posteriormente una prueba de T student para contrastar la media de dichos valores con el riego por goteo. Dicha prueba estadística no asevera la probabilidad de los resultados a nivel Valle, si no que comprueba la congruencia entre los valores recopilados en el conjunto de muestreos. La evaluación se llevó a cabo a través una perspectiva sistémica y multidimensional por medio del punto de vista de los usuarios de los sistemas de riego, además de una revisión de la literatura, la cual incluye una reseña de la historia de los inicios de las prácticas agrícolas hasta la actualidad, datos históricos de producción así como una revisión de las tecnologías de riego disponibles y algunos conceptos de sustentabilidad que permitieron conceptualizar e integrar la evaluación. Los resultados indicaron que el riego por goteo reúne más propiedades que fortalecen el perfil de sustentabilidad en comparación al riego por gravedad, sin embargo,

ambos sistemas están sujetos a factores externos a la producción tales como la competencia por el agua, la inestabilidad del precio de insumos, falta de capacitación e innovación; así como problemas directos tal como la salinidad del suelo y el agua y alta densidad de plagas y malezas, todo esto recae en los retornos del agricultor. A partir de tales criterios se cuantificó que el sistema de riego por goteo resulta más sustentable en términos de productividad, resiliencia, estabilidad, y adaptabilidad, mientras el riego por gravedad resultó ser más sustentable en el atributo de autogestión, aunque ambos sistemas tuvieron una baja valoración en este sentido.

Por lo tanto se puede concluir que a través de los factores ambientales, económicos y sociales observados, el sistema de riego por goteo logrará un mayor costo beneficio, ahorro de alrededor del 30% de agua y una disminución en el uso de agroquímicos a través de la disminución de plagas y malezas. Asimismo, el riego por goteo utilizará alrededor del doble de diésel a lo largo del proceso productivo, sin embargo, la productividad de alfalfa por litro de diésel seguirá siendo superior al riego por gravedad. Asimismo, la utilización efectiva del riego por goteo requerirá algunas consideraciones económicas y sociales para el agricultor. En general, ambos sistemas presentaron áreas de oportunidad para mejorar su perfil sustentable, por lo que se proponen algunas recomendaciones dirigidas a autoridades, usuarios y académicos, con el fin de minimizar el impacto de tales puntos críticos.

## **Abstract**

The purpose of this thesis was to evaluate the management of the water resource using drip irrigation through its comparison against Surface irrigation in the Mexicali Valley, using the MESMIS methodology. The literature review showed the land-intensive dynamics that has been carried out since the arrival of foreign investment in the 20th early century. Since then, such practices have changed the state of natural resources; however the production criteria have not changed much. The salinity of soils, the high density of pests, the social determinants, among other factors; are reflected in the need for high input needs –which are mostly imported- which leads to the need for large capital investments to start the production process, threatening the sustainability of agricultural production. Based on these factors, critical points that threaten the agricultural sustainability at the productive level were discussed in a participatory manner, and then the comparison and analysis of how the drip irrigation system can help to reduce the impact of such factors. The analysis was performed with the cultivation of alfalfa as object of sampling, taking into account that it is the main forage of the Mexicali Valley, the third crop most seeded per surface and the largest potential consumer of water. . Based on the problems observed and the characterization of the management systems, 11 sustainability, 6 environmental, 2 economic and 3 social indicators were derived, using a sample of  $n = 11$  gravity irrigation systems and  $n = 1$  drip irrigation. Statistical analysis of the different factors was carried out through Shapiro Wilks normality tests for gravity irrigation and later a student T test to compare the mean values of these outcomes with drip irrigation. This statistical test does not assert the probability of the results at Valley level, but that it verifies the congruence between the values collected in the set of samples. The evaluation was carried out through a systemic and multidimensional perspective through the users' point of view of the irrigation systems, in addition to a review of the literature, which includes a review of the history of the beginning of the practices to date, historical production data as well as a review of the available irrigation technologies and some concepts of sustainability that allowed the conceptualization and integration of the evaluation. The results indicated that drip irrigation brings together more properties that strengthen the sustainability profile compared to gravity irrigation, however, both systems are subject to factors external to production such as competition for water, instability of the price of Inputs, lack of training and innovation; As well as direct problems such as salinity of soil and water and high density of pests and weeds, all fall to the returns of the farmer. From these criteria, it was quantified

that the drip irrigation system is more sustainable in terms of productivity, resilience, stability, and adaptability, while gravity irrigation proved to be more sustainable in the attribute of self-management, although both systems had a low Valuation in this sense.

Therefore, it can be concluded that through the environmental, economic and social factors observed, the drip irrigation system will achieve a higher cost-benefit, save about 30% of water and a decrease in the use of agrochemicals through the reduction of pests and weeds. Likewise, drip irrigation will use about twice as much diesel throughout the production process, however, productivity of alfalfa per liter of diesel will continue to be higher than irrigation by gravity. Also, effective use of drip irrigation will require some economic and social considerations for the farmer. In general, both systems presented areas of opportunity to improve their sustainable profile, so some recommendations are proposed to authorities, users and academics, in order to minimize the impact of such critical points.

## Contenido

Índice de figuras.....	iv
Índice de tablas .....	v
Hipótesis .....	vi
Objetivo .....	vi
Metas .....	vi
Justificación .....	vii
1. ESTADO DEL ARTE .....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 La irrigación.....	2
1.2.1 Diferentes tipos de irrigación .....	3
1.2.2 Irrigación en México .....	4
1.3 Los sistemas de riego .....	4
1.3.1 Riego superficial.....	5
1.3.2 Riego por goteo .....	7
1.3.3 Riego por aspersión.....	9
1.4 Antecedentes de la agricultura en el Valle de Mexicali.....	14
1.4.1 Características del entorno .....	17
1.4.2 Infraestructura hidráulica y precio del agua.....	18
1.4.3 Producción de alfalfa en el Valle de Mexicali.....	20
1.4.4 Estimación de cultivos con mayores consumo de agua .....	20
1.5. La sustentabilidad.....	22
1.5.1 Sustentabilidad débil vs Sustentabilidad fuerte.....	23
1.5.2 Las dimensiones de sustentabilidad débil y fuerte.....	23
1.5.3 Enfoques recientes para la evaluación de la sustentabilidad.....	24
1.5.4 Marcos para la evaluación de sustentabilidad.....	27
1.5.5 Los indicadores de sustentabilidad .....	32
1.5.6 Indicadores de sustentabilidad agrícola.....	34
1.5.7 Características deseables de los indicadores .....	35
1.5.8 Valores de referencia para los indicadores .....	36
1.5.8 Dificultades en la medición de indicadores .....	38
2. MARCO TEORICO.....	39
2.1 Definición de sistemas de manejo de recursos.....	39
2.1.1 Atributos de un sistema sustentable .....	39
2.1.2 Aspectos a considerar de los atributos .....	41

2.1.2	Definición de criterios de diagnostico.....	41
2.1.2	Consideraciones para utilizar el marco de evaluación de sustentabilidad MESMIS.....	42
2.2	Definiendo el objeto de evaluación.....	43
2.2.1	Definiendo los sistemas a ser evaluados: El sistema de referencia y el sistema alternativo....	44
2.2.2	Análisis de los puntos críticos del sistema.....	45
2.2.3	Como se escogen los indicadores en MESMIS .....	46
2.2.4	Monitoreo de los indicadores .....	47
2.2.5	Integración de los resultados .....	48
2.2.6	Presentación de conclusiones y recomendaciones .....	49
3.	METODOLOGIA.....	51
3.1	Cuestionarios semiestructurados .....	51
3.2.	Selección de criterios de diagnóstico e indicadores .....	53
3.3	Medición de indicadores ambientales .....	54
3.3.1	Muestreo de plagas.....	54
3.3.2	Muestreo de malezas .....	59
3.3.3	Muestreo de suelos.....	63
3.3.4.	Muestreo de agua.....	65
3.3.5	Medición de intensidad energética.....	67
3.3.6	Intensidad en el uso del agua.....	68
3.4	Medición de indicadores económicos.....	68
3.5	Medición de indicadores sociales.....	68
3.6	Integración de resultados .....	69
4.	RESULTADOS .....	70
4.1	Caracterización de la muestra.....	70
4.1.1	Características socioeconómicas .....	71
4.1.2	Características agrícolas .....	73
4.1.3	Caracterización del proceso productivo.....	74
4.2	Determinar los puntos críticos que afectan la sustentabilidad del sistema .....	76
4.3	Seleccionar criterios de diagnóstico e indicadores .....	78
4.4	Resultado de medición de indicadores.....	80
4.4.1	Relación costo/beneficio.....	80
4.4.2	Intensidad en el uso del agua.....	83
4.4.3	Intensidad energética.....	84
4.4.4	Salinidad del suelo .....	85
4.4.5	Calidad del agua .....	86

4.4.6	Presencia de malezas .....	87
4.4.7	Presencia de pulgón.....	89
4.4.8	Adaptación a propuestas tecnológicas .....	89
4.4.9	Dependencia de insumos externos .....	90
4.4.10	Percepción de la repartición de agua.....	91
4.5	Integración de indicadores.....	93
4.5.1	Prospectivas del uso del riego tecnificado.....	94
5.	DISCUSION DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES.....	95
5.1	Evaluación de indicadores de sustentabilidad.....	95
5.1.1	Atributo de Productividad .....	97
5.1.2	Atributo de Adaptabilidad.....	99
5.1.3	Atributo de Estabilidad y Resiliencia.....	100
5.1.4	Atributo de Autogestión.....	101
5.1.5	Atributo de Equidad .....	101
5.2	Conclusiones del marco de evaluación .....	102
5.3	Recomendaciones para las instituciones.....	103
5.4	Recomendaciones para los usuarios.....	104
5.5	Trabajos a futuro.....	105
6.	Anexos .....	106
	Anexo A. Cuestionarios utilizados durante la caracterización y medición de indicadores .....	106
	Anexo B: Resultados de análisis químicos y muestreos de campo .....	112
	Anexo C: Datos para estimación de costos de diésel.....	113
	Anexo D: Estimación de costos para los sistemas .....	116
	Anexo E: Comparaciones pareadas .....	120
	Anexo F: Pruebas de normalidad y T-Student.....	122
	Referencias.....	129

## Índice de figuras

<u>Figuras</u>	<u>Página</u>
Figura 1.2. Principales cultivos por superficie sembrada en el Valle de Mexicali en el 2015 según series estadísticas de OEDRIOUS [26] .....	21
Figura 1.3 Consumo potencial de agua de los principales cultivos del Valle de Mexicali en el año 2015. ....	22
Figura 3.1. Captura de insectos con red entomológica. (izquierda); estereoscopio utilizado para el conteo de plagas (derecha). ....	55
Figura 3.2 Ejemplo de presencia de malezas en cultivo de alfalfa. ....	60
Figura 3.3 Histograma de muestreo de malezas. ....	63
Figura 4.1 Área de muestreo. ....	70
Figura 4.5 Diagrama de Ishikawa de puntos críticos. ....	77
Figura 4.6 Estimación de valor actual neto a distintas tasas de descuento. ....	82
Figura 4.9 Dependencia de insumos externos. ....	91
Figura 5.1 Gráfica de evaluación de sustentabilidad. ....	95

## Índice de tablas

<u>Tabla</u>	<u>Página</u>
Tabla 1.1 Valores indicativos de eficiencia de métodos de riego. ....	4
Tabla 1.2 Tipo de suelo y radio promedio de esparcimiento lateral del agua con goteros.....	7
Tabla 1.3 Tipos de riego por goteo. ....	7
Tabla 1.4 Tipos de sistemas de riego por aspersión. ....	10
Tabla 1.5 Factores de idoneidad para la elección de un sistema de riego. ....	11
Tabla 1.6 Elección de un sistema de riego en función de sitio y situación. ....	12
Tabla 1.7. Criterios de selección de un sistema de riego. ....	13
Tabla 1.8 Comportamiento de sistemas de riego en función de indicadores de sostenibilidad []. ....	13
Tabla 1.9 Síntesis de la evolución de la agricultura en el Valle de Mexicali. ....	15
Tabla 1.11 Ejemplos de enfoques de medición de sustentabilidad. ....	25
Tabla 3.1 Lista de indicadores y sus criterios de diagnóstico sustentable. ....	53
Tabla 3.2 Lista de umbrales de indicadores seleccionados. ....	54
Tabla 3.3 Conteo de muestras de plagas.....	55
Tabla 3.4 Prueba de normalidad en muestreo de pulgones.....	57
Tabla 3.5 Prueba T student para muestreos de pulgones.....	58
Tabla 3.6 Resultado de muestreo de malezas en intervalos.....	61
Tabla 3.7 Estadísticos descriptivos del muestreo de malezas.....	62
Tabla 3.8 Clasificación de salinidad de suelo. ....	65
Tabla 4.1 Identificación de aspectos críticos con atributos de sustentabilidad. ....	78
Tabla 4.2 Lista de indicadores propuestos a nivel parcela.....	79
Tabla 4.3 Estimación de costo beneficio de riego por gravedad a 3 años. ....	81
Tabla 4.4 Estimación de costo beneficio del riego por goteo a 6 años. ....	81
Tabla 4.8 Estimación de intensidad del uso de diésel por actividad de maquinado.....	84
Tabla 4.9 Resultado de la evaluación de salinidad del suelo. ....	86
Tabla 4.10 Clasificación del agua de riego de la muestra. ....	86
Tabla 4.10 Promedio de observaciones en muestreos de maleza. ....	87
Tabla 4.11. Resultados de la medición de indicadores. ....	93

## **Hipótesis**

Mediante el análisis de las condiciones naturales y operativas de dos métodos de riego agrícola se podrá determinar un diagnóstico que permitirá comparar dichos sistemas con el fin de determinar el grado de sustentabilidad entre ellos.

## **Objetivo**

Analizar las condiciones naturales que forman parte del proceso de producción de alfalfa así como los parámetros de operación de un sistema de riego por gravedad y un sistema de riego por goteo para evaluar las características de ambos sistemas con el fin de determinar indicadores de sustentabilidad que permitan hacer operativo y medible el concepto de sustentabilidad en su entorno y determinar estrategias para mejorar el perfil de sustentabilidad de dichos sistemas.

## **Metas**

- Caracterización de los sistemas de riego analizados.
- Selección de criterios de diagnóstico e indicadores estratégicos.
- Medición y monitoreo de los indicadores.
- Integración y presentación de resultados.
- Conclusiones y recomendaciones sobre los sistemas de riego analizados.

## Justificación

La agricultura es considerada como una de las actividades económicas primarias y de las más esenciales para el ser humano, ya que nos provee de bienes materiales en forma de alimento.

Mientras que la demanda por alimentos sigue creciendo, la agricultura tiene el reto de satisfacer esta demanda. No solo es el hecho de que haya más gente, la urbanización demanda mejores dietas, típicamente con más carne. Estos factores aumentan los requerimientos de agua y la presión en recursos que en si ya se encuentran escasos. En los últimos años la agricultura ha recibido poca atención en muchos países en desarrollo, mientras en países desarrollados se han establecido medidas proteccionistas que han refugiado a este sector de una necesaria reestructuración [1]. Según estudios recientes 80% de la población mundial está expuesta a altos niveles de amenaza en la seguridad del agua, por lo que la protección del recurso requiere el diagnóstico de amenazas a través de una gran cantidad de escalas, desde global a local [2].

En el Estado de Baja California, hacia diciembre del 2009 se utilizaban 3,610 hm<sup>3</sup> de agua anual (sin considerar la energía hidroeléctrica). El principal usuario del agua es el sector agrícola con 80% del volumen concesionado, seguido del abastecimiento público-urbano y doméstico con 12%, el uso para termoeléctricas con el 5%, el uso industrial con 2% y otros usos con el 1%. El 95% del agua superficial y el 52% del agua subterránea son utilizados en el municipio de Mexicali. Económicamente, hacia el 2008 el sector primario de la península de Baja California utilizaba el 92% del consumo de agua total, con una productividad de 3.66 pesos por m<sup>3</sup> de agua, generando el 3.61% del producto interno bruto total [3].

Al hablar de agricultura en el municipio de Mexicali, se está haciendo referencia a la agricultura del Valle de Mexicali, donde la agricultura es la principal actividad económica. Según series estadísticas de la Oficina Estatal para el Desarrollo Sustentable de Baja California, en el 2014 los cultivos con más hectáreas sembradas en Mexicali fueron el trigo, seguido por el algodón y la alfalfa, sin embargo, de estos cultivos el mayor consumidor potencial de agua es la alfalfa debido a sus altas necesidades hídricas.

El desconocimiento de las verdaderas dimensiones y características de la problemática en la producción agrícola del Valle de Mexicali, contribuye de alguna manera para obstaculizar el diseño e implementación de estrategias y políticas adecuadas para potenciar la sustentabilidad de la producción, donde el gobierno y la sociedad asuman los papeles que les corresponden

para encontrar soluciones a las posibles problemáticas que castiga tanto a los presentes como futuros usuarios del agua.

Es imperativo buscar métodos para disminuir el consumo de agua en la agricultura, pero manteniendo o aumentando la producción por área del cultivo y además permitiendo obtener productos que logren satisfacer la demanda que requiere la población y el mercado. Por lo tanto, se busca analizar el sistema de riego por goteo en comparación del sistema por gravedad en el Valle de Mexicali, con el fin de determinar las restricciones que obstaculizan la adaptación de esta tecnología en la agricultura de la región para poder abordar en futuros trabajos los principales problemas que deben ser atendidos en materia de sustentabilidad. Para lograr esto, el uso de indicadores de sustentabilidad permite hacer un abordaje holístico a la problemática de un sistema y el entorno en el que se desarrolla. Considerando las diferencias entre los métodos de producción, se busca evaluar esas diferencias con el fin de identificar tendencias tanto positivas como negativas, lo cual ayudará a los administradores de los sistemas a tener una visión integral de su sistema mejorando la toma de decisiones en su producción.

La evaluación de sustentabilidad en el uso del agua supone hacer un análisis de nuestra intervención en el manejo de los sistemas productivos, por lo tanto, nos llevará en consecuencia a mejorar y progresar, y además es un ejercicio de responsabilidad social.

## **1. ESTADO DEL ARTE**

El capítulo 1 aborda conceptos de irrigación, los sistemas de riego y sus tecnologías y criterios para seleccionar estos sistemas. Asimismo se hace una breve reseña histórica de la agricultura en el Valle de Mexicali y se mencionan los principales cultivos consumidores de agua en la actualidad. Posteriormente se hace una revisión de los conceptos de sustentabilidad y los enfoques disponibles para su medición.

### **1.1 Introducción**

Históricamente, las primeras obras de irrigación eran implementadas para asegurar la supervivencia física humana. Con la ausencia de grandes poblaciones, industrias y entretenimiento; no había mucha competición por el agua con excepción de irrigadores vecinos que compartían la misma fuente de agua. La principal preocupación era la producción del cultivo. Los problemas derivados del control de una fuente de agua eran arreglados política, militar o diplomáticamente. Los problemas para llevar el agua de la fuente a la planta eran solucionados técnicamente, con estructuras hidráulicas aún más grandes y variadas que las actuales. Conforme fue creciendo la competencia por el agua no solo entre vecinos sino también entre usuarios agrícolas y no agrícolas del agua, fue que nació la noción de conservación del agua. La idea de que los cultivos pueden desarrollarse bien con cantidades limitadas de agua sugiere un manejo más sofisticado que las prácticas tradicionales.

Las necesidades de irrigación muchas veces constituyen la porción más grande del consumo de agua de una región, por lo que la necesidad del uso sagaz del agua se ha vuelto primordial. En la gestión y operación de los sistemas de riego, el uso eficiente del agua es una de las principales metas, así como la producción del cultivo. Por supuesto, la producción del cultivo es lo primordial para un agricultor que quiere permanecer en el negocio, sin embargo, no debe pasarse por alto la conservación de los recursos y la sustentabilidad de la granja. Diferentes métodos de irrigación utilizados en la producción agrícola –superficial, aspersión, goteo- están en competencia, con el consumo del agua así como el costo y conveniencia constituyendo principales factores en la elección de uno u otro.

En cuestión de sustentabilidad, el desarrollo sustentable y el uso de indicadores han sido propuesto por muchas instituciones que pretenden guiar cambios en las políticas y en la toma

de decisiones. Una primera conceptualización general de desarrollo sostenible fue ampliamente difundida en la Estrategia de Conservación Mundial. A pesar de ser un concepto relativamente nuevo, la literatura del desarrollo sostenible muestra gran variedad de definiciones y conceptos, de tales definiciones la definición que tuvo más amplia aceptación y logro cierta autoridad como el concepto estándar de sustentabilidad fue aquella elaborada por la comisión Bruntland: “Satisfacer las necesidades de las presentes generaciones sin comprometer la satisfacción de las necesidades de las futuras generaciones” [4].

Sin embargo, aunque esta definición polemiza con los actuales niveles de consumo en el mundo desarrollado, la definición de Bruntland no da respuesta a lo que tiene que ser sostenido, dicha definición carece de significación operativa [5]. Esto presenta un problema, ya que de cualquier manera que se defina la sustentabilidad, esta debe ser medida de alguna manera. Por lo tanto la sostenibilidad debe hacerse operativa en los diferentes niveles que tienen lugar las actividades de desarrollo.

## **1.2 La irrigación**

Irrigación es la aplicación controlada de agua artificialmente con el propósito de abastecer las necesidades de humedad requeridas por un cultivo para su producción y el óptimo desarrollo en el campo o granja [6]. Por lo tanto, la irrigación provee las necesidades y requerimientos de las plantas para un desarrollo y producción constante en función de la disponibilidad de agua en la granja o parcela.

Una buena administración, una operación eficiente y una buena ejecución de mantenimiento para sistemas de riego, son requisitos básicos para mejorar el manejo del agua en la agricultura. Los sistemas de riego mejoran tanto el rendimiento del cultivo como el desempeño del agua, asegurando una producción sustentable [7].

Sin embargo, la agricultura irrigada enfrenta varias dificultades para el futuro. Una de las principales preocupaciones es la generalmente baja eficiencia con la cual las fuentes de agua han sido utilizadas en la irrigación. Un estimado relativamente seguro es que el 40% o más del agua utilizada para irrigación es desperdiciada a nivel de la parcela ya sea a través de percolación profunda o escorrentía superficial. Estas pérdidas puede que no sean pérdidas del punto de vista regional, ya que esta agua será un recurso utilizable en otro lugar. Sin embargo,

estas pérdidas muchas veces representan oportunidades perdidas para el agua ya que al seguir el agua su caudal casi universalmente se produce agua de calidad más pobre [8]. (Cuando la escorrentía fluye a lo largo de la tierra, puede recoger contaminantes del suelo, como petróleo, pesticidas o fertilizantes) [9]. Los sistemas de irrigación usualmente están diseñados para maximizar la eficiencia de los recursos y minimizar los requerimientos de mano de obra y capital. Las prácticas de gestión más efectivas dependen del tipo de sistema de riego y su diseño. Por ejemplo, la gestión puede ser influenciada por el uso de la automatización, el control de o la captura y reúso de la escorrentía, el tipo de suelo, las variaciones topográficas y la existencia de mediciones del flujo y estructuras de control del agua [10]. Las cuestiones comunes para todos los sistemas de riego es cuando irrigar, cuánta agua aplicar y si la eficiencia puede ser mejorada.

### **1.2.1 Diferentes tipos de irrigación**

Como se mencionaba anteriormente, varios métodos pueden ser usados para suministrar la irrigación a las plantas. Un método de irrigación muy simple es traer agua desde la fuente de suministro, por ejemplo un pozo, a cada planta con una cubeta. Este método consume mucho tiempo y lleva mucho trabajo pesado, sin embargo, puede ser útil para regar extensiones muy pequeñas de tierra, como un jardín vegetal, que además este cerca de la fuente de agua. Se necesitan métodos más sofisticados de aplicación del agua cuando áreas más grandes necesitan ser regadas. Hay 3 métodos comúnmente utilizados: riego superficial, riego por aspersión y riego localizado [11].

Es común utilizar como sinónimo la expresión método de riego y sistemas de riego, sin embargo, la diferencia es que el método de riego se refiere al conjunto de aspectos que caracterizan el modo de aplicar el agua a la parcela y se entiende por sistema de riego al conjunto de equipamientos y técnicas que proporcionan esa aplicación siguiendo un determinado método [12]. En los métodos de riego, la eficiencia de riego se refiere a las pérdidas de agua. Si se pierde mucha agua al ser aplicada, hay que utilizar una mayor cantidad de agua para obtener el mismo resultado. La Tabla 1.1 muestra valores indicativos de la variación en la eficiencia dependiendo del método de riego.

**Tabla 1.1** Valores indicativos de eficiencia de métodos de riego [13].

<b>Sistema de riego</b>	<b>Eficiencia de aplicación en campo</b>
Riego superficial (melgas, surcos, inundación)	60%
Riego por aspersión	75%
Riego por goteo	90%

Como se puede observar en la tabla 1.1, el sistema de riego por goteo se desempeña con una eficiencia superior de aplicación de agua con respecto a los otros métodos de riego.

### **1.2.2 Irrigación en México**

México cuenta con 6.5 millones de hectáreas bajo riego que representan el 40.6% de su superficie arable (clasificándose en el sexto lugar a nivel mundial en la Comisión Internacional de Riego y Drenaje, ICID), misma que se encuentra distribuida en 85 Distritos de Riego con 3.5 millones de hectáreas y 39,492 unidades de riego con una superficie aproximada de 3.0 millones de hectáreas. En estos 6.5 millones de hectáreas se utilizan diversos sistemas de irrigación se destaca el de riego superficial o riego por gravedad, el cual se utiliza en más del 90% de la superficie, siendo el restante ocupado por sistemas de riego presurizado [14]. La distribución de los métodos de riego presurizado en México según algunas estimaciones son del 57.6% en aspersión, 32.4% en goteo, 8.5% en micro aspersión y el restante 1.6% en otros [15]. En los últimos años el gobierno federal y gobiernos estatales han desarrollado programas con el fin de rehabilitar, modernizar y tecnificar las zonas agrícolas bajo riego con el objetivo de lograr un uso más eficiente del agua, incluyendo sistemas de riego presurizados. Lo anterior da idea del enorme potencial que existe en México para la modernización de una agricultura basada en el riego presurizado.

### **1.3 Los sistemas de riego**

A continuación se explican brevemente los principios con los que operan los métodos de riego y se hace mención de las variantes de cada método.

### **1.3.1 Riego superficial**

El término “riego superficial” se refiere a una clase de métodos de irrigación con la cual el agua es distribuida sobre el terreno con un flujo superficial. El flujo es introducido en un borde del terreno y va cubriendo el campo gradualmente. La tasa de recubrimiento depende casi del todo entre las diferencias entre la descarga de flujo en el terreno y la infiltración al suelo. Factores secundarios incluyen la pendiente del terreno, la rugosidad de la superficie y la geometría o forma de las secciones transversales de flujo. Se puede inundar todo el campo (inundación) alimentar el agua a pequeños canales (surcos) o delimitar el paso del agua utilizando bordos (melgas). La práctica de la irrigación superficial tiene miles de años. Colectivamente representa quizás hasta el 95% de las actividades comunes de irrigación en la actualidad [16].

#### **1.3.1.1 Ventajas**

El riego superficial ofrece varias ventajas tanto a nivel granja y proyecto. Ya que es tan comúnmente utilizado, los agricultores tienen mínimo un entendimiento en como operar y mantener el sistema. La segunda ventaja es que estos sistemas pueden desarrollarse en una parcela con un capital de inversión mínimo. El control y regulación de las estructuras es simple, durable y fácilmente construido, además, los elementos estructurales están localizados en los extremos de los campos lo que facilita la operación y el mantenimiento. El mayor costo asociado con este sistema generalmente es asociado con nivelación del terreno, pero si la topografía no es muy ondulante, estos costos no son tan grandes. La mejor compensación entre sistema de riego superficial y presurizados recae en los costos relativos de nivelación del terreno para un distribución efectiva de la gravedad y la energía utilizada en la presurización del sistema en el caso que se utilice una motobomba, en otros casos el agua avanza sobre la pendiente por la fuerza de gravedad siendo esto es una ventaja significativa en la economía actual. Otra ventaja del riego superficial es que este es menos afectado por el clima y las características de calidad del agua. Incluso vientos moderados pueden reducir significativamente la efectividad de los sistemas por aspersión. Los sedimentos y otros escombros reducen la efectividad de los sistemas por goteo pero podrían incluso ayudar al funcionamiento de los sistemas superficiales. Los sistemas superficiales son más adecuados para utilizar las fuentes de agua que son disponibles menos frecuentemente, más inciertas y variables en cantidad y duración [17].

### 1.3.1.2 Desventajas

Hay una desventaja del riego superficial que confronta a todo diseñador e irrigador. El suelo que debe usarse para transportar el agua sobre el terreno tiene propiedades que tienden a variar mucho tanto en tiempo como en espacio. Son casi indefinibles con excepción del caso de proceder inmediatamente o durante el mismo riego. Esto crea un problema de ingeniería en cual al menos dos de las variables primarias de diseño, descarga y tiempo de aplicación, deben ser estimadas no solo en el diseño del terreno sino también debe ser juzgado por el regador antes de cada evento de riego superficial. Aunque es posible para la nueva generación de métodos de riego superficial ser una alternativa atractiva al goteo y la aspersión, las prácticas de gestión y diseño asociados con el método superficial son mucho más difíciles de definir e implementar. Los sistemas de riego superficial son típicamente menos eficientes en la aplicación del agua que cualquier método presurizado. Muchos son situados en tierras bajas con suelos más pesados y por lo tanto, tienden a ser más afectados por anegamiento y salinidad del suelo si no existe un drenaje adecuado. La necesidad de usar la superficie del terreno como un transportador y medio de distribución requiere que los suelos estén bien nivelados, los costos de nivelación pueden ser muy altos así que este tipo de riego tiende a ser limitado para tierras que tienen pendientes inclinadas uniformes. Los sistemas superficiales necesitan mucha mano de obra, aunque la mano de obra no requiere mucho entrenamiento. Aunque para lograr altas eficiencias las prácticas de irrigación impuestas por el agricultor deben ser cuidadosamente implementadas. El recorrido del agua sobre el campo debe ser monitoreado en campos más grandes y un buen juicio es requerido para cerrar la entrada del agua al tiempo apropiado. La consecuencia de un juicio pobre es una eficiencia pobre. Otra desventaja significativa del riego superficial es la dificultad para aplicar irrigaciones frecuentes y ligeras en las etapas tempranas y tardías de desarrollo de algunos cultivos. Aun así, el riego superficial es por mucho el método de irrigación más extendido. Usualmente se utiliza cuando las condiciones son favorables: pendientes medianas y regulares, tipo de suelo con una tasa de infiltración mediana o baja y un suministro suficiente de agua. En el caso de pendientes irregulares, suelos con tasas de infiltración muy altas o escasez de agua, el goteo o la aspersión pueden ser más apropiados [18].

### 1.3.2 Riego por goteo

En el riego por goteo, el agua es aplicada a cada planta por separado en pequeñas, frecuentes y precisas cantidades a través de emisores (goteros). Es el sistema más avanzado de irrigación con la eficiencia de aplicación más alta. El agua se entrega continuamente, se mueve hacia el suelo verticalmente por la gravedad y hacia los lados por la acción capilar. El área de la planta es parcialmente humedecida. Cuando el flujo del emisor excede la ingesta de agua por el suelo, el agua se estanca en la superficie, esto ocasiona que la humedad se propague lateralmente. La tabla 1.2 muestra valores indicativos de esparcimiento lateral del agua:

**Tabla 1.2** Tipo de suelo y radio promedio de esparcimiento lateral del agua con goteros [19].

Tipo de suelo	Radio promedio de esparcimiento de agua
Textura ligera	0.30 m
Textura media	0.65 m
Textura fina	1.20 m

#### 1.3.2.1 Tipos de riego por goteo

El término riego por goteo es general, e incluye algunos métodos específicos de riego. En todos los casos, las líneas de riego aplican el agua a través de emisores usualmente cerca o sobre la planta que se desea regar. El riego por goteo subsuperficial es la aplicación de agua bajo la superficie del suelo. Los dispositivos por los cuales se aplica el agua se denominan emisores. La aplicación del agua en el riego por goteo exige una red de tuberías principales, secundarias y líneas regantes porta emisores. Los sistemas de riego localizado se dividen en riego por goteo, riego micro aspersion, riego a chorros y riego por goteo sub-superficial dependiendo de la colocación de la línea regante y el tipo de emisor, tal como se observa en la tabla 1.3

**Tabla 1.3** Tipos de riego por goteo [20].

Tipo de riego localizado	Emisor	Colocación	Caudal de emisor
Riego por goteo	Gotero	Superficie del suelo	2 a 8 litros por hora
Micro aspersion	Micro aspersor	Sobre la superficie del suelo	50 a 150 litros por hora
Riego a chorros	Difusor	A ras del suelo	100 a 150 litros por hora
Riego sub-superficial	Cinta de riego/tubos porosos	Debajo de superficie del suelo	Alrededor de 0.3 y 2.3 litros por hora

El riego por goteo es principalmente aplicado en cultivos intensivos que son plantados en hileras (vegetales, árboles frutales, melones, plátanos, papayas, flores, uvas, etc.) No es recomendado para papas, vegetales de hoja salada, cacahuates, alfalfa y otros cultivos de plantación densa, aunque en estos se puede establecer el sistema exitosamente [21].

### **1.3.2.2 Ventajas**

**Ahorro de agua:** El área a plantar es parcialmente humedecida con un control preciso de las cantidades de agua. Por lo tanto, cantidades más grandes de agua para irrigación son ahorradas y el área para irrigación puede ser expandida con el mismo suministro de agua, resultando en un ingreso mayor por unidad de agua.

**Utilización de recursos salinos.** Con el sistema de goteo, la humedad del suelo en la zona de raíz puede mantenerse constante con aplicaciones frecuentes. La sal disuelta se acumula en la periferia de la masa de tierra humedecida, y las plantas pueden obtener sus requerimientos de humedad. Esto permite el uso de agua salinizada que contenga más de 3000 mg/litro de sólidos disueltos totales (SDT), una proporción que sería inadecuada para otros métodos.

**Uso en terrenos marginales:** Pequeñas parcelas marginales irregulares, remotas por la fragmentación de la tierra con variaciones topográficas y suelo superficial lleno de piedras, puede ser productivo utilizando técnicas de riego por goteo que entregan las necesidades requeridas de agua y nutrientes directamente a la planta.

**Bajo requerimiento de mano de obra.** Hay pocos requerimientos de mano de obra, baja necesidad de control del cultivo y hierba mala, operación interrumpida.

En un sistema de riego por goteo al no haber escorrentías, se disminuye o elimina la fuga de químicos y nutrientes a otras corrientes. Hay una uniformidad en la aplicación de agua, nutrientes y sales, lo que conlleva a un mayor crecimiento, calidad y rendimiento del cultivo. Se disminuyen las enfermedades y presencia de hongos en la planta debido a la disminución de la humedad, el sistema incluso se puede usar en algunos tipos de fumigación de la tierra. Con la aplicación más precisa de fertilizantes y pesticidas, aumenta la eficacia de estos y por tanto la reducción de su uso.

El potencial de vandalismo es disminuido con sistemas de riego por goteo comparado contra el sistema de aspersión, esto debido a que la mayoría de los componentes son de plástico y no están mecanizados. Además que por su material están menos sujetos a la corrosión del ambiente. La elaboración del diseño es más flexible ya que se ajusta a la forma y tamaño del campo, en contraste con los sistemas de aspersión por pivote central. La longevidad económica del sistema puede ser muy larga si es bien diseñada y administrada, amortiguando los costos de inversión inicial por algunos años. Por último, se presenta menos daño por plagas y animales salvajes que con otros sistemas, sin embargo, esto contrasta con el hecho de que las plagas en sistemas por goteo pueden ser más difíciles de detectar y reparar.

En áreas secas, disminuye la germinación y crecimiento de la hierba mala. Los tiempos de cultivo pueden alargarse, ya que no es necesario desinstalar el sistema entre cosechas.

Los factores climáticos dejan de ser un factor importante para la longevidad del sistema. Hay menos equipo expuesto a daños, el esfuerzo de los obreros para trabajar en tierra seca, es menor. Las características de aplicación que reducen la variabilidad en la distribución de agua y nutrientes, hacen al sistema un candidato ideal para la automatización y controles avanzados de irrigación. Los sistemas de riego por goteo utilizan menor presión de operaciones y consumo de agua que el sistema de riego aspersión [22].

### **1.3.2.3 Desventajas**

Alto costo de inversión inicial. Una buena administración del riego es esencial para una hábil operación del sistema, aplicación de fertirrigación y mantenimiento del equipo de control principal (filtros, inyectores de químicos, etc.)

Bloqueos de emisores. La primera limitación en la introducción exitosa de las técnicas de irrigación por goteo en países en desarrollo es el taponamiento mecánico debido a la insuficiente filtración de impurezas en el agua de irrigación [23].

### **1.3.3 Riego por aspersión**

El sistema de riego por aspersión es un método de aplicación de agua similar a la lluvia natural. El agua es distribuida a través de un sistema de tuberías usualmente por bombeo. Después es

rociada al aire a través de aspersores para romperse en pequeñas gotas de agua que caerán al suelo. Existen varios tipos de riego por aspersión, sin embargo todos los sistemas de aspersión deben contar con una bomba, tuberías y ramales o laterales y aspersores. La bomba, accionada por un motor eléctrico o de combustión alimenta al sistema con la presión necesaria para el funcionamiento de los aspersores, las tuberías conducen el agua desde la bomba a las tuberías secundarias y de estas a los ramales o aspersores.

Los sistemas pueden ser portables, de movimiento lateral, circular o frontal, así como de posición permanente., tal como se muestra en la tabla 1.4.

**Tabla 1.4** Tipos de sistemas de riego por aspersión [24].

Sistema de riego	Tipo	Subtipo de sistema
Estacionarios	Móviles semifijos	Tubería móvil (manual o motorizada)
	Fijos	Tubería fija
		Permanente (enterrada)
		Temporales (área)
Desplazamiento continuo	Regantes desplazables	Pivote
	Aspersor gigante	Avance frontal
		Ala sobre carro
		Cañón viajero

Debido a las variantes tecnológicas del riego por aspersión este método puede ser apropiado para la mayoría de los cultivos y se adapta a casi todos los suelos regables ya que los aspersores tienen una gama amplia de características y de capacidades.

Tomando en cuenta la tecnología actual y los métodos de riego disponibles, una gran cantidad de consideraciones deben ser previstas en la selección de un sistema de riego. Esto variara de locación a locación, cultivo a cultivo, año a año y agricultor a agricultor. En general estas consideraciones incluirán la compatibilidad del sistema con otras operaciones en la parcela, factibilidad económica, propiedades topográficas y del suelo, características del cultivo y restricciones sociales.

### 1.3.1.1 Compatibilidad de sistemas de riego al entorno

Es necesario elegir un sistema de irrigación antes de que el diseño, el equipamiento y la instalación de un sistema proceda. Para hacer una elección apropiada en la selección del sistema, se debe considerar tanto al contexto ambiental donde el sistema funcionara como las

capacidades y limitaciones de todas las alternativas potenciales. Existe cantidad de autores que presentan factores de elección de un sistema, a continuación se mencionan algunos ejemplos (Brouwer, Schwab, Solomon, Vieira). Por ejemplo, la tabla 1.5 menciona los factores que influyen en la idoneidad para la elección de un sistema de riego según el manual de entrenamiento de irrigación publicado por FAO.

**Tabla 1.5** Factores de idoneidad para la elección de un sistema de riego [25].

<b>Criterios</b>	<b>Factores</b>
<b>Condiciones naturales</b>	Tipo de suelo
	Pendiente del suelo
	Clima
	Disponibilidad del agua
	Calidad del agua
<b>Tipo de cultivo</b>	Valor del cultivo
	Densidad del cultivo
<b>Tipo de tecnología</b>	Disponibilidad de capital de inversión
	Disponibilidad de “know-how”
	Disponibilidad de refacciones
<b>Experiencia previa con irrigación</b>	Resistencia al cambio
<b>Requerimientos de insumos para labores</b>	Disponibilidad de maquinaria y mano de obra
<b>Costo beneficio</b>	Costos de construcción, instalación, operación y mantenimiento en comparación con los beneficios esperados

Desde un enfoque que caracteriza la tecnología de riego, la tabla 1.6 valora la idoneidad del sistema de riego en función del sitio y la situación.

**Tabla 1.6** Elección de un sistema de riego en función de sitio y situación [26].

Sitio y situación	Sistemas superficiales rediseñados	Inundación nivelada	Movimiento mecánico intermitente	Movimiento mecánico continuo	Equipo sólido y permanente	Emisores y tubos porosos
Tasa de infiltración	Moderado a bajo	Moderado	Todos	Mediano a alto	Todos	Todos
Topografía	Pendientes moderadas	Pequeñas pendientes	Nivelado a ondulado	Nivelado a ondulado	Nivelado a ondulado	Todos
Cultivo	Todos	Todos	Generalmente cultivos de poca altura	Todos menos árboles o viñedos	Todos	Alto valor requeriré
Fuente de agua	Grandes caudales	Caudales muy grandes	Pequeños caudales casi continuos	Pequeños caudales casi continuos	Pequeños caudales	Pequeñas corrientes, continuo
Calidad del agua	Todo menos agua muy salada	Toda	Agua salada puede dañar al cultivo	Agua salada podría dañar a las plantas	Agua salada podría dañar a las plantas	Toda, potencial de usar agua con alto nivel de sale
Eficiencia	Promedio 60-70%	Promedio 80%	Promedio 70-80%	Promedio 80%	Promedio 70-80%	Promedio 80-90%
Requerimientos de labores	Alto, entrenamiento requerido	Bajo, poco entrenamiento	Moderado, poco entrenamiento	Bajo, poco entrenamiento	Bajo a alto en temporadas, poco entrenamiento	Bajo a alto, algún entrenamiento
Requerimiento de capital	Bajo a moderado	Moderado	Moderado	Moderado	Alto	Alto
Requerimiento de energía	Bajo	Bajo	Moderado a alto	Moderado a alto	Moderado	Bajo a moderado
Requerimiento de administración	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado a alto	Moderado	Alto
Operaciones con maquinaria	Terrenos medianos a grandes	Terrenos cortos	Tamaño de la mitad del terreno, poca interferencia	Algunas interferencias, terrenos circulares	Poca interferencia	Puede haber interferencia
Duración de uso	Corta a larga	Largo	Corto a mediano	Corto a mediano	Largo plazo	Largo plazo, duración varia
Clima	Todos	Todos	No recomendado en climas ventosos	Mejores en condiciones lluviosas que otros sistemas de aspersion	Condiciones ventosas bajan el rendimiento	Todos
Aplicación de químicos	Regular	Buena	Buena	Buena	Buena	Muy buena

La tabla 1.7 presenta una guía exhaustiva de criterios para seleccionar un sistema de irrigación donde se hacen consideraciones físicas, económicas y sociales para determinar la elección del sistema de riego idóneo.

**Tabla 1.7.** Criterios de selección de un sistema de riego [27].

Consideraciones físicas	Consideraciones económicas	Consideraciones sociales
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cultivos y prácticas culturales</li> <li>• Suelos Textura, profundidad y erosión potencial</li> <li>• Salinidad y drenaje interno</li> <li>• Resistencia del suelo</li> <li>• Topografía- Pendientes e irregularidades</li> <li>• Suministro de agua</li> <li>• Fuente y programación de entrega</li> <li>• Cantidad disponible y confiabilidad</li> <li>• Calidad del agua – químicos y solidos suspendidos</li> <li>• Clima</li> <li>• Valor y disponibilidad de terreno</li> <li>• Restricciones de límites y obstrucciones</li> <li>• Peligro de inundación</li> <li>• Nivel de capa freática</li> <li>• Plagas</li> <li>• Disponibilidad y confiabilidad de energía</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capital de inversión requerido</li> <li>• Disponibilidad de créditos y tasas de interés</li> <li>• Vida del equipo y costos anualizados</li> <li>• Costos e inflación:</li> <li>• Energía, operación y mantenimiento</li> <li>• Mano de obra para todos los niveles de habilidad</li> <li>• Supervisión y administración</li> <li>• Factores de eficiencia</li> <li>• Flujos de caja</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Asuntos legales y políticos</li> <li>• Cooperación y soporte local</li> <li>• Disponibilidad y confiabilidad de mano de obra</li> <li>• Mano de obra disponible con habilidades y conocimientos</li> <li>• Expectativas locales y gubernamentales</li> <li>• Nivel de automatización deseado</li> <li>• Daño potencial por vandalismo</li> <li>• Asuntos relacionados con salud publica</li> </ul>

Asimismo, un estudio del desarrollo del micro riego en América Central sugiere el comportamiento aproximado de los distintos métodos de riego en relación a atributos de sostenibilidad, dicha valoración se presenta en la tabla 1.8. Generalmente, se observa el riego por gravedad como el más riesgoso e ineficiente en términos ambientales y sociales, pero más conveniente en términos económicos, caso contrario se presenta con el riego goteo y aspersión.

**Tabla 1.8** Comportamiento de sistemas de riego en función de indicadores de sostenibilidad [28].

Indicadores de sostenibilidad	Sistema de riego		
	Inundación por surcos	Aspersión	Goteo
Inversión inicial	Baja	Mediana	Alta
Utilización de la mano de obra	Alta	Mediana	Baja
Riesgo de erosión en zona de laderas	Alto	Mediano	Bajo
Necesidad de energía para distribuir el agua	Baja	Alta	Mediana
Consumo de agua	Alto	Mediano	Bajo
Control de consumo de agua	Alto	Bajo	Bajo
Transmisión de enfermedades	Alta	Alta	Baja
Posibilidades de generar conflicto por el agua	Alto	Mediano	Bajo
Riesgo de ineficiencia energética	Alto	Mediano	Bajo
Posibilidades de consumo de plaguicidas	Alta	Alta	Baja

Aunque no todos los criterios y consideraciones tienen la misma significancia, el discurrir todas las posibilidades puede servir como una lista de verificación que impedirá pasar por alto factores importantes en la valoración de los sistemas de riego.

#### **1.4 Antecedentes de la agricultura en el Valle de Mexicali**

A principios del siglo XX, encontramos un Valle agrícola prácticamente virgen. En un principio, existía una agricultura rudimentaria practicada por las tribus semi-nomadas que habitaban esta región, estas tierras producían un cáñamo silvestre que servía como alimento para el ganado, por lo que fue medio de subsistencia para algunos ganaderos de la época.

La expansión del capitalismo en el suroeste de Estados Unidos así como las reformas que incorporaron el uso de las tierras al mercado, fueron factores que generaron las condiciones para el surgimiento de la región agrícola en el Delta del Río Colorado. Desde un principio, el capital extranjero, la mano de obra migrante y la racionalidad empresarial fueron factores que moldearon la agricultura en Baja California. Por sus características topográficas, las aguas del río Colorado permitieron la formación de terrenos aluviales sumamente ricos, desde finales del siglo XIX se comenzaron estudios para aprovechar el agua del Río Colorado, descubriéndose que entre el Río y el Valle Imperial había grandes dunas que impedían el paso del canal de riego según la tecnología de la época, estas circunstancias obligaron a bajar el canal por México a través del rancho de los algodones, recorrer 40 KM al oeste y reingresarlo a Estados Unidos por donde hoy es Calexico, con la condición de destinar la mitad de las aguas que por ahí pasaran a lo que hoy es el Valle de Mexicali [29]. La agricultura del Valle de Mexicali creció a la par de su vecino en el Valle Imperial. Desde inicios del siglo XX las tierras fueron trabajadas por inmigrantes chinos, japoneses e hindúes con comisión de empresas estadounidenses, durante este periodo se afianzo el cultivo algodonero y la producción agrícola en el Valle se convirtió prácticamente en un monocultivo. La relación de vecindad con el Valle Imperial californiano favoreció el fácil acceso a la tecnología moderna, especialmente a los agroquímicos. Del lado mexicano, la adopción de nuevos plaguicidas y fertilizantes que aparecieron en los valles estadounidenses se presentó de manera casi inmediata, sobre todo en los cultivos de exportación. Posteriormente a finales de los años 30, se presentó un movimiento local de invasión de tierras, denominado “Asalto a las tierras” apoyado por el entonces presidente Lázaro Cárdenas, con lo que se adoptó la propiedad ejidal sobre la

propiedad privada, las tierras fueron entregadas a los antiguos jornaleros migrantes y campesinos mexicanos que laboraban para las empresas extranjeras. Sin embargo, el capital extranjero no abandono sus intereses, sino que utilizo la instalación de empresas refaccionadoras que otorgaban créditos e insumos a cambios de las cosechas para continuar su dominio. Por su parte, el gobierno mexicano realizo un fuerte apoyo en infraestructura y tecnología a los nuevos productores, asimismo comenzaron a fluir créditos y apoyo técnico: se realizó la constitución y rehabilitación del distrito de riego. La producción agrícola del Valle de Mexicali llego a niveles sin precedente, en ese tiempo se llegó a denominar al algodón como “el oro blanco” por la actividad que desplegaba en capital y mano de obra. Sin embargo, en el periodo de los años sesenta la producción algodonera del Valle de Mexicali entro en una aguda crisis sin retorno aunada a diversos factores como nuevos competidores a nivel mundial, el surgimiento de fibras sintéticas, además de un serio problema de salinidad en las tierras que tuvo repercusiones en la fertilidad de los suelos. Ante tal situación, la inversión extranjera decidió abandonar la inversión en este cultivo. Estas circunstancias provocaron una diversificación de cultivos donde el trigo, los forrajes y las hortalizas comenzaron a tener auge para los productores locales. Posteriormente, en los años 80 la apertura comercial del TLC y el retiro de apoyos gubernamentales a la producción agrícola, empeoraron la situación agrícola del valle Mexicalense y las tierras comenzaron a ser rentadas en forma masiva al capital privado y extranjero. En la actualidad, la producción de cultivos agrícolas se encuentra diversificada y continua teniendo una tendencia hacia la exportación [30], [31].

La tabla 1.9 muestra una síntesis de acontecimientos que moldearon las prácticas agrícolas desde los inicios de la agricultura en el Valle de Mexicali hasta la actualidad.

**Tabla 1.9** Síntesis de la evolución de la agricultura en el Valle de Mexicali.

<b>Año o periodo</b>	<b>Acontecimiento</b>
Fines de siglo XIX	Tierras prácticamente vírgenes
1901	Apertura de la compuerta del canal Álamo, que abastece agua del Rio Colorado al Valle de Mexicali
1904	Inicio de trabajos para la introducción de un tramo de ferrocarril que cruzaría del condado Imperial a el poblado de Mexicali
1905	Compra de 225,408 hectáreas por parte de la Colorado River Company
1907	Colorado obtiene control legal sobre la mayor parte de las tierras de la región
1912	Implantación de monocultivo de algodón, no existían plagas ni enfermedades que representaran un verdadero peligro para las cosechas
1914	Primera guerra mundial, aumenta demanda de algodón y llegada de inmigrantes chinos
1916	Inicio de la diversificación productiva, surgen las primeras despepitadoras de algodón, agencias

	aduanales y compañías bancarias. Compañías trasnacionales de capital estadounidense que controlaban los medios de producción (tierra, agua, infraestructura)
1925	Comienzan a manifestarse problemas graves de plagas
1937	Asalto a las tierras, apoyos en infraestructura y tecnología a nuevos productores Constitución y rehabilitación del distrito de riego
1948 – 1965	El valle seguía más integrado al mercado de estados unidos que al nacional, El control del agua seguía en manos de una empresa extranjera y los créditos continuaron otorgándolos en su mayoría a empresas refaccionarias. Obras de riego y drenaje en Arizona para eliminar salinidad conducen agua salina por canales revestidos al cauce del rio Gila tributario del Colorado, con lo que contaminan el suministro de agua de riego del Valle de Mexicali donde la concentración de sales alcanza 3,000 partes por millón. Guerra de corea aumenta el precio en el algodón, devaluación del peso hace más competitivo al algodón en el mercado mundial, continua monocultivo algodonnero Se introdujo un modelo de desarrollo a nivel nacional que daba prioridad a la industrialización por medio de la sustitución de importaciones y el desarrollo agrícola de alta tecnología, marginando a las explotaciones campesinas La estructura agraria prefiere a los agricultores de parcela individual, fracasa el cultivo de tierra en forma colectiva Se experimentaron los más grandes promedios de inmigración y crecimiento en toda la historia de la región con tasas de crecimiento de 9.4% anual
1965-1980	Crisis de la producción algodonnera Se presenta salinidad de las tierras Nuevas plagas comenzaron a adquirir resistencia y plagas endémicas se convierten en un problema Apoyos del estado a la Agricultura canalizando recursos para la introducción de otros cultivos, Hortalizas y frutales aparecen de forma masiva En los años setenta crece inversión estadounidense para contratos de producción de hortalizas Se inicia la agricultura por contrato, donde las empresas suministran créditos, asistencia técnica, insumos y maquinaria agrícola a cambio de compromiso de entrega de la cosecha por parte del productor Uso desmedido de nuevos productos plaguicidas ocasionan la destrucción de gran parte de la fauna benéfica que contribuye al combate de plagas
1980- Actualidad	Nuevas tendencias de reestructuración productiva y modelos competitivos para aumentar la competitividad a nivel global Auge de la agro-maquila, agricultura por contrato Uso intensivo de mano de obra e insumos más industrializados externos a los ecosistemas agrícolas Utilización extraordinaria de insumos químicos que permiten mayor fertilidad a la tierra Procesos de trabajo flexibles que incluyen mano de obra femenina e infantil Créditos ineficientes e inoportunos Caída de los precios de algodón, contracción de la demanda forrajera Contaminación salina por falta de rehabilitación de las tierras Ineficiencia del uso del agua

De la tabla 1.9 se puede observar que en este lapso de tiempo se han presentado cambios en las condiciones del entorno y los modelos de producción, sin embargo, las prácticas agrícolas no han cambiado mucho.

A continuación se describe el Valle de Mexicali mencionando características ambientales, geográficas, la infraestructura y recurso agua disponible y se mencionan brevemente las políticas de servicio para los usuarios de agua agrícola, entre otros datos.

#### **1.4.1 Características del entorno**

El Valle de Mexicali se encuentra localizado en el extremo noreste del estado mexicano de Baja California y está conformado por el delta del río Colorado, se extiende desde la México hasta el delta del río en el Golfo de California, y desde el mismo río hasta la Sierra de Juárez; al otro lado de la frontera, en Estados Unidos, en valle recibe la denominación de Valle Imperial.

El Valle de Mexicali fue originalmente una de las zonas desérticas más secas de la región, es aún uno de los sitios donde se registran las más altas temperaturas en México, se encuentra surcado en diversos puntos por campos de dunas, como las Dunas de Los Algodones, en sentido norte sur lo surca la Sierra de Cucapáh, al oeste de la cual se encuentra el vaso de la Laguna Salada y cuyo extremo norte lo forma el cerro de El Centinela, que es el símbolo de la región. Históricamente fue una de las zonas más aisladas y poco pobladas de México, a inicios del Siglo XX se dieron los primeros esfuerzos de colonización, pero fue sobre todo a partir de la década de 1940 en que se realizaron en conjunto con Estados Unidos, grandes obras de irrigación aprovechando el caudal del río Colorado y conllevó al desarrollo de la agricultura y la creación de numerosos ejidos que el día de hoy son importantes centros de población, con agricultores que, desde todo el país, emigraron hacia el Valle de Mexicali.

En Mexicali, el uso agrícola es el mayor consumidor de agua seguido por la industria y el sector servicios con un consumo de 3.145 Hm<sup>3</sup>, 255 y 28 Hm<sup>3</sup> respectivamente. Sin embargo, la participación en el PIB representa un 3% para la agricultura, 63% para el sector industrial y 34% para el sector de servicios. El valle de Mexicali es parte del distrito de riego 14 SRLC, el cual está conformado por varias superficies delimitadas y dentro de cuyo perímetro se ubican las zonas de riego. El distrito 014 integra 211625 ha de las cuales corresponden 181,318 ha al Valle de Mexicali.

El Valle de Mexicali tiene una superficie de 3709 km<sup>2</sup> aproximadamente, físicamente se encuentra delimitado al Oriente por el Río Colorado, al Poniente por las formaciones serranas (Sierra Cucapáh, Sierra el Mayor y Cerro el Centinela) y al Norte por la mesa arenosa sobre la

que se encuentra la frontera con Estados Unidos. Presenta una superficie casi plana, con altitudes de poco más de 40 metros sobre el nivel del mar (msnm) en la desembocadura del Río Colorado que hacia el Valle va disminuyendo progresivamente, hasta alcanzar el abanico aluvial de la Sierra Cucapáh (bajada) [32]. .

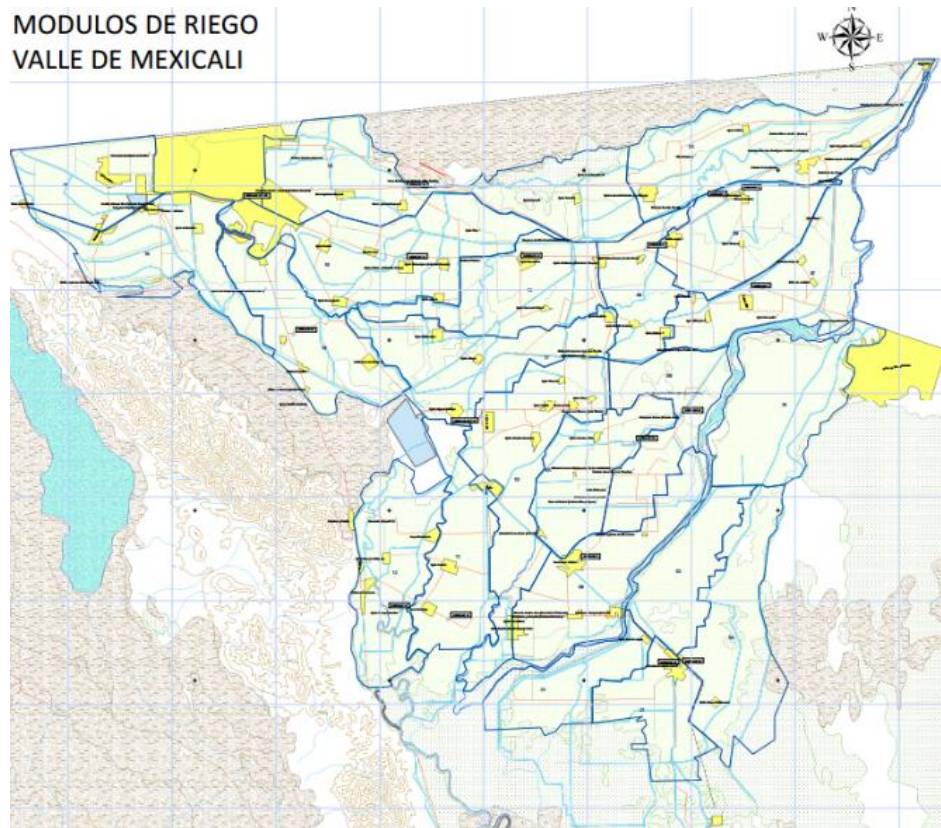
El Valle de Mexicali presenta un clima desértico cálido (BWh), de acuerdo con los criterios de clasificación climática de Köppen por sus precipitaciones anuales muy bajas promedio de 132 mm en promedio [33]. Una pendiente suave en dirección sur de 4°. El suelo predominante es de textura medias o francas con 50.8%, ligeros o arenosos con 33.6% y 15.6% de ligeros o arcillosos [34]. El organismo gubernamental encargado de distribuir el agua que viene del Río Colorado, a través de la presa derivadora Morelos, es la Comisión Nacional del agua (CONAGUA) a través el Distrito de riego 014 Río Colorado, este se divide en 22 módulos de riego.

#### **1.4.2 Infraestructura hidráulica y precio del agua**

Como se mencionó anteriormente, el Valle de Mexicali se abastece de agua proveniente del Río Colorado, de acuerdo a un tratado celebrado en 1944 entre México y Estados Unidos por la Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA) el cual dicta que 20361 millones de metros cúbicos (Mm<sup>3</sup>) de las aguas presentes y futuras del Río se destinarían para su uso en las cuencas altas y bajas de Estados Unidos y 1,850 Mm<sup>3</sup> corresponderían a México en condiciones normales y 2,096 millones de m<sup>3</sup> en caso de existir excedentes [35].

El organismo gubernamental encargado de distribuir el agua que viene del Río Colorado, a través de la presa derivadora Morelos, es la Comisión Nacional del agua (CONAGUA) a través el Distrito de riego 014 Río Colorado, este se divide en 22 módulos de riego cuya distribución en el Valle se muestra en la figura 1.1. Las actividades de los módulos de riego comprenden las funciones de distribución de agua de riego, conservación y mantenimiento de obras, asesoramiento al usuario en aplicación eficiente del riego y trabajo administrativo. Cada permiso de riego dispone de una dotación de 117 litros por segundo en 24 horas (l/s/24h) por hectárea a un precio promedio de 11.50 pesos, es posible adquirir agua adicional a un precio promedio de 18.65 pesos, donde 1.0 l/s/24h equivale a 86400 litros del líquido vital. El agua se reparte a los usuarios a través de una red mayor de 440.168 km de canales de los cuales el 70%

está revestido; estos se reparten en los 22 módulos de riego a través de una red de canales secundarios cuya longitud total es de 2,239.38 km. El DDR014 comprende la porción noreste del Estado de Baja California y noroeste de Sonora y atiende a un padrón aproximado de 16,500 usuarios [36].



**Figura 1.1** Ubicación de módulos de riego del Valle de Mexicali [37]

Además, se cuenta con volúmenes del subsuelo en la zona noreste del Valle de Mexicali y norte del valle de San Luis Río Colorado Sonora de los cuales se pueden extraer 700 millones de metros cúbicos anuales de los cuales 500 millones son para pozo federal y 200 millones para pozo particular.

Las pérdidas de agua por infiltración en canales no revestidos con capacidad de conducción menor de un metro cubico por segundo alcanzan los 17l/s/km y en canales con capacidades de conducción mayor es de 23 l/s/km. En el nivel parcelario, el riego por gravedad logra una eficiencia en la aplicación de agua de alrededor del 71%, considerando la perdida en los canales

resulta en una eficiencia total del 56%, es decir, solo alrededor de la mitad del agua que viene del Rio Colorado es aprovechado por el cultivo [36].

### **1.4.3 Producción de alfalfa en el Valle de Mexicali**

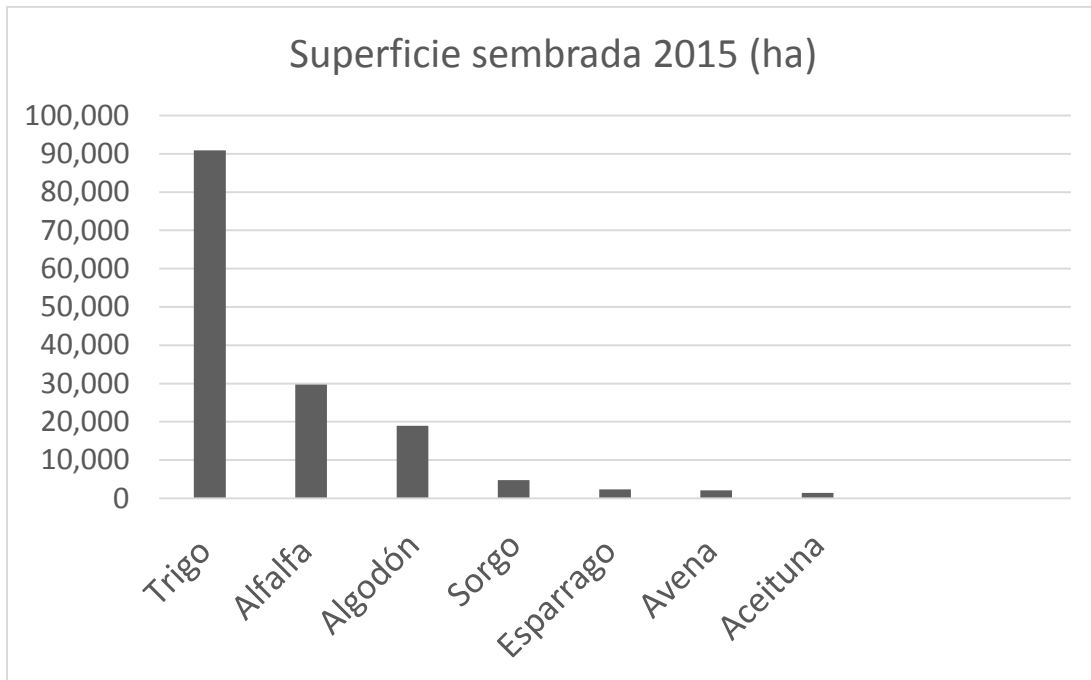
El valle de Mexicali mantiene una importante producción de alfalfa, forraje que por su valor proteínico es la principal fuente de alimentación de ganado lechero así como otras especies pecuarias como las ovejas, cabras y caballos en Baja California [38].

Según las series estadísticas agrícolas del portal de internet de OEIDRIUS [39] en el periodo 2003-2015 el forraje ha tenido un promedio de 29739 hectáreas sembradas, con un rendimiento promedio de 14.89 ton/ha de heno. El precio medio rural, ha presentado un incremento constante con un precio por tonelada de 1100 pesos en el año 2003 hasta 2540 pesos en el año 2015. Hacia el 2012, el destino de comercialización fue de 19% para exportación, comercialización a otras entidades de 21% y 60% para el consumo local [40].

En el censo agropecuario de llevado a cabo por la INEGI en el 2007, de 3485 sistemas productivos operando en Mexicali, solo 22 contaban con riego por goteo, 25 con riego por aspersión y el restante riego por gravedad [41]. Hablando en términos de superficie, hacia el 2012 en 161,045.49 hectáreas sembradas el uso de sistemas de riego fue del 3.9% de gravedad y goteo, 93.4% de gravedad. 1% de aspersión y goteo y 0.8% de solo goteo [42].

### **1.4.4 Estimación de cultivos con mayores consumo de agua**

En el Valle de Mexicali se produce alrededor del 97% de la alfalfa de Baja California. Sin embargo existe una diversidad de hortalizas, granos y forrajes. La figura 1.2 muestra los principales cultivos por superficie sembrada en hectáreas para el año 2015, por mencionar alguno.



**Figura 1.2.** Principales cultivos por superficie sembrada en el Valle de Mexicali en el 2015 según series estadísticas de OEDRIOUS [26]

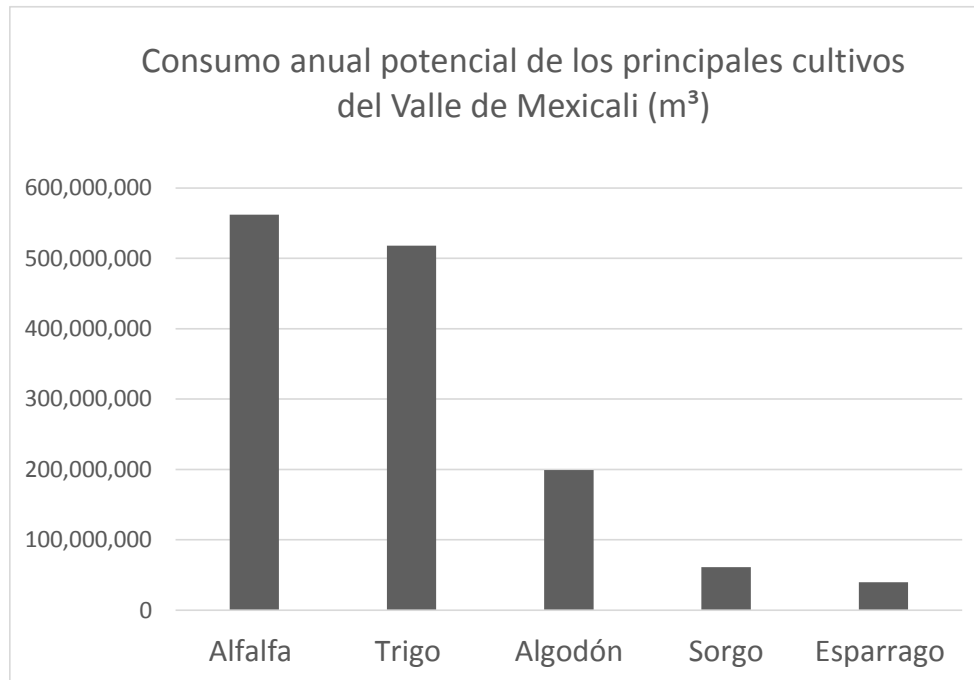
En base a las necesidades hídricas del cultivo y la evotranspiración de la región proporcionados por INIFAP [43], se estima que las necesidades hídricas de riego de la alfalfa equivalen a una lámina de 189 cm anuales. Para calcular el volumen de agua requerido, se utiliza la fórmula:

$$\text{Volumen de agua} = \text{Lamina de riego (m)} \times \text{Área (m}^2\text{)}$$

Por ejemplo la alfalfa requiere 189 cms anuales, los cuales equivalen a 1.89 m. Sabiendo que una hectárea equivale a 10,000 m<sup>2</sup>, el consumo potencial de la alfalfa puede calcularse con la fórmula:

$$\text{Consumo de agua potencial anual de la alfalfa} = 1.89 \text{ m} \times 297390000 \text{ m}^2 = 562,067,100 \text{ m}^3$$

De esta manera se hace una estimación del consumo de agua anual de un cultivo, la figura 1.3 muestra los principales consumidores potenciales de agua calculados según estos criterios.



**Figura 1.3** Consumo potencial de agua de los principales cultivos del Valle de Mexicali en el año 2015.

La alfalfa es el cultivo con mayores requerimientos hídricos, tomando en cuenta que es un cultivo perenne y se riega casi todo el año. Por tal razón, cada hectárea de alfalfa con riego por goteo representa un ahorro potencialmente mayor que otros cultivos.

### 1.5 La sustentabilidad

Como se mencionaba anteriormente, una primera conceptualización general de desarrollo sostenible o sustentabilidad fue ampliamente difundida en la Estrategia de Conservación Mundial. “Satisfacer las necesidades de las presentes generaciones sin comprometer la satisfacción de las necesidades de las futuras generaciones”. [4] Aunque esta definición obtuvo cierta autoridad entre otras definiciones, en la actualidad la literatura del desarrollo sostenible muestra gran variedad de definiciones y conceptos, se han observado hasta 300 definiciones de sustentabilidad [44]. Al hablar de sustentabilidad, es importante aclarar si la definición utilizada se adhiere al concepto de sustentabilidad débil o fuerte, ya que estos conceptos definen la ideología o contexto en el que se discute la sustentabilidad.

### **1.5.1 Sustentabilidad débil vs Sustentabilidad fuerte**

En el campo de la economía, la búsqueda de una definición operativa de desarrollo sustentable ha llevado a la creación de los conceptos de sustentabilidad débil y fuerte. La sustentabilidad fuerte se dirige a los bienes naturales como proveedores de funciones que no son sustituibles por el capital humano. Estas funciones, etiquetadas como “bienes naturales críticos”, tienen énfasis en definir la sustentabilidad como dejar a las futuras generaciones un inventario de bienes naturales que no sea menor que el que disfrutamos en la actualidad. Eso es, ver la sustentabilidad en términos de bienes naturales que no disminuyen. En la otra cara de este concepto, está el concepto de sustentabilidad débil, el cual dice que una economía es considerada sustentable si sus tasas de ahorro son mejores que la tasa de depreciación combinada de bienes naturales y capital humano. Bajo esta noción, la sustentabilidad equivale a un inventario de capital que no disminuye. Este concepto es referido como “débil” ya que no existen restricciones en el grado de sustentabilidad entre bienes naturales y capital humano, por lo tanto los bienes naturales no reciben consideraciones especiales [45].

En este contexto, el capital se define como “bienes que proveen utilidad actual y futura” y el capital natural se define como la naturaleza en su totalidad, es decir, recursos, plantas y ecosistemas que pueden ser utilizados por el humano. El capital hecho por el humano incluye fábricas, maquinaria e infraestructura. Un tercer tipo de capital se refiere el capital humano, este difiere del capital hecho por el humano ya que es visto como conocimiento [46].

### **1.5.2 Las dimensiones de sustentabilidad débil y fuerte**

Aunque los conceptos de sustentabilidad débil y fuerte fueron fundados de la economía (Solow 1974 [47] Hartwick 1977 [48]) existe una variedad de valores, éticos y filosóficos, que se asocian a estos conceptos. Estos conceptos se resumen en la tabla 1.10.

**Tabla 1.10** Conceptos de sustentabilidad débil y fuerte. [49].

	Orientación a la tecnología		Orientación a la ecología	
	Cuerno de la abundancia	Complaciente	Comunal	Ecología profunda
Etiquetas de sustentabilidad	Muy débil: Modificación de estructuras existentes; aparentemente superficiales y cambios menores	Débil: Algunos procesos cambian, se trata con problemas menos tangibles	Fuerte: El sistema cambia como un todo. Examina el sistema como un solo elemento.	Muy fuerte: Cambio cultural externo e interno así como modificación del sistema
Etiquetas “Verdes”	Explotación de recursos, posición orientada al crecimiento	Conservacionista de recursos, enfoque administrativo	Posición de preservar recursos.	Posición extremista de preservación de recursos
Ética	Apoyo a los derechos de razonamiento ético tradicional e interés en el valor instrumental de la naturaleza para el individuo contemporáneo	Extensión de razonamiento ético, “preocuparse por los demás”, la equidad intergeneracional, y naturaleza son valorados como instrumentos	Otra extensión de razonamiento ético, intereses colectivos están por encima de intereses individuales.	Aceptación de la bioética. Valor intrínseco de la naturaleza (valiosa por derecho propio)
Tipo de economía	Economía anti-verde, mercado sin restricciones	Economía verde y mercados verdes guiados por incentivos económicos	Economía verde profunda, opuesta al crecimiento poblacional y económico	Economía verde muy profunda, altamente regulada para minimizar la toma de recursos

La presente evaluación tiene un enfoque “débil” o “complaciente” de acuerdo a los criterios mencionados.

### 1.5.3 Enfoques recientes para la evaluación de la sustentabilidad

Existe cantidad de artículos y publicaciones en materia de evaluación de la sustentabilidad, esto habla de cómo el tema se ha vuelto de interés para investigaciones y debates alrededor del mundo. Particular interés se ha tomado en los indicadores de sustentabilidad, una cantidad considerable de publicaciones intentan definir un conjunto de indicadores para aspectos ambientales, económicos y en menor medida, sistemas sociales, en diferentes escalas y nivel de detalle. Otro grupo de metodologías de evaluación están basadas en la determinación de índices de sustentabilidad, donde la información relevante a sistemas sustentables es agregada o sintetizada en un valor numérico. La tabla 1.11 muestra algunos ejemplos de enfoques de medición de la sustentabilidad.

**Tabla 1.11** Ejemplos de enfoques de medición de sustentabilidad.

<b>Enfoque</b>	<b>Autor</b>	<b>Explicación</b>	<b>Comentarios</b>
Índices de sustentabilidad	Harrington (1992)	Usar un índice denominado factor de productividad total, obtenido calificando todas las entradas y salidas del sistema en términos económicos y ambientales a corto y largo plazo	No toma en cuenta factores culturales y sociales, dificultad para convertir factores ambientales en términos monetarios
	Taylor et al. (1993)	Determinar un índice de sustentabilidad en función de las estrategias adoptadas por cada agricultor que influyen en la sustentabilidad del sistema (control de plagas, control de erosión, conservación del suelo)	Dificultad para medir valores para las diferentes variables sobre estudio, para convertirlas a la misma unidad de medida
Marco de evaluación basados en indicadores	Camino y Müller (1993) Müller (1995)	Metodología sistemática para derivar indicadores definidas en categorías de análisis: Recursos base del sistema, operación de sistema, recursos externos al sistema, operación de recursos externos al sistema.	No incluye una estrategia para analizar e integrar los resultados obtenidos de los indicadores.
	FESLM definido por la FAO (1994)	Estrategia para el análisis comprensivo del manejo de sistemas, incluyendo los aspectos económicos y sociales que determinan su comportamiento. Operacionalmente se define en 5 pasos.	Siendo un enfoque universal para cualquier escala espacio temporal, se presta a la subjetividad del analista.

Como se puede observar en la tabla 1.11, la característica que asemeja a ambos enfoques es que ambos se basan en la recopilación cualitativa o cuantitativa de valores o índices que describen el estado de cada elemento del objeto de evaluación y posteriormente ponderar dichos valores para su comparación o análisis. Asimismo se observan diferencias entre metodologías y enfoques, tales como el énfasis de la evaluación hacia un análisis holístico o enfocado en determinados aspectos ambientales, alcance del análisis, por mencionar algunos.

Los enfoques actuales para la evaluación de la sostenibilidad se pueden clasificar en cuatro grupos:

1. *Enfoques que tratan de valorar los costos ambientales en el marco de las cuentas nacionales*, donde los costos ambientales forman parte del presupuesto de la nación.
2. *Análisis de impacto ambiental*. La mayor parte de los AIA, tales como los procedimientos usados por las instituciones financieras internacionales y las agencias a cargo de llevar a cabo proyectos de desarrollo, usan una matriz de evaluación cualitativa. En un lado de la matriz, se enumeran los factores que podrían producir impactos ambientales negativos, mientras que el otro lado presenta las características ambientales que podrían ser afectadas [50]. El evaluador tiene que decidir cuales factores y efectos son relevantes.
3. *Elaboración de modelos ecológicos económicos*. Si se considera que la economía está inserta en el ambiente y que hay numerosas interacciones entre los sistemas económicos y ecológicos, los actuales modelos económicos de decisión pueden ser combinados con modelos ecológicos en los cuales se simulan diversos procesos ambientales (erosión, nitrificación) [51].
4. *Indicadores*. Durante las últimas dos décadas, un cierto número de países comenzaron a elaborar estadísticas ambientales con el fin de definir indicadores. De acuerdo con Adriansee [52], los indicadores son una herramienta útil y ventajosa. Esto es, un indicador de sostenibilidad es un número o una cualidad que pone de manifiesto el estado o condición de un proceso o fenómeno dados en relación con la sostenibilidad.

Los cuatro enfoques tienen sus justificaciones y satisfacen diversas necesidades de información. Los indicadores, sin embargo, tienen un uso más general. Se pueden definir con diferentes grados de precisión y agregación de acuerdo con el objetivo de análisis y las bases de datos disponibles. Los indicadores pueden también definirse a niveles de inferior jerarquía, así, proveen información de la manera más detallada y desagregada, la cual permite la identificación de áreas críticas o “insostenibles” dentro de un sistema.

### 1.5.4 Marcos para la evaluación de sustentabilidad

Los marcos de evaluación de la sustentabilidad constituyen la aplicación de los conocimientos de sustentabilidad de la teoría a la práctica. Comúnmente presentan una estructura jerárquica que va de lo general (principios o atributos) a lo particular (indicadores). Cada marco propone diferentes aspectos básicos a considerar; mientras que los indicadores se definen a un atributo o contexto en particular.

Las ventajas principales del desarrollo de un marco de evaluación son identificadas:

- Ofrecen un marco analítico para el estudio y la comparación de sistemas de manejo alternativos sobre una base multidimensional.
- Permiten priorizar y seleccionar un conjunto de indicadores para el monitoreo de un sistema de manejo.
- Permiten guiar procesos de planificación y toma de decisiones.

La tabla 1.12 menciona algunos marcos de evaluación ampliamente difundidos y se mencionan brevemente las aproximaciones teóricas y metodológicas de tales autores.

**Tabla 1.12** Síntesis de algunos marcos de evaluación de sustentabilidad [53]

Marco	Descripción
Stockle et al. (1994)	El marco desarrollado por Stockle et al. (1994) tiene principalmente un sesgo agrícola-ambiental. Propone nueve objetivos que deben cumplir los sistemas agrícolas para ser sustentables, y considera aspectos de la producción, de calidad de vida y de calidad ambiental. Para seleccionar los indicadores, primero se debe identificar un conjunto de restricciones que limitan los objetivos generales de sustentabilidad. Para cada restricción se deriva uno o más indicadores para el monitoreo del sistema.
PICABUE (Mitchell et al. 1995)	El marco PICABUE, desarrollado por Mitchell et al. (1995), está enfocado principalmente en un concepto amplio de calidad de vida, que incluye aspectos de salud pública, estándares de vida, seguridad, desarrollo personal y comunitario, calidad ambiental, entre otros. Puede ser aplicado a diversos sistemas, y propone tres grandes principios para guiar la selección de indicadores: equidad intergeneracional, equidad intrageneracional y conservación de la integridad ambiental. El marco está organizado en siete etapas, en las que se consensan los objetivos de sustentabilidad y el uso de los indicadores, se identifican preocupaciones comunes, y se seleccionan y se miden los indicadores.

Lewandowski et al. (1999)	El marco elaborado por Lewandowski et al (1999) es un marco con una orientación ecológica dirigido a la evaluación de sistemas específicamente agrícolas y su impacto sobre el ecosistema. Consta de ocho pasos: 1. Identificación de emisiones producto de la actividad agrícola; 2. Vincular las emisiones de contaminantes entre sus fuentes y sumideros, directa o indirectamente vinculados; 3. Selección de indicadores que describan la condición del ecosistema y los componentes directa o indirectamente relacionados con la producción agrícola; 4. Determinación de valores umbrales; 5. Ajuste de los umbrales a la escala de la finca; 6. Derivación de indicadores de prácticas agrícolas a nivel finca que puede causar cambios irreversibles en los ecosistemas afectados. 7. Determinación de niveles críticos para las emisiones del producto del manejo agrícola sobre la base de los umbrales eco sistémicos; 8. Identificación de esquemas de producción con efectos tolerables, acorde con los valores umbrales establecidos.
Presión-estado-respuesta (OECD-1993)	El marco PER, elaborado por la OECD (1993), es un método para la derivación de indicadores sobre las presiones humanas sobre el ambiente, el estado ambiental de los ecosistemas y las respuestas individuales e institucionales a los retos ambientales que se presentan. La lógica de este método es que las actividades humanas ejercen presiones sobre el ambiente, las cuales inducen cambios en el estado de los ecosistemas. Ante eso, las sociedades humanas responden a través de políticas ambientales, económicas y programas para reducir, prevenir o mitigar el deterioro ambiental.
MARPS (IUCN y IDRC, 1997)	El trabajo desarrollado por la unión mundial para la conservación de la naturaleza y el International Development Research Center (IUCN, 1995; IUCN y IDRC, 1997) es un esfuerzo interinstitucional e internacional para desarrollar y aplicar a estudios de caso un conjunto de metodologías para la evaluación de sistemas, la evaluación de proyectos y la autoevaluación. Más que un marco de evaluación integrado, presenta una serie de metodologías desarrolladas por diferentes equipos. Para la evaluación de sistemas, uno de los métodos propuestos es el Mapeo Analítico Reflexivo y Participativo de la Sustentabilidad (MARPS), que propone un enfoque jerárquico de sistemas a indicadores (sistema-dimensión-aspectos indicativos-variables-indicadores). Enfatiza la importancia de tener una visión integral de los sistemas (área económica, ambiental y social), así como la importancia de la participación por parte de las personas directamente involucradas con el sistema. Integra la información de indicadores a través del “Barómetro de sustentabilidad”
CIFOR (Prabhu et al. 1999)	El CIFOR (Centro internacional de investigación forestal) desarrollo un marco para la selección de criterios e indicadores de evaluación de sistemas

	<p>forestales (Prabhu et al. 1999), sin embargo el marco teórico puede ser utilizado para otro tipo de sistemas. Consiste esencialmente de diez pasos principales que incluyen la definición de los objetivos de la evaluación, la generación de una lista preliminar de criterios e indicadores, medición de indicadores y documentación de los resultados. Este marco ha sido ampliamente aplicado a nivel internacional, especialmente en sistemas de manejo forestal tropical con fines comerciales. A partir de estas experiencias, se ha formado una plantilla genérica de criterios e indicadores adaptables a condiciones específicas. Los criterios y los indicadores se dividen en cuatro áreas de interés: política, ecología, social y producción.</p>
FESLM (Smith y Dumanski, 1994)	<p>El marco de evaluación del manejo sustentable de tierras (FESLM), elaborado por Smith y Dumanski para la FAO (Smith y Dumanski, 1994) constituye uno de los importantes esfuerzos a nivel internacional dirigido a la evaluación de la sustentabilidad, y se ha aplicado a diferentes estudios de caso (Gameda y Dumanski, 1994; Latham, 1994). A pesar de buscar un análisis integral de los sistemas de manejo, el marco tiene un sesgo ambiental e incorpora débilmente los aspectos económicos y sociales que determinan su comportamiento. Operativamente, parte de “pilares” de sustentabilidad y desarrolla indicadores relacionados con ellos (pilares-factores-criterios de diagnóstico-indicadores). Sugiere una metodología con cinco pasos de evaluación. Los primeros dos niveles están orientados a la definición y caracterización del sistema que se quiere evaluar, de las prácticas de manejo involucradas y de la escala espacio-temporal de la evaluación. En los siguientes tres niveles se identifican los factores que afectan la sustentabilidad del sistema, así como los criterios que se usaran para analizarlos y, finalmente, se definen los indicadores que serán monitoreados, con sus respectivos umbrales o valores críticos.</p>
De Camino y Müller (1993)	<p>El marco desarrollado por el instituto interamericano de cooperación para la agricultura (IICA) (De Camino y Müller 1993) propone una metodología sistémica para la derivación de indicadores a partir de una extensa revisión bibliográfica sobre el concepto de sustentabilidad y sus diferentes acepciones. Más que atributos, se proponen cuatro categorías de análisis (De Camino y Müller 1993; Müller 1995) 1. La base de recursos del sistema. 2. La operación del sistema propiamente. 3. Otros recursos exógenos al sistema (de entrada o salida) y, 4. La operación de otros sistemas exógenos (de entrada o salida).</p>
Kessler (1997)	<p>Más que un marco de evaluación <i>per se</i>, Kessler (1997) ofrece un método para derivar e integrar indicadores de sustentabilidad en la planificación ambiental estratégica. Propone ocho objetivos generales de sustentabilidad que</p>

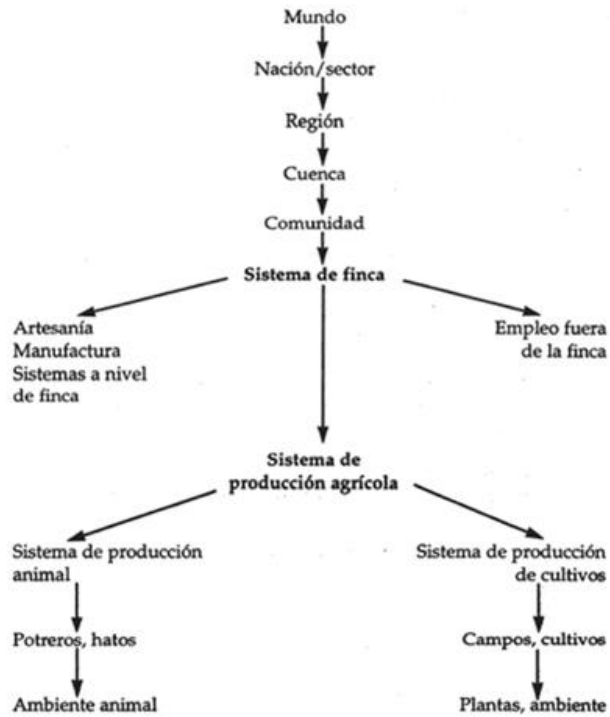
	<p>pertenecen a tres áreas de evaluación principales: estabilidad y resiliencia (ecológica); producción y eficiencia (económica); autonomía, equidad, salud y seguridad (social). Para cada uno de los objetivos deben identificarse criterios de diagnóstico o factores críticos para los sistemas de manejo. A su vez, estos criterios sirven para derivar los indicadores de sustentabilidad. Finalmente, deben identificarse normas, estándares o umbrales críticos a partir de los cuales se puede juzgar el desempeño de los sistemas de manejo.</p>
<p>Evaluación de satisfactores (Bossel, 1999)</p>	<p>Bossel (1999,2001) propone un marco sistémico para la derivación de indicadores de viabilidad y desempeño del sistema de manejo de recursos naturales, a partir de satisfactores esenciales (orientadores); es decir, aquellos elementos que le permiten a un socioecosistema permanecer, mantenerse saludable y desarrollarse en su entorno. De acuerdo con este autor, todos los sistemas pueden ser caracterizados a partir de seis propiedades fundamentales: 1. Su estado ambiental normal, en el cual puede permanecer dentro de un rango de variaciones normales; 2. Escasez de los recursos que requiere para sobrevivir y desarrollarse; 3. Variedad. Los sistemas no son uniformes, sino que en ellos ocurren diversos procesos y patrones cualitativamente diferentes; 4. Variabilidad. Los sistemas pueden variar más allá del rango de las variaciones normales. 5. Cambio. Los sistemas se transforman con el tiempo, y algunos de estos cambios pueden ser permanentes; 6. Otros sistemas. Los sistemas contienen y a su vez están contenidos en otros sistemas, cuyo comportamiento es hasta cierto punto específico e independiente.</p>
<p>AMESH (Waltner-Toews y Kay, 2005)</p>	<p>Waltner-Toews y Kay (2005) presentan un marco basado en principios ecosistémicos, teorías sobre complejidad y sistemas jerárquicos. No se propone como un método para derivar indicadores de sustentabilidad, sino para guiar la investigación para el estudio de sistemas complejos y, en particular, la integración del conocimiento científico y las preferencias socioculturales en la planificación y la toma de decisiones para el manejo sustentable de recursos naturales y ecosistemas. Para ello, propone cinco pasos generales. 1. Presentación del problema por parte de investigadores, agencias gubernamentales o actores locales; 2. Comprensión sistémica del problema incorporando múltiples escalas y las narrativas de diferentes actores sociales; 3. Identificación participativa de alternativas potenciales en diferentes escalas y bajo diferentes perspectivas de análisis; 4. Elección de una alternativa y desarrollo de un plan que incorpore un sistema de aprendizaje colaborativo, e implementación del plan de acción; 5. Análisis del sistema, los procesos y sus interacciones por parte del grupo de investigación externo.</p>

<p>Manejo de resiliencia (Walker et al. 2002)</p>	<p>Para Walker et al. (2002) un sistema sustentable es aquel que es capaz de manipular su resiliencia. En este sentido, los autores ofrecen un marco para analizar y manejar la resiliencia de sistemas socioecológicos. El marco está dirigido a sistemas de manejo en países desarrollados, aunque puede ser adaptado a sistemas en países del tercer mundo. Este marco, enfocado principalmente en los aspectos ambientales, se centra en dos atributos: 1. Resiliencia, que en esta acepción se refiere al potencial del sistema de mantenerse en una configuración particular y de mantener sus procesos de retroalimentación y funciones principales; 2. Adaptabilidad, un componente de la resiliencia que indica la capacidad del sistema de reorganizarse después de que este sufre cambios estructurales. Se proponen cuatro pasos principales: 1. Descripción del sistema, que incluye la identificación de procesos críticos, servicios ecosistémicos y actores locales. Se debe responder a la pregunta ¿Resiliencia de qué?; 2. Esta etapa consiste en identificar la visión de los actores sociales sobre el futuro (perspectivas) y los escenarios sobre factores impredecibles e incontrolables, y la identificación de alternativas de manejo contrastantes. 3. Incluye el desarrollo de modelos sencillos para la exploración de atributos que afectan la resiliencia. El objetivo es identificar variables y procesos críticos que gobiernan la dinámica de los objetivos considerados importantes (bienes y servicios eco sistémicos); 4. Una reflexión participativa de los resultados del proceso de evaluación en términos de las implicaciones para el manejo de recursos.</p>
<p>MESMIS (Maser et al. 1999)</p>	<p>El marco de evaluación MESMIS se define a partir de cinco atributos generales de los agroecosistemas o sistemas de manejo; a) productividad; b) estabilidad; confiabilidad y resiliencia; c) adaptabilidad; d) equidad y e) autogestión. La evaluación se lleva a cabo y es válida solamente para a) sistemas de manejo específicos en un determinado lugar geográfico y bajo un determinado contexto social y político; b) Una escala espacial (parcela, unidad de producción, comunidad o cuenca) previamente determinada, y c) una escala temporal también previamente determinada. La sustentabilidad se evalúa de manera comparativa o relativa. Para esto existen se proponen dos vías fundamentales: a) comparar la evolución de un mismo sistema a través del tiempo (comparación longitudinal), o b) comparar simultáneamente uno o más sistemas de manejo alternativo o innovador con un sistema de referencia (comparación transversal). Esto marca una diferencia fundamental con otros marcos de evaluación.</p>

Como se observa en la tabla 2.3 el marco de evaluación MESMIS permite realizar una evaluación comparativa con otros sistemas o comparar el desempeño de sistemas a través del tiempo. Esto marca una diferencia fundamental con otros marcos de evaluación.

#### **1.5.5 Los indicadores de sustentabilidad**

En distinción de ser simplemente información numérica, un indicador de sustentabilidad describe un proceso en específico. Esto es, los indicadores son específicos a los procesos a los que pertenecen, por lo que un indicador adecuado para algunos sistemas puede ser inapropiado para otros. Por esta razón, no es posible definir una lista de indicadores universal [54]. De hecho, los indicadores usados en la evaluación dependerán de tres cosas: las características del problema en específico bajo estudio; el alcance del proyecto y el tipo de acceso y disponibilidad de información. Los indicadores ambientales tenderán a variar dependiendo de la escala espacial utilizada en el estudio. Por ejemplo, a nivel ejido el indicador de tasa de deforestación podría describir el proceso de degradación de suelo, sin embargo, a nivel de parcela, este indicador no tendría significancia para estimar la degradación del suelo. En este caso, sería más útil medir directamente el nivel de erosión o la cantidad de materia orgánica presente en el suelo. Los efectos que son resultado de la actividad agrícola, por ejemplo la contaminación causada por pesticidas, son relevantes para la parcela misma y para los sistemas locales y regionales que la rodean. Como consecuencia lógica, los indicadores no solo deben determinarse para el nivel del sistema a ser investigado, sino también para los sistemas circunvecinos que son influenciados [55]. El orden jerárquico de los ecosistemas se muestra en la figura 1.4.



**Figura 1.4** Jerarquía de los ecosistemas [56].

Es importante definir el alcance y escala de los sistemas bajo análisis antes de comenzar el estudio, con el fin de identificar los indicadores y criterios más adecuados. La lista de indicadores debe ser robusta pero no exhaustiva, debe incluir solamente los indicadores que tienen una influencia crítica en el problema bajo estudio.

Para cualquier estudio de agricultura sustentable, la principal cuestión es cómo medir la sustentabilidad. Algunos autores opinan que el concepto de sustentabilidad se basa en la construcción de valores en la sociedad [57], y la necesidad de hacer este proceso operacional. [58]. La medición precisa de la sustentabilidad es imposible ya que es específica para sitio y tiempo. Hasta cierto punto, lo que es sustentable para cada sistema depende de la perspectiva de los analistas. [59] Y aunque una evaluación precisa y definida para la sustentabilidad no es posible, cuando parámetros o criterios específicos son seleccionados, es posible determinar si algunas tendencias permanecen estables, mejorando o decayendo [60].

### 1.5.6 Indicadores de sustentabilidad agrícola

Considerables esfuerzos se han llevado a cabo para identificar indicadores apropiados para la sustentabilidad agrícola. En la práctica, el modelo más influyente para evaluar la sustentabilidad es la cadena Presión-Estado-Respuesta (PSR) por sus siglas en inglés, dicho modelo tiene sus orígenes desde los años 50, elaborado por la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OECD) [61]. Ejemplos de aplicaciones incluyen el Estado del Entorno (SOE) que se utiliza en Australia, Canadá y Nueva Zelanda, y el conjunto de indicadores propuesto por la Comisión de Naciones Unidas en Desarrollo Sustentable (CSD), esta última siendo probada en países desarrollados y en vías de desarrollo. Esto representa un nuevo precedente para la medición de indicadores comparativos que funcione a través de naciones, la cual ha sido seguida recientemente por otras instituciones internacionales tal como el Índice de Desarrollo Sostenible y la Reseña de Desempeño Ambiental de la OECD. En efecto, los indicadores se han convertido en un instrumento político para presionar las naciones a administrar mejor sus recursos. Recientemente, la OECD ha desarrollado un marco de trabajo común llamado “Presión-Estado-Respuesta” (PSR) para ayudar en el desarrollo de indicadores. Dicho marco se refiere a los factores que ocasionan cambios en las prácticas de manejo en las granjas y el uso de los insumos, factores que afectan al suelo, el agua, aire, biodiversidad, hábitat y terreno, y posteriormente hace énfasis en las acciones que se llevan a cabo como respuesta a dichos factores. Usando el marco PSR, la OECD identificó 39 factores de sustentabilidad. Similarmente, el gobierno británico sugirió 34 indicadores divididos en 13 temas tal como pérdida de nutrientes en el agua, nivel de fósforo en el suelo, prácticas de manejo de nutrientes, emisiones de amonio, uso de pesticidas, etc. La mayoría de los indicadores citados son adecuados para evaluar la sustentabilidad agrícola en un determinado nivel. Sin embargo, no son apropiados para utilizarse en la evaluación de la sustentabilidad a nivel parcela. Sands y Podmore [62] utilizaron índices de sustentabilidad ambiental, como los indicadores para evaluar la agricultura sustentable y lo aplicaron a granjas en Estados Unidos, dicho sistema representa 15 sub índices de sustentabilidad incluyendo profundidad del suelo, nivel de carbón en el suelo, densidad aparente y profundidad del agua subterránea. Tellarini y Caporali [63] usaron el valor monetario y el valor energético para comparar la sustentabilidad de dos granjas en Italia. Gowda y Jayaramaiah [64] usaron nueve indicadores: manejo integrado de nutrientes, productividad de la tierra, manejo integrado del agua, manejo integrado de plagas, autosuficiencia de insumos, seguridad de rendimiento,

productividad de insumos, auto resiliencia y suficiencia alimentaria de la familia. Reijntjes et al. [65] Identificó un conjunto de criterios bajo aspectos ecológicos, económicos y sociales de la agricultura sustentable. Los criterios ecológicos comprenden el uso de nutrientes y materiales orgánicos, agua, energía y efectos ambientales; los efectos económicos incluyeron el sistema de sustento de los agricultores, factor de productividad, competitividad y el valor relativo de insumos externos. La seguridad alimentaria, la preservación de conocimiento local y contribución a generación de empleos fueron los criterios sociales [66].

Variedad de parámetros para medir la sustentabilidad agrícola han sido propuestos por académicos e investigadores. Las tendencias en indicadores similares se han clasificado en tres grupos de componentes (social, económico y ecológico). Una recopilación de estas tendencias puede verse en Hayati et al. [67] Y aunque existen un gran número de indicadores, sin embargo estos no cubren todas las dimensiones y niveles. Por lo tanto, los indicadores usados para la sustentabilidad agrícola deben ser específicos para cada locación, es decir, deben ser construidos tomando en cuenta la situación ecológica y socioeconómica contemporánea de cada objeto de estudio [68].

### 1.5.7 Características deseables de los indicadores

Los indicadores tienen que pasar por un proceso de selección en el cual deben ser evaluados a la luz de una serie de criterios de calidad, especialmente eficacia/costo, su poder explicativo y significación en relación con el problema específico [69]. Los indicadores deben de:

- Ser fáciles de medir y su definición debe ser eficiente desde un punto de vista de costos.
- Tener correspondencia con el nivel de agregación del sistema bajo consideración.
- Permitir repetir las mediciones a lo largo del tiempo.
- Dar una explicación significativa con respecto a la sostenibilidad del sistema observado.
- Adaptarse al problema específico que se quiere analizar y a las necesidades de los usuarios de la información.
- Ser sensibles a los cambios en el sistema.
- Ser analizados en relación con otros indicadores (para indicadores individuales).
- Dar información básica, con el fin de permitir la evaluación de los *trade-offs* (compensaciones) entre las diferentes dimensiones de la sustentabilidad.

### 1.5.8 Valores de referencia para los indicadores

Los indicadores individuales tienen que ser analizados en relación con otros indicadores. Con el fin de evitar falsas interpretaciones, debería especificarse claramente cuáles indicadores contribuyen con una explicación significativa y cuáles indicadores deben usarse en conjunto con otros. Si, por ejemplo, se mide el desarrollo de la productividad regional del suelo por medio del indicador rendimiento/hectárea, se deben observar series durante un plazo suficientemente largo para separar la variación de los rendimientos causada por las fluctuaciones climáticas anuales; por la misma razón, los cambios en los insumos y en el uso de la tierra, y sus respectivos impactos sobre el rendimiento deben ser tomados en cuenta. El indicador rendimiento promedio/hectárea podría conducir a interpretaciones erróneas en relación con la sostenibilidad si no se incluyen los otros aspectos.

Aspectos cualitativos, tales como diversidad espacial y biodiversidad, importantes para la resiliencia ecológica del sistema, o fertilidad del suelo (importante para la productividad), son a menudo difíciles de tomar en cuenta en forma explícita y de cuantificarse en esta matriz. Sin embargo, tales aspectos son generalmente una mezcla de procesos que pueden ser cuantificados más fácilmente, por ejemplo, la fertilidad del suelo que puede subdividirse en procesos químicos, físicos y biológicos.

Teniendo en cuenta que los indicadores son diferentes según el respectivo sistema, la pregunta podría ser la siguiente: ¿Cómo pueden compararse diferentes sistemas y cómo puede evaluarse el desempeño de un sistema? Dado que no es posible una evaluación sin un sistema de referencia, los indicadores deben ser comparados con valores de referencia. Esto permite determinar el grado en que se ha alcanzado la sostenibilidad, o por lo menos ayuda a encontrar cuál alternativa, dentro de un conjunto de alternativas, se acerca más a una situación sostenible. Existe la necesidad de tener al menos un sistema de referencia, que de acuerdo con Adriaanse [52] existen varias maneras de definir los valores de referencia:

- *Valores históricos*, que representan supuestamente una situación sostenible. El gobierno holandés, por ejemplo, está utilizando el año 1930 como referencia para la calidad del agua del Mar del Norte.
- *Valores meta*, tales como algunos estándares de calidad del agua establecidos por el gobierno. Los valores meta y, en cierta medida, los valores históricos son subjetivos, razón por la cual es necesario establecer para su implementación cierto grado de consenso en la sociedad que va a verse afectada.

- Valores límite, o valores críticos de los indicadores. Se puede esperar que una cantidad superior al valor crítico de un indicador tenga impactos negativos significativos. Se supone que los valores límite han sido definidos científicamente y que por lo tanto son menos subjetivos.

Para ciertos indicadores que ya están en uso, los valores límite bien fundamentados pueden ser una medida útil. Estándares ecológicos, tales como los valores extremos para la degradación tolerable de los recursos, pueden deducirse parcialmente de las ciencias naturales. Los valores límite se pueden basar en normas definidas por la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y otras organizaciones internacionales y legales, pero para otras características deben adoptarse valores más normativos, especialmente en relación con ciertos indicadores económicos y sociales. Por ejemplo, no se conoce un valor límite para la equidad después del cual empieza la intranquilidad social. Los salarios mínimos que reflejan la satisfacción de necesidades básicas pueden ser considerados como valores límite, los cuales, si se sobrepasan pueden causar problemas de salud. Sin embargo, caen normalmente en la categoría de valores meta, dado que el concepto de necesidades básicas varía de país a país y refleja con mucha frecuencia juicios de valor.

Si no existen valores límite y no se puede llegar a un consenso social en relación con los valores meta, existen dos opciones adicionales que, si bien no permiten ninguna evaluación con respecto a si un sistema es o no sostenible, dan sin embargo una idea aproximada de su posición relativa en relación con el desarrollo pasado y sistemas similares:

- *Tendencias en el desarrollo del valor de un indicador*, tales como tendencias en pérdida de suelos, tendencias en los niveles de ingreso y su distribución, etc.
- *Valores promedio de sistemas similares*, como cuando se compara Costa Rica con los valores promedio de América Central.

La definición de valores de referencia es uno de los puntos más críticos en la discusión de indicadores. Si los indicadores son usados sólo con propósitos de monitoreo, podría no ser necesario la medición de indicadores, pero cualquier evaluación de una situación dada y la comparación de diferentes alternativas dependen fuertemente de qué tipo de valores de referencia se han seleccionado. Una de las ventajas comparativas del enfoque de indicadores se funda en el hecho de que describe el sistema de una manera desagregada, lo cual permite la identificación de áreas críticas en relación con la sostenibilidad que pueden ser pasadas por alto

en un índice más agregado. Asimismo, cuando es difícil obtener valores de referencia para los indicadores, es posible hacer comparaciones pareadas de los sistemas, Miyoshi presenta un método para realizar tales comparaciones [70].

#### **1.5.8 Dificultades en la medición de indicadores**

Los métodos de medición actual se quedan cortos al momento de medir las interacciones entre dimensiones, así como el impacto de perseguir la mejora de una de ellas a costa de otra. Así mismo, algunos indicadores no son particularmente útiles para los agricultores y su medición puede consumir mucho tiempo del día, lo que hace difícil monitorear el progreso en términos de sustentabilidad agrícola. Esto es particularmente lamentable, ya que muchos de los problemas relacionados con agricultura sustentable son específicos para lugares o situaciones específicas. Adicionalmente, es posible que las estrategias generadas de la medición de indicadores requieran hasta 10 años antes de que se pueda ver resultados visibles o medibles de recompensa [71].

Además, la agricultura sustentable es un concepto dinámico. Lo que puede contribuir hacia la sustentabilidad hoy puede no funcionar conforme el sistema cambia, por lo que se requerirá un gran nivel de observación del sistema y habilidades para adaptarse a los cambios. En consecuencia, la sustentabilidad no es un proceso y en sí mismo no resulta en un producto final con valor añadido, lo que lo hace aún más difícil de monitorear o medir [72].

## 2. MARCO TEORICO

Tal como muestra el estado del arte, existen variedad de métodos que sirven como herramientas de evaluación para sistemas de manejo de recursos naturales.

Sin embargo, se aprecia el Marco de Evaluación de Sistemas de Manejo incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS) como el más adecuado para la presente investigación debido a su estructura cíclica y flexible que se adapta a diferentes niveles de formación y capacidades técnicas, así como un enfoque participativo entre el equipo de evaluación y los usuarios de los sistemas evaluados, además que permite conceptualizar a los sistemas bajo análisis de manera integral por medio de lo cual se promueve la discusión y retroalimentación en un contexto de sustentabilidad.

### 2.1 Definición de sistemas de manejo de recursos

Se puede definir como un arreglo de componentes, un conjunto o colección de cosas relacionadas de tal manera que actúan en unidad, como una entidad o un todo [73]. Los elementos de un sistema son sus componentes, las interacciones entre componentes, las entradas, salidas y límites. Los componentes pueden ser físicos (suelo, parcela) biológicos (plantas, animales, microorganismos) o socio económicos (familia, unidad familiar de producción). La interacción entre componentes puede llegar a ser muy compleja. Las entradas y salidas del sistema son toda la materia, energía y flujo de información que entra o sale del sistema (agroquímicos, dinero, trigo, etc.) Los límites del sistema en tiempo y espacio determinan el objeto de estudio y son establecidos de acuerdo a los objetivos buscados.

#### 2.1.1 Atributos de un sistema sustentable

A partir del enfoque de Masera et al (2000) se definen los atributos de un sistema de manejo sustentable.

- *Productividad.* La capacidad de un agroecosistema para proveer la cantidad requerida de bienes y servicios. Representa el valor de la producción (rendimientos, ganancias, etc.) en un determinado tiempo. Por ejemplo, puede ser medido como el valor de producción en el año de estudio, o el promedio en un periodo determinado.

- *Estabilidad*. La habilidad de un sistema para mantenerse en un equilibrio dinámico estable. La producción o beneficios de este sistema se mantienen en un nivel constante a través del tiempo en condiciones normales o promedio.
- *Resiliencia*: La capacidad de un sistema para regresar a su estado de equilibrio, o mantener su producción potencial, después de sufrir un severo impacto o desequilibrio (por ejemplo, seguir después de sufrir un evento catastrófico como un terremoto, huracán, o la repentina caída de precio de un producto clave para este sistema).
- *Confiabilidad*: La capacidad de este sistema para mantener su productividad o niveles de beneficios deseados a niveles cerca de su equilibrio, cuando se enfrenta a perturbaciones en el medio ambiente en general.
- *Adaptabilidad*: La capacidad para encontrar nuevos equilibrios (continuar productivo, generar beneficios) cuando se encuentra con cambios a largo plazo en el ambiente (nuevas condiciones económicas o biofísicas). Además, la adaptabilidad incluye la capacidad del sistema para buscar activamente nuevos niveles o estrategias de producción (esto es la capacidad de generar nuevas alternativas tecnológicas o institucionales con el fin de mejorar las condiciones actuales). En otras palabras, el concepto de adaptabilidad aplica a todos los aspectos del sistema, desde la diversificación de las actividades productivas y tecnologías, a la modificación de los procesos de organización social, para construir capacidad humana.
- *Equidad*: La capacidad del sistema para distribuir justamente todos los beneficios y costos relacionados con el manejo de los recursos naturales, tanto en la generación actual como para las generaciones futuras.
- *Autogestión*: La capacidad del sistema para regular y controlar sus interacciones con sistemas exteriores. Esto incluye los procesos socioculturales y mecanismos que regulan las capacidades de tomas de decisión internas, cuyas decisiones regulan prioridades, objetivos, identidad y valores.

### **2.1.2 Aspectos a considerar de los atributos**

1. La sustentabilidad de un sistema depende tanto como de sus propiedades internas como de sus relaciones (flujos) con factores externos y otros sistemas. En otras palabras, es necesario considerar tanto las propiedades intrínsecas del sistema así como sus propiedades estructurales e interacciones.
2. Los atributos de la sustentabilidad sistémica sirven para caracterizar los sistemas de manejo como un todo; esto es, se dirigen a elementos sociales, económicos, ambientales y tecnológicos del sistema. Enfocarse en estos atributos permite a los indicadores de sustentabilidad reflejar las propiedades fundamentales en términos del sistema de manejo de recursos naturales, por lo que se evitan largas compilaciones de factores puramente descriptivos y variables que no tienen un claro impacto en los sistemas de manejo.
3. Los atributos mencionados organizan la definición de sustentabilidad y proveen una fundación consistente para convertir a operacional el concepto. Sin embargo, no pretenden ser la última palabra en el debate acerca del desarrollo sustentable. Particularmente de un punto de vista social, cualquier discusión de sustentabilidad debería incluir un análisis profundo de como las alternativas propuestas contribuyen a la satisfacción de las necesidades humanas básicas: sustento, protección, estima, comprensión, participación, ocio, identidad y libertad de individuos y grupos sociales [74].

### **2.1.2 Definición de criterios de diagnóstico**

Los criterios de diagnóstico son una explicación detallada de los atributos de sustentabilidad. Representan un nivel de análisis más detallado que los atributos, pero más general que los indicadores. Los criterios de diagnóstico sirven como un enlace necesario entre atributos, puntos críticos e indicadores, lo cual permite a la evaluación ser más coherente y efectiva.

De acuerdo al área de evaluación y en relación con sus respectivos atributos, algunos criterios de diagnóstico que usualmente aparecen en análisis de sustentabilidad se muestran en la tabla 2.1.

**Tabla 2.1** Ejemplos de criterios de diagnóstico de sustentabilidad.

Dimensión	Criterio de diagnóstico según su atributo				
	Productividad	Estabilidad	Autosuficiencia	Equidad	Adaptabilidad
Ambiental	Eficiencia	Conservación de recursos y diversidad	Autosuficiencia		
Económico	Eficiencia económica	Diversificación de los ingresos y mecanismos para compartir riesgos	Autosuficiencia financiera		
Social		Calidad de vida	Participación, control y organización	Distribución de costos y beneficios	Fomentar el proceso de aprendizaje

Es importante tener en cuenta que, para asegurar una adecuada cobertura de un criterio de diagnóstico, la información obtenida de un solo indicador puede no ser suficiente. Sin embargo, en circunstancias particulares (por ejemplo cuando la información disponible en ciertas áreas del sistema de manejo es relativamente vaga) los criterios de diagnóstico pueden ser usados como indicadores. Esto ocurre típicamente cuando consideramos el criterio de diagnóstico organización, el cual es frecuentemente medido cualitativamente con valores asignados tales como bajo, medio, alto; lo cual lo convierte en un indicador.

### 2.1.2 Consideraciones para utilizar el marco de evaluación de sustentabilidad MESMIS

Para evaluar la sustentabilidad de sistemas de manejo de recursos naturales, se parte de las siguientes premisas:

1. El concepto de sustentabilidad está definido en base a cinco atributos generales de los agroecosistemas o sistemas de manejo: a) productividad, b) estabilidad, confiabilidad y resiliencia, c) adaptabilidad, d) equidad; e) autogestión.
2. La evaluación de sustentabilidad solo es válida en el contexto de: a) sistemas de manejo específicos en una locación geográfica dada y en un contexto político y social determinado. b) Una escala espacial definida (parcela, comunidad, cuenca); y c) una escala determinada de tiempo.
3. La sustentabilidad no se puede medir como tal, debe ser medida como una comparación o relación entre sistemas. Hay dos maneras de lograr esto: a) comparando simultáneamente una o más alternativas o innovaciones en los sistemas de manejo con

un sistema de referencia (análisis transversal) o b) comparando la evolución de un solo sistema a través del tiempo (análisis longitudinal). Esta premisa constituye una distinción substancial con respecto a otros marcos de evaluación tal como el FESLM.

4. La evaluación de sustentabilidad es un proceso cíclico que apunta a reforzar la efectividad de los sistemas de manejo así como la metodología en sí misma.
5. Evaluar la sustentabilidad es un proceso interdisciplinario y participatorio. El equipo de evaluación debe incluir tanto evaluadores externos como los interesados directos (agricultores, técnicos y otros).
6. Operacionalmente, los atributos generales de sustentabilidad se aterrizan en definir una serie de puntos críticos para la sustentabilidad del sistema, los cuales están relacionados con tres áreas de evaluación (ambiental, social y económica). Para cada área de evaluación, criterios de diagnóstico e indicadores son definidos. Este procedimiento garantiza una relación consistente entre los indicadores de sustentabilidad y los atributos generales.

Finalmente, la información obtenida a través de los indicadores es integrada utilizando técnicas de análisis multicriterio, con el fin de obtener un juicio de valor para los sistemas de manejo y hacer sugerencias para mejorar el perfil socio ambiental de los mismos.

Después de concluir con los 6 pasos, el equipo de evaluación debería alcanzar un mejor entendimiento de los sistemas bajo estudio, en particular deben tener una idea clara de los elementos específicos del sistema que impactan en la sustentabilidad. Después, como el siguiente paso en una progresión natural, empieza un nuevo ciclo de evaluación.

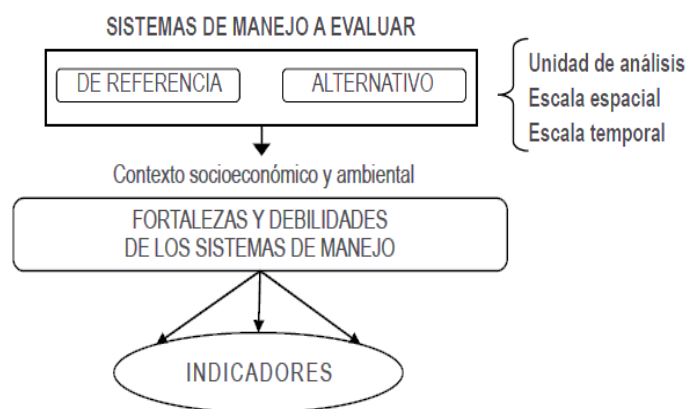
## **2.2 Definiendo el objeto de evaluación**

Caracterizar los sistemas de manejo o agroecosistemas debe incluir una descripción acertada de lo siguiente:

- Componentes del sistema
- Entradas y salidas del sistema
- Actividades productivas involucradas en cada sistema.
- Las principales características socio económicas de los productores y el tipo de organización.

### 2.2.1 Definiendo los sistemas a ser evaluados: El sistema de referencia y el sistema alternativo

El marco de evaluación MESMIS propone una evaluación de comparación de sustentabilidad, es decir, una evaluación que conlleva a declaraciones como “este sistema es más (o menos) sustentable que este otro” precisamente porque hasta ahora, determinar la sustentabilidad en términos absolutos no es posible. Por lo tanto, la sustentabilidad de evaluar en función del sistema de referencia con un sistema alternativo. El sistema de referencia representa los patrones técnicos y sociales más comunes de la región donde se realiza el estudio. El sistema de manejo alternativo incorpora cualquier innovación tecnológica o social. Técnicamente, el enfoque de estas innovaciones puede ser agro-ecológica (tal como el uso de cultivos de cobertura, rotación de cultivos, múltiples cultivos, control biológica de plagas, fertilización orgánica, etc.) basadas en tecnologías agrícolas (uso de fertilizantes, pesticidas, alta mecanización), o una mezcla de ambas. Socialmente, las innovaciones pueden representar cambios en la organización de los productores, esquemas de mercado, participación de géneros, y así sucesivamente. Idealmente, estas innovaciones deben estar establecidas por un tiempo considerable para su análisis. La figura 2.1 presenta el flujo de información requerido para obtener los indicadores a partir del análisis de los sistemas de referencia y alternativo.



**Figura 2.1.** Obtención de indicadores en MESMIS [75]

Como se observa en la figura 2.2, en la caracterización de los sistemas se deben determinar los límites del análisis, esto es, determinar el espacio y tiempo que comprenderá la evaluación.

### 2.2.2 Análisis de los puntos críticos del sistema

Después de haber definido los sistemas de manejo a ser evaluados, el siguiente paso es analizar los puntos críticos del sistema; es decir, los procesos que incrementan o restringen la productividad, estabilidad, resiliencia, confiabilidad, equidad, adaptabilidad y autogestión del sistema. Algunas preguntas clave para identificar los puntos críticos incluyen: ¿Qué hace vulnerable al sistema de manejo? ¿Qué constituye las características más fuertes y prominentes del sistema? Estas características, o puntos críticos, existen como los factores o procesos ambientales, técnicos, sociales o económicos que por sí mismos o combinados, tienen un impacto crítico en la supervivencia del sistema de manejo.

Una vez que los puntos críticos hayan sido definidos, estos deben ser relacionados a los diferentes atributos de sustentabilidad solo para comprobar que todos los atributos han sido considerados en la evaluación. Tomando en cuenta que la evaluación es un proceso interactivo, algunos puntos en específico no reconocidos inicialmente podrían ser identificados más tarde durante las fases de la evaluación (por ejemplo, mientras se toman encuestas socio-económicas), incitando al equipo a reconsiderar o agregar algunos puntos críticos a la lista. Los puntos críticos pueden ser relacionados ya sea con un solo atributo o a un conjunto de ellos.

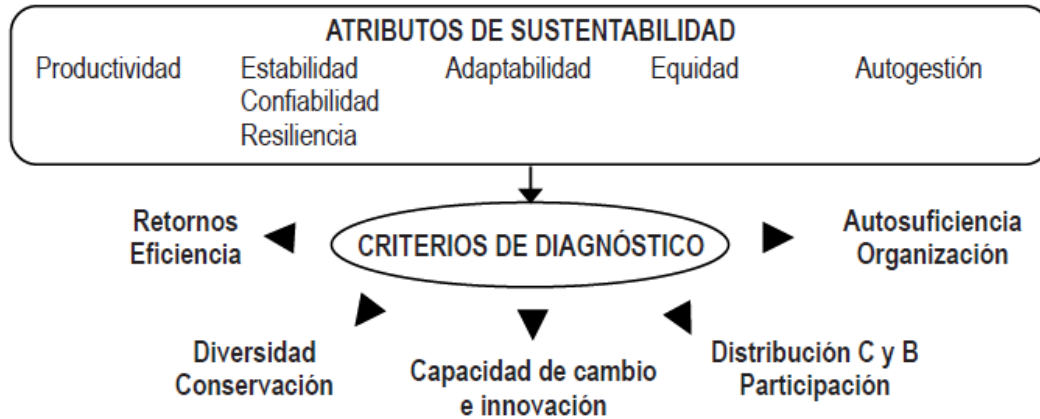
El proceso de identificación de los puntos críticos del sistema consiste en enfocarse en la naturaleza del problema bajo estudio, dándole dimensiones más manejables. Asimismo, determinar los puntos críticos de la sustentabilidad puede reforzar la posición de sistemas alternativos. En efecto, un sistema alternativo puede ser evaluado solo a través del conocimiento de los puntos críticos del sistema de referencia. Por lo tanto, es frecuente que las propuestas para sistemas de manejo alternativos sean hechas sin un conocimiento a fondo de los problemas intrínsecos presentes en los sistemas ya existentes. Para evitar este error, cuando se evalúa la sustentabilidad de un sistema de manejo alternativo, se debe distinguir claramente entre los problemas relacionados con innovaciones recientes y los problemas heredados del sistema de referencia.

### 2.2.3 Como se escogen los indicadores en MESMIS

Con el objetivo de seleccionar los indicadores de sustentabilidad para un sistema de manejo dado, cinco etapas metodológicas son consideradas:

1. *Determinar los atributos generales de sustentabilidad:* Productividad; estabilidad; confiabilidad y resiliencia, adaptabilidad, equidad y autogestión.
2. *Determinar los puntos críticos para el sistema de manejo específico bajo estudio,* asegurando que cubran todos los atributos de sustentabilidad.
3. *Definir una serie de criterios de diagnóstico específicos que evalúen los puntos críticos del sistema.* Debido a las interacciones entre factores socioeconómicos y ambientales, el conjunto de criterio de diagnóstico e indicadores deben cubrir tres dimensiones o áreas de evaluación: a) Social, incluyendo aspectos políticos y culturales, b) económicos y, c) ambientales. Igual que en el caso de los puntos críticos, es importante para los criterios de diagnóstico cubrir toda el área que sea posible en todos los atributos de sustentabilidad.
4. *Compilar una lista de indicadores para cada criterio.* Una vez que todos los criterios de diagnóstico estén claramente establecidos, este procedimiento asegura que exista un enlace entre los indicadores, criterios de diagnóstico, puntos críticos y atributos de sustentabilidad. Esto para evitar compilar listas interminables o seleccionar indicadores que no sean útiles.
5. *Hacer una final selección con el fin de generar un conjunto de indicadores estratégicos.* Finalmente, una vez que la lista de posibles indicadores ambientales, económicos y sociales hayan sido compilados, una lista debe ser elaborada, seleccionando aquellos indicadores que verdaderamente podamos integrar, fácil de medir, confiable, etc.

A continuación la figura 2.2 muestra un ejemplo de jerarquía entre los diferentes conceptos de sustentabilidad según la metodología MESMIS:



**Figura 2.2** Relación atributos de sustentabilidad-criterios de diagnóstico-indicadores [75].

#### 2.2.4 Monitoreo de los indicadores

Una vez que se complete la tabla que contenga la lista final de indicadores compilados, se debe continuar con una discusión a detalle en la medición y procedimientos de monitoreo.

Existen varios métodos para medir los indicadores. Teniendo en cuenta que la sustentabilidad refleja el comportamiento de un sistema a través del tiempo, se debe hacer énfasis en aquellos procedimientos de recopilación de datos que permitan el monitoreo de los procesos durante determinado tiempo, o el análisis de datos históricos y modelamiento de variables.

En general, los métodos disponibles incluyen:

- a) Una revisión exhaustiva de la literatura, incluyendo información útil para establecer tendencias en el comportamiento de los indicadores.
- b) Mediciones directas
- c) Ajustar campos experimentales o lotes de escorrentía para medir las tasas de erosión.
- d) Modelos de simulación
- e) Encuestas
- f) Entrevistas formales e informales
- g) Técnicas de grupos participativos

La selección final de intensidad y tipo de mediciones para el indicador dependerá de la disponibilidad de recursos humanos y económicos para llevar a cabo la evaluación. Se deben evitar esquemas demasiado simples basados solamente en la reunión de información

indirectamente, una combinación de técnicas de medición directa e indirectas son recomendadas.

### 2.2.5 Integración de los resultados

En esta etapa del ciclo de evaluación, los resultados obtenidos a través del monitoreo de indicadores será resumido e integrado. La fase de diferenciación, la cual se enfoca en reunir los datos para cada indicador, conlleva a la fase de síntesis. Esto a su vez conlleva a la visualización numérica de los sistemas de manejo bajo estudio y posteriormente a la comparación en términos de sustentabilidad.

Se puede decir que integrar los resultados de un análisis de sustentabilidad requiere investigación activa en sí misma, ya que no existe un acuerdo general o una práctica preferida. En general, existen 6 problemas para la integración de resultados [76].

- 1) Criterio de toma de decisiones imprecisa
- 2) Datos mezclados
- 3) Datos no comparables
- 4) Inter relaciones entre atributos e indicadores de sustentabilidad
- 5) Dificultad para discriminar entre los indicadores que están más relacionados
- 6) Dificultad para darle ponderación a las diferentes alternativas

Como resultado, utilizar métodos multicriterio se vuelve un componente esencial para la integración de resultados en un análisis.

Con el objetivo de lograr una integración adecuada y síntesis de los resultados, cinco pasos deben seguirse:

- 1) Condensar todos los resultados (para todos los indicadores y todos los sistemas) en una tabla o matriz, utilizando unidades originales para todos los indicadores.
- 2) Determinar valores de umbrales o líneas de base para cada indicador.
- 3) Construir índices para cada indicador, de acuerdo a los valores de línea base o umbrales. Estos índices pueden construirse tanto de manera cuantitativa como cualitativa.

- 4) Presentar todos los resultados juntos, utilizando gráficas, tablas, y técnicas de análisis multicriterio.
- 5) Examinar las conexiones, incluyendo las positivas y negativas- entre indicadores.

La primera etapa ofrece una visión holística de los hallazgos y provee una idea de cuál es el tipo de datos obtenidos (cualitativos, cuantitativos, mixtos)

La segunda etapa identifica los valores máximos o valores óptimos en términos de sustentabilidad, así como el mínimo requerido o valores aceptables para los indicadores estratégicos usados en la evaluación.

La tercera etapa consiste en la creación de índices, facilitando la comparación de indicadores que están en diferentes unidades de medición y presenta todos los indicadores en un formato común sin la pérdida de información original. Los índices pueden ser construidos de acuerdo a los umbrales de sustentabilidad o valores de línea base para cada indicador.

La cuarta etapa consiste en la presentación y agregación de resultados. Los métodos de análisis multicriterio abarcan una amplia gama de posibilidades para esto. Un método primario consiste en obtener un índice agregado para cada sistema analizado. Otros métodos comparan los sistemas y los ilustran de manera gráfica, en términos de los indicadores estratégicos seleccionados.

La quinta etapa consiste en explorar e identificar conexiones entre los indicadores. Este ejercicio, aunque es difícil, es crítico.

#### **2.2.6 Presentación de conclusiones y recomendaciones**

El primer objetivo del paso seis es presentar una serie de conclusiones claras acerca de los sistemas de manejo analizados. Para este propósito, el equipo de evaluación debería hacer lo siguiente:

1. *Una evaluación acerca de cómo los sistemas de referencia y alternativo se comparan en términos de la sustentabilidad relativa.* Esta evaluación debe ser específica, en términos de decir “el sistema ha mostrado ser más sustentable de acuerdo a ciertos indicadores y atributos, pero problemático e insostenible de acuerdo a otros”. Adicionalmente, un juicio general puede ser incluido acerca de la comparación de ambos sistemas a nivel

agregado. Este enfoque puede estar basado en análisis cuantitativo (cálculo de índices), pero debería incluir un análisis tipo AMOEBA con el fin de permitir una comparación transparente de los indicadores de sustentabilidad.

2. *Una discusión acerca de los principales elementos que incrementan o inhiben el sistema alternativo para mejorar sustentabilidad en comparación al sistema de referencia.* Incluido aquí, debe haber al menos una breve discusión acerca de las restricciones y oportunidades creadas por las condiciones del entorno del sistema, en términos políticos, socio económico y/o ambiental.

Además, con las conclusiones es importante analizar el proceso de evaluación en sí mismo, con el fin de señalar sus fortalezas y debilidades en lo siguiente:

1. *Aspectos logísticos.* Por ejemplo, ¿fue efectivo el trabajo del equipo de evaluación interdisciplinario? ¿Fue adecuada la comunicación con todos los interesados del sistema de manejo?
2. *Aspectos técnicos y metodológicos.* Por ejemplo, ¿qué tan confiables fueron los indicadores y técnicas de medición utilizadas en la evaluación? ¿Se le dio la adecuada atención a las diferentes áreas de evaluación?

A partir de lo anterior, la secuencia de pasos que se utilizara será esta:

1. *Definir el objeto de evaluación,* es decir los sistemas a ser evaluados, sus características y el contexto socio ambiental de la evaluación.
2. *Determinar los puntos críticos,* aquellos que se considere que afectan la sustentabilidad del sistema.
3. *Seleccionar indicadores,* primero definiendo los criterios de diagnóstico y después derivando los indicadores estratégicos.
4. *Medir y monitorear los indicadores,* lo cual implica diseñar herramientas analíticas adecuadas y métodos para coleccionar la información.
5. *Presentar e integrar los resultados.* Después de comparar los sistemas de manejo a ser evaluados en términos de sustentabilidad, los principales aspectos positivos y negativos de cada sistema serán discutidos y analizados.
6. *Proponer conclusiones y recomendaciones.* Sintetizar el análisis y proponer estrategias específicas para fortificar la sustentabilidad del sistema así como mejorar el proceso de evaluación en sí mismo.

### **3. METODOLOGIA**

El trabajo de campo se llevó a cabo desde septiembre del 2015 a abril de 2016 en 13 ejidos pertenecientes al Valle de Mexicali, Baja California. Se recopiló información de 13 productores de alfalfa con el fin de la caracterización de los sistemas. La herramienta principal para la obtención de información fue la entrevista semiestructurada a los productores y operadores de maquinaria. Otras fuentes de información fueron pláticas informales, entrevistas con autoridades, y funcionarios de programas de gobierno. Para la caracterización del entorno se recopiló información de distintas fuentes tales como el portal de internet de la Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Sustentable (OEIDRUS), el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2007) y folletos técnicos del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP, 2010) además de recorridos por los campos y canales con la intención de conocer las características de la zona de estudio para la comprensión del funcionamiento de los sistemas y buscar productores dispuestos a ser entrevistados.

#### **3.1 Cuestionarios semiestructurados**

Se diseñó un cuestionario piloto para posteriormente ir afinando un segundo cuestionario en visitas posteriores a las unidades productivas. Los cuestionarios cuentan con 37 y 26 reactivos (R) los cuales se presentan en el anexo A. Dichos cuestionarios serán la principal herramienta para caracterizar los sistemas y obtener la información de los usuarios. Los cuestionarios cuentan con las siguientes áreas temáticas:

##### Cuestionario 1

1. Información general del productor y la parcela – 9 R
2. Tipo de semilla – 3 R
3. Sistema de siembra – 1 R
4. Labores mecanizadas y costo de labores – 1 R
5. Fecha de preparación de suelo y siembra – 3 R
6. Nutrición – 3 R
7. Plagas y enfermedades- 2 R
8. Uso de agua – 3 R

9. Problemas de seguridad y almacenaje – 3 R
10. Rendimiento – 2 R
11. Infraestructura y equipo -2 R
12. Capacitación – 2 R
13. Principales problemas de la producción de alfalfa – 1 R
14. Percepción de los sistemas de riego por goteo -1 R
15. Destino de la producción -1 R

#### Cuestionario 2

1. Tenencia de la tierra – 2 R
2. Percepción del sistema - 5 R
3. Uso de combustible – 1 R
4. Mano de obra – 4 R
5. Organización – 5 R
6. Comercialización – 4 R
7. Prospectiva del uso de riego tecnificado – 2 R
8. Uso de fertilizante orgánico -2 R
9. Capacitación -1 R

El objetivo de los cuestionarios es obtener la información que permita realizar los análisis para estimar el valor de los indicadores, así como la medición directa de los indicadores sociales. Los cuestionarios fueron aplicados en campos donde se observó el cultivo de alfalfa en forma aleatoria (con excepción del sistema alternativo) dentro de la región correspondiente al Valle de Mexicali siendo la  $n = 11$  para el sistema de referencia y  $n = 1$  para el sistema alternativo. . En un principio se tenía pensado tener un número de muestras calculado en función del número de productores de alfalfa del Valle según estimaciones de SEFOA, sin embargo al observar la similitud de los resultados de las encuestas se decidió caracterizar la muestra con  $n=11$  para el riego por gravedad con el fin de utilizar la prueba T student como método para comparar dichos resultados utilizando la media muestral y posteriormente, comparar esta media muestral contrastado con los resultados del riego por goteo como valor de prueba. Para esto se requirió utilizar pruebas de normalidad de Shapiro Wilks a la muestra de riego por gravedad y posteriormente realizar la prueba T student utilizando el software SPSS 21. De esta manera, se determina si existen diferencias significativas entre la muestra de la población y la el valor de referencia.

### 3.2. Selección de criterios de diagnóstico e indicadores

Para la selección de criterios de diagnóstico y los indicadores, se llevó a cabo una caracterización de los puntos críticos del sistema para identificarlos con diferentes criterios de diagnóstico y atributos de sustentabilidad. Los indicadores se seleccionaron tomando en cuenta los puntos débiles del sistema, dichos puntos se determinaron con las preguntas del cuestionario ¿Cuáles son los principales problemas que presenta la agricultura? y ¿Cuáles son los principales problemas que enfrenta la producción de alfalfa? Al dejar estas preguntas abiertas los agricultores pudieron expresar lo que identificaron como amenazas al sistema productivo. A través de ello se derivaron criterios de diagnóstico para posteriormente definir indicadores considerando una escala espacial a nivel unidad productiva, así como la facilidad para obtener los indicadores. El criterio para la selección de las preguntas a agricultores fue a través de preguntas clave, tal como: ¿Qué hace vulnerable al sistema? ¿Qué problemas particulares presenta? ¿Qué constituye las características más prominentes del sistema?

En base a los puntos críticos de los sistemas de manejo, y a los criterios de diagnóstico de sustentabilidad, relacionados para cada las dimensiones Ambiental, Económico y social; tomando como base la tabla 3.1:

**Tabla 3.1** Lista de indicadores y sus criterios de diagnóstico sustentable.

Atributo	Criterio de diagnostico	Indicador	Dimensión de sustentabilidad
Adaptabilidad	Capacidad de cambios e innovación	Adaptación a propuestas tecnológicas	Social
Productividad	Utilización de recursos	Intensidad en el uso del agua	Ambiental
	Retornos	Relación costo- beneficio	Económico
	Utilización de recursos	Intensidad en el uso de energéticos	Ambiental
Equidad	Equidad en la distribución de los recursos	Percepción de los usuarios acerca de la repartición del agua	Social
Autogestión	Autogestión de insumos	Dependencia de insumos externos	Económico
Estabilidad, resiliencia	Conservación	Calidad de suelo y agua	Ambiental
	Resiliencia	Cantidad de maleza	Ambiental
	Resiliencia	Consumo potencial de plaguicidas	Ambiental

Para la medición y monitoreo de los indicadores se llevaron a cabo distintas técnicas dependiendo el tipo de indicador. Donde con el fin de evaluar o comparar el valor de los indicadores, se determinaron umbrales o valores meta para cada uno de los indicadores, buscando hacer comparativos y métodos de medición tal como se muestra en la tabla 3.2.

**Tabla 3.2** Lista de umbrales de indicadores seleccionados.

<b>Indicador</b>	<b>Método de medición</b>	<b>Umbral</b>
Número de personas que reciben capacitación	Porcentaje de productores que manifestaron recibir capacitación	Porcentaje 0-100% de la muestra
Productividad del agua	Determinar la cantidad de agua que consume este sistema para producir una tonelada de alfalfa en base a información de la encuesta	Comparación pareada
Relación costo- beneficio	Encuestas, análisis financiero	Comparación pareada
Uso de energéticos	Determinar la cantidad de energéticos que consume el sistema para producir una tonelada de alfalfa	Comparación pareada
Percepción del reparto de agua	Encuesta	Porcentaje 0-100% de la muestra
Dependencia de insumos externos	% de insumos externos	Porcentaje 0-100%
Calidad de agua	Análisis de laboratorio	Intervalo, clasificación laboratorio de Riverside (1954)
Calidad del suelo	Análisis de laboratorio	Intervalo, (McBride 1994)
Cantidad de maleza	Muestreo semicuantitativo	Intervalo, (Leguizamón 2005)
Consumo potencial de plaguicidas	Muestreo de plagas y conteo de muestras en laboratorio	Comparación pareada

### 3.3 Medición de indicadores ambientales

A continuación se presentan las metodologías y equipo necesario para realizar la medición de indicadores ambientales.

#### 3.3.1 Muestreo de plagas

Los muestreos fueron aleatorios y dirigidos hacia áreas con cultivos de alfalfa en floración, empleando una red entomológica de golpeo, tal como la que se muestra en la fig. 3.1. Se llevaron a cabo muestreos en 8 de los 12 campos de riego por gravedad y en el campo de riego por goteo. Los muestreos se realizaron uno tras otro en intervalos de tiempo de 15 a 20 minutos entre las 10 y 14 horas. La identificación y conteo de plagas se llevó a cabo en el Instituto de Ciencias Agrícolas (ICA) de la UABC, utilizando un estereoscopio, una caja Petri y alcohol étílico para el manejo de los insectos. Los criterios para la técnica de muestreo y transporte se tomaron del Manual de Procedimientos para Colectar, Preservar y Montar Insectos y otros Artrópodos [77].



**Figura 3.1.** Captura de insectos con red entomológica. (izquierda); estereoscopio utilizado para el conteo de plagas (derecha).

Una vez contados los insectos de cada muestra se comprobó la normalidad de la muestra y se realizó una prueba T student para una muestra, utilizando como valor de contraste las plagas obtenidas en el riego por goteo. Se realizaron 2 muestreos de plagas, uno el 20 de enero y el otro el 25 de marzo del 2016, cuyos resultados se muestran en la Tabla 3.3.

**Tabla 3.3** Conteo de muestras de plagas.

*Muestreo 1*

Campo	Pulgones	Depredador	Trips	Chinche liga	Picudo egipcio
1	178	175	25		
5	369	161	139	6	3
6	48	29			
7	583	135		1	
8	253	128	84		
9	451	96	140	7	
11	190	108	158		2
12 (goteo)	37	14	321	2	

## Muestreo 2

Campo	Pulgones	Depredador	Trips	Chinche liga	Picudo egipcio	Chinche pirata	Catarina
1	2036		908	16		47	5
5	2853	2	470	1			2
6	187	27	9			1	
7	102		125				
8	828	1	1324	1	12	5	1
9	79		476	5			
12 (goteo)	243	4	814	7	3	21	16

Como se observa en la tabla 3.3, existe variedad de plagas en el cultivo de alfalfa. Sin embargo, de los especímenes encontrados el pulgón es considerado el más agresivo, las estrategias de fumigación van enfocadas a eliminar este insecto en la mayoría de los casos, según los usuarios. Nótese también que la aparición de plagas cambia con las estaciones y aumenta con el calor, el gusano es considerado también una plaga importante de la alfalfa la cual no fue encontrada en la temporada del muestreo.

Para conocer si se puede suponer que los datos siguen una distribución normal, se pueden realizar diversos contrastes llamados de bondad de ajuste, de los cuales el más usado es la prueba de Kolgomorov. Otras pruebas de normalidad empleadas para verificar la normalidad son debidas a Shapiro y Wilks. Se tomara en cuenta este último ya que es comúnmente utilizado para muestras de tamaño máximo de 50. La hipótesis estadística que se plantea para verificar el supuesto de normalidad se define como:

*HO: La distribución de la muestra es normal*

$\alpha = 0.05$

*H1: La distribución de la muestra no es normal*

Las tablas 3.4 muestra los resultados arrojados por el software en las pruebas de normalidad.

**Tabla 3.4** Prueba de normalidad en muestreo de pulgones

*Muestreo 1*

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Pulgones	.164	7	.200*	.973	7	.918

\*. Este es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de la significación de Lilliefors

*Muestreo 2*

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Pulgones	.260	6	.200*	.829	6	.105

\*. Este es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de la significación de Lilliefors

Por lo tanto, con un  $\alpha = 0.05$ , interpretamos que ambos muestreos tienen una distribución normal, ya que la significancia (sig.) es mayor a 0.05.

La prueba t student consistió en la comparación de medias mediante una sola muestra. En esta prueba se evalúa la hipótesis nula de que la media de la población estudiada es igual o difiere de un valor especificado, en el caso de una curva asintótica bilateral (dos colas). Tomando en cuenta la densidad de pulgones en el riego por goteo, se escriben las pruebas de hipótesis:

*Muestreo 1*

$$H_0 : \mu = 37$$

$$H_i : \mu \neq 37$$

*Muestreo 2*

$$H_0 : \mu = 243$$

$$H_i : \mu \neq 243$$

$$\alpha = 0.05$$

La figura 3.5 muestra los resultados arrojados por el software de la prueba de comparación de medias en la densidad de pulgones.

**Tabla 3.5** Prueba T student para muestreos de pulgones

*Muestreo 1*

Descriptivos				
			Estadístico	Error típ.
Pulgones	Media		296.0000	69.04726
	Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	127.0474	
		Límite superior	464.9526	
	Media recortada al 5%		293.8333	
	Mediana		253.0000	
	Varianza		33372.667	
	Desv. típ.		182.68187	
	Mínimo		48.00	
	Máximo		583.00	
	Rango		535.00	

**Prueba para una muestra**

	Valor de prueba = 37					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
					Inferior	Superior
Pulgones	3.751	6	.009	259.00000	90.0474	427.9526

*Muestreo 2*

Descriptivos				
			Estadístico	Error típ.
Pulgones	Media		1014.1667	477.87372
	Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	-214.2468	
		Límite superior	2242.5802	
	Media recortada al 5%		963.9630	
	Mediana		507.5000	
	Varianza		1370179.767	
	Desv. típ.		1170.54678	
	Mínimo		79.00	
	Máximo		2853.00	
	Rango		2774.00	

### Prueba para una muestra

	Valor de prueba = 243					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
					Inferior	Superior
Pulgones	1.614	5	.168	771.16667	-457.2468	1999.5802

#### *Conclusión 1*

Se rechaza la hipótesis nula a favor de la hipótesis alternativa, por lo tanto, la densidad de pulgones encontrados en el riego por goteo (37) difiere estadísticamente de la media muestral de densidad de pulgones encontrados en el riego por gravedad con un nivel de significancia de 0.009.

#### *Conclusión 2*

Se rechaza la hipótesis alternativa a favor de la hipótesis nula, por lo tanto, la densidad de pulgones encontrados en el riego por goteo (243) no difiere estadísticamente de la media muestral de densidad de pulgones encontrados en el riego por gravedad con un nivel de significancia bilateral de 0.168.

Aunque las densidades de pulgones fueron significativamente mayores en el riego por gravedad, la segunda muestra no mostro diferencia estadística. No obstante, cabe mencionar que el intervalo de confianza para esta segunda prueba fue muy amplio. Esto puede deberse a factores de ruido tales como la fecha de aplicación, cantidad y tipo de plaguicida en cada campo. Por lo tanto, se acepta parcialmente la hipótesis nula de que la densidad de pulgones difiere estadísticamente en riego por goteo y el riego por gravedad, siendo mucho mayor en el riego por gravedad con diferencias de medias de 259 y 771, señalando que el riego por goteo tuvo una proporción en la densidad de pulgones equivalente al 14.28% y 31.5% respectivamente en relación al riego por gravedad.

### 3.3.2 Muestreo de malezas

Como menciona Leguizamón [77] las malezas interfieren con la producción a través de su competencia por recursos, la reducción de la calidad y la eficiencia de la cosecha. En general

los propósitos de un monitoreo de malezas sirven para detectar la presencia y/o abundancia de malezas, reunir información para la toma de decisiones en el campo, proveer datos para construir la “historia” del lote sobre para tomar decisiones a largo plazo, detectar la presencia de especies invasoras y proveer bases para aplicar agricultura de precisión y el manejo específico de insumos. Se mencionan tres métodos de muestreo, cuantitativo, semicuantitativo y cualitativo. En este caso se utilizó el método semicuantitativo para una clasificación de la densidad de malezas en los siguientes grupos:

1. Cuantitativo: Densidad total de malezas.
2. Semicuantitativo: Conteo hasta una determinada densidad por especies o por grupos.
3. Presencia/ausencia de un determinado grupo de especies.

Se decidió añadir un tercer intervalo (menos de 10 malezas) a la metodología citada por Leguizamón, ya que se encontraron algunas áreas en este rango al llevar a cabo los muestreos, ejemplo de las malezas encontradas se muestra en la figura 3.2. Cabe señalar que las malezas no fueron identificadas por especie, sino por cantidad de plantas (por cada tallo).



**Figura 3.2** Ejemplo de presencia de malezas en cultivo de alfalfa.

El criterio de muestreo fue tomar 20 muestras en forma de una gran “W” abarcando una gran proporción de la superficie de cada terreno, tomando 5 muestras a lo largo de cada parte de la “W” con ayuda de un agricultor familiarizado con la identificación de malezas. Se realizaron muestreos en 8 campos de riego por gravedad y uno en riego por goteo el 5 de mayo de 2016, con intervalos de 15 a 20 minutos entre muestreos. El objetivo del muestreo fue identificar la

presencia y abundancia de maleza en los distintos campos para compararlo con el riego por goteo, utilizando la prueba de T student. La densidad de malezas del muestreo se muestra en la tabla 3.6.

**Tabla 3.6** Resultado de muestreo de malezas en intervalos.

Campo 1	Campo 3	Campo 4	Campo 6	Campo 7	Campo 8	Campo 9	Campo 11	Campo 12 (goteo)
1	4	4	2	3	1	4	2	1
1	4	4	2	1	2	4	4	1
2	4	4	2	3	1	4	4	1
3	3	1	2	2	2	4	3	1
1	3	1	2	1	2	4	3	1
2	3	1	3	3	2	4	4	1
2	3	1	2	3	1	4	3	1
1	3	1	3	3	1	4	3	1
1	3	1	4	3	1	4	4	1
1	4	1	3	1	2	4	4	1
2	4	1	3	1	1	4	3	1
1	2	1	2	1	2	4	3	1
1	3	1	1	2	2	4	2	1
2	3	1	2	1	2	4	2	1
2	3	1	2	3	1	4	3	1
1	3	1	2	1	2	4	3	1
1	4	1	1	3	2	4	3	1
1	4	1	2	3	3	4	3	1
3	4	1	2	3	2	4	3	1
3	3	1	3	3	1	4	3	1

*Criterio:*

*1: Menos de 4 malezas por m<sup>2</sup>*

*3: 10 a 20 malezas por m<sup>2</sup>*

*2: 4 a 10 malezas por m<sup>2</sup>*

*4: Mas de 20 malezas por m<sup>2</sup>*

La figura 3.6 muestra los estadísticos descriptivos de los muestreos de riego por gravedad con un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$ , utilizando 20 observaciones por cada uno de los 8 campos observados. No se considera necesario hacer una prueba de T student para la comparación de medias ya que no se encontró ninguna maleza en el campo con riego por goteo.

**Tabla 3.7** Estadísticos descriptivos del muestreo de malezas

**Resumen de procesamiento de casos**

	Casos					
	Válido		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
malezagravedad	160	100.0%	0	0.0%	160	100.0%

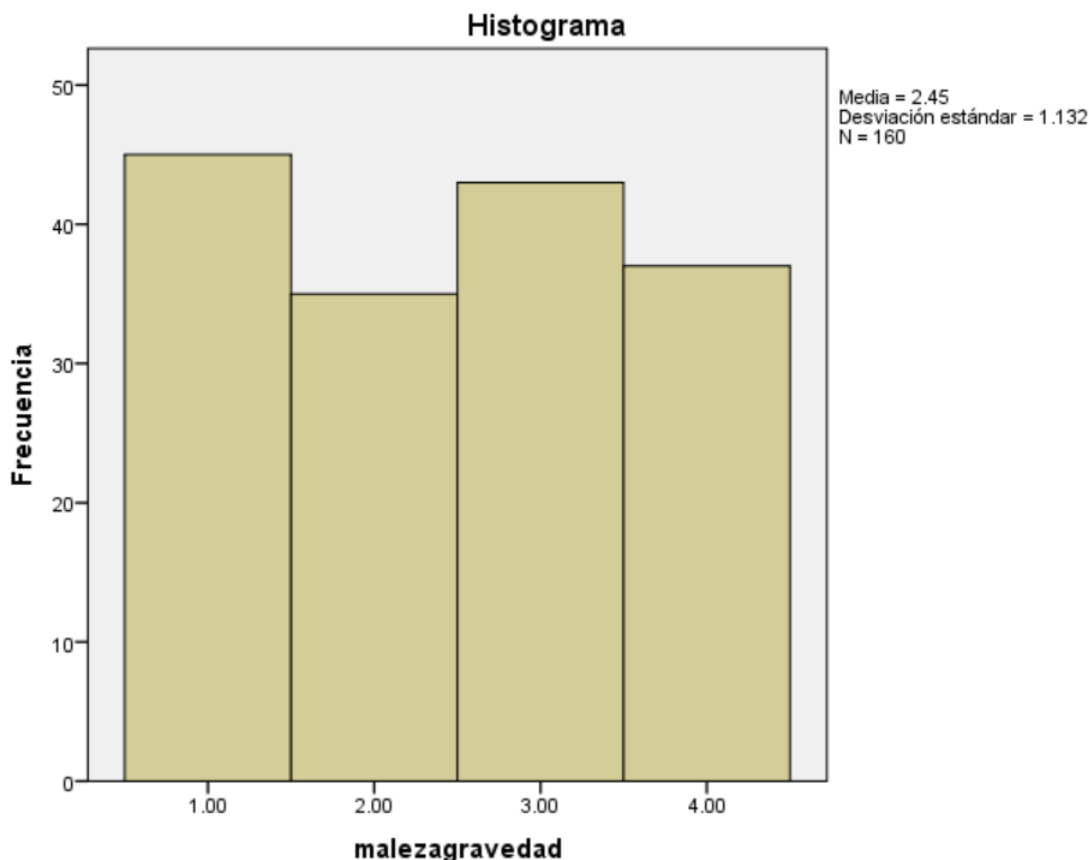
		Estadístico	Error estándar
malezagravedad	Media	2.4500	.08946
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	2.2733 2.6267
	Media recortada al 5%	2.4444	
	Mediana	2.5000	
	Varianza	1.281	
	Desviación estándar	1.13159	
	Mínimo	1.00	
	Máximo	4.00	
	Rango	3.00	

**Pruebas de normalidad**

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
malezagravedad	.187	160	.000	.851	160	.000

a. Corrección de significación de Lilliefors

Los estadísticos descriptivos muestran una distribución no normal en la muestra, sin embargo la mayoría de los casos se encuentran entre menos de 4 malezas o menos de 20 malezas, tal como muestra el histograma de la figura 3.3. Los factores de ruido percibidos en este análisis son el momento y cantidad de herbicida aplicados así como la pendiente del terreno, ya que en los desniveles se concentra el agua por escorrentía, en estos lugares se observó mayor cantidad de maleza.



**Figura 3.3** Histograma de muestreo de malezas.

Por lo tanto, se concluye que en la muestra existe un problema considerable de malezas (a pesar del uso de herbicidas) en el riego por gravedad, en contraste por el riego por goteo.

### 3.3.3 Muestreo de suelos

Para medir las características de los suelos de la muestra se llevaran a cabo muestreos del suelo para su análisis en el laboratorio de suelos del Instituto de Ciencias Agrícolas.

Se siguió la metodología de muestreo propuesta en la NOM 021 [78] para dicho muestreo, en forma general se tomaron en cuenta los siguientes criterios:

- *Técnicas de muestreo de suelo:* El muestreo de suelos es un procedimiento para la obtención de una o más muestras representativas en un terreno. Mediante el muestreo la heterogeneidad de los parámetros del suelo a ser evaluados pueden ser estimados en su valor promedio, colectando un determinado número de muestras o de muestras

compuestas derivadas de submuestras. Los errores debidos a muestras mal tomadas, son generalmente los más significativos, porque no se pueden corregir en las fases subsiguientes. La recolección de una muestra representativa es esencial para un correcto diagnóstico de las condiciones del suelo. Se debe adquirir una muestra representativa del terreno, la cual se define como aquella cantidad de tierra compuesta por varias porciones de igual tamaño (submuestras) obtenidas de diversos puntos del área que se desea analizar y mezcladas en forma homogénea.

- *Equipos de muestreo:* El equipo básico de muestreo incluye bolsas plásticas, barreno de cilindro cerrado o en su defecto una pala recta, marcador de tinta indeleble, papel y bolígrafo y un plano sobre el área de muestreo. El inconveniente de usar una pala es que hace más lento y cansado el muestreo, además de que pueden existir diferencias entre las submuestras. Cuando sea posible se recomienda el uso del barreno.
- *Numero de submuestras:* Se ha observado que las submuestras individuales pueden presentar mayor variación y consumen más tiempo y recursos económicos que las muestras compuestas, por lo que resulta más conveniente coleccionar y analizar muestras compuestas. El número de muestras individuales que deben componer una muestra compuesta varía entre 15 y 20, dependiendo de la heterogeneidad y tamaño de la unidad de muestreo, aunque el número de submuestras es independiente del tamaño de la población. Cuando la unidad de muestreo alcance una extensión entre dos y ocho hectáreas se podrán coleccionar entre 10 y 25 submuestras, conservando precisión. De manera práctica se ha calculado que la máxima precisión en el muestreo se puede alcanzar al coleccionar hasta 40 submuestras por muestra.
- *Ubicación de sitios de muestreo:* Existen varios procedimientos para definir el sitio de la muestra, siendo el más práctico el muestreo en zigzag, a lo largo de una línea dentro de la unidad de muestreo, el zigzag inicia por un lado del terreno, escogiendo al azar el punto de partida para definir el plano de muestreo que cubra homogéneamente la unidad de muestreo.
- *Profundidad de muestreo:* La profundidad de muestreo se determina en función del objetivo que se persigue. Generalmente, el muestreo en la mayoría de los cultivos se recomienda realizar a una profundidad entre 0.20 y 0.30 cm. Es importante señalar que las profundidades a las que se ha hecho referencia, comienzan a contar después de haber removido los residuos orgánicos no descompuestos.

### 3.3.3.1 Evaluación de los resultados de muestreo de suelo

Una vez obtenidos los resultados del muestreo, se utilizaron los siguientes criterios de clasificación tomados de S. Mantel y A. Van Ostrum (2004) [79] quienes se basaron en criterios de Mc Bride 1994 [80] los cuales se observan en la tabla 3.8. Se eligió este criterio de evaluación debido a su simplicidad en la lectura e interpretación de los resultados los cuales describen el estado de salinidad utilizando solamente la conductividad eléctrica.

**Tabla 3.8** Clasificación de salinidad de suelo.

Clase de suelo	Designación	Conductividad eléctrica (dS/m)	Reacción de cultivos
0	Libre de sales	0-2	Los efectos de la salinidad son mínimos, excepto con las plantas más sensibles
1	Ligeramente salino	4-8	Rendimiento de varios cultivos está restringido
2	Moderadamente salino	8-15	Solo cultivos tolerantes tendrán rendimientos satisfactorios
3	Fuertemente salino	>15	Solo cultivos muy tolerantes tendrán rendimientos satisfactorios

### 3.3.4. Muestreo de agua

Para la toma de muestra de agua de uso agrícola se tomó en cuenta el documento informativo para productores No. 9 publicado por INIFAP [81] donde se mencionan los siguientes criterios:

- *Toma de muestras:* En canales, presas, ríos, arroyos, drenes y embalses, se recomienda tomar varias submuestras de diferentes partes, homogeneizar y hacer solo una muestra. La muestra se toma a una profundidad de 30 cm o del fondo y en dirección opuesta a la del flujo del líquido.
- *Cantidad de agua:* Se requieren de 250 a 500 ml de agua procurando dejar el menor volumen de agua en su interior. Cada muestra debe llevar una hoja de identificación, que puede ser una etiqueta, o dentro de una caja donde se deposite la muestra para su traslado al laboratorio.

El criterio de clasificación para el agua de riego se tomó del Laboratorio de Salinidad de Riverside [82] donde se presenta un diagrama que despliega 4 clases de agua de riego en base a la conductividad eléctrica (C.E.) y el porcentaje de absorción de sodio (RAS), la figura 3.4 y 3.5 muestran los parámetros y clasificaciones.

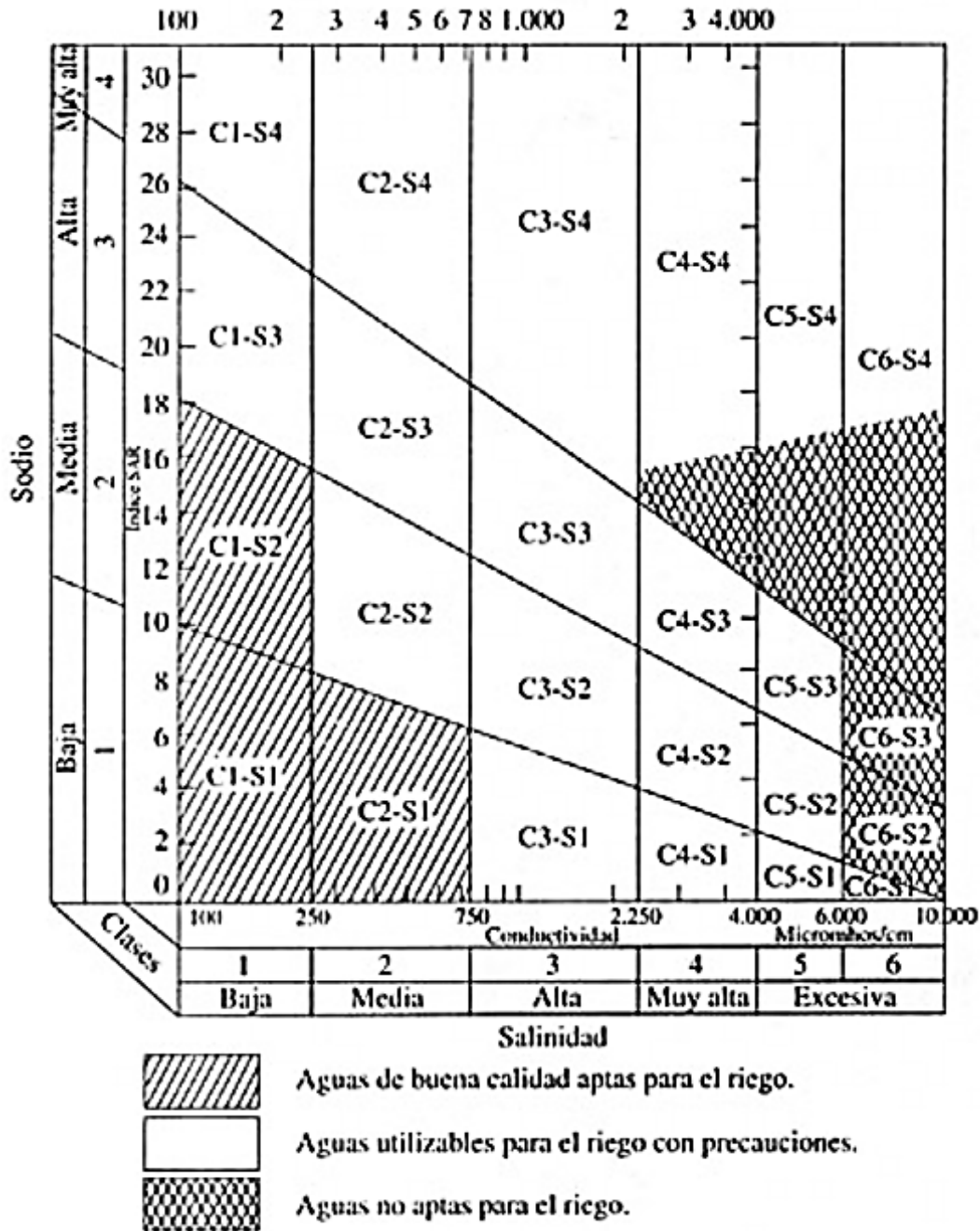


Figura 3.4. Diagrama de clasificación de agua para riego [83]

CLASE	CARACTERISTICAS DEL AGUA DE RIEGO
C <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	Excelente para riego
C <sub>1</sub> S <sub>2</sub>	Agua de muy baja salinidad, util en suelos con buen drenaje.
C <sub>1</sub> S <sub>3</sub> y C <sub>1</sub> S <sub>4</sub>	Aguas con baja salinidad, se necesita compensar la presencia del ion sodio. Utiles para preparar soluciones nutritivas (goteo y aspersión).
C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	Apta para riego
C <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	Apta en suelos con buen drenaje y ricos en materia organica.
C <sub>2</sub> S <sub>3</sub> y C <sub>2</sub> S <sub>4</sub>	Utiles en cultivos con cierta tolerancia a sales y para preparar soluciones nutritivas (goteo).
C <sub>3</sub> S <sub>1</sub>	Apta para riego de cultivos tolerantes a sales.
C <sub>3</sub> S <sub>2</sub>	Aptas para riego en suelos con buen drenaje y cultivos tolerantes a sales.
C <sub>3</sub> S <sub>3</sub> y C <sub>3</sub> S <sub>4</sub>	Aguas peligrosas, necesitan buen drenaje, cultivos tolerantes a sales y enmiendas quimicas.
C <sub>4</sub> S <sub>1</sub>	Aptas para riego en cultivos muy tolerantes a sales.
C <sub>4</sub> S <sub>2</sub>	Aptas con técnicas especiales de riego y cultivos muy tolerantes a sales.
C <sub>4</sub> S <sub>3</sub> y C <sub>4</sub> S <sub>4</sub>	Aguas muy peligrosas para riego. No aptas.

Figura 3.5 Interpretación de resultados de criterios de clasificación de riego [84]

Como se puede observar en el diagrama, se clasifican las aguas en función de la salinidad y sodicidad con 6 y 4 categorías que se agrupan en 4 clases de agua para riego. Aunque esta clasificación solo utilice dos parámetros para dar juicio de valor, es una metodología muy utilizada y similar a la metodología desarrollada por la FAO (1985). Por otro lado, la NOM-001-SEMARNAT-1996 hace una evaluación del agua de riego en base a una extensa lista de parámetros de contaminación que pueden tener gran variabilidad de un canal o pozo, por lo que no es recomendable su utilización para este tipo de evaluación. Para una evaluación más precisa de la calidad de agua de riego, se recomienda revisar el método de Palacios y Aceves [84].

### 3.3.5 Medición de intensidad energética

Para la medición de intensidad energética utilizó la información obtenida en la encuesta aplicada a los operadores de maquinaria agrícola, las preguntas de la encuesta van enfocadas a establecer un número de hectáreas de referencia con el que el operador estuviera familiarizado (en la mayoría de los casos fueron 20 hectáreas) para indagar la cantidad de horas que requiere cada una de las actividades de maquinado y la potencia en HP del tractor utilizado. El coeficiente utilizado para pasar de tiempo y caballos de fuerza a gasolina fue obtenido de Garbers [85] donde un tractor en buen estado de mantenimiento y con un operario eficiente, demanda 0.16 litros de diésel por HP del tractor. Esta conversión se realiza con el fin de determinar un estimado de uso de diésel en función de la frecuencia de actividades de cada sistema productivo. En el caso del riego por goteo, a las actividades de maquinado se le suma

la cantidad de diésel estimada para la operación de la bomba, la cual se obtuvo del calendario de riego utilizado por el usuario del riego por goteo bajo análisis en 3 años (el año de establecimiento del cultivo requiere mayor cantidad de agua) y el gasto de 7.5 litros de diésel por hora que señaló el usuario de este sistema.

### **3.3.6 Intensidad en el uso del agua**

La productividad del agua se calculó en el caso de riego por gravedad a través de la media de los datos obtenidos en la encuesta sobre la media en los rendimientos de alfalfa, esto es, la cantidad de agua utilizada en un año por hectárea sobre las toneladas de alfalfa producidas en una hectárea en un periodo de 6 años, aplicando la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks para comprobar la coherencia en la información. El criterio utilizado es el siguiente:

$$\text{Intensidad en el uso del agua} = \text{Rendimiento ton por ha} / \text{Litros de agua por hectárea}$$

### **3.4 Medición de indicadores económicos**

Para medir los aspectos económicos, se tomó en cuenta la caracterización realizada con los cuestionarios para crear un presupuesto en función de los costos e insumos de las actividades llevadas a cabo en cada uno de los sistemas productivos y posteriormente calcular el costo beneficio a 5 años utilizando la función de Valor Actual Neto (VNA) de Excel 2013 observando dicho valor a distintas tasas de descuento. Para lograr cuantificar los procesos y sus insumos es muy importante la colaboración del personal que trabaja directamente en la producción y el encargado de la unidad productiva. Los precios actualizados de insumos se obtuvieron del boletín de precios publicado periódicamente por SEFOA. Las figuras con los presupuestos desglosados se encuentran en el Anexo D.

### **3.5 Medición de indicadores sociales**

La valoración de indicadores en el aspecto social, se hizo mediante la aplicación de una encuesta orientada a los agricultores tomadores de decisiones, en base a preguntas acerca de su percepción e interacción con el sistema. Las respuestas se tomaron como percepciones positivas o negativas, se hicieron preguntas sencillas para obtener un indicador que describa el

factor social que represente mejor a los atributos de sustentabilidad. Aunque no se llevó a cabo una prueba estadística para dichas variables sociales, la opinión de esta muestra de agricultores es el punto de partida para futuros cuestionarios. Un método conveniente para el análisis de datos sociales es la prueba Chi cuadrada, sin embargo esta prueba requiere una cantidad de muestras considerables de ambos sistemas.

### **3.6 Integración de resultados**

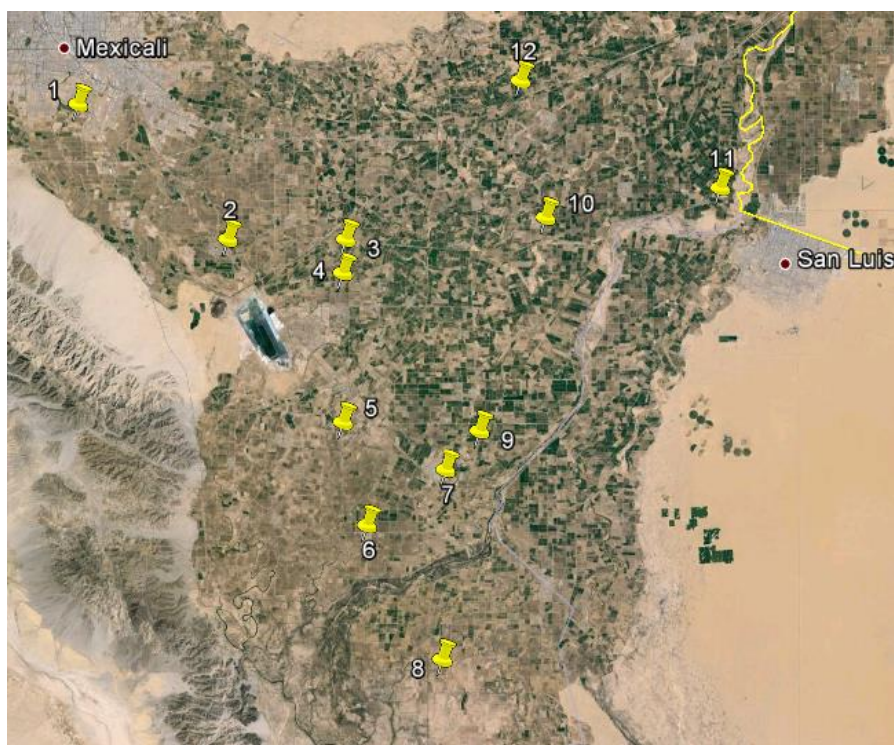
Con el fin de integrar los resultados obtenidos de los distintos indicadores en una escala coherente, se utilizaron intervalos, porcentajes y comparaciones pareadas [62]. El método de comparaciones pareadas consiste en una comparación recíproca, es decir, una comparación del sistema de referencia con el valor obtenido en el sistema que se desea comparar. Los valores normalizados de los indicadores se representan en una gráfica radial elaborada en Excel 2013. Para los indicadores que mejoran su estado de sustentabilidad al minimizar su valor (salinidad, densidad de pulgones) se utilizó el valor obtenido en la comparación pareada pero de forma inversa ( $1/\text{Valor obtenido}$ ) de esta manera los indicadores pueden ser integrados para su comparación visual en una gráfica radial de manera estandarizada en manera ascendente. Los indicadores clasificados por intervalos, por ejemplo, las clases de agua de riego, se normalizaron en una escala de valores del 0 al 100% dependiendo la clase a la que pertenece (las clases están numeradas con números donde entre mayor el número aumenta la salinidad del agua) siendo el máximo porcentaje el nivel deseable o ideal basado en el valor óptimo ponderado. Los indicadores sociales se tomaron como el porcentaje de la muestra  $n= (11)$  para el riego por gravedad y 0 o 1 para el riego por goteo. El anexo E contiene un ejemplo de cómo realizar comparaciones pareadas.

## 4. RESULTADOS

El capítulo 4 muestra los resultados obtenidos en el orden que indica la metodología MESMIS, así como los resultados cuantitativos y cualitativos de la medición de indicadores.

### 4.1 Caracterización de la muestra

A continuación la figura 4.1 presentan la ubicación de los puntos de muestreo así como las características de los agricultores de la muestra a través de gráficas, con el fin de evidenciar el contexto socio-ambiental y agrícola de la zona.

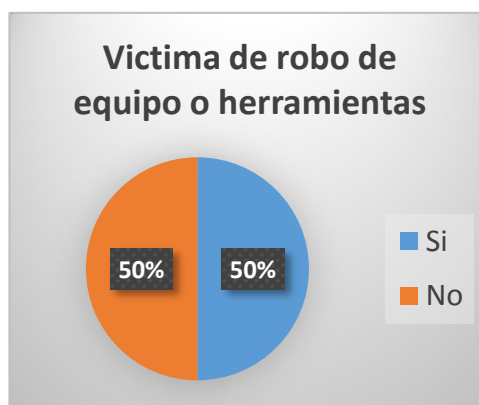
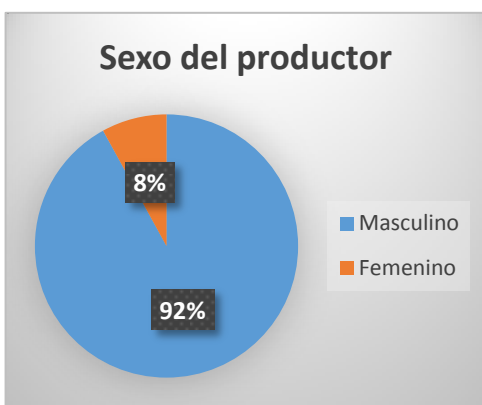
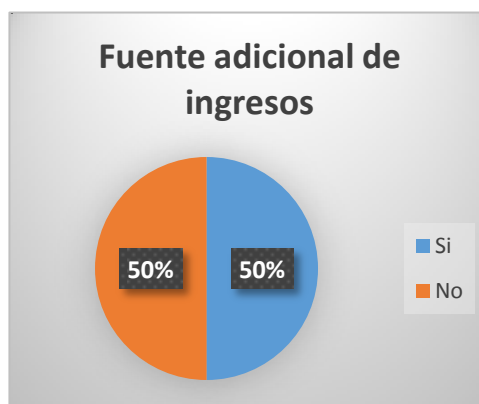
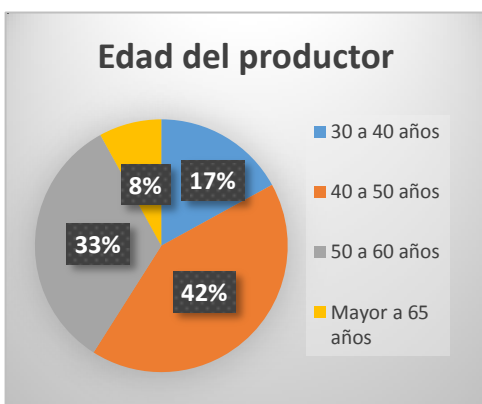
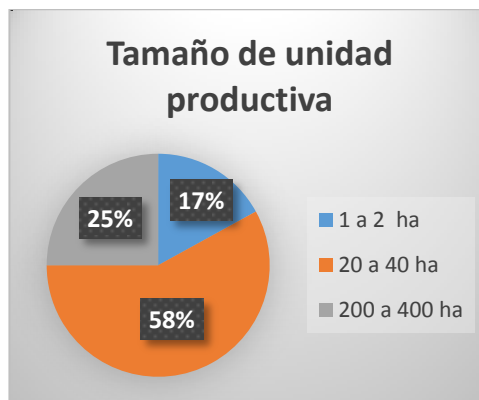
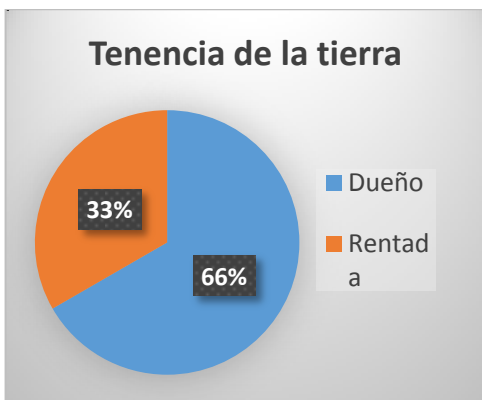


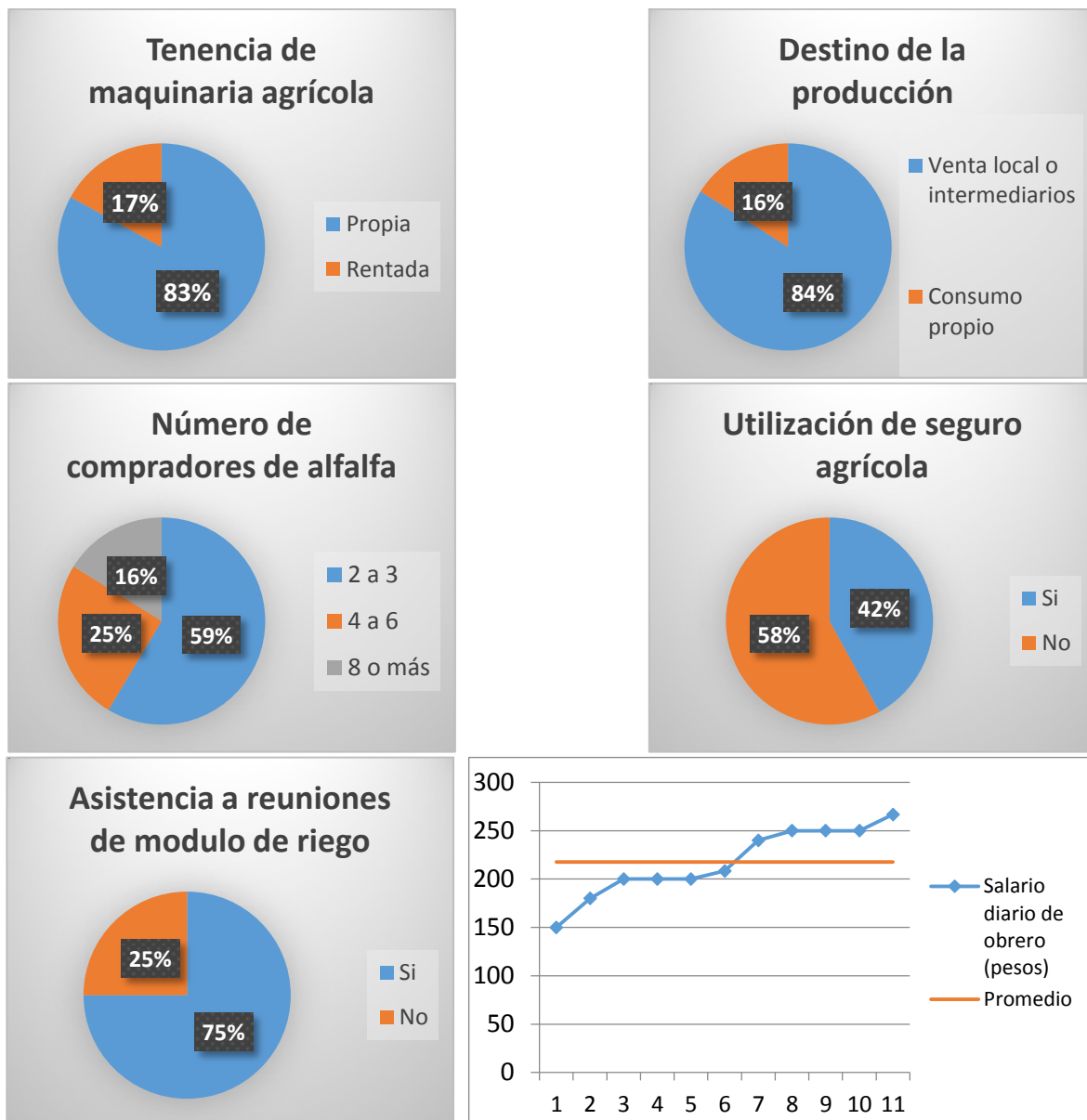
**Figura 4.1** Área de muestreo.

Como se observa en la figura 4.1, las muestras están dispersas alrededor del territorio del Valle, donde el número 12 representa al riego por goteo.

### 4.1.1 Características socioeconómicas

Las gráficas de la figura 4.3 muestran algunas características socioeconómicas de los productores de la muestra.





**Figura 4.2** Características socioeconómicas de la muestra.

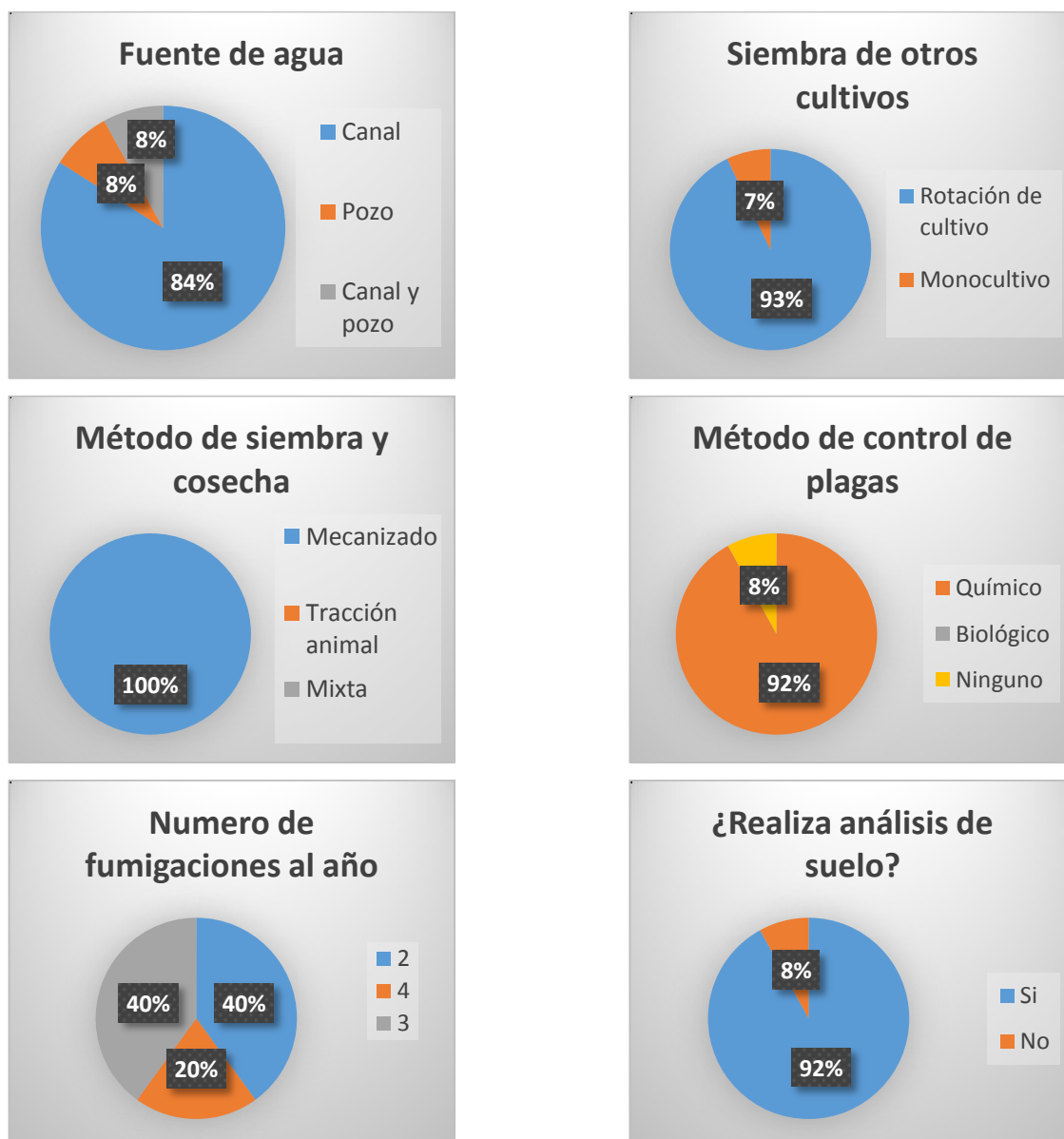
La figura 4.3. muestra el salario promedio de operadores de maquinaria agrícola en el Valle, el cual está alrededor de 150 y 250 pesos diarios, siendo superior que el salario mínimo establecido en México a partir del 2016, el cual es de 102.75 pesos diarios [86].

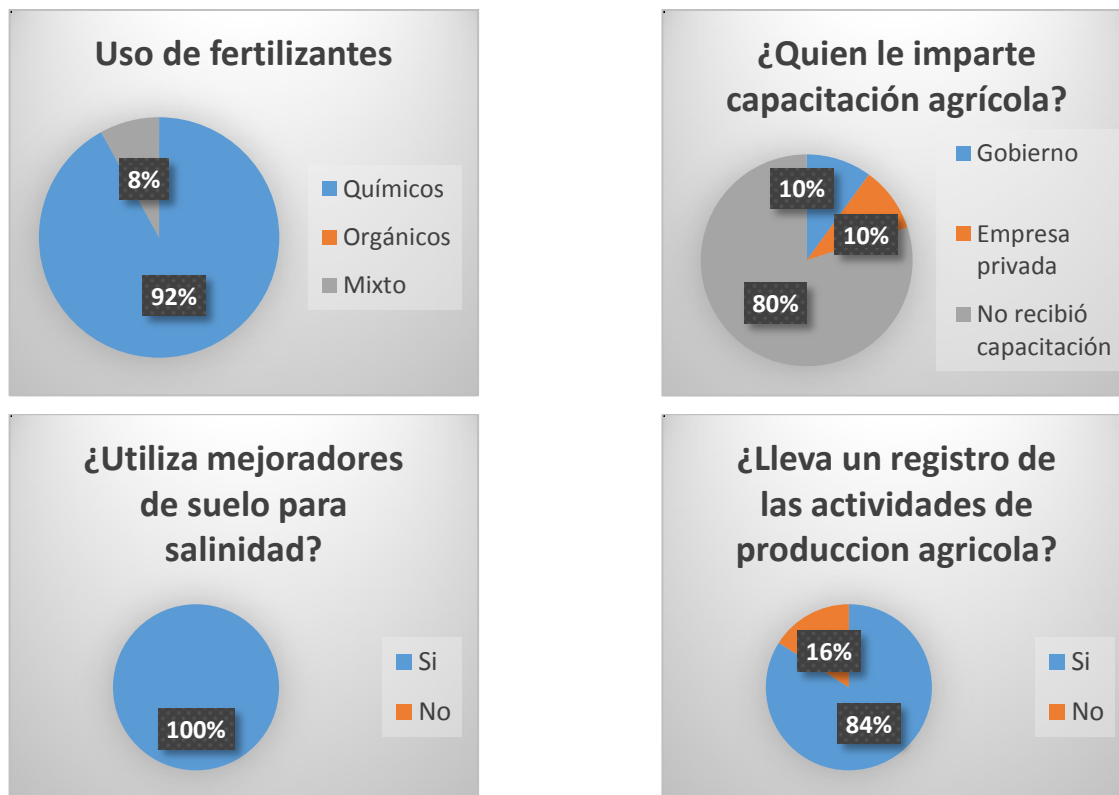
Algunas características mencionadas indican una aproximación a la agricultura empresarial, tomando en cuenta factores como la utilización de seguro agrícola, disponibilidad de maquinaria y equipo y una institución normativa que organiza la repartición de recursos, así como características presentes en el entorno como el acceso a servicios públicos y vías de acceso y comunicaciones. Sin embargo, se conservan también similitudes con la agricultura

campesina: mano de obra familiar, escasa división del trabajo, comercialización en mercados locales, manejo de pluricultivos, por mencionar algunos. A fin de cuentas se puede percibir el contexto socioeconómico como agricultura empresarial y se supone una buena calidad de vida.

#### 4.1.2 Características agrícolas

A continuación las gráficas de la figura 4.3 muestran algunas características del manejo de la producción de alfalfa.





**Figura 4.3** Características agrícolas de la muestra

A grandes rasgos, el contexto productivo agrícola puede definirse como altamente mecanizado, con utilización de tecnología moderna con producción orientada a mercados locales y venta a intermediarios así como acceso a créditos y asistencia técnica. A continuación, se describen las labores del proceso productivo de cada sistema de riego.

#### 4.1.3 Caracterización del proceso productivo

A continuación se describe el proceso de producción de alfalfa con cada sistema con sus entradas y salidas, basado en la información de las encuestas.

##### 4.1.3.1 Sistema de referencia: Producción de alfalfa con riego por gravedad

La producción de alfalfa con riego por gravedad en el Valle de Mexicali consiste en la introducción del flujo de agua en un borde del terreno para que el agua cubra el área gradualmente, delimitando el paso de agua a través de bordos (melgas). El ciclo productivo comienza con la preparación de la tierra de agosto a septiembre la cual consiste en los procesos

de maquinado de subsuelo, barbecho, disqueo, floteo o nivelación laser y bordeo (esta labor se repite después de cada corte). Después se aplica fertilización en pre-siembra con 200 kg por ha de MAP (11-52-00) granulado y, en algunos casos, la aplicación de ácido fosfórico (00-52-00) directo al agua de riego, dependiendo de la valoración del clima y el cultivo. A continuación se procede con la siembra, utilizando 44 kg<sub>ha</sub><sup>-1</sup> de semilla, principalmente la variedad CUF 101 ya que está libre de patente y no existe problema si se deja para semilla, posteriormente se aplica el riego de germinación con alrededor de 25 l/s/ 24h por hectárea. En el ciclo productivo se aplican alrededor de ocho a nueve riegos, aplicando 15 a 18 l/s/24h por hectárea. Dependiendo de la disponibilidad de agua y fertilizante, se obtienen entre cinco y siete cortes en el año, de los cuales se obtuvo un promedio normal en la muestra de 12.92 t ha<sup>-1</sup> de heno seco. El objetivo principal de la producción es la venta a intermediarios o consumidores finales. Para el saneamiento del cultivo se utilizan grandes cantidades de insecticidas y herbicidas, alrededor de 3 aplicaciones de herbicidas y plaguicidas al año, dependiendo de las necesidades. Referente a la fertilización el uso de abono orgánico es bajo, solo uno de los agricultores de la muestra utiliza abono de gallina (gallinaza) el resto de la muestra utilizo mejoradores de suelo. Debido a las necesidades hídricas de la alfalfa y la baja eficiencia de distribución de agua, todos los agricultores deben comprar agua adicional para regar el cultivo, donde su dotación normal comienza en Octubre y se acaba regularmente en Mayo. Después de cada corte se realizan las actividades de rastrillo, empaque y levante de pacas.

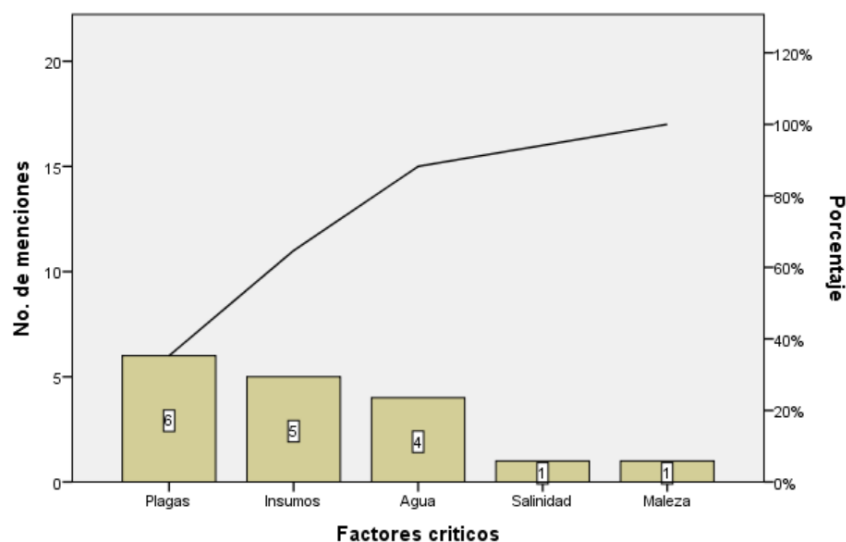
#### **4.1.3.2 Sistema alternativo: Producción de alfalfa con riego por goteo**

El caso analizado de riego por goteo en alfalfa tiene las siguientes características, para un terreno de 17.0 hectáreas. El ciclo productivo comienza con la preparación de la tierra, barbecho y rastreo. Se lleva a cabo la siembra de 44 kg ha<sup>-1</sup> de semilla variedad CUF 101, se fertiliza en pre-siembra con la aplicación de 200 kg ha<sup>-1</sup> de 11-52-00 granulado y posteriormente se aplican los riegos de germinación a través de un sistema de riego por aspersión, se aplican varios riegos para germinación y desarrollo inicial de la planta durante un mes aproximadamente, hasta que las raíces de la planta son suficientes para alcanzar la humedad provista por el sistema de riego por goteo subsuperficial. Sin embargo, en caso de no contar con un sistema de riego por aspersión, se puede utilizar un riego de germinación por

rodado, para ello se requieren hacer las labores de bordeo y canalización antes de la siembra. Después de la germinación, el suministro de riego se realiza mediante el uso de una motobomba de combustión diésel con capacidad de 30 litros por segundo (lps), se utiliza un reservorio para la aplicación oportuna del agua, ya que se requieren de múltiples riegos para aplicar solo la cantidad justa requerida por la planta, el caudal utilizado en un ciclo productivo esta alrededor de 135 l/s/24h por ha. El sistema de riego por goteo requiere una supervisión constante de fugas, una vez antes y durante cada riego, ya que los topos y coyotes pueden morder la cinta de riego y accesorios del sistema. El primer corte que se lleva a cabo en enero-febrero no es significativo, ya que lleva una cantidad considerable de maleza emergida durante los riegos de germinación, la cual desaparecerá casi por completo para los siguientes cortes. Se obtienen alrededor de 11 cortes con un rendimiento total promedio de 28 ton/ha-1 por ciclo productivo. La mayor cantidad de cortes se debe a que no se necesita dejar de regar para las actividades de maquinado. Después de cada corte se realizan las actividades de rastrillo, empaque y levante de pacas. La comercialización se enfoca al mercado local en este caso.

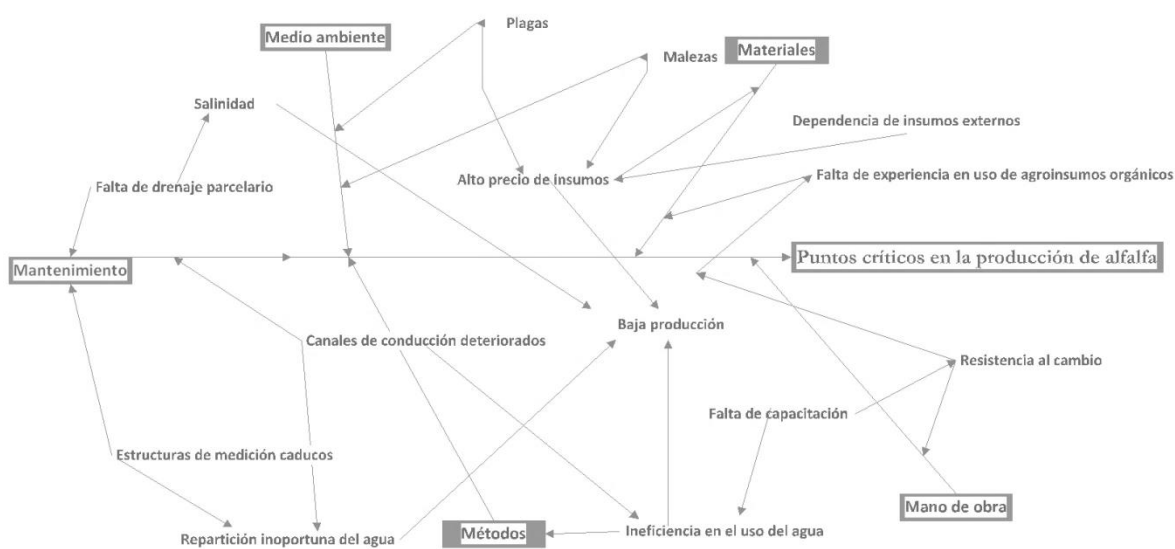
#### 4.2 Determinar los puntos críticos que afectan la sustentabilidad del sistema

A través de la realización de entrevistas a los agricultores se obtuvo un diagrama de Pareto de posibles puntos críticos del sistema plasmado en la figura 4.4.



**Figura 4.4** Histograma de puntos críticos de producción de alfalfa según usuarios.

De los 12 campos analizados se obtuvieron 17 menciones de puntos críticos, donde los factores más mencionados fueron las plagas, seguidas del precio de insumos y la escasez de agua en cantidad y tiempo. Estos puntos críticos se obtuvieron a través de indagar con los usuarios acerca de los factores que limitan la producción de alfalfa y por lo tanto, pueden implicar prácticas de manejo insostenibles. El método para determinar cuantitativamente el efecto de interrelación entre cada punto crítico requiere experimentos controlados con varias repeticiones – lo cual no es factible para el caso. La figura 4.5 muestra un diagrama de Ishikawa que se utilizó como herramienta para determinar posibles causas de los puntos críticos y posteriormente, indicadores factibles de medición.



**Figura 4.5** Diagrama de Ishikawa de puntos críticos.

Como se observa en la figura 4.5, todos los factores del sistema productivo de alfalfa tienen correlación en cierto nivel, donde algunos de estos factores desembocan en baja producción y alto precio de insumos y por otra parte se observa la ineficiencia en la gestión del agua. El diagrama muestra la estimación de los puntos que tienen mayor relación con otros factores, sin embargo son basadas en la subjetividad considerando las condiciones que presionan cada vez más al productor, según la observación. Asimismo, la tabla 4.1 relaciona los puntos críticos de los sistemas con los atributos de sustentabilidad, con el fin de seguir conceptualizando y clasificando los puntos críticos encontrados, tal como lo menciona la metodología MESMIS.

**Tabla 4.1** Identificación de aspectos críticos con atributos de sustentabilidad.

<b>Aspectos crítico de sustentabilidad</b>	<b>Atributo a medir</b>
Calidad del agua	Resiliencia
Intensidad de uso de agua	Eficiencia
Conocimiento necesario para operar sistema	Adaptabilidad
Equidad en la repartición del agua	Equidad
Presencia de plagas	Resiliencia
Costo beneficio	Productividad
Presencia de maleza	Resiliencia
Salinidad del suelo	Resiliencia
Calidad del agua	Resiliencia
Productividad	Eficiencia
Dependencia de factores externos	Autogestión

*Fuente: Elaboración propia a través de Masera et al. [70]*

En conclusión, los puntos críticos son los pilares más frágiles que sostienen la sustentabilidad de la producción de alfalfa. Aunque algunos puntos críticos son más imprescindibles que otros dependiendo del punto de vista, desde el punto de vista sustentable, la falta de control de alguno de ellos ocasionará un desequilibrio gradual en uno o más puntos críticos que por inercia ocasionara que la producción de alfalfa deje de ser sustentable.

### **4.3 Seleccionar criterios de diagnóstico e indicadores**

La derivación de indicadores se define a través de los puntos críticos mencionados anteriormente, tomando en cuenta la facilidad de medición y alcance descriptivo del indicador. Los indicadores seleccionados se muestran en la tabla 4.2.

#### **4.3.1 Consideraciones acerca de los indicadores seleccionados**

Como se mencionaba anteriormente, la selección de indicadores se llevó a cabo en función de la disponibilidad y facilidad de obtención de datos. Dichos indicadores cumplen con los criterios establecidos en el marco teórico ya que describen procesos críticos de los sistemas en cuestión, son de fácil medición e interpretación y están interrelacionados

**Tabla 4.2** Lista de indicadores propuestos a nivel parcela

Atributos	Criterio	Indicadores	Método de medición	Área de evaluación	Unidades
Productividad	Eficiencia	Costo beneficio	Cuestionario	Económica	Coficiente costo beneficio
	Eficiencia	Intensidad del uso del agua	Cuestionario	Ambiental	l/s/24h/ton
	Eficiencia	Intensidad del uso de energéticos	Cuestionario	Ambiental	Litros de diésel/ton
Adaptabilidad	Adaptación a propuestas tecnológicas	Agricultores que reciben capacitación	Cuestionario	Social	% de la muestra
Resiliencia y estabilidad	Conservación de recursos	Clasificación del agua	Muestreo	Ambiental	Intervalos de clases de agua de riego (1-4)
	Conservación de recursos	Salinidad del suelo	Muestreo	Ambiental	Intervalo de valoración de salinidad del suelo (1-4)
	Estrés ambiental	Presencia de pulgón	Muestreo	Ambiental	Numero de plagas por muestreo de 100 golpes de red
	Estrés ambiental	Presencia de malezas	Muestreo	Ambiental	Intervalos de muestreo semicuantitativo (1-4)
Autogestión	Dependencia de insumos externos	Utilización de insumos de producción local	Cuestionario	Económico	% de la muestra
Equidad	Equidad en la distribución de recursos	Percepción de la repartición del agua	Cuestionario	Social	% de la muestra

Sin embargo, existen indicadores que describirían con más exactitud la relación sistema de riego-recurso natural-sociedad, por ejemplo: características físicas del suelo como profundidad y capilaridad, la presencia de tóxicos en el agua, la calidad de vida de los usuarios, así como el cálculo del efecto de distintos tratamientos para la producción, la comparación de sus condiciones con el uso y numero de aplicaciones lo cual permita calcular en forma teórica la cantidad de contaminación que llega al ambiente, y posteriormente determinar umbrales o valores límite para evitar dañar la estructura del suelo. No obstante, la obtención de estos valores puede ser un proceso complejo que requiere el monitoreo y análisis de datos por un tiempo considerable, por lo menos lo suficiente para elaborar un modelo de simulación; por ejemplo, algunas propiedades físicas del suelo tardan décadas en presentar cambios. Por lo tanto, estos indicadores se presentan como una primera aproximación (o primer ciclo) para abordar la evaluación de los sistemas de producción de alfalfa del Valle de Mexicali en un contexto de sustentabilidad a nivel productivo, en función del sistema de riego utilizado.

Los indicadores económicos están en función de los beneficios económicos obtenidos en un periodo de 6 años, el otro indicador se refiere al origen de los insumos utilizados considerando la variabilidad de la paridad del peso con otras monedas y la dependencia económica que esto genera. Los indicadores ambientales van enfocados a las alteraciones ambientales que produce cada uno de los sistemas, esto es, considerando la calidad del agua, ¿existe una relación entre el sistema utilizado, la calidad del agua y el deterioro de los suelos? ¿Qué sistema produce menos efectos ambientales no deseados (plagas, malezas)? Así como la medición de la utilización de recursos (agua, diésel) para la producción de alfalfa. Aunque no se está calculando directamente el daño que ocasiona el uso de cada sistema, la estimación de los parámetros que arroja cada actividad ayuda a identificar las tendencias de uso, por ejemplo, los indicadores ambientales no miden el uso de plaguicida que pasara al subsuelo, pero si dan una idea de la dimensión del problema, por lo que se mide de manera indirecta el impacto ambiental potencial de los sistemas. Los indicadores sociales intentar abordar de manera sencilla la interacción del usuario con el sistema: ¿cómo afecta el uso de un determinado sistema a la percepción del entorno y las autoridades por parte del usuario? ¿Qué acciones lleva a cabo el usuario para mejorar su desempeño como administrador de su sistema?.

#### **4.4 Resultado de medición de indicadores**

A continuación se muestran los resultados de la medición de indicadores obtenidos al analizar los datos recopilados en base a las metodologías mencionadas.

##### **4.4.1 Relación costo/beneficio**

La relación costo beneficio del sistema de referencia incluyó las labores culturales, siembra, fertilización, riegos, control de plagas y enfermedades, cosecha y costos diversos (seguro agrícola, asistencia técnica), dichos costos tienen agregado el valor de mano de obra y energéticos para la maquinaria. Para el sistema alternativo se incluyen los costos mencionados anteriormente así como costos de instalación, inversión inicial y mantenimiento. Los costos de mantenimiento incluyen arena para los filtros, manguera y conexiones para hacer reparaciones de daños por roedores y ácidos para la limpieza de las líneas de goteo, dichos ácidos funcionan también como mejoradores de suelo. Los costos de cosecha se muestran de acuerdo al promedio de número de cortes en cada sistema y el precio de la alfalfa se supone a 2500 la

tonelada, que aunque en la realidad el precio presenta variaciones en ciertas temporadas es el precio más común, el cual coincide con el precio del boletín de SEFOA. El resumen del análisis se observa en las tablas 4.3 y 4.4.

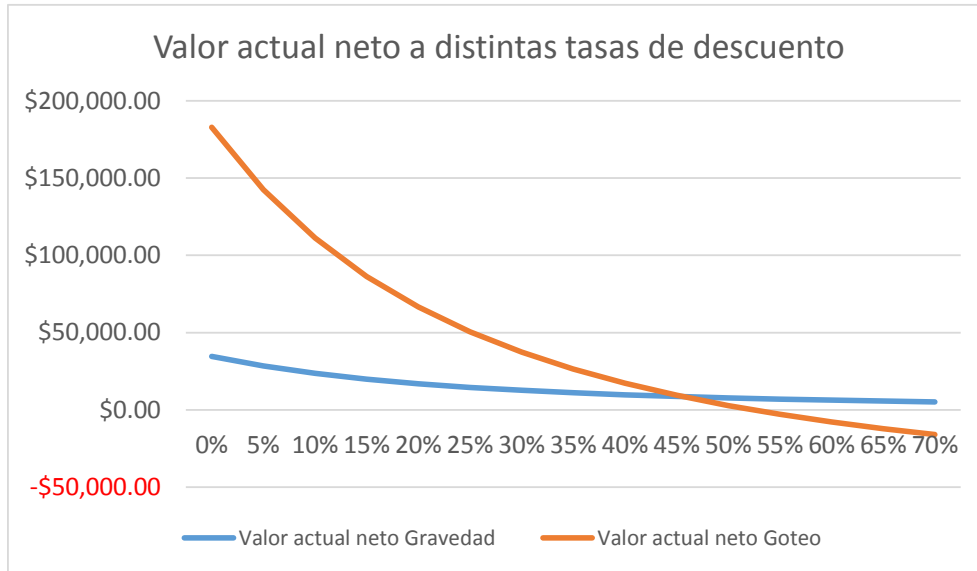
**Tabla 4.3** Estimación de costo beneficio de riego por gravedad a 3 años.

Inversión	\$79,077.65	
Tasa de descuento	10%	
Periodo	Ingresos	Costos
1	\$62,500.00	
2	\$70,000.00	\$38,857.44
3	\$70,000.00	\$35,892.44
4	\$70,000.00	\$35,892.44
5	\$70,000.00	\$35,892.44
6	\$70,000.00	\$35,892.44
Valor de ingresos	\$298,050.07	\$35,892.44
Valor de egresos	\$159,016.39	
Egresos + inversión	\$238,094.03	
Costo beneficio	1.25	

**Tabla 4.4** Estimación de costo beneficio del riego por goteo a 6 años.

Tasa de descuento	10%	
Periodo	Ingresos	Costos
1	\$32,500.00	\$37,673.29
2	\$32,500.00	\$21,260.68
3	\$32,500.00	\$21,260.68
4	\$32,500.00	\$37,673.29
5	\$32,500.00	\$21,260.68
6	\$32,500.00	\$21,260.68
Valor de ingresos	\$141,545.97	
Valor de egresos	\$118,726.39	
Costo beneficio	1.1922	

La figura 4.6 muestra el costo beneficio esperado con distintas tasas de descuento.



**Figura 4.6** Estimación de valor actual neto a distintas tasas de descuento.

Para la estimación de costo beneficio a 6 años considerando una tasa de descuento de 10%, el costo beneficio es de 1.25 para el riego por goteo y 1.19 para el riego por gravedad. El análisis se llevó a cabo para 6 años ya que es el tiempo de vida productiva de la alfalfa utilizando el riego por goteo y 3 años para el riego por gravedad, por lo que el riego por gravedad incluye dos ciclos de siembra. Esto con el objetivo de una comparación equitativa. En ese sentido cabe señalar que algunos componentes del riego por goteo tal como válvulas, filtros y bomba pueden tener una vida de más de 10 años con un adecuado mantenimiento. La cinta de goteo calibre 15000 utilizada en el análisis se utiliza con una vida útil de alrededor de 6 años. A través de elaboración de consulta de expertos, diseños y cotizaciones se determinó que la cinta de goteo representa alrededor del 15% de la inversión inicial. Por lo tanto, el riego por goteo representa mayores ganancias potenciales a largo plazo (el segundo ciclo productivo del riego por goteo tendrá menor valor inicial) lo cual no forma parte de este análisis. La figura 4.6 nos muestra el valor actual neto (VAN) para ambos sistemas, donde se evidencia el mayor flujo de efectivo por parte del riego por goteo. Considerando que un peso de hoy vale más que un peso de mañana (devaluación, inflación) el riego por goteo se presenta como una opción más riesgosa pero con retornos mayores que el riego por gravedad, y ambos serán productivos con tasas de descuento menores a 45% (TIR). El TIR no se incluyó como comparativo proyectos ya que el riego por gravedad no tiene una inversión inicial tangible siendo la inversión inicial un requisito para su cálculo, aunque la gráfica del VAN a distintas tasas de descuento evidencia

dicho valor. Cabe mencionar que los análisis financieros son predicciones matemáticas y como tales los proyectos pueden fracasar con un mal manejo, mal diseño, mala administración, caída de los rendimientos, etc. Por lo tanto, se concluye que el riego por goteo es más favorable económicamente pero más riesgoso, mientras el riego por gravedad puede ser atractivo para inversionistas más conservadores.

#### 4.4.2 Intensidad en el uso del agua

A través de las encuestas se obtuvieron los gastos de agua y rendimientos para distintos sistemas de riego por gravedad en alfalfa, con dichos valores se realizó una prueba de normalidad utilizando el software SPSS 21 los cuales se muestran en el anexo F. Al obtener la normalidad de los datos, se compara con el valor de riego por goteo mediante una prueba T, con el objetivo de determinar si el rango de valores de consumo de agua en riego por gravedad difiere del valor obtenido de riego por goteo. Mediante el software SPSS se encontró que si existe una diferencia significativa estadísticamente entre los gastos de agua de los sistemas. La cantidad de agua estimada para el sistema de riego por gravedad dio un promedio de 176.54 l/s/ha al año. En el caso del riego por goteo, el volumen declarado por el usuario fue de 135 l/s/ha al año. Dichos datos representan un ahorro de 30.77% por hectárea al año utilizando riego por goteo.

La tabla 4.7 define la intensidad de uso del agua, es decir, la cantidad de agua utilizada para producir una tonelada de alfalfa con ambos sistemas.

**Tabla 4.7** Estimación de intensidad en el uso del agua de riego.

	<b>Riego por goteo</b>	<b>Riego por gravedad</b>
<b>Cantidad de agua anual/ha (l/s/24h)</b>	135 l/s/24h	176.54 lps/24h
<b>Cantidad de agua anual/ha (l)</b>	11,664,000 litros	15,253,056 litros
<b>Rendimiento anual</b>	28 ton/ha	12.92 ton/ha
<b>Intensidad de uso del agua (l/s/24h)</b>	4.82 l/s/24h/ton	13.66 lps/24h/ton
<b>Intensidad de uso del agua (l)</b>	416,571.4 litros/ton	1,116,288 litros/ton

### 4.4.3 Intensidad energética

En base a los resultados de encuestas a operadores de maquinaria, se obtuvieron tiempos para las distintas actividades de maquinado que requieren el uso de diésel. Se realizó una prueba de normalidad de Shapiro Wilks con un nivel de significancia de 95% donde los valores de gasto de diésel por hectárea fueron normales para todas las actividades con excepción del empaque, este ruido puede deberse a que la producción varía a través del año y esto ocasiona variaciones para cada evento de corte, dificultando que los operadores coincidieran con un tiempo promedio. Tomando en cuenta la diferencia en potencias de maquinaria (HP) de distintos agricultores, se estandarizó el rendimiento del diésel usando un factor de conversión de 0.16 litros de diésel por hora por caballo de fuerza (después de comparar varios rendimientos de diésel este fue el más acertado a las estimaciones de usuarios), la mayoría de los productores utilizan tractores de 200 HP. Los resultados de las encuestas a operadores de maquinaria se muestran en el anexo C. Los valores promedio estimados se muestran en la tabla

4.8. La nivelación depende de las condiciones del terreno, el valor se refiere a un desnivel moderado típico en la zona.

**Tabla 4.8** Estimación de intensidad del uso de diésel por actividad de maquinado

Actividad	Litros de diésel/hectárea
<i>Nivelación</i>	24.2
<i>Barbecho</i>	25.46
<i>Disqueo</i>	13.12
<i>Siembra</i>	17.56
<i>Bordeo</i>	7.61
<i>Corte</i>	8.23
<i>Rastrillo</i>	6.67
<i>Empaque</i>	10.13
<i>Fertilización al voleo</i>	10.34

Para el consumo de diésel que utiliza la avioneta durante la aplicación aérea (método utilizado en riego por gravedad) solo se cuenta con una estimación dada por el encargado de una empresa de aviación agrícola local ubicada en la colonia Carranza, dicho estimado fue de 40 litros por 20 hectáreas. El gasto de la bomba del riego por goteo fue de 7.5 litros por hora, con un tiempo de riego de 350 horas para el primer año y 412 horas para los años restantes. Por lo tanto para las 17 hectáreas del terreno se tiene un gasto de 154.41 litros por hectárea el primer

año y 181.76 litros por hectárea los siguientes años. La estimación del uso de diésel se presenta en las tablas 4.7 y 4.8 a 3 y 6 años de producción respectivamente:

**Tabla 4.7.** Estimación de consumo de diésel para la producción de alfalfa a 3 años.

Actividad	Riego por gravedad (lts)	Actividad	Riego por goteo (lts)
<i>Barbecho</i>	25.46	<i>Barbecho</i>	25.46
<i>Disqueo</i>	26.24	<i>Disqueo (2)</i>	26.24
<i>Nivelación laser</i>	24.2	<i>Nivelación laser</i>	24.2
<i>Bordeo (2)</i>	7.61	<i>Bordeo</i>	7.61
<i>Rebordeo (15)</i>	114.15	<i>Corte (33)</i>	271.59
<i>Corte (21)</i>	172.83	<i>Rastrillo (33)</i>	220.11
<i>Rastrillo (21)</i>	140.07	<i>Empaque (33)</i>	334.29
<i>Empaque (21)</i>	212.73	<i>Fertilización al voleo</i>	10.34
<i>Fertilización al voleo</i>	10.34	<i>Motobomba Año 1</i>	154.41
<i>Aplicación aérea (12)</i>	24	<i>Motobomba Año 2-3</i>	363.52
<i>Total/ ha/ 3 años</i>	757.63	<i>Total/ ha/ 3 años</i>	1437.77
<i>Producción estimada a 3 años</i>	38.76 ton	<i>Producción estimada a 3 años</i>	84 ton
<i>Diésel/ ton</i>	19.54 lts/ton	<i>Diésel/ ton</i>	17.11 lts/ton

**Tabla 4.8.** Estimación de consumo de diésel para la producción de alfalfa a 6 años.

Actividad	Riego por gravedad (lts)	Actividad	Riego por goteo (lts)
<i>Barbecho (2)</i>	50.92	<i>Barbecho</i>	25.46
<i>Disqueo (4)</i>	52.48	<i>Disqueo (2)</i>	26.24
<i>Nivelación laser (2)</i>	48.4	<i>Nivelación laser</i>	24.2
<i>Bordeo(2)</i>	15.22	<i>Bordeo</i>	7.61
<i>Rebordeo (30)</i>	228.3	<i>Corte (66)</i>	543.18
<i>Corte (42)</i>	345.66	<i>Rastrillo (66)</i>	440.22
<i>Rastrillo (42)</i>	280.14	<i>Empaque (66)</i>	668.58
<i>Empaque (42)</i>	425.46	<i>Fertilización al voleo (2)</i>	20.68
<i>Fertilización al voleo (2)</i>	20.68	<i>Motobomba Año 1</i>	154.41
<i>Aplicación aérea (24)</i>	48	<i>Motobomba Año2-6</i>	908.8
<i>Total/ ha/ 6 años</i>	1515.26	<i>Total/ ha/ 6 años</i>	2819.38
<i>Producción estimada a 6 años</i>	77.52 ton	<i>Producción estimada a 6 años</i>	168 ton
<i>Diésel/ ton</i>	19.55 lts/ha	<i>Diesel/ ton</i>	16.78 lts/ton

#### 4.4.4 Salinidad del suelo

Como se mencionaba anteriormente, se utilizó el criterio de evaluación de Mc Bride 1994 [87] para valorar la salinidad del suelo, la tabla 4.9 muestra los resultados de la evaluación.

**Tabla 4.9** Resultado de la evaluación de salinidad del suelo.

Campo	C.E.	Interpretación de salinidad	Intervalo
1	4.1	Ligeramente salino	1
2	8.4	Moderadamente salino	2
3	6.6	Ligeramente salino	1
4	3.81	Ligeramente salino	1
5	1.5	Libre de sales	0
6	5.91	Ligeramente salino	1
7	2.66	Ligeramente salino	1
8	1.67	Libre de sales	0
9	12.92	Moderadamente salino	2
10	1.4	Libre de sales	0
11	2.8	Ligeramente salino	1
12	2.82	Ligeramente salino	1

Los niveles de salinidad para la mayoría de los campos resultaron ser ligeramente salinos, incluso los campos regados con agua de pozo la cual tiene un nivel muy alto de salinidad, tal como se observa en la tabla 4.9. Una posible explicación es que todos los usuarios de la muestra utilizaron mejoradores de suelo, otra posible explicación es que el muestreo de 0-30 cm no fue el adecuado para determinar el nivel de salinidad o que el efecto de capilaridad no había terminado de subir las sales a la zona radicular.

#### 4.4.5 Calidad del agua

La tabla 4.10 muestra los valores obtenidos de conductividad eléctrica y relación de absorción de sodio en la muestra, así como la clasificación otorgada de acuerdo a la nomenclatura del laboratorio de salinidad de Riverside (1954).

**Tabla 4.10** Clasificación del agua de riego de la muestra.

Campo	C.E.	RAS	Problema de sodicidad potencial	Problema de salinidad potencial	Clase C.E.	Clase RAS
1	1.76	2.444	Baja	Medio	C3	S1
2	1.67	6.2858	Baja	Medio	C3	S1
3	1.64	2.6385	Baja	Medio	C3	S1
4	1.67	3.3175	Baja	Medio	C3	S1
5	1.66	2.8635	Baja	Medio	C3	S1
6	1.6	2.7280	Baja	Medio	C3	S1
7	1.7	2.8441	Baja	Medio	C3	S1
8	1.49	2.8727	Baja	Medio	C3	S1
9	2.9	3.9802	Baja	Alto	C4	S1
10	1.08	3.0599	Baja	Medio	C3	S1
11 (pozo)	4.88	11.3137	Media	Muy alto	C5	S2
12 (pozo goteo)	3.16	21.3920	Alta	Alto	C4	S3

Se observa que casi en su totalidad el agua de canal está en la categoría C3S1, apta para riego de cultivos tolerantes a sales. Por otro lado el agua de pozo para los dos casos analizados tuvo niveles C5 S2, C4 S3, considerados no aptos para riego. Cabe mencionar que algunos usuarios manifestaron que la salinidad en el agua de pozo comenzó después del terremoto del 4 de abril del 2010 en Mexicali.

#### 4.4.6 Presencia de malezas

Indicador de tipo ambiental, indica la cantidad de malezas encontradas en muestreos semicuantitativos en las mismas condiciones climáticas para cada sistema. La maleza es un problema que afecta a la alfalfa directamente ya que las distintas posibles especies de maleza compiten con la alfalfa para obtener el agua dificultando su desarrollo y disminuyen la calidad del producto terminado.

Como se mencionaba en la sección 3.3.2., los muestreos se llevaron a cabo con 20 observaciones por campo, donde cada medición se califica con un intervalo del 1 al 4 para finalmente promediar los valores promediados por sistema, dichos promedios se muestran en la tabla 4.10.

**Tabla 4.10** Promedio de observaciones en muestreos de maleza.

Campo	Promedio de observaciones (20)
1	2.6
3	4.35
4	2.45
6	3.25
7	3.2
9	5
11	3.8
12 (goteo)	1

Como se observa en la tabla 4.9. el sistema alternativo presentó una cantidad nula de malezas en el muestreo, mientras el sistema de referencia presento niveles de moderados hasta llegar al maximo en un caso (4), donde se encontraron mas de 20 malezas por metro cuadrado en todas las observaciones. La figura 4.7 muestra la comparacion en la maleza de ambos sistemas.

*Campo con riego por gravedad (arriba) y riego por goteo (abajo)\**



**Figura 4.7.** Comparación de presencia de malezas.

Una posible causa de esta ausencia de malezas es la profundidad de la cinta de riego por goteo, la cual puede diferir con la profundidad de las semillas de maleza. Como anotación, los tubos que sobresalen del suelo sirven como elevadores para las válvulas de admisión y expulsión de aire, las cuales son necesarias para evitar problemas de obstrucción por aire o “golpes de ariete” en el sistema de riego por goteo.

#### **4.4.7 Presencia de pulgón**

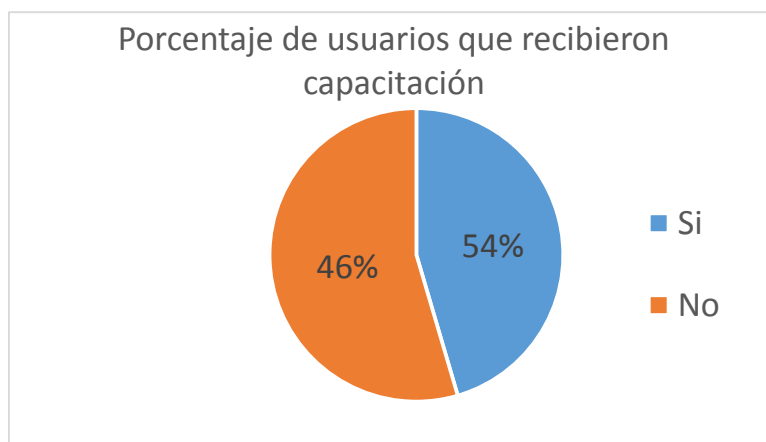
Como se mencionaba anteriormente, se tomó la densidad de pulgones como indicador de plagas por la temporada en que se hicieron las mediciones. Además del pulgón se encontró una gran densidad de la plaga “trips” en densidad considerablemente mayor que el riego por gravedad. Sin embargo, aunque si es considerada una plaga desde el punto de vista entomológico, los daños son menores (además que la plaga es mucho más pequeña que las otras) por lo que no se tomó como punto crítico del sistema. Los muestreos se llevaron a cabo el mismo día en un rango de tiempo de 4 horas (10 am a 2 pm) con la intención de hacer el estudio transversal, donde un muestreo transversal ideal sería todos los campos al mismo tiempo, pero días consecutivos también puede ser acertado. Sin embargo, la realización de estos muestreos es un proceso riguroso para su medición (de uno por uno con un alfiler). Para la plaga de trips, se encontró normalidad en la muestra de riego por gravedad, y diferencias significativas con el riego por goteo, donde el riego por goteo presento una mayor densidad de esta plaga con una diferencia de medias de -243. En el segundo muestreo se encontró una normalidad en la muestra de pulgones, sin embargo no se encontró una diferencia estadística significativa con el riego por goteo. No obstante la diferencia de medias fue de 771, es decir, hubo alrededor de 771 pulgones más en el riego por gravedad que en el riego por goteo.

Esto mismo ocurrió con la plaga de trips: se encontró normalidad en el conjunto de muestras pero no hubo diferencias significativas con la muestra del riego por goteo, con una diferencia de medias mayor en goteo de 243. Por último se observó que la cantidad de depredadores fueron significativamente menores en la muestra del riego por goteo, quizá por la menor cantidad de alimento (pulgones) presente en dicha muestra. Asimismo, se encontraron una mayor cantidad de catarinas en el riego por goteo donde en el riego por gravedad apenas se encontraron muy pocas o ninguna.

#### **4.4.8 Adaptación a propuestas tecnológicas**

Indicador de tipo social, se refiere a la cantidad de agricultores que reciben asesoría. Este indicador social no tiene una relación directa con los sistemas de riego si no que califica la capacidad de innovación/adaptación de los usuarios. El usuario de riego por goteo llevó cursos de capacitación por parte de la empresa donde adquirió su sistema de riego, así como capacitación en el uso efectivo de agua por parte del programa de gobierno RIGRAT (Riego

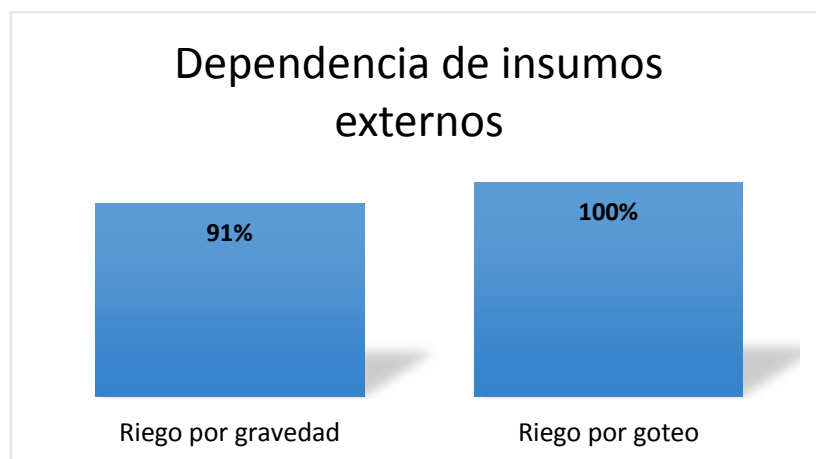
por Gravedad Tecnificado). En el caso de los usuarios de riego por gravedad, en todos los casos los usuarios aprendieron el método de riego por gravedad a través de sus padres, y el 54% de la muestra recibió capacitación a través del gobierno o empresas comercializadoras aunque solamente en el tema de manejo de agroquímicos.



**Figura 4.8** Usuarios que recibieron capacitación en la muestra de riego por gravedad.

#### 4.4.9 Dependencia de insumos externos

Indicador de tipo económico, se refiere al porcentaje de usuarios que utilizan insumos producidos fuera del área de estudio (localmente se ha observado la producción de fertilizantes orgánicos, control biológico de plagas, semillas criollas). Para la muestra, los usuarios de ambos sistemas dependen en su totalidad de insumos producidos en el extranjero, con excepción de un agricultor que añade a su alfalfa 1 tonelada de composta de gallina (gallinaza) por hectárea anualmente. La figura 4.9 muestra este resultado en porcentajes.



**Figura 4.9** Dependencia de insumos externos.

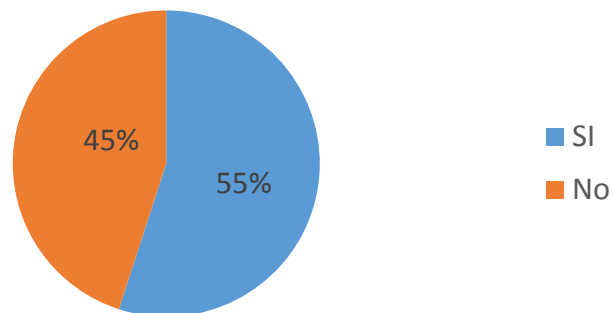
La figura 4.9 evidencia el hecho de que no se ha desarrollado por completo el mercado de insumos agrícolas producidos localmente. El paradigma de uso de agroquímicos está arraigado entre productores ya que los resultados se manifiestan con mayor rapidez que los productos orgánicos, que es lo que se produce en la localidad, entre otras razones. Dicho paradigma crea fragilidad económica en el sistema, ya que se sigue teniendo dependencia del precio del dólar. (Si sube el dólar, los comerciantes de agroquímicos suben el precio de los productos). Al indagar entre los usuarios acerca de la disponibilidad de conseguir dichos insumos producidos localmente la mayoría expresaron que tales productos se consiguen con facilidad, sin embargo no lo han hecho porque no están seguros de su eficacia, en otros casos los usuarios manifestaron su intención de utilizarlos en pequeña escala para ver el resultado.

#### **4.4.10 Percepción de la repartición de agua**

Indicador de tipo social, se refiere a la cantidad de usuarios de la muestra que expresaron una opinión negativa respecto a la equidad en la repartición del agua. Como se mencionaba anteriormente, el cobro de agua de canal no tiene un sistema que mida con precisión el caudal que utiliza cada usuario. Los mecanismos que se utilizaban anteriormente, llamados vertederos, fueron removidos por los usuarios ya que disminuía el caudal en el canal, por tal razón las mediciones se basan en la pericia y criterio del canalero. Esto sumado a irregularidades por parte de funcionarios de algunos módulos, tales como la apropiación del agua para sus propios cultivos, desvió de fondos, “compadrazgo”, es decir, darle preferencia a ciertos usuarios. Así

como un usuario manifestó que se le cobra de más (donde algunos otros manifestaron que se les cobra de menos, por lo que tienen una percepción positiva). La mayoría de los productores saben que esto ocurre ocasionando descontento entre los usuarios no favorecidos. Esto ocasiona diferentes opiniones con respecto a la equidad en la repartición de agua, donde el 45% de la muestra considera que existe una desigualdad en la repartición del agua, mientras el 55% considerada que la repartición es equitativa o funcional.

¿Existe equidad en la repartición del agua?



**Figura 4.11** Percepción de la igualdad en la repartición del recurso agua.

Asimismo debe tomarse en cuenta que existen 22 módulos de riego con distinto personal en cada uno de ellos, por lo que no se puede generalizar el estado de equidad sin un muestreo que considere estadísticas para cada módulo. Aunque los usuarios que cuentan con medidores volumétricos se protegen de que se les dé menos agua de la que se les cobra, la preocupación más grande para los usuarios es el hecho de que el agua llegue a tiempo. En el caso del sistema alternativo, el uso de un reservorio provee de un medio de almacenamiento temporal de agua que disminuye el riesgo de estrés hídrico en el cultivo por falta de agua en el momento oportuno (un reservorio no es factible en riego por gravedad).



**Figura 4.12** Reservorio junto a motobomba del usuario del riego por goteo.

#### 4.5 Integración de indicadores

Los valores obtenidos por el sistema alternativo superan al sistema de referencia. Aunque ambos sistemas cumplen con la misma función, el uso del riego por goteo desemboca en el manejo de mayores cantidades de capital, energía combustible y conocimiento humano. Sin embargo, la producción justifica el uso de estos ya que sigue siendo más productivo que el riego por gravedad. Sin embargo, para un agricultor que se encuentra en la base de la subsistencia o comunidades poco desarrolladas económicamente no pueden considerar (aun) el uso de este sistema. La tabla 4.11 refleja de forma cuantitativa la gráfica radial de evaluación de sustentabilidad.

**Tabla 4.11.** Resultados de la medición de indicadores.

Indicador	Riego por gravedad	Riego por goteo	Notas
Relación costo beneficio	1.19 C/B	1.25 C/B	Coficiente de costo beneficio con 10% de tasa de descuento a 5 años
Intensidad en el uso del agua	1,116,288 litros	416,571.4 litros	Litros de agua utilizados para producir una tonelada de alfalfa. Promedio calculado a un año.
Intensidad en el uso de energéticos	-19.54 lts/ton -58.44 kg/lt	-17.11 lts/ton -51.15 kg/lt	-Litros de diésel utilizados para producir una tonelada de alfalfa. -Kilos de alfalfa producidos por litro de diésel.
Presencia de malezas	Menos de 4 malezas por m <sup>2</sup>	0 malezas por m <sup>2</sup>	Numero de malezas por metro cuadrado, en riego por gravedad es el promedio de 140 observaciones en 7 campos.
Calidad del suelo	Ligeramente salino*	Ligeramente salino*	Muestreo de 0-30 cm

Calidad del agua	Problema de salinidad potencial medio, problema de sodicidad bajo. Agua apta para riego de cultivos tolerantes a sales.	Problema de salinidad potencial alto, problema de sodicidad potencial alto. Agua no apta para riego.	Riego por gravedad = agua de canal. Riego por goteo = agua de pozo. Se califica el estado de salinidad del agua.
Presencia de pulgón	Muestra 1 = 296 Muestra 2 = 1014	Muestra 1 = 37 Muestra 2 = 243	Cantidad de pulgones encontrados en muestras transversales
Adaptación a propuestas tecnológicas	54%	100%	Porcentaje de la muestra que recibe por lo menos una capacitación
Dependencia de insumos externos	91%	100%	Porcentaje de insumos importados sobre insumos producidos en la localidad

#### 4.5.1 Prospectivas del uso del riego tecnificado

Adicionalmente vale la pena señalar que el 73% de los usuarios no han considerado adoptar un riego tecnificado, tal como se muestra en la figura 4.12. El 37.5% de ellos debido al alto costo de inversión, 12.5% por que no se han enseñado a usarlo y el 50% considera que esta tecnología no sirve para esta zona debido a las condiciones del suelo, esta creencia viene posiblemente debido a que hace algunos años, alrededor del 2007 se vendieron un par de sistemas de riego mal diseñados los cuales fueron removidos del predio al poco tiempo. El 27% que si considera adoptar el riego tecnificado no lo ha hecho por la inversión inicial, considerando que lo harán cuando sea necesario.

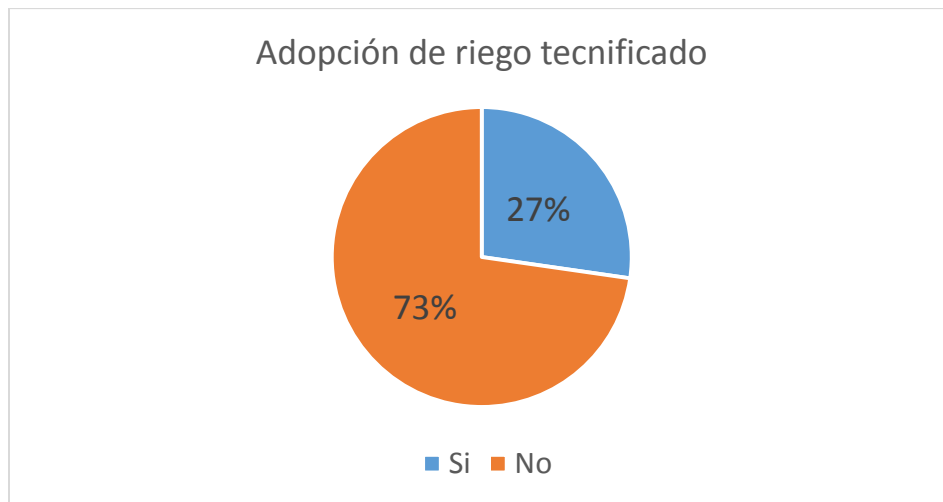


Figura 4.12. Prospectivas del uso de riego tecnificado de la muestra

## 5. DISCUSION DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

A través de la medición de indicadores se lleva a cabo la integración y representación gráfica, cuya integración de valores da como resultado la representación gráfica de la evaluación de sustentabilidad, la cual se muestran en la figura 5.1.

### 5.1 Evaluación de indicadores de sustentabilidad

Se derivaron 10 indicadores, 2 sociales, 2 económicos y 6 ambientales. La integración final de los indicadores a valores estandarizados muestra que el riego por goteo alcanzó valores más altos en 8 de los 11 indicadores tal como se muestra en la figura 4.13.

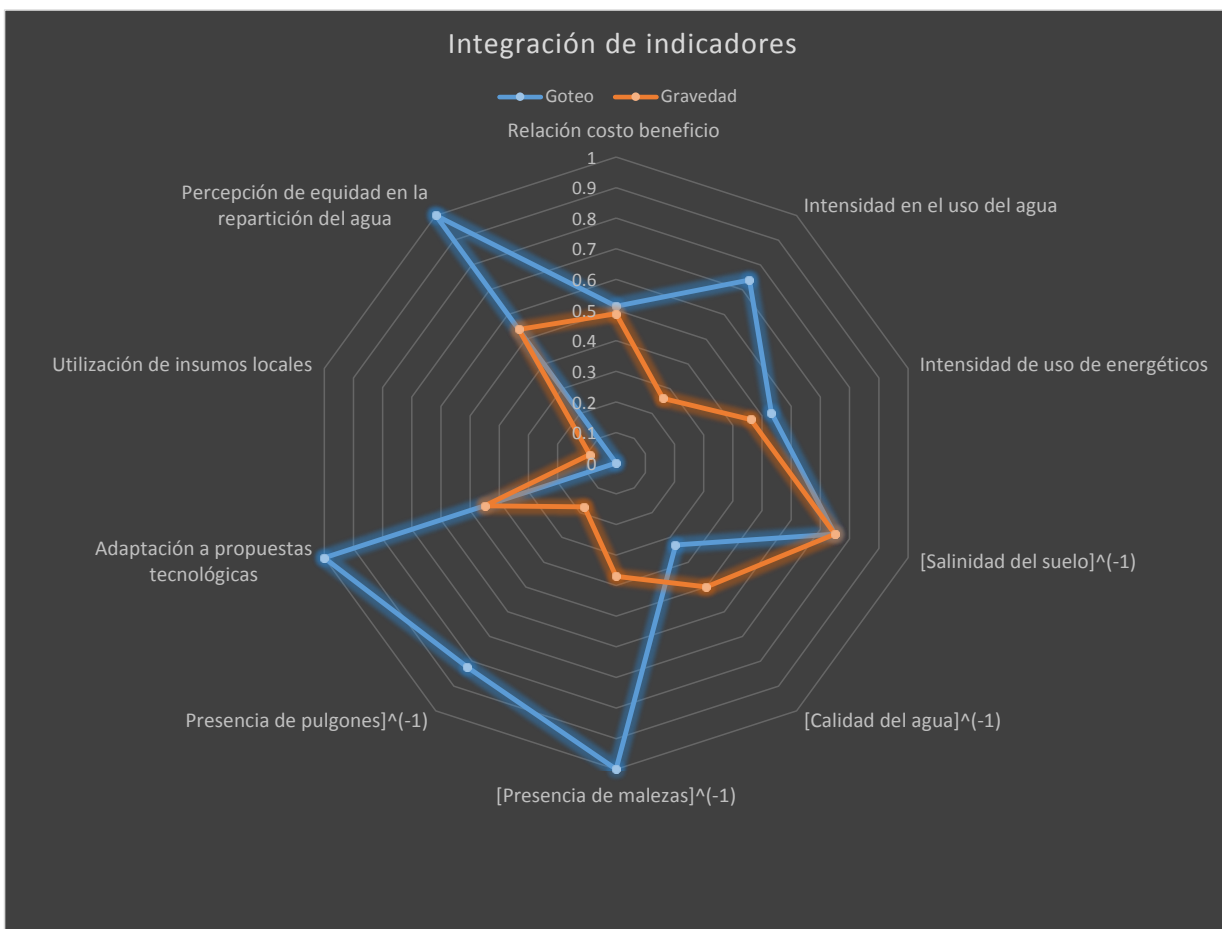


Figura 5.1 Gráfica de evaluación de sustentabilidad

La media geométrica de estos valores ordenados por atributo de sustentabilidad, indican que el riego por goteo fue más sustentable en términos de productividad, equidad, resiliencia y adaptabilidad, mientras que el riego por gravedad resultó ser más sustentable en términos de

autogestión, aunque el atributo de autogestión fue muy bajo para ambos sistemas. Este mismo análisis para los valores agrupados por dimensión de sustentabilidad (social, económica, ambiental) indica al riego por goteo como más sustentable en todas las áreas.

El objetivo general de la tesis fue evaluar al sistema de riego por goteo utilizando indicadores de sustentabilidad. La evaluación se llevó a cabo desde una perspectiva sistémica y multidimensional utilizando el marco de evaluación MESMIS como metodología.

El primer objetivo fue caracterizar al sistema de riego por goteo y al punto de comparación, el riego por gravedad, para identificar los procesos que se llevan a cabo en cada sistema de producción. La caracterización se llevó a cabo a escala parcela tomando en cuenta la interacción de los usuarios con el sistema, identificando las entradas y salidas de ambos métodos de producción.

Como sistemas de manejo se identificaron algunas características generales como son: la alta dependencia de insumos externos, la orientación de la venta de alfalfa hacia un mercado local, la transferencia de conocimiento local entre generaciones y el estado de los recursos naturales que interactúan con el sistema.

De acuerdo a la caracterización de los sistemas, se identificaron los puntos críticos de manejo de los recursos naturales. En el plano económico se mencionó la dependencia de recursos externos, el alto costo de insumos. En el área social se identificó una opinión dividida acerca de la equidad en la repartición del agua, la asistencia a capacitaciones y asistencia a reuniones del módulo de riego por parte de los usuarios. Los principales puntos críticos identificados desde la perspectiva ambiental fueron la presencia de plagas, malezas, y la calidad del agua subterránea. Con la información generada a partir de los puntos mencionados, se derivaron indicadores de sustentabilidad para calificar la interacción de los sistemas con el medio ambiente en el que están inmersos. La integración de los valores de los indicadores permitió contrastar las hipótesis en cuestión, por lo que el sistema de riego obtuvo valores más altos en las tres dimensiones en comparación con el riego por gravedad, este último tuvo valores parecidos en el plano económico, pero menos sustentables social y ambientalmente.

Ambos sistemas presentaron diferentes perfiles de sustentabilidad, sin embargo, en base a las condiciones socioeconómicas y ambientales evaluadas se puede concluir cual resulta más sustentable con relación al otro. El primer criterio para determinar esto es la media geométrica de los valores ponderados de los indicadores, los cuales fueron de 0.66 para el riego por goteo y 0.40 para el riego por gravedad. De tal forma que se aceptan parcialmente las hipótesis

propuestas al confirmar que el riego por goteo como un sistema que proporciona relaciones más funcionales con el medio ambiente y la sociedad, y se menciona la palabra parcial ya que los resultados fueron para un periodo muy breve, además que hubo indicadores que requieren un estudio más detallado. Los atributos mencionados no son del todo funcionales ya que ambos sistemas presentan áreas de oportunidad en su manejo e implementación, dichas áreas los hacen potencialmente insostenibles a largo plazo, por lo que se presentan propuestas de mejora para los sistemas analizados encaminadas a alcanzar un mejor perfil de sustentabilidad y con ello el desarrollo de la comunidad del Valle de Mexicali. El alcance de la evaluación se expande a capturar el momento histórico que viven los productores rurales y sus recursos naturales así como captar las relaciones que se dan entre quienes manejan y utilizan estos recursos, generando información que sea de utilidad para el análisis y diagnóstico de comunidades rurales en sus diferentes escalas.

En base a estos resultados se sientan las bases para mejorar el perfil sustentable, sin embargo las propuestas solo tienen validez cuando los productores, autoridades y actores sociales tengan un deseo auténtico de cuidar los recursos, sin este compromiso el desarrollo del perfil de sustentabilidad seguirá siendo una palabra de moda, alejada de ser una preocupación real.

### **5.1.1 Atributo de Productividad**

El indicador de costo beneficio evaluó la rentabilidad de los sistemas, es decir, la ganancia sobre la inversión. Aun cuando en el riego por goteo la inversión es cuantiosa y la ganancia en proporción no es mucho mayor al riego por gravedad, el costo beneficio fue más favorable para el riego por goteo para una tasa de descuento de 10%, la figura 4.5 mostró como el costo beneficio será mayor entre menor sea esta tasa, y el costo beneficio será mayor en el riego por gravedad a partir de una tasa de descuento de alrededor de 25%. La tasa de interés se utiliza para convertir dinero en el futuro a un valor de dinero en el presente, y proviene de los costes de los recursos financieros utilizados para ejecutar dicha inversión, los cuales pueden ser propios o ajenos. Por lo que es importante evaluar el valor de la tasa de descuento para cada situación y tomar en cuenta que entre mayor sea la tasa, más nos acercamos a el riego por gravedad como mejor opción económica. Por otro lado, en caso de contar con los recursos propios para establecer un sistema, la mejor opción económica es el riego por goteo ya que el contar con recursos propios disminuye la tasa de descuento. Asimismo debe observarse que una vez pasado el periodo de 6 años de la inversión, los flujos de caja serán aún mayores para

el riego por goteo ya que el costo de inversión se reduce a la adquisición de nueva cinta de riego y su instalación, alrededor del 15% de la inversión inicial. Otro aspecto a considerar es que existen apoyos del gobierno de 17,000 pesos por hectárea para riego tecnificado y 20,000 pesos para riego tecnificado menor a 3 hectáreas, donde para riego por gravedad no existen incentivos de inversión. Con lo que se concluye que el riego por goteo es superior económicamente sobre todo a un largo plazo, bajo la suposición de un buen diseño y mantenimiento del equipo. El costo beneficio está muy influenciado por la alta dependencia de insumos externos, y aunque algunos agricultores han intentado utilizar insumos locales tales como fertilizantes orgánicos, el uso de estos insumos producidos localmente ha tenido dificultades en su aplicación ya que los tanques que utilizan usualmente para la adición de fertilizante son taponeados por el material orgánico, por lo que su añadidura requiere de una alta supervisión para arreglar esos taponamientos. Esto resulta laborioso con jornadas de riego de 12 horas. En cuestión de uso de agua, el riego por goteo demostró gran superioridad al utilizar 4.82 lps/24h por tonelada producida mientras el riego por gravedad utilizó 13.66 lps/24h, sin embargo en el caso de riego por gravedad son valores estimados ya que como se comentaba no se cuenta con estructuras para la medición del agua. El uso de diésel fue mayor en el riego por goteo en función del tiempo, sin embargo, en función de toneladas de alfalfa producidas por litro de diésel el goteo fue superior utilizando 16.78 litros de diésel por tonelada contra 19.55 litros por tonelada en riego por gravedad. La gran ventaja del riego por goteo es la posible adición de sistemas eléctricos abastecidos por luz solar para la operación del sistema, considerando que el mayor consumidor de diésel en la producción con riego por goteo es la motobomba. Por lo tanto, recordando los rendimientos obtenidos de las encuestas, se está produciendo 1 tonelada de alfalfa con 4.82 lps/24h, es decir, 416448 litros de agua. Por el otro lado se produce una tonelada de alfalfa con 13.66 lps, es decir, 1180224 lps/24h utilizando el riego por gravedad. Por lo que, aunque se utiliza solamente 30% menos agua por hectárea utilizando el riego por goteo, se utiliza 35% menos agua para producir una tonelada de alfalfa. A grandes rasgos, el ahorro de agua potencial por hectárea es de:  $176.54 \text{ lps/24h} - 135 \text{ lps/24h} = 41.54 \text{ lps/24h}$  lo cual equivale a 3,589,056 litros de agua por hectárea, dicha cantidad puede utilizarse para otros cultivos disminuyendo así la competencia por el agua.

### 5.1.2 Atributo de Adaptabilidad

En este atributo se evaluó el interés y asimilación de la capacitación agrícola, en el cual el usuario de riego por goteo resultó estar más capacitado, asimismo demostrando su adaptabilidad al aprender a utilizar el riego por goteo. Algunos agricultores mencionaron haber recibido capacitación en manejo de plagas y agroquímicos, la cual fue proporcionada por comercializadoras de trigo y algodón. (Considerando que las comercializadoras proveen los insumos y se quedan con la cosecha está en su mejor interés la disminución de plagas y malezas). Sin embargo, además del manejo de agroquímicos, la generación de conocimiento requiere capacitación en las áreas de conservación de suelos, tipos de fertilización, manejo sustentable del agua, comercialización, derecho agrícola, dependiendo de la situación del productor. No obstante algunos de los productores no recibieron ningún tipo de capacitación. Todos los usuarios practican la agricultura con las enseñanzas de sus padres en el 100% de los casos, lo cual habla bien de la transferencia de conocimientos locales, sin embargo, la falta de nuevos conocimientos influye negativamente en la adaptabilidad a los cambios en el ambiente. El usuario de riego por goteo se califica como superior en adaptabilidad ya que se observó en el usuario de este sistema un impulso al aprendizaje y adaptación a nuevas tecnologías, podría discutirse que el riego por gravedad es más adaptable tomando en cuenta la difusión que tiene la operación de este sistema, sin embargo, como se mencionaba anteriormente, la base de sustentabilidad se inclina hacia la construcción de valores en la sociedad, la capacitación proveerá alternativas para mejorar la producción y las condiciones de venta, situaciones que influyen en la permanencia de la actividad agrícola.

Como se comentó anteriormente, el conocimiento de la agricultura se ha pasado por generaciones de padre a hijo, dicha transmisión de conocimientos es una característica positiva, sin embargo, esta característica debe ser complementada con una cadena de generación-transmisión-aceptación de conocimientos, esta cadena debe llevarse a cabo junto al cambio intrínseco que ocurre al pasar el tiempo, es decir, la mejora en un sistema productivo solo podrá llevarse a cabo con la adaptación a las circunstancias. El método de producción difundido y utilizado por inversionistas extranjeros a principios del siglo XX, es un método que potencia la degeneración del ecosistema y aunque se han prohibido algunos químicos corrosivos utilizados anteriormente, la premisa sigue siendo la productividad a través de grandes inyecciones de agroquímicos.

### 5.1.3 Atributo de Estabilidad y Resiliencia

En este atributo se evaluó el interés y asimilación de la capacitación agrícola, en el cual el usuario de riego por goteo resulto estar más capacitado, asimismo demostrando su adaptabilidad al aprender a utilizar el riego por goteo. Algunos agricultores mencionaron haber recibido capacitación en manejo de plagas y agroquímicos, la cual fue proporcionada por comercializadoras de trigo y algodón. (Considerando que las comercializadoras proveen los insumos y se quedan con la cosecha está en su mejor interés la disminución de plagas y malezas). Sin embargo, además del manejo de agroquímicos, la generación de conocimiento requiere capacitación en las áreas de conservación de suelos, tipos de fertilización, manejo sustentable del agua, comercialización, derecho agrícola, dependiendo de la situación del productor. No obstante algunos de los productores no recibieron ningún tipo de capacitación. Todos los usuarios practican la agricultura con las enseñanzas de sus padres en el 100% de los casos, lo cual habla bien de la transferencia de conocimientos locales, sin embargo, la falta de nuevos conocimientos influye negativamente en la adaptabilidad a los cambios en el ambiente. El usuario de riego por goteo se califica como superior en adaptabilidad ya que se observó en el usuario de este sistema un impulso al aprendizaje y adaptación a nuevas tecnologías, podría discutirse que el riego por gravedad es más adaptable tomando en cuenta la difusión que tiene la operación de este sistema, sin embargo, como se mencionaba anteriormente, la base de sustentabilidad se inclina hacia la construcción de valores en la sociedad, la capacitación proveerá alternativas para mejorar la producción y las condiciones de venta, situaciones que influyen en la permanencia de la actividad agrícola.

Como se comentó anteriormente, el conocimiento de la agricultura se ha pasado por generaciones de padre a hijo, dicha transmisión de conocimientos es una característica positiva, sin embargo, esta característica debe ser complementada con una cadena de generación-transmisión-aceptación de conocimientos, esta cadena debe llevarse a cabo junto al cambio intrínseco que ocurre al pasar el tiempo, es decir, la mejora en un sistema productivo solo podrá llevarse a cabo con la adaptación a las circunstancias. El método de producción difundido y utilizado por inversionistas extranjeros a principios del siglo XX, es un método que potencia la degeneración del ecosistema y aunque se han prohibido algunos químicos corrosivos utilizados anteriormente, la premisa sigue siendo la productividad a través de grandes inyecciones de agroquímicos.

#### **5.1.4 Atributo de Autogestión**

La autogestión fue un indicador que evidencia la alta cantidad de insumos de origen externo lo cual está relacionado con el costo beneficio. El alto costo de los insumos ocasiona grandes exigencias de capital para iniciar el ciclo productivo aumentando la necesidad de altos subsidios gubernamentales, presupuesto que podría aprovecharse en otro tipo de mejoras. En la muestra solo 1 agricultor utilizó insumos producidos localmente como mejorador de suelo. Aunque un alto uso de insumos es generador potencial de altos rendimientos, si los insumos no son accesibles esta dinámica estará en oposición a la autogestión, y considerando que insumos como fertilizantes y plaguicidas vienen de Estados Unidos la paridad del peso y el dólar hacen frágil económicamente al sistema. En contraste a esta situación existe la posibilidad de combinar el uso de agroquímicos externos con insumos producidos localmente. El gobierno federal brinda incentivos económicos para la instalación de: cadenas productivas, desarrollo de clústeres agroalimentarios, reconversión productiva, agroinsumos, manejo pos cosecha, uso eficiente de energía y agua, así como apoyo a productores que generen grandes cantidades de desechos orgánicos como estiércol, a transformarlos en composta con incentivos de hasta 50% de la inversión total del proyecto. Asimismo, cabe mencionar la importancia de indagar la percepción positiva o negativa de un usuario de módulo de riego hacia este refleja la calidad de sus procesos, la opinión del cliente suele ser el mejor juicio de valor. Se requiere además la solidaridad entre usuarios para expresar un posible descontento hacia el módulo con el fin de proteger sus intereses, tal como paso en Abril del 2016 donde usuarios insatisfechos recopilaban evidencia de irregularidades cometidas por directivos y los relevaban de su cargo mediante pacíficas reuniones extraordinarias. Las irregularidades se basaron sobre todo en el “compadrazgo”, es decir, otorgar agua a usuarios que no cuentan con permiso de riego, dejando sin suministro de agua a los usuarios con derechos normales, así como la manipulación de información financiera, etc. En ese caso los usuarios demostraron buena capacidad de organización.

#### **5.1.5 Atributo de Equidad**

El indicador de equidad se refirió a la percepción de los usuarios acerca de la igualdad en la repartición del agua para cada sistema. Los usuarios que no reciben agua a tiempo cuando la alfalfa está en desarrollo observan que el desarrollo de la alfalfa disminuye para ese corte y en

ocasiones el corte llega a perderse por completo. Aunque el riego por goteo no soluciona un posible problema social de desigualdad en la repartición del agua, si provee a los usuarios de agua de canal la posibilidad de medir el volumen de agua que está utilizando, así como almacenar una cantidad de agua en un reservorio que sirva como “colchón” hasta que llegue la siguiente dotación. Como criterio de organización, se identificó que los productores llevan a cabo votaciones para la toma de decisiones en su módulo de riego, lo cual es una ventaja que les da a los usuarios una manera de defender sus intereses. Sin embargo la percepción de los usuarios es que la asistencia a las reuniones de sus módulos de riego es de asistencia mediana a baja, ya que la percepción de las autoridades es generalmente negativa.

## **5.2 Conclusiones del marco de evaluación**

El marco de evaluación MESMIS fue percibida por el autor como una metodología flexible y adaptable a distintas capacidades técnicas y de análisis por lo que resulta atractivo para el análisis de sistemas desde diferentes perspectivas. Aunque una vez que se define la caracterización y escala de análisis es conveniente también definir el grado de sustentabilidad al que se refiere (débil o fuerte) con el fin de establecer el enfoque ideológico de la evaluación. El principal obstáculo logístico se presentó al obtener información de los agricultores, ya que en primera instancia se buscó el apoyo de figuras representativas del medio para facilitar la localización y trabajo con los productores; después de correos y visitas no se obtuvo respuesta por lo que la obtención de información fue un proceso un poco más tardado, donde fue necesario ganarse la confianza de los productores con el fin de obtener datos económicos y personales, así como el hecho de que al visitar a los productores en el campo por lo general estaban trabajando, siendo esto una restricción de tiempo; por esta misma razón se debe cuidar no elaborar cuestionarios exhaustivos. Por lo que para futuros trabajos se recomienda comenzar con el apoyo de representantes del medio que se busca analizar con el fin de agilizar el proceso de recopilación de información. Sin embargo se tuvo una respuesta positiva por parte de otras instituciones tal como personal de módulos de riego y técnicos del programa Rigrat (Riego por Gravedad Tecnificado) que prestaron asesoría para comprender el funcionamiento de los sistemas. Aun con toda la información recopilada, algunas variables no pudieron ser cuantificadas de forma desagregada, tal como el uso específico en dosis y tipos de plaguicidas o los costos desagregados de mecanización (además del uso de diésel, costo de mantenimiento y almacenamiento de máquinas así como los costos de tenencia) por lo que al

hacer el análisis económico se contó con estimaciones de expertos en el tema de manejo agrícola local para determinar los consumos estimados, esto debido a la vaguedad de las respuestas en esas áreas. Asimismo alguna información obtenida de las encuestas no fue mencionada. La determinación de umbrales fue una parte que no se desarrolló con valores límite para algunos indicadores ya que no se encontraron intervalos o valores límite adecuados, además que la principal intención de la evaluación era la comparación de los sistemas por lo que las comparaciones pareadas fueron útiles en esos casos. Se recomienda para futuros trabajos de evaluación de sistemas el realizar un muestreo de manera longitudinal respecto a un sistema de referencia que se encuentre cerca o en las mismas condiciones que el sistema alternativo con el fin de obtener información más comparable, ya que al no contar con suficientes fuentes de información para determinado método alternativo, se restringe la cantidad de observaciones y consecuentemente la capacidad de análisis. Además, cambiar el enfoque transversal a una evaluación longitudinal que cubra ciclos agrícolas enteros permitirá la generación de curvas y modelos de simulación, a la vez que se evitan complicaciones logísticas que surgen al visitar muchos campos de manera transversal. La evaluación de sustentabilidad se presentó como un análisis multidisciplinario y con mucha tendencia a la subjetividad, por lo que en futuros trabajos se recomienda contar con un equipo de evaluación en diferentes disciplinas tales como psicología, entomología, edafología, ingeniería económica, estadística inferencial; esto si se desea una evaluación con enfoque agrícola, y en general personas que conozcan el medio que se desea analizar. Debido al abordaje holístico de la metodología, los resultados obtenidos se enfocaron más a un abordaje general de la problemática en el entorno. Sin embargo, siendo una evaluación cíclica, la profundización en aspectos críticos es un paso sucesivo para la resolución detallada de tales problemas, la metodología permitió clarificar aspectos que merecen un análisis más detallado.

### **5.3 Recomendaciones para las instituciones**

Se recomienda la agilización de los procesos de entrega de apoyos en tiempo y forma, sobre todo para tecnificación del riego y drenaje parcelario.

- Vigilar el destino de los apoyos y la distribución transparente entre los usuarios.

- Crear programas de capacitación personalizados para los usuarios interesados en el riego por goteo así como programas de mejora para el riego por gravedad. Sin embargo, hay que cuidar que estos últimos sean programas de capacitación para enseñar a los usuarios a administrar mejor su sistema, a diferencia de ser programas de evaluación o recopilación de datos históricos.
- Las instituciones académicas como la UABC, deben colaborar para impulsar el desarrollo social en el medio rural mediante el trabajo integrado entre académicos, estudiantes y productores como estrategia para crear conocimiento que sea aceptado por productores y las nuevas generaciones.
- Se debe mejorar la percepción de las autoridades ya que se observó una tendencia a relacionar a las autoridades con corrupción, para lograr un trabajo integrado las autoridades deben hacer un esfuerzo de cambiar su imagen ante los usuarios.
- La utilización de medidores de humedad o “tensiómetros” por parte de los canaleros para repartir el agua, en vez de la repartición por turnos. De esta manera se le da preferencia a quienes requieren el agua con mayor urgencia.
- Crear plataformas de comercialización de la venta de alfalfa a nivel local y regional como estrategia para disminuir la intervención de intermediarios y mantener un precio estable en el forraje.

#### **5.4 Recomendaciones para los usuarios**

- Los usuarios de riego por goteo deben mantener la capacidad de utilizar el riego por gravedad para el lavado de sales, o si es posible, adquirir un sistema de riego por aspersión para la germinación y lavado de sales.
- Disminuir la dependencia de insumos externos, ya que se observó que hay facilidad para obtener alternativas locales, tal como la composta y gallinaza, así como el control biológico de plagas, o mejor aún, destinar una extensión de terreno para la elaboración de su propia composta.
- Los usuarios manifestaron una asistencia media a las juntas de su módulo de riego, es necesario que los productores mejoren su organización y busquen unirse para defender los intereses grupales.

## 5.5 Trabajos a futuro

Aunque las encuestas arrojaron abundante información agroecológica y socioeconómica (uso de fertilizantes, características de los productores, número de fumigaciones, práctica de policultivos, uso de apoyo de gobierno, etc.) hizo falta mucha información para caracterizar adecuadamente a la zona del valle, lo que reitera la importancia del estudio de sustentabilidad desde una perspectiva multidisciplinaria. La determinación de indicadores dependió de la información disponible y su pertinencia en la evaluación, los cuales estaban orientados a la evaluación del sistema de riego por goteo subsuperficial en comparación con el sistema de referencia, el riego por gravedad, a nivel de producción en parcela. Por lo tanto, como continuación del análisis se recomienda como trabajos a futuro:

- Medición y monitoreo de cambios en características físicas y químicas de los suelos utilizando riego por goteo y riego por gravedad.
- Monitoreo de plagas a lo largo de un año utilizando riego por goteo y riego por gravedad para crear una curva de densidad de plagas en ambos sistemas.
- Medición y monitoreo de efectos de cambio en la estructura y calidad del suelo conforme se siguen utilizando mejoradores de suelo químicos con el fin de compararse estadísticamente con un predio que cuente con drenaje parcelario adecuado.
- Medición y evaluación de efectos y rentabilidad en la utilización de fertilizantes orgánicos tal como la composta.
- Elaborar una guía de costos de mecanización desagregados, es decir, separando el uso de maquinaria, costos de reparaciones, costo de mano de obra, costos de renta de talleres para el almacenamiento de maquinaria, entre otros costos enfocados a las actividades agrícolas en el área de influencia del Valle de Mexicali.
- Medición a mayor escala de las percepciones y efectos sociales en los usuarios del Valle de Mexicali en función de los sistemas de riego.

## 6. Anexos

### Anexo A. Cuestionarios utilizados durante la caracterización y medición de indicadores

#### *Cuestionario*

La información recabada en este cuestionario es de carácter confidencial y con fines académicos.

#### 1. Información del productor y predio

Fecha:                      Ejido:                      Modulo de riego:

Edad:                      Estudios:                      Número de hectáreas de alfalfa:

¿Cultivos además de alfalfa?

Número de hectáreas de otros cultivos:

Cultivo 1 \_\_\_\_\_ Cultivo 2 \_\_\_\_\_ Cultivo 3 \_\_\_\_\_

¿Realiza otra actividad económica?

#### 2. Semilla

¿Qué tipo de semilla utiliza??

Criolla \_\_\_\_\_ Propia \_\_\_\_\_ Certificada \_\_\_\_\_

¿Qué variedad de semilla utiliza?

Cantidad \_\_\_\_\_

#### 3. Sistema de siembra

¿Qué tipo de siembra utilizo en el ciclo agrícola anterior?

Surcos \_\_\_\_\_ Plano \_\_\_\_\_

Mencione las labores mecanizadas y el costo de maquila.

1. \_\_\_\_\_ Costo \_\_\_\_\_

2. \_\_\_\_\_ Costo \_\_\_\_\_

3. \_\_\_\_\_ Costo \_\_\_\_\_

4. \_\_\_\_\_ Costo \_\_\_\_\_

5. \_\_\_\_\_ Costo \_\_\_\_\_

6. \_\_\_\_\_ Costo \_\_\_\_\_

7. \_\_\_\_\_ Costo \_\_\_\_\_

8. \_\_\_\_\_ Costo \_\_\_\_\_

Fecha de siembra \_\_\_\_\_

Fecha de inicio de cultivo \_\_\_\_\_

Fecha de inicio de preparación de suelo \_\_\_\_\_

Numero de cortes:

Rendimiento promedio:

4. Nutrición.

Mencione los fertilizantes y abono que utiliza así como la fecha y cantidad en kg/ha

1. \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_ Cantidad \_\_\_\_\_

2. \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_ Cantidad \_\_\_\_\_

3. \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_ Cantidad \_\_\_\_\_

Método de fertilización \_\_\_\_\_

5. Control de plagas y enfermedades.

¿Realiza un análisis de suelo antes de fertilizar?

Sí      No

Enumere las principales plagas y enfermedades que se presentaron en el ciclo agrícola anterior.

1. \_\_\_\_\_ Fecha\_\_\_\_\_ Método de control \_\_\_\_\_
2. \_\_\_\_\_ Fecha\_\_\_\_\_ Método de control \_\_\_\_\_
3. \_\_\_\_\_ Fecha\_\_\_\_\_ Método de control \_\_\_\_\_
4. \_\_\_\_\_ Fecha\_\_\_\_\_ Método de control \_\_\_\_\_
5. \_\_\_\_\_ Fecha\_\_\_\_\_ Método de control \_\_\_\_\_
6. \_\_\_\_\_ Fecha\_\_\_\_\_ Método de control \_\_\_\_\_

¿Cuántas aplicaciones de insecticida aplico en el ciclo agrícola anterior?

Numero de riegos                      Costo anual de agua                      Cantidad de agua (lps/24h)

#### 6. Seguridad

Problemas con conservación y almacenaje de cosecha:

¿Han ocurrido accidentes o enfermedades relacionados con la producción agrícola?

¿Han ocurrido incidentes de vandalismo en el último año?

#### 7. Infraestructura y equipo

Cuenta con:

Tractor \_\_\_\_\_

Empacadora \_\_\_\_\_

Rastrillo \_\_\_\_\_

Sacapacas \_\_\_\_\_

Motobomba \_\_\_\_\_

Bodega \_\_\_\_\_

Fuente de agua \_\_\_\_\_

Disca \_\_\_\_\_

Subsolador \_\_\_\_\_

Cortadora \_\_\_\_\_

Con que servicios cuenta en la parcela:

Electricidad \_\_\_\_\_ Transporte \_\_\_\_\_ Teléfono \_\_\_\_\_

8. Otros

¿Practica obras de conservación y rehabilitación del suelo?

¿Recibe capacitación por parte de gobierno o privada?

Destino de la producción \_\_\_\_\_

Principales problemas de la producción de alfalfa \_\_\_\_\_

Opinión del sistema de riego por goteo \_\_\_\_\_

### ***Encuesta 2***

Tenencia de la tierra \_\_\_\_\_ Si es de renta: costo de renta \_\_\_\_\_

¿Cómo aprendió la práctica de la agricultura?

¿En su opinión, la sola práctica de la agricultura es suficiente para dar un sustento económico?

Al solicitar agua para regar, ¿cuánto tarda en obtenerla?

De inmediato \_\_\_\_\_ Horas \_\_\_\_\_ Días \_\_\_\_\_ Semanas \_\_\_\_\_ Otro \_\_\_\_\_

¿En el pasar de los años, los rendimientos son constantes o varían?

Son parecidos todos los años \_\_\_\_\_ Cambia poco \_\_\_\_\_

Cambia más o menos \_\_\_\_\_ Cambia mucho \_\_\_\_\_

Una vez que se controlan las plagas estas aparecen en:

Poco tiempo \_\_\_\_\_ Mucho tiempo \_\_\_\_\_ Varia \_\_\_\_\_

Otro \_\_\_\_\_

¿Cuál ha sido el peor impacto que ha tenido la agricultura en el Valle ¿?

¿Cuáles de estas actividades realiza?

Subsuelo \_\_\_\_\_ Tiempo \_\_\_\_\_ Potencia de maquina (HP) \_\_\_\_\_

Barbecho \_\_\_\_\_ Tiempo \_\_\_\_\_ Potencia de maquina (HP) \_\_\_\_\_

Disqueo \_\_\_\_\_ Tiempo \_\_\_\_\_ Potencia de maquina (HP) \_\_\_\_\_

Floteo \_\_\_\_\_ Tiempo \_\_\_\_\_ Potencia de maquina (HP) \_\_\_\_\_

Siembra \_\_\_\_\_ Tiempo \_\_\_\_\_ Potencia de maquina (HP) \_\_\_\_\_

Bordeo \_\_\_\_\_ Tiempo \_\_\_\_\_ Potencia de maquina (HP) \_\_\_\_\_

Nivelación \_\_\_\_\_ Tiempo \_\_\_\_\_ Potencia de maquina (HP) \_\_\_\_\_

Corte \_\_\_\_\_ Tiempo \_\_\_\_\_ Potencia de maquina (HP) \_\_\_\_\_

Rastrillo \_\_\_\_\_ Tiempo \_\_\_\_\_ Potencia de maquina (HP) \_\_\_\_\_

Empaque \_\_\_\_\_ Tiempo \_\_\_\_\_ Potencia de maquina (HP) \_\_\_\_\_

Otro \_\_\_\_\_ Tiempo \_\_\_\_\_ Potencia de maquina (HP) \_\_\_\_\_

¿Cuánta gente trabaja en el terreno?

Salario de los trabajadores

¿Ha tenido que despedir a un trabajador?

¿Cuánto tiempo tarda en emplear a otro trabajador?

¿Asiste a las reuniones del módulo de riego?

Cuando va a las reuniones, asisten:

Casi nadie \_\_\_\_\_ Pocos usuarios \_\_\_\_\_ La mitad \_\_\_\_\_ Casi todos \_\_\_\_\_

Todos \_\_\_\_\_

¿Existe una votación para la toma de decisiones en su módulo de riego?

Lleva registros de:

Insumos \_\_\_\_\_ Mano de obra \_\_\_\_\_

Volúmenes de producción \_\_\_\_\_

Ventas \_\_\_\_\_ Ninguno \_\_\_\_\_

¿Cómo cubre los costos de producción?

De lo que deja la producción \_\_\_\_\_

Apoyo gubernamental \_\_\_\_\_

Crédito \_\_\_\_\_ ¿Interés? \_\_\_\_\_

¿A quien vende el producto final?

Intermediarios \_\_\_\_\_ Comercializadora \_\_\_\_\_

Consumidor final \_\_\_\_\_ Exportación \_\_\_\_\_

Cuántas opciones tiene para vender la producción ¿?

1      2      3      4      5

¿Qué tanto varia el precio a la hora de la venta?

¿Qué precio tiene la venta?

¿Ah considerado adoptar un sistema de riego tecnificado?      Sí \_\_\_\_\_      No \_\_\_\_\_

¿De qué depende?

¿Qué tan frecuente es que utilice un fertilizante orgánico?

Frecuente      De vez en cuando      Nada frecuente

¿Es difícil conseguir un fertilizante orgánico?

¿Ha recibido asesoría de?:

Conservación de suelos \_\_\_\_\_ Manejo de plagas y enfermedades \_\_\_\_\_

Tipos de fertilización \_\_\_\_\_ Manejo del agua \_\_\_\_\_

Comercialización \_\_\_\_\_ Derecho agrícola \_\_\_\_\_

## Anexo B: Resultados de análisis químicos y muestreos de campo

Unidades: ppm

C.E. = ds/m

Análisis de suelo

Campo	Saturación	PH	C.E.	Calcio	Magnesio	Sodio	Bicarbonatos	Cloruros	Sulfatos	SDT	RAS	PSI	N	P
1	62	7.96	4.1	40	52.8	690	85.4	120.7	1516.8	611.146	16.771	19.013	4.05	10.695
2	59	7.8	8.4	400	768	377.2	610	781	3283.2	740.405	2.531	2.413	2.562	7.935
3	44	7.85	6.6	400	720	140.3	610	710	2692.6	798.955	0.964	0.162	2.175	16.215
4	41.5	7.84	3.81	16	57.6	598	122	49.7	1353.6	576.614	15.538	17.803	4.95	11.73
5	40	8.12	1.5	40	48	110.4	48.8	92.3	355.2	463.133	2.771	2.75	2.862	12.42
6	38	7.83	5.91	400	720	874	854	710	4032	1284.264	6.008	7.065	3.3	15.18
7	54	8.1	2.66	104	129.6	621	732	426	912	1099.474	9.546	11.363	4.5	12.42
8	36	8.05	1.67	48	57.6	115	85.4	106.5	374.4	471.198	2.635	2.56	2.73	13.455
9	50	7.9	12.92	400	1056	966	732	3834	1440	652.322	5.715	6.691	2.79	15.456
10	36	8.1	1.4	40	48	108.1	48.8	106.5	331.2	487.571	2.714	2.669	5.34	11.04
11	36	7.84	3.96	24	57.6	598	122	113.6	1286.4	555.96	15.011	17.274	3.36	7.59
12 (goteo)	37.5	8.15	2.82	104	134.4	713	732	440.2	1104	1144.539	10.826	12.822	4.05	9.315

Análisis de agua

Campo	PH	C.E.	Calcio	Magnesio	Sodio	Bicarbonatos	Cloruros	Sulfatos	SDT	RAS	PSI
1	8.15	1.76	168	96	161	353.8	603.5	28.8	801.761364	2.44450604	2.29188684
2	8.26	1.67	184	86.4	414	622.2	582.2	374.4	1355.20958	6.28587266	7.41740476
3	8.25	1.64	112	52.8	135.7	244	213	283.2	634.573171	2.63856021	2.56438488
4	8.4	1.66	112	52.8	135.93	231.8	213	293.28	625.789157	2.64303235	2.5706469
5	8.14	1.66	160	100.8	188.6	366	617.7	57.6	898.012	2.86356421	2.87844703
6	8.13	1.6	112	52.8	140.3	244	220.1	283.2	657.75	2.72800293	2.68947257
7	8.23	1.7	96	52.8	140.3	231.8	213	264	587	2.84413967	2.85141398
8	8.26	1.49	80	43.2	128.8	24.4	149.1	412.8	562.61745	2.87273939	2.89120846
9	7.95	2.9	112	52.8	204.7	244	248.5	379.2	428	3.980201	4.40757229
10	8.16	1.08	80	24	121.9	134.2	177.5	196.8	680	3.05995643	3.15092249
11	7.75	3.16	176	96	1426	3782	575.1	28.8	1925.28481	21.3920323	23.2500519
12 (goteo)	7.69	4.88	400	192	1104	488	2627	96	1005.53279	11.3137085	13.3656976

## Anexo C: Datos para estimación de costos de diésel

*Tiempo de actividad en horas de trabajo requeridas para el número de hectáreas de referencia con un tractor de  $n$  caballos de fuerza.*

Operador	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Hectáreas referencia	20	20	20	20	17	Varios	20	20	20
HP	155	155	220	300	200	255	200	300	155
Barbecho	24	24	15	12	18	0.26	16	8	32
Disque	16	8	8	8	3	0.26	10	4	16
Floteo	24	8	8	6	5	0.4	10	12	16
Siembra	8	8	10	10	6	0.48	18	8	12
Bordeo	8	8	3	3	3	0.05	7	4	8
Nivelación	N/A	16	20	17	5	5	20	8	N/A
Corte	16	6	8	4	3	0.3	7	8	16
Rastrillo	8	6	2	4	2	0.075	4	4	8
Empaque	16	6	3	5	2.5	0.15	4	8	16
Ap. Terrestre	8	5	6	8	4	0.1665	8	4	12

*Ha de referencia / tiempo total = hectáreas por hora de trabajo*

Operador	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Barbecho	1.2	1.2	0.75	0.6	1.058823529	0.26	0.8	0.4	1.6
Disqueo	0.8	0.4	0.4	0.4	0.176470588	0.26	0.5	0.2	0.8
Floteo	1.2	0.4	0.4	0.3	0.294117647	0.4	0.5	0.6	0.8
Siembra	0.4	0.4	0.5	0.5	0.352941176	0.48	0.9	0.4	0.6
Bordeo	0.4	0.4	0.15	0.15	0.176470588	0.05	0.35	0.2	0.4
Nivelación	N/A	0.8	1	0.85	0.294117647	0.2	1	0.4	N/A
Corte	0.8	0.3	0.4	0.2	0.176470588	0.3	0.35	0.4	0.8
Rastrillo	0.4	0.3	0.1	0.2	0.117647059	0.075	0.2	0.2	0.4
Empaque	0.8	0.3	0.15	0.25	0.147058824	0.15	0.2	0.4	0.8
Ap. Terrestre	0.4	0.25	0.3	0.4	0.235294118	0.1665	0.4	0.2	0.6

*Gasto de diésel por hora por actividad = hectáreas maquinadas por actividad \* caballos de fuerza \* factor de conversión (0.16) = Litros de diesel por hectárea por actividad.*

Barbecho	Campo	ha/hora	Factor de conversión = 0.16		
			HP	Diesel/hora	Diesel por ha
	1	1.2	155	24.8	29.76
	2	1.2	155	24.8	29.76
	3	0.75	220	35.2	26.4
	4	0.6	300	48	28.8
	5	1.05	200	32	33.6
	6	0.26	255	40.8	10.608
	7	0.8	200	32	25.6
	8	0.4	300	48	19.2
	9	1.6	155	24.8	39.68

Disqueo		Factor de conversión = 0.16		
Campo	ha/hora	HP	Diesel/hora	Diesel por ha
1	0.8	155	24.8	19.84
2	0.4	155	24.8	9.92
3	0.4	220	35.2	14.08
4	0.4	300	48	19.2
5	0.18	200	32	5.76
6	0.26	255	40.8	10.608
7	0.5	200	32	16
8	0.2	300	48	9.6
9	0.8	155	24.8	19.84

Siembra		Factor de conversión = 0.16		
Caso	Cantidad de horas/ha	HP	Diesel/hora	Diesel por ha
1	0.4	155	24.8	9.92
2	0.4	155	24.8	9.92
3	0.5	220	35.2	17.6
4	0.5	300	48	24
5	0.36	200	32	11.52
6	0.48	255	40.8	19.584
7	0.9	200	32	28.8
8	0.4	300	48	19.2
9	0.6	155	24.8	14.88

Bordeo		Factor de conversión = 0.16		
Caso	Cantidad de horas/ha	HP	Diesel/hora	Diesel por ha
1	0.4	155	24.8	9.92
2	0.4	155	24.8	9.92
3	0.15	220	35.2	5.28
4	0.15	300	48	7.2
5	0.18	200	32	5.76
6	0.05	255	40.8	2.04
7	0.35	200	32	11.2
8	0.2	300	48	9.6
9	0.4	155	24.8	9.92

Nivelación		Factor de conversión = 0.16		
Caso	Cantidad de horas/ha	HP	Diesel/hora	Diesel por ha
1	0	155	24.8	0
2	0.8	155	24.8	19.84
3	1	220	35.2	35.2
4	0.85	300	48	40.8
5	0.3	200	32	9.6
6	0.2	255	40.8	8.16
7	1	200	32	32
8	0.4	300	48	19.2
9	0	155	24.8	0

Corte		Factor de conversión = 0.16		
Caso	Cantidad de horas/ha	HP	Diesel/hora	Diesel por ha
1	0.8	115	18.4	14.72
2	0.3	150	24	7.2
3	0.4	150	24	9.6
4	0.2	150	24	4.8
5	0.18	150	24	4.32
6	0.3	150	24	7.2
7	0.35	150	24	8.4
8	0.4	150	24	9.6
9	0.8	115	18.4	14.72

Rastrillo		Factor de conversión = 0.16		
Caso	Cantidad de horas/ha	HP	Diesel/hora	Diesel por ha
1	0.4	155	24.8	9.92
2	0.3	155	24.8	7.44
3	0.1	220	35.2	3.52
4	0.2	300	48	9.6
5	0.12	200	32	3.84
6	0.075	255	40.8	3.06
7	0.2	200	32	6.4
8	0.2	300	48	9.6
9	0.4	155	24.8	9.92

Empaque		Factor de conversión = 0.16		
Caso	Cantidad de horas/ha	HP	Diesel/hora	Diesel por ha
1	0.8	155	24.8	19.84
2	0.3	155	24.8	7.44
3	0.15	220	35.2	5.28
4	0.25	300	48	12
5	0.15	200	32	4.8
6	0.15	255	40.8	6.12
7	0.2	200	32	6.4
8	0.4	300	48	19.2
9	0.8	155	24.8	19.84

Ap. Terrestre		Factor de conversión = 0.16		
Caso	Cantidad de horas/ha	HP	Diesel/hora	Diesel por ha
1	0.4	155	24.8	9.92
2	0.25	155	24.8	6.2
3	0.3	220	35.2	10.56
4	0.4	300	48	19.2
5	0.24	200	32	7.68
6	0.1665	255	40.8	6.7932
7	0.4	200	32	12.8
8	0.2	300	48	9.6
9	0.6	155	24.8	14.88

## Anexo D: Estimación de costos para los sistemas

Año 1

CONCEPTO	UNIDADES				COSTO POR HA.
	VECES	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO	
<b>LABORES CULTURALES</b>					<b>\$ 3,950.00</b>
Barbecho	1	1	ha	\$ 1,100.00	\$ 1,100.00
Rastreo	1	1	ha	\$ 550.00	\$ 550.00
Nivelacion (Laser)	1	2	ha	\$ 1,000.00	\$ 2,000.00
Bordeo	1	1	ha	\$ 300.00	\$ 300.00
<b>SIEMBRA</b>					<b>\$ 6,296.50</b>
Semilla	1	45	kg	\$ 128.00	\$ 5,760.00
Siembra	1	1	ha	\$ 400.00	\$ 400.00
Inoculante Semilla	1	1.5	kgs.	\$ 85.00	\$ 127.50
Flete Semilla	1	45	ha.	\$ 0.20	\$ 9.00
<b>FERTILIZACION</b>					<b>\$ 4,795.65</b>
Presiembra (11-52-00)	1	100	kg	\$ 13.31	\$ 1,331.00
UAN 32	5	25	kg	\$ 8.75	\$ 1,093.75
Acido fosfórico	11	10	lts	\$ 13.69	\$ 1,505.90
Acido sulfúrico	50	2	lts	\$ 7.65	\$ 765.00
Análisis de suelos	1	1	ha	\$ 100.00	\$ 100.00
<b>RIEGOS</b>					<b>\$ 4,278.79</b>
Agua (dotacion normal)	1	117	lts	\$ 11.89	\$ 1,391.13
Agua (volumen adicional)	1	20	lts	\$ 19.85	\$ 397.00
Aplicacion de Riego (diesel)	1	181.8	ha	\$ 13.70	\$ 2,490.66
<b>CONTROL DE PLAGAS Y ENF.</b>					<b>\$ 1,030.00</b>
Lorsban	2	1.5	lts	\$ 140.00	\$ 420.00
Aplicacion Aerea	2	1	ha	\$ 250.00	\$ 500.00
<b>HERBICIDAS:</b>					\$ -
Trifluralina (presiembra)	1	1	ha	\$ 110.00	\$ 110.00
<b>MANTENIMIENTO:</b>					<b>\$ 849.50</b>
Manguera polietileno 5/8"	1	0.2	rollo	\$ 1,200.00	\$ 240.00
Coples manguera 5/8"	5	5	ha	\$ 5.00	\$ 125.00
Arena para filtros	1	0.75	Sacos	\$ 374.00	\$ 280.50
Grava para filtros	1	0.6	Sacos	\$ 340.00	\$ 204.00
<b>COSECHA</b>					<b>\$ 16,962.00</b>
Corte	11	1	ha	\$ 550.00	\$ 6,050.00
Rastrilleo	11	1	ha	\$ 270.00	\$ 2,970.00
Empaque de alfalfa	11	38	ha	\$ 12.00	\$ 5,016.00
Levante de pacas	11	38	ha	\$ 7.00	\$ 2,926.00
<b>DIVERSOS</b>					<b>\$ 695.00</b>
Asistencia Técnica	1	1	ha	\$ 280.00	\$ 280.00
Seguro Agrícola	1	1	ha	\$ 310.00	\$ 310.00
Cuota módulo de riego	1	1	ha	\$ 105.00	\$ 105.00
<b>SUBTOTAL COSTOS DE PRODUCCION</b>					<b>\$ 38,857.44</b>

CONCEPTO	UNIDADES				COSTO POR HA.
	VECES	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO	
<b>FERTILIZACION</b>					<b>\$ 3,364.65</b>
UAN 32	5	25	kg	\$ 8.75	\$ 1,093.75
Acido fosfórico	11	10	lts	\$ 13.69	\$ 1,505.90
Acido sulfúrico	50	2	lts	\$ 7.65	\$ 765.00
<b>RIEGOS</b>					<b>\$ 4,278.79</b>
Agua (dotacion normal)	1	117	lts	\$ 11.89	\$ 1,391.13
Agua (volumen adicional)	1	20	lts	\$ 19.85	\$ 397.00
Aplicacion de Riego (diesel)	1	181.8	ha	\$ 13.70	\$ 2,490.66
<b>CONTROL DE PLAGAS Y ENF.</b>					<b>\$ 920.00</b>
Lorsban	2	1.5	lts	\$ 140.00	\$ 420.00
Aplicacion Aerea	2	1	ha	\$ 250.00	\$ 500.00
<b>MANTENIMIENTO:</b>					<b>\$ 8,627.00</b>
Manguera polietileno 5/8"	1	0.2	rollo	\$ 1,200.00	\$ 240.00
Coples manguera 5/8"	5	5	ha	\$ 5.00	\$ 125.00
Arena para filtros	1	13	Sacos	\$ 374.00	\$ 4,862.00
Grava para filtros	1	10	Sacos	\$ 340.00	\$ 3,400.00
<b>COSECHA</b>					<b>\$ 18,007.00</b>
Corte (11)	11	1	ha	\$ 550.00	\$ 6,050.00
Rastrilleo (11)	11	1	ha	\$ 270.00	\$ 2,970.00
Empaque de alfalfa (42)	11	43	ha	\$ 12.00	\$ 5,676.00
Levante de pacas (42)	11	43	ha	\$ 7.00	\$ 3,311.00
<b>DIVERSOS</b>					<b>\$ 695.00</b>
Asistencia Técnica	1	1	ha	\$ 280.00	\$ 280.00
Seguro Agrícola	1	1	ha	\$ 310.00	\$ 310.00
Cuota módulo de riego	1	1	ha	\$ 105.00	\$ 105.00
<b>SUBTOTAL COSTOS DE PRODUCCION</b>					<b>\$ 35,892.44</b>

Riego por gravedad

Año 1 y 4

CONCEPTO	UNIDADES				COSTO POR HA.
	VECES	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO	
<b>LABORES CULTURALES</b>					<b>\$ 3,950.00</b>
Barbecho	1	1	ha	\$ 1,100.00	\$ 1,100.00
Rastreo	1	1	ha	\$ 550.00	\$ 550.00
Nivelacion (Laser)	1	2	ha	\$ 1,000.00	\$ 2,000.00
Bordeo	1	1	ha	\$ 300.00	\$ 300.00
<b>SIEMBRA</b>					<b>\$ 6,296.50</b>
Semilla	1	45	kg	\$ 128.00	\$ 5,760.00
Siembra	1	1	ha	\$ 400.00	\$ 400.00
Inoculante Semilla	1	1.5	kgs.	\$ 85.00	\$ 127.50
Flete Semilla	1	45	ha.	\$ 0.20	\$ 9.00
<b>FERTILIZACION</b>					<b>\$ 5,598.50</b>
Presiembra (11-52-00)	1	250	kg	\$ 13.31	\$ 3,327.50
Postsiembra (11-37-00)	2	50	kg	\$ 13.59	\$ 1,359.00
Aplicacion Terrestre	1	1	ha	\$ 250.00	\$ 250.00
Flete de fertilizantes	1	250	kg	\$ 0.20	\$ 50.00
Nitrosul	1	40	kg	\$ 15.30	\$ 612.00
<b>RIEGOS</b>					<b>\$ 4,191.68</b>
Agua (dotacion normal)	5.85	20	lts	\$ 11.89	\$ 1,391.13
Agua (volumen adicional)	3.15	20	lts	\$ 19.85	\$ 1,250.55
Aplicacion de Riego	8	1	ha	\$ 100.00	\$ 800.00
Rebordeo	5	1	ha	\$ 150.00	\$ 750.00
<b>CONTROL DE PLAGAS Y ENF.</b>					<b>\$ 4,215.00</b>
Lorsban	2	1.5	lts	\$ 140.00	\$ 420.00
Aplicacion Aerea	2	1	ha	\$ 250.00	\$ 500.00
<b>HERBICIDAS:</b>					<b>\$ -</b>
Trifluralina (presiembra)	1	1	ha	\$ 110.00	\$ 110.00
Eptam	2	4	dosis	\$ 140.00	\$ 1,120.00
Pivot	1	1	ha	\$ 830.00	\$ 830.00
Poast	1	1.5	ha	\$ 350.00	\$ 525.00
Paraquat (Cúscuta)	2	0.25	ha	\$ 100.00	\$ 50.00
Aplicacion Aerea	2	1	ha	\$ 250.00	\$ 500.00
Aplicación Terrestre (presiembra)	1	1	ha	\$ 160.00	\$ 160.00
<b>COSECHA</b>					<b>\$ 10,262.00</b>
Corte	7	1	ha	\$ 550.00	\$ 3,850.00
Rastrilleo	7	1	ha	\$ 270.00	\$ 1,890.00
Empaque de alfalfa	7	34	ha	\$ 12.00	\$ 2,856.00
Levante de pacas	7	34	ha	\$ 7.00	\$ 1,666.00
<b>DIVERSOS</b>					<b>\$ 695.00</b>
Asistencia Técnica	1	1	ha	\$ 280.00	\$ 280.00
Seguro Agrícola	1	1	ha	\$ 310.00	\$ 310.00
Cuota módulo de riego	1	1	ha	\$ 105.00	\$ 105.00
<b>SUBTOTAL COSTOS DE PRODUCCION</b>					<b>\$ 35,208.68</b>

Año 2, 3, 5, 6

CONCEPTO	UNIDADES				COSTO POR HA.
	VECES	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO	
<b>FERTILIZACION</b>					<b>\$ 2,167.00</b>
Postsiembra (11-37-00)	3	50	kg	\$ 8.70	\$ 1,305.00
Aplicacion Terrestre	1	1	ha	\$ 250.00	\$ 250.00
Nitrosul	1	40	kg	\$ 15.30	\$ 612.00
<b>RIEGOS</b>					<b>\$ 4,191.68</b>
Agua (dotacion normal)	5.85	20	lts	\$ 11.89	\$ 1,391.13
Agua (volumen adicional)	3.15	20	lts	\$ 19.85	\$ 1,250.55
Aplicacion de Riego	8	1	ha	\$ 100.00	\$ 800.00
Rebordeo	5	1	ha	\$ 150.00	\$ 750.00
<b>CONTROL DE PLAGAS Y ENF.</b>					<b>\$ 3,945.00</b>
Lorsban	2	1.5	lts	\$ 140.00	\$ 420.00
Aplicacion Aerea	2	1	ha	\$ 250.00	\$ 500.00
<b>HERBICIDAS:</b>					\$ -
Eptam	2	4	dosis	\$ 140.00	\$ 1,120.00
Pivot	1	1	ha	\$ 830.00	\$ 830.00
Poast	1	1.5	ha	\$ 350.00	\$ 525.00
Paraquat (Cúscuta)	2	0.25	ha	\$ 100.00	\$ 50.00
Aplicacion Aerea	2	1	ha	\$ 250.00	\$ 500.00
<b>COSECHA</b>					<b>\$ 10,262.00</b>
Corte	7	1	ha	\$ 550.00	\$ 3,850.00
Rastrilleo	7	1	ha	\$ 270.00	\$ 1,890.00
Empaque de alfalfa	7	34	ha	\$ 12.00	\$ 2,856.00
Levante de pacas	7	34	ha	\$ 7.00	\$ 1,666.00
<b>DIVERSOS</b>					<b>\$ 695.00</b>
Asistencia Técnica	1	1	ha	\$ 280.00	\$ 280.00
Seguro Agrícola	1	1	ha	\$ 310.00	\$ 310.00
Cuota módulo de riego	1	1	ha	\$ 105.00	\$ 105.00
<b>SUBTOTAL COSTOS DE PRODUCCION</b>					<b>\$ 21,260.68</b>

## Anexo E: Comparaciones pareadas

La metodología para obtener comparaciones pareadas es la siguiente:

Valor del indicador en el sistema alternativo = VA

Valor del indicador en el sistema de referencia = VR

	VA	VR
VA	VA/VA	VA/VR
VR	VR/VA	VR/VR

Valores para ejemplo:

VA = 15

VR = 5

	VA	VR
VA	15/15	15/5
VR	5/15	5/5

Lo cual es igual a:

	VA	VR
VA	1	3
VR	0.33333333	1

Se normaliza la matriz dividiendo el valor de cada celda entre el valor de cada columna:

	VA	VR
VA	1/1.333333	3/4
VR	0.333333/1.333333	1/4

Igual a:

	VA	VR
VA	0.75	0.75
VR	0.25	0.25

*Finalmente se obtiene la media geométrica de los valores de VA y VR en cada fila y se obtiene el valor para el indicador:*

$$VA = (0.75 + 0.75) / 2 = 0.75$$

$$VR = (0.25 + 0.25) / 2 = 0.25$$

## Anexo F: Pruebas de normalidad y T-Student

*Cantidad de agua/ha*

### Resumen del procesamiento de los casos

	Casos					
	Válidos		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
cantidadagua	11	91.7%	1	8.3%	12	100.0%

### Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
cantidadagua	.178	11	.200*	.904	11	.205

\*. Este es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de la significación de Lilliefors

### Descriptivos

		Estadístico	Error típ.
cantidadagua	Media	176.5455	6.54545
	Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior Límite superior	161.9613 191.1296
	Media recortada al 5%	176.9949	
	Mediana	180.0000	
	Varianza	471.273	
	Desv. típ.	21.70882	
	Mínimo	140.00	
	Máximo	205.00	
	Rango	65.00	
	Amplitud intercuartil	45.00	
	Asimetría	.071	.661
	Curtosis	-.878	1.279

### Prueba para una muestra

	Valor de prueba = 135					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
					Inferior	Superior
cantidadagua	6.347	10	.000	41.54545	26.9613	56.1296

Rendimiento de alfalfa

Resumen del procesamiento de los casos

	Casos					
	Válidos		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
rendimiento	11	91.7%	1	8.3%	12	100.0%

Descriptivos

		Estadístico	Error típ.
rendimiento	Media	12.9209	.87684
	Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior Límite superior	10.9672 14.8746
	Media recortada al 5%	12.9299	
	Mediana	13.0000	
	Varianza	8.457	
	Desv. típ.	2.90816	
	Mínimo	7.48	
	Máximo	18.20	
	Rango	10.72	
	Amplitud intercuartil	4.38	
	Asimetría	-.134	.661
	Curtosis	.446	1.279

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
rendimiento	.144	11	.200*	.983	11	.979

\*. Este es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de la significación de Lilliefors

Prueba para una muestra

	Valor de prueba = 28					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
					Inferior	Superior
rendimiento	-17.197	10	.000	-15.07909	-17.0328	-13.1254

*Uso de diésel por actividad de maquinado*

**Pruebas de normalidad**

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
dieselbarbecho	.257	8	.127	.875	8	.169
dieselnivel	.150	8	.200*	.943	8	.637
dieseldisqueo	.193	8	.200*	.942	8	.627
dieselsiembra	.187	8	.200*	.921	8	.441
dieselbordeo	.239	8	.200*	.918	8	.411
dieselcorte	.213	8	.200*	.917	8	.409
dieselastr	.218	8	.200*	.859	8	.118
dieselempaq	.293	8	.042	.791	8	.023
fertterrestre	.229	8	.200*	.867	8	.140

\*. Este es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de la significación de Lilliefors

*Conductividad eléctrica del suelo*

**Pruebas de normalidad**

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
CES	.204	11	.200*	.863	11	.063

\*. Este es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de la significación de Lilliefors

**Prueba para una muestra**

	Valor de prueba = 2.82					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
					Inferior	Superior
CES	1.766	10	.108	1.88636	-4.942	4.2669

*Muestreo de pulgones 1*

**Pruebas de normalidad**

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Pulgones	.164	7	.200*	.973	7	.918

\*. Este es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de la significación de Lilliefors

**Descriptivos**

		Estadístico	Error típ.	
Pulgones	Media	296.0000	69.04726	
	Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	127.0474	
		Límite superior	464.9526	
	Media recortada al 5%	293.8333		
	Mediana	253.0000		
	Varianza	33372.667		
	Desv. típ.	182.68187		
	Mínimo	48.00		
	Máximo	583.00		
	Rango	535.00		
	Amplitud intercuartil	273.00		
	Asimetría	.367	.794	
	Curtosis	-.583	1.587	

**Prueba para una muestra**

	Valor de prueba = 37					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
					Inferior	Superior
Pulgones	3.751	6	.009	259.00000	90.0474	427.9526

*Muestreo de trips 1*

**Pruebas de normalidad**

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Trips	.239	7	.200*	.850	7	.123

\*. Este es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de la significación de Lilliefors

### Descriptivos

		Estadístico	Error típ.	
Trips	Media	78.0000	26.26694	
	Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	13.7271	
		Límite superior	142.2729	
	Media recortada al 5%	77.8889		
	Mediana	84.0000		
	Varianza	4829.667		
	Desv. típ.	69.49580		
	Mínimo	.00		
	Máximo	158.00		
	Rango	158.00		
	Amplitud intercuartil	140.00		
	Asimetría	-.084	.794	
	Curtosis	-2.369	1.587	

### Prueba para una muestra

	Valor de prueba = 321					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
					Inferior	Superior
Trips	-9.251	6	.000	-243.00000	-307.2729	-178.7271

### Muestreo de pulgones 2

#### Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Pulgones	.260	6	.200*	.829	6	.105

\*. Este es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de la significación de Lilliefors

### Descriptivos

		Estadístico	Error típ.	
Pulgones	Media	1014.1667	477.87372	
	Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	-214.2468	
		Límite superior	2242.5802	
	Media recortada al 5%	963.9630		
	Mediana	507.5000		
	Varianza	1370179.767		
	Desv. típ.	1170.54678		
	Mínimo	79.00		
	Máximo	2853.00		
	Rango	2774.00		
	Amplitud intercuartil	2144.00		
	Asimetría	.961	.845	
	Curtosis	-.862	1.741	

### Prueba para una muestra

	Valor de prueba = 243					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
					Inferior	Superior
Pulgones	1.614	5	.168	771.16667	-457.2468	1999.5802

### Muestreo de trips 2

#### Resumen del procesamiento de los casos

	Casos					
	Válidos		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
Trips	6	85.7%	1	14.3%	7	100.0%

#### Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Trips	.228	6	.200*	.937	6	.635

\*. Este es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de la significación de Lilliefors

### Descriptivos

		Estadístico	Error típ.	
Trips	Media	552.0000	201.03051	
	Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	35.2346	
		Límite superior	1068.7654	
	Media recortada al 5%	539.2778		
	Mediana	473.0000		
	Varianza	242479.600		
	Desv. típ.	492.42218		
	Mínimo	9.00		
	Máximo	1324.00		
	Rango	1315.00		
	Amplitud intercuartil	916.00		
	Asimetría	.669	.845	
	Curtosis	-.398	1.741	

### Prueba para una muestra

	Valor de prueba = 814					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
					Inferior	Superior
Trips	-1.303	5	.249	-262.00000	-778.7654	254.7654

## Referencias

---

- [1] David Molden et al. Water for food, water for life: A comprehensive assessment of water management in agriculture. Earthscan London and International Water Management Institute, 2007 Colombo ISBN-13: 978-1844073962
- [2] C. J. Vörösmarty, et al. Global threats to human water security and river Biodiversity. Nature International Weekly Journal of Science 2010.
- [3] Comisión Nacional del Agua. Programa Hídrico Regional Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa I Península de Baja California Edición 2012. ISBN: 978-607-7908-88-3
- [4] WCED (World Commission On Environment And Development). 1987. Our common future. New York. Oxford University Press.
- [5] Brown, L. R.; Hanson. M.; Liverman, D; Meredith, R. 1987. Global sustainability: Toward a definition. Environmental Management 11(6):713-719.
- [6] James, L.G (1988), Principles of Farm Irrigation System Design, 1st Edition, John Wiley and Sons Inc. New York
- [7] De Wrachien, D., 2002. Irrigation and drainage. Trends and challenges for the 21st century. Proceedings of the 19th European Regional Conference on Sustainable Use of Land and Water. June, Brno, Czech Republic
- [8] Food and Agriculture Organization (FAO), The practice of Irrigation, The perspective and objectives of irrigation, Accesado Octubre 2014 <http://www.fao.org/docrep/t0231e/t0231e03.htm#1.3> advantages and disadvantages of surface irrigation
- [9] Ciclohidrologico.com, Escorrentía superficial, Accesado octubre 2014 [http://www.ciclohidrologico.com/escorrenta\\_superficial](http://www.ciclohidrologico.com/escorrenta_superficial),
- [10] Walker, W.R., Skogerboe G.V. (1987): Surface irrigation: Theory and practice. Prentice Hall, Englewood Cliffs.
- [11] Food and Agriculture Organization (FAO), Irrigation Water Management: Irrigation methods Chapter 1: Introduction, Accesado Octubre 2014 <http://www.fao.org/docrep/s8684e/s8684e02.htm>

- 
- [12] Santos et al. El riego y sus tecnologías. CEER- Centro de engenharia dos Biossistemas, Instituto Superior de Agronomia. Universidad Técnica de Lisboa. Tapada de Ajuda 1349-017 Lisboa. Portugal. ISBN: 13:978-84-692-9979-1 p. 112.
- [13] Food and Agriculture Organization (FAO), Annex I: Irrigation efficiencies, Accedido Octubre 2014 <http://www.fao.org/docrep/t7202e/t7202e08.html>
- [14] Lazaro et al. 2010 Riego por gravedad FUNDACIÓN PRODUCE NAYARIT A. C. [www.fupronay.org.mx](http://www.fupronay.org.mx)  
<http://www.cofupro.org.mx/cofupro/images/contenidoweb/indice/publicaciones-nayarit/FOLLETOS%20Y%20MANUALES/FOLLETOS%20IMTA%202009/folleto%202%20RiegoGravedad.pdf>
- [15] Lazaro et al. 2010 Riego por aspersión y localizado FUNDACIÓN PRODUCE NAYARIT A. C. [www.fupronay.org.mx](http://www.fupronay.org.mx)  
<http://www.cofupro.org.mx/cofupro/images/contenidoweb/indice/publicaciones-nayarit/FOLLETOS%20Y%20MANUALES/FOLLETOS%20IMTA%202009/folleto%202%20RiegoGravedad.pdf>
- [16] Walker, W.R.: Guidelines for designing and evaluating surface irrigation system FAO, Irrigation and Drainage Paper, 45, (1989).
- [17] Saleh Mahmoud Ismael. Effectiveness of Surge Flow Irrigation in Egypt 2004. 2004 Swets & Zeitlinger B.V., Lisse, The Netherlands ISBN 90 5809 655 6
- [18] Food and Agriculture Organization (FAO) The practice of irrigation. 1.3 Advantages and disadvantages of surface irrigation. Corporate Document Repository. <http://www.fao.org/docrep/t0231e/t0231e03.htm>
- [19] A. Phocaides. Technical Handbook on Pressurized Irrigation Techniques, Drip Irrigation Introduction, Rome, 2000, p. 133
- [20] Santos et al. El riego y sus tecnologías. CEER- Centro de engenharia dos Biossistemas, Instituto Superior de Agronomía. Universidad Técnica de Lisboa. Tapada de Ajuda 1349-017 Lisboa. Portugal. ISBN: 13:978-84-692-9979-1 p. 229-230.
- [21] A. Phocaides. Technical Handbook on Pressurized Irrigation Techniques, Drip irrigation Design Criteria And Considerations, Rome, 2000. P. 136

- 
- [22] Freddie Lamm (2002) Advantages and disadvantages of subsurface drip irrigation This paper was first presented at the International Meeting on Advances in Drip/Micro Irrigation, Puerto de La Cruz, Tenerife, Canary Islands, December 2-5, 2002. Sponsored by Instituto Canario de Investigaciones Agrarias.
- [23] Food and Agriculture Organization (FAO), Chapter 14: Drip Irrigation, Design criteria and considerations., Accesado Octubre 2014  
<ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a1336e/a1336e14a.pdf>
- [24] SAGARPA. Riego por aspersión y localizado. Clasificación de sistemas de riego por aspersión. 2010 p. 20
- [25] Brouwer et. al- Irrigation Water management: Irrigation methods. Chapter 7. Choosing an irrigation method. Fao land and water development division.
- [26] G.O. Schwab, R.K. Frevert, T.W. Edminster and K.K. Barnes. John Wiley and Sons, New York, NY, 1981. P. 430-431, ISBN 0-471-03078-3
- [27] Kenneth H. Solomon. Irrigation System Selection. California State University, Fresno, California 93740-0018 January 1988
- [28] Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. El desarrollo del microrriego en América Central. Oportunidades, limitaciones y desafíos. 2008. P. 35
- [29] Estrella, Gabriel (1980), El origen de la región de los valles de Mexicali e Imperial desde la perspectiva de las relaciones sociales, Cuaderno de Ciencias Sociales núm. 1, Instituto de Investigaciones Sociales de la UABC.
- [30] Araceli Almaraz Alvarado. El boom de las empresas extranjeras en el valle de Mexicali. Frontera norte vol.19 no.37 México ene./jun. 2007 ISSN 0187-7372
- [31] José A. Moreno Mena, Mercedes Gema Lopez Limón, Desarrollo agrícola y uso agroquímicos en el valle de Mexicali Estud. front vol.6 no.12 Mexicali jul./dic. 2005
- [32] Ortega et. al. Caracterización del paisaje del Valle de Mexicali según sus habitantes: Aproximaciones textuales a la topofilia. Culturales [online]. 2013, vol.1, n.2 [citado 2016-03-09], pp. 55-90 . Disponible en:  
<[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-11912013000200002&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-11912013000200002&lng=es&nrm=iso)>. ISSN 2448-539X.

- 
- [33] Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. “Mexicali” Disponible para su consulta en:  
<http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM02bajacalifornia/municipios/02002a.html>
- [34] Secretaria de fomento agropecuario (2012). Proyecto estratégico para la recuperación de la capacidad productiva de suelos de uso agrícola del Valle de Mexicali, Baja California. Disponible para su consulta en  
[http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/bajacalifornia/Documents/CONVOCATORIAS/2012/PROYECTO%20PRECAPS%202012%20BC%20%20SAGARPA-SEFOA%20\(27-07-12\).pdf](http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/bajacalifornia/Documents/CONVOCATORIAS/2012/PROYECTO%20PRECAPS%202012%20BC%20%20SAGARPA-SEFOA%20(27-07-12).pdf)
- [35] El Agua en Baja California. Disponible para su consulta en  
<http://www.congresobc.gob.mx/IELWeb/documentos/AguaenBajaCalifornia.pdf>  
accesado febrero 2016.
- [36] Camacho, Martínez (2010). Los sistemas de información geográfica como herramientas para el diagnóstico integral y el mejoramiento de la operación del distrito de riego 014 Río Colorado, B. C. y Son. Disponible para su consulta en  
<http://www.biblio.colpos.mx:8080/jspui/handle/10521/216>
- [37] Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Sustentable de Baja California. Mapoteca Digital. Disponible para su consulta en  
<http://www.nacionmulticultural.unam.mx/empresasindigenas/docs/1949.pdf>
- [38] SAGARPA. La alfalfa, principal forraje del Valle de Mexicali. Disponible para su consulta en  
<http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/bajacalifornia/Boletines/Paginas/B1012015.aspx>
- [39] Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Sustentable de Baja California . Series históricas agrícolas. Disponible para su consulta en [http://www.oeidrus-bc.gob.mx/oeidrus\\_bca/](http://www.oeidrus-bc.gob.mx/oeidrus_bca/)
- [40] Panorama general de Alfalfa: Baja California. Secretaria de fomento agropecuario. Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Sustentable. Publicación septiembre 2012.

- 
- [41] Censo Agropecuario (2007). La agricultura en Baja California: Censo Agropecuario 2007 Instituto Nacional de Estadística y Geografía.-- México: INEGI, c2013. x, 69 p. : il. ISBN 978-607-494-481-5.
- [42] Secretaria Fomento Agropecuario. Utilización de sistemas de riego en la superficie agrícola Baja California. Publicación Junio 2013. Disponible para su consulta en: [http://www.oeidrus-bc.gob.mx/oeidrus\\_bca/pdf/biblioteca/otros/UTILIZACION%20DE%20SIST%20DE%20RIEGO%20EN%20BC.pdf](http://www.oeidrus-bc.gob.mx/oeidrus_bca/pdf/biblioteca/otros/UTILIZACION%20DE%20SIST%20DE%20RIEGO%20EN%20BC.pdf)
- [43] De Carlo et al (2008) Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. INIFAP. Necesidades Hídricas de los principales cultivos en el estado de Baja California. Folleto técnico No. 15. Mexicali, B.C.
- [44] Dobson, A. (1996) Environment sustainabilities: An analysis and a typology. *Environmental Politics*, 5, 401-428.
- [45] Maite Cabeza Gutes. The concept of weak sustainability. *Ecological Economics* 17 (1996) 147-156
- [46] Neumayer, E (2003) Weak versus strong sustainability: exploring the limits of two opposing paradigms, Elgar, London
- [47] Solow, R (1974) The economics of resources and the resources of economics, *American Economic Review*, 64: 1-14
- [48] Hartwick, J (1977) Intergenerational equity and the investing of rents from exhaustible resources, *American Economic Review*, 67: 972-974
- [49] George Randal Davies [2013] Appraising Weak and Strong Sustainability: Searching for a middle ground. *Consilience: The Journal of Sustainable Development* Vol. 10, Iss. 1 (2013), Pp. 111 – 124
- [50] Banco Mundial. 1991. Environmental assessment sourcebook. Volume I, II, III. The World Bank, Technical Paper no. 140, Washington, D. C
- [51] Jarosch, J. 1990. Methodik, Einsatzmöglichkeiten und Anwendung ökologisch-ökonomischer Planungsmodelle. *Landwirtschaft und Umwelt*, Bd.6, Kiel: Vauk.

- 
- [52] Adriaanse, A. 1993. Environmental policy performance indicators. A study on the development of indicators for environmental policy in the Netherlands. Sdu Uitgeverij Koninginnegracht. The Netherlands.
- [53] Miyoshi et al. .Evaluación de sustentabilidad. Un enfoque dinámico y multidimensional. Las evaluaciones de sustentabilidad. 1ª edición, 2008, SEAE/CIGA/ECOSUR/CIEco/UNAM/GIRA/Mundiprensa/Fundación instituto de Agricultura ecológica y sustentable, España.
- [54] Bakkes, J.A., G.J. van den Born, J.C. Helder, R.J. Swart, Hope C.W., and J.D.E. Parker. 1994. An Overview of Environmental Indicators: State of the Art and Perspectives, UNEP/RIVM, Nairobi.
- [55] Conway, G.R.; Barbier, E.B. 1988. After the Green Revolution: Sustainable and equitable agricultural development. *Futures*. p. 651-670.
- [56] Muller, S. 1995. Como medir la sostenibilidad, una propuesta para el área de agricultura y de los recursos naturales. Instituto Interamericano para la agricultura (IICA). Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH. Octubre 1996. p. 17
- [57] David S (1989) Sustainable development: theoretical construct on attainable goal? *Environ Conser* 16:41–48
- [58] Webster JPG (1997) Assessing the economic consequences of sustainability in agriculture. *Agric Ecosyst Environ* 64:95–102
- [59] Webster P (1999) The challenge of sustainability at the farm level: presidential address. *J AgricEcon* 50(3):371–387
- [60] Pretty JN (1995) Regenerating agriculture: policies and practice for sustainability and self-reliance. Earthscan, London
- [61] Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) (1991) Environmental indicators: a preliminary set organization for economic cooperation and development. OECD Publication, Paris
- [62] Sands GR, Podmore H (2000) A generalized environmental sustainability index for agricultural systems. *Agric Ecosyst Environ* 79:29–41
- [63] Tellarini V, Caporali F (2000) An input/output methodology to evaluate farms as sustainable agroecosystems: an application of indicators to farms in central Italy. *Agr Ecosys Environ* 77:111–123 doi: 10.1016/S0167-8809(99)00097-3

- 
- [64] Gowda MJC, Jayaramaiah KM (1998) Comparative evaluation of rice production systems for their sustainability. *Agric Ecosyst Environ* 69:1–9
- [65] Reijntjes C, Bertus H, Water-Bayer A (1992) *Farming for the future: an introduction to low external input and sustainable agriculture*. Macmillan, London
- [66] Rasul G, Thapa GB (2003) Sustainability analysis of ecological and conventional agricultural systems in Bangladesh. *World Dev* 31(10):1721–1741
- [67] D. Hayati, Z. Ranjbar and E. Karami (2010). Lichtfouse (ed.), *Biodiversity, Biofuels, Agroforestry and Conservation Agriculture*, 73 *Sustainable Agriculture Reviews* 5, DOI10.1007/978-90-481-9513-8\_2, © Springer Science+Business Media B.V. 2010
- [68] E. Lichtfouse (ed.), *Biodiversity, Biofuels, Agroforestry and Conservation Agriculture*, 73 *Sustainable Agriculture Reviews* 5, DOI 10.1007/978-90-481-9513-8\_2, © Springer Science+Business Media B.V. 2010
- [69] Sabine Müller, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) / Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH. Octubre, 1996.
- [70] Masera et al. .Evaluación de sustentabilidad. Un enfoque dinámico y multidimensional. Las evaluaciones de sustentabilidad. 1ª edición, 2008, SEAE/CIGA/ECOSUR/CIEco/UNAM/GIRA/Mundiprensa/Fundación instituto de Agricultura ecológica y sustentable, España. P. 110
- [71] Norman D, Janke R, Freyenberger S, Schurle B, Kok H (1997) *Defining and implementing sustainable agriculture*. Kansas Sustainable Agriculture Series, Paper #1. Kansas State University, Manhattan, KS
- [72] Norman D, Janke R, Freyenberger S, Schurle B, Kok H (1997) *Defining and implementing sustainable agriculture*. Kansas Sustainable Agriculture Series, Paper #1. Kansas State University, Manhattan, KS
- [73] Hart, Robert D. 1985. *Conceptos básicos sobre agroecosistemas*. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- [74] Max-Neef, M. 1991. *Development and Human Needs*, In: P. Ekins and M. Max-Neef, *Real-Life Economics*, 197-214. London: Routledge.

- 
- [75] Masera et. al 2008. Evaluación de sustentabilidad. Un enfoque dinámico y multidimensional. El Marco Mesmis. 1ª edición, 2008, SEAE, CIGA, ECOSUR, CIECO, UNAM, GIRA, Mundiprensa, Fundación Instituto de Agricultura ecología y sustentable, España. P. 18
- [76] Dunn, E.G., J.M. Keller, and L.A. Marks. 1995. Integrated Decision Making for Sustainability: A Fuzzy MADM Model for Agriculture. Columbia, USA: Malama' Aina.
- [77] Silverio Medina-Gaud. 1977. Manual de procedimientos para coleccionar, preservar y montar insectos y otros artrópodos. Boletín 254. Universidad de Puerto Rico. Recinto de Mayaguez. Colegio de Ciencias Agrícolas. Río Piedras, Puerto Rico. P. 6-7.
- [78] Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. Disponible para su consulta en <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/DO2280n.pdf>
- [79] S. Mantel et al. Guiding principles for the Qualitative Assesment of Soil Degradation Food And Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2004. P. 24-27
- [80] McBride, M.B. 1994. Environmental Chemistry of Soils. Oxford University Press, Oxford, New York.
- [81] Rosa Martínez Pamatz. Ana Rosa Soriano Fajardo. Muestreo de análisis de agua para uso agrícola 2014. Desplegable para productores No. 9. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Pacifico Centro, Campo experimental Tecoman.
- [82] L. A. Richards et al. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils., U.S. Dept. of Agriculture, Washington, D.C., rev. ed., 1954 p. 79
- [83] Gonzalo Perez Melian. 1978 .Química agrícola: interpretación de un análisis de riego. Departamento de química agrícola e hidroponía. Xoba. Revista de agricultura. Volumen 1; Numero 4. P- 173-176.
- [84] Palacios, V.O., Aceves, N.E. (1970). Instructivos para el muestreo, registro de datos e interpretación de la calidad del agua para riego agrícola. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.

- 
- [85] Ricardo E. Garbers, Yi Erh Chen. 2013 Costos operativos de maquinaria Agrícola (Síntesis básica para su cálculo). Dirección nacional de contratistas Rurales e insumos Agrícolas. Presidencia de la Nación. Argentina. Disponible para su consulta en [http://www.agroindustria.gob.ar/site/agricultura/contratistas\\_rurales/30\\_costos\\_y\\_precios\\_de\\_labores/\\_archivos/140101\\_Manual%20de%20Costos%20Operativos%20de%20Maquinaria%20Agr%C3%ADcola.pdf](http://www.agroindustria.gob.ar/site/agricultura/contratistas_rurales/30_costos_y_precios_de_labores/_archivos/140101_Manual%20de%20Costos%20Operativos%20de%20Maquinaria%20Agr%C3%ADcola.pdf)
- [86] Misalario.org (2016) Salarios minimos profesionales a partir del 01 de Enero del 2016. Disponible para su consulta en <http://www.misalario.org/main/tu-salario/salario-minimo>
- [87] McBride, M.B. 1994. Environmental Chemistry of Soils. Oxford University Press, Oxford, New York.