



**EL COLEGIO
DE SONORA**

**EL FLUJO DE AGUA VIRTUAL EN LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA.
EL CASO DEL RÍO MAGDALENA**

**Tesina para obtener el diploma de
Especialidad en Gestión Integrada
de Cuencas Hidrológicas**

Director
Mtro. Julio César Rodríguez

Presenta
Claudia María Martínez Peralta

Hermosillo, Sonora

Febrero de 2007.

ÍNDICE

| | | |
|---|--|----|
| I | | |
| INTRODUCCIÓN..... | | 5 |
| II | | |
| MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL..... | | 11 |
| Antecedentes..... | | 11 |
| Composición del agua virtual por productos alimenticios a nivel mundial..... | | 16 |
| Revisión de literatura..... | | 18 |
| Método de investigación..... | | 22 |
| Instrumentos de recopilación y análisis..... | | 30 |
| III | | |
| MEDIO FÍSICO Y SOCIOECONÓMICO..... | | 32 |
| Medio físico..... | | 32 |
| Clima y meteorología..... | | 33 |
| Geomorfología..... | | 33 |
| Suelos..... | | 34 |
| Hidrología superficial y subterránea..... | | 34 |
| Medio socioeconómico..... | | 36 |
| Demografía y servicios públicos..... | | 37 |
| Actividades productivas..... | | 42 |
| IV | | |
| ACTIVIDAD AGRÍCOLA..... | | 47 |
| Superficie agrícola..... | | 47 |
| Volumen y valor de la producción agrícola..... | | 51 |
| Otros aspectos de la producción agrícola..... | | 54 |
| V | | |
| ESTUDIO DE CASO: ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DE AGUA VIRTUAL..... | | 56 |
| Producción de los principales cultivos..... | | 56 |
| Cultivos cíclicos..... | | 56 |
| Cultivos perennes..... | | 65 |
| Factores limitantes del estudio..... | | 68 |
| Estimación del flujo de agua virtual de los cultivos..... | | 69 |
| Estimación del volumen de agua virtual de cultivos cíclicos..... | | 69 |
| Estimación del volumen de agua virtual para cultivos perennes..... | | 71 |
| Resultados..... | | 72 |
| Estimación del flujo de agua virtual hacia el exterior del área de estudio..... | | 73 |
| VI | | |
| CONCLUSIONES..... | | 75 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | | 81 |
| ANEXO A. GUÍA DE LA ENTREVISTA..... | | 85 |
| ANEXO B. DATOS CLIMATOLÓGICOS..... | | 86 |
| ANEXO C. FOTOGRAFICO..... | | 87 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Contenido de agua virtual de algunos productos en m ³ /ton según varios autores..... | 22 |
| Tabla 2. Características hidrológicas | 35 |
| Tabla 3. Población..... | 37 |
| Tabla 4. Viviendas habitadas y ocupantes..... | 37 |
| Tabla 5. Viviendas particulares habitadas con servicios públicos | 38 |
| Tabla 6. Fuentes de abastecimiento de agua en la cuenca del río Magdalena..... | 38 |
| Tabla 7. Longitud de la red carretera por municipio (kilómetros) | 39 |
| Tabla 8. Infraestructura educativa, 2002-2003..... | 40 |
| Tabla 9. Población derechohabiente por municipio y servicios de salud..... | 42 |
| Tabla 10. Población ganadera y avícola por municipio, 2003 | 43 |
| Tabla 11. Volumen de producción forestal maderable por municipio, 2003 | 44 |
| Tabla 12. Establecimientos de hospedaje, 2003..... | 45 |
| Tabla 13. Población de 12 años y más por municipio según actividad económica..... | 46 |
| Tabla 14. Población ocupada por municipio según situación en el trabajo..... | 46 |
| Tabla 15. Superficie total sembrada, 2002-2003..... | 47 |
| Tabla 16. Superficie sembrada y cosechada por tipo de cultivo (hectáreas), 2002-2003..... | 49 |
| Tabla 17. Superficie sembrada y cosechada de otros cultivos cíclicos (hectáreas),..... | 50 |
| Tabla 18. Superficie sembrada y cosechada de otros cultivos perennes (hectáreas),..... | 51 |
| Tabla 19. Volumen y valor de la producción agrícola por tipo de cultivo, 2002-2003..... | 52 |
| Tabla 20. Volumen y valor de la producción de resto de cultivos cíclicos, 2002-2003..... | 53 |
| Tabla 21. Volumen y valor de la producción del resto de cultivos perennes, 2002-2003..... | 54 |
| Tabla 22. Características de la superficie sembrada, 2002-2003 | 54 |
| Tabla 23. Superficie mecanizada según nivel de mecanización, 2002-2003 | 54 |
| Tabla 24. Características de las presas, 2002 | 55 |
| Tabla 25. Calendario de riego para cártamo. DDR-140 Magdalena..... | 57 |
| Tabla 26. Calendario de riegos para el maíz. Ciclo otoño-invierno y verano | 58 |
| Tabla 27. Calendario de riego aplicado en el cultivo de cebada forrajera..... | 62 |
| Tabla 28. Calendario de riegos para el sorgo para grano | 64 |
| Tabla 29. Tabla de riego total aplicado a cultivos cíclicos, 2002- 2003 | 70 |
| Tabla 30. Volumen de agua virtual de los cultivos cíclicos, 2002-2003..... | 70 |
| Tabla 31. Tabla de riego total aplicado a cultivos perennes, 2002- 2003 | 71 |
| Tabla 32. Volumen de agua virtual de los cultivos perennes, 2002-2003..... | 71 |
| Tabla 33. Destino de la producción de cultivos cíclicos del área de estudio | 73 |
| Tabla 34. Destino de la producción de cultivos perennes del área de estudio | 74 |
| Tabla 35. Volúmenes totales de agua aplicados y exportados por tipo de cultivo | 74 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Localización geográfica del área de estudio | 9 |
| Figura 2. Ahorros nacionales de agua relacionados al comercio internacional de productos agrícolas, 1997-2001 | 15 |
| Figura 3. Ahorros globales de agua (> 0.5 Gm ³ /año) asociada al comercio internacional de productos agrícolas, 1997-2001 | 16 |
| Figura 4. Distribución del contenido de agua virtual por categorías alimenticias | 17 |
| Figura 5. Composición gráfica de la distribución global de energía y proteína por categorías alimenticias | 18 |
| Figura 6. Mapa conceptual del flujo de agua virtual de productos agrícolas | 26 |
| Figura 7. Acuíferos de la cuenca del arroyo Cocóspera- río Concepción | 36 |
| Figura 8. Plano de infraestructura carretera | 40 |
| Figura 9. Plano de superficie agrícola | 48 |



EL COLEGIO
DE SONORA

I

INTRODUCCIÓN

Los cultivos agrícolas no solamente pueden diferenciarse respecto a la cantidad absoluta de agua que necesitan, sino también en el modo de absorberla y en la necesidad que tiene cada especie de escoger determinadas materias disueltas en ella para verificar su nutrición.

Amalio Ruiz de Velasco (2003).

El agua utilizada en los procesos de producción de bienes de consumo, sobre todo de productos agrícolas e industriales, recibe la denominación de “agua virtual” contenida en el producto (Allan 1997). La principal consideración en este concepto es que si un país o región exporta un producto que utiliza agua de manera intensiva a otro país o zona geográfica, también exporta el agua (Zimmer y Renault 2003).

Uno de los propósitos fundamentales al evaluar el comercio de agua virtual de y entre las naciones o regiones es aumentar la eficacia del uso de agua en el mundo. La valorización del comercio virtual de agua se puede utilizar como instrumento para mejorar su uso en regiones donde el recurso es escaso o valioso, con el fin de garantizar el abastecimiento, así como para restaurar y reducir las presiones al ambiente vinculado con el uso de los recursos hídricos en sitios que no son aptos para la producción de determinados bienes de consumo (Turton 2000).

El efecto positivo directo de la evaluación del flujo de agua virtual es el ahorro de agua en los países o en las regiones que importan productos que la utilizan intensivamente. Los ahorros nacionales de agua son iguales a los volúmenes de importación de los productos multiplicados por los volúmenes de agua que se habrían requerido para producir

los artículos domésticamente. Pero también significa pérdida de agua para los exportadores, en el sentido de que ya no puede usarse para otros propósitos (Chapagain et al. 2005).

Cuando un país o región exporta productos que requieren uso intensivo de agua en su producción, también exporta el líquido en forma virtual; así algunas regiones soportan o cargan las necesidades del recurso de otras. El comercio real entre regiones ricas y pobres en agua es prácticamente imposible debido a las distancias largas y a los costos asociados, pero el comercio de productos intensivos en agua es algo más realista y prometedor (Hoekstra y Hung 2004).

Ramos (2004), predice de manera casi catastrófica que la guerra del agua se intensificará en 10 o 15 años. Una de las formas que adoptará será la capacidad de producir alimentos: mientras que los países con relativa abundancia tendrán el poder de producir alimentos, los países con escasez no. Asimismo, indica que el agua se exportará e importará a través de los alimentos, lo que significa poner en riesgo la soberanía alimentaria de cualquier país, con baja disponibilidad relativa del recurso hídrico, es decir, las ventajas comparativas en la producción de alimentos estarán determinadas por la disponibilidad de agua.

Con el comercio internacional de productos alimenticios, sobre todo agrícolas y de otra índole, se presenta un flujo virtual del agua entre el país productor-exportador y el país consumidor-importador de estos productos. Un país con escasa disponibilidad del recurso pudiese importar productos que requieren alto volumen de agua para su producción en vez de producirlos nacionalmente, permitiendo así ahorros verdaderos, relevando o reduciendo la presión en sus fuentes disponibles o bien destinándola para otros propósitos más apremiantes.

El promedio global del volumen de flujo de agua virtual relacionado al comercio internacional de productos agrícolas para el periodo 1997-2001 fue estimado en 1 263 km³ por año (Chapagain y Hoekstra 2004). En otro estudio, Zimmer y Renault (2003) estimaron 1 340 km³ de agua por año, para el 2000, relacionado al comercio internacional de cultivos

agrícolas y productos ganaderos. Cabe aclarar que estos estudios sólo presentan una vista parcial de la cuantificación de los valores de flujo de agua virtual.

Un ejemplo del contenido de agua virtual son los granos. Se estima que para producir un kilogramo de granos cultivados bajo condiciones de riego por gravedad y en favorables condiciones climáticas, se requieren de uno a dos metros cúbicos de agua, lo que corresponde a 1 000 o 2 000 kg de agua; pero para la misma cantidad, en un país árido donde las condiciones climáticas no son favorables, es decir, con temperaturas y evapotranspiración altas se requieren de 3 000 a 5 000 kg de agua. Para comparar, según el INIFAP (2001), en el valle del Yaqui se utilizaron de 1 300 a 1 800 kg de agua por kilogramo de cultivo de grano, esto varía principalmente por las propiedades del suelo, aspectos climáticos y otros factores.

Pero no sólo los productos agrícolas contienen agua virtual. Aunque la mayoría de los casos documentados y estudiados se enfocan a cultivos, también los productos industriales y la prestación de servicios la “contienen”.

El objetivo general de este trabajo es estimar y analizar los volúmenes del flujo de agua virtual en las subcuencas 8Be y 8Bf del río Magdalena-Asunción asociados a la comercialización de la producción agrícola.

Los objetivos específicos son:

- a) Formular el modelo conceptual de los flujos de agua virtual que exporta el área de estudio debido a su producción agrícola.
- b) Estimar los volúmenes del flujo de agua virtual según los productos obtenidos de la actividad agrícola y destinos identificados en el modelo conceptual.
- c) Establecer recomendaciones específicas para el manejo de los recursos hídricos según los resultados derivados de los objetivos anteriores.

El área de estudio se encuentra en el río Magdalena, que pertenece a la cuenca del río Asunción-Arroyo Cocóspera y comprende la Región Hidrológica (08) Sonora Norte.

Esta región tiene ocho subcuencas. El río Magdalena nace al norte del estado de Sonora, dentro del municipio de Nogales, con el nombre de Arroyo Bambuto, se une al sur con el Arroyo Cocóspera (Arroyo Babasac) en el municipio de Imuris, y continúa en dirección suroeste uniéndose a los arroyos El Tacicuri y El Sásabe a la altura del poblado de Magdalena. Ocupa una superficie de 39 321 km² (Yanes et al. 2003).

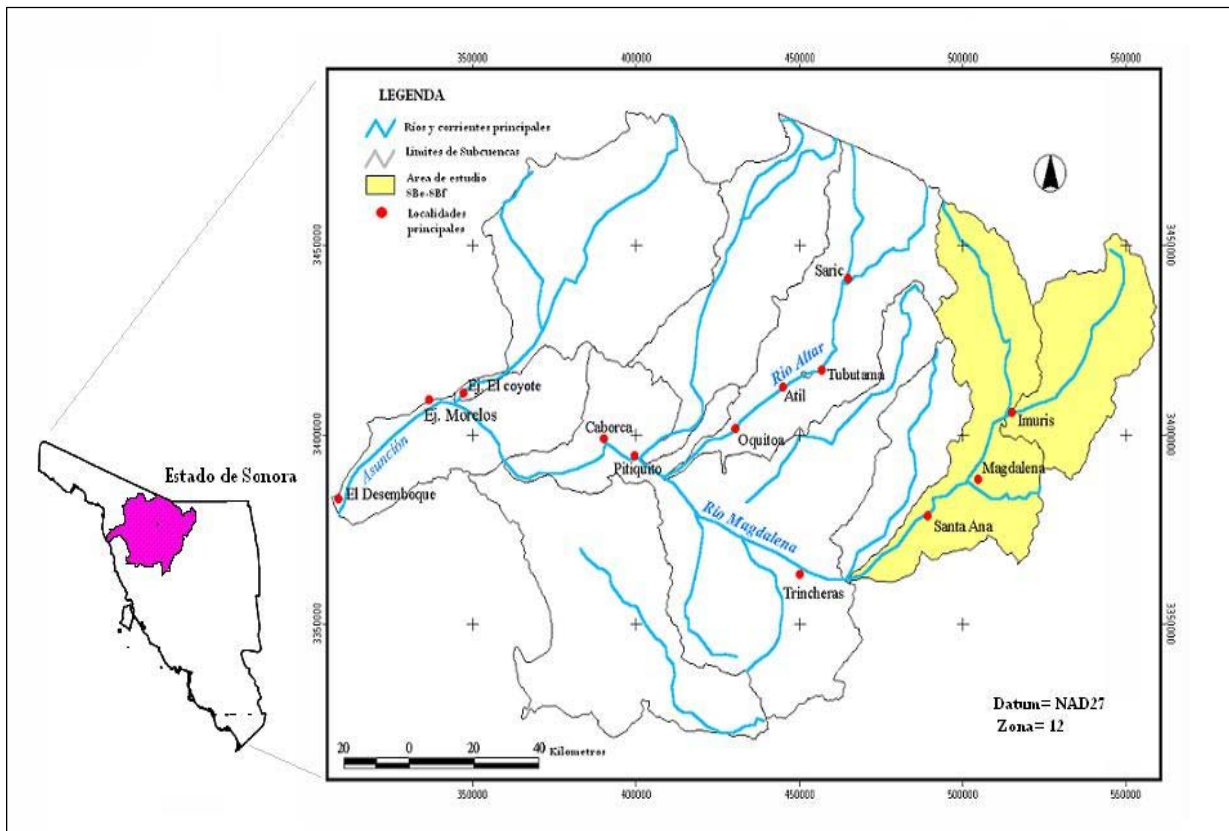
El área de estudio definida para la realización de esta investigación son las subcuencas 8Be y 8Bf de la Región Hidrológica 8, debido a que previamente se habían llevado a cabo investigaciones en la zona y existía información disponible para la elaboración de este trabajo. Además de que la mayor proporción de la superficie agrícola cultivada, perteneciente al río Magdalena, se ubica en esta región (véase figura 1).

La estimación de los flujos de agua virtual en las subcuencas 8Be y 8Bf del río Magdalena se realizó para los años 2002 y 2003, ya que había información disponible sobre producción agrícola en ese periodo.



EL COLEGIO
DE SONORA

Figura 1. Localización geográfica del área de estudio



Fuente: CIDESON (1995).

El presente trabajo inicia con una breve introducción a los conceptos y al tema del flujo virtual de agua, donde el agua se considera como una mercancía que se intercambia en bienes de consumo.

En el segundo capítulo se muestran los antecedentes a este concepto, así como una revisión global de la relación entre el flujo de agua virtual y algunos países, incluyendo México. También se presenta la revisión bibliográfica realizada, el marco conceptual asociado y la metodología ajustada a la propuesta por Zimmer y Renault (2003), así como los instrumentos de recopilación y análisis de información que orientarán la estimación del flujo de agua virtual para el caso de estudio seleccionado.

En el capítulo tres se describen aspectos biofísicos y socioeconómicos de la zona (subcuencas 8Be y 8Bf del río Magdalena), haciéndose énfasis en la cuestión hidrológica.

En el capítulo cuatro se presenta un análisis de la actividad agrícola, considerando tipos de cultivo, superficie sembrada, volúmenes de producción y la descripción de otras características importantes. En el quinto se realiza la estimación del flujo virtual de agua en la región, para la actividad agrícola de los años 2002 y 2003, describiendo las formas de cultivo y los consumos de agua de los principales productos primarios, mostrando los resultados obtenidos.

En el sexto capítulo se presentan las conclusiones que, en esencia, señalan los principales aspectos derivados de la investigación.



II

MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

A nivel mundial, la agricultura es un sector intensivo en el uso de agua. Los países con escasez del recurso deben implementar una estrategia a largo plazo que considere primordialmente obtener el más alto valor agregado del mismo.

H. Yang y A. J. B. Zehnder (2002).

ANTECEDENTES

La metáfora del “agua virtual” fue creada originalmente para obtener la atención de oficiales públicos responsables de crear y escoger las políticas que influyen en el uso del recurso agua en las regiones áridas (Wichelns 2001). El concepto de agua virtual fue ampliamente discutido en la década de los noventa. Su importancia radica en cuantificar el volumen de agua que es utilizada en la producción de alimentos y otros bienes de consumo.

El comercio de agua virtual no es nuevo, es tan viejo como el comercio de productos alimenticios. Asimismo, la cantidad intercambiada está aumentando de manera firme y constante. Sin embargo, sólo podemos hablar de un cambio hacia el comercio de agua virtual si la decisión (para importar a bajo precio productos que consumen altos volúmenes de agua) se toma conscientemente y se plasma en las políticas relacionadas con el manejo de agua. Algunos países que han tomado decisiones conscientes al respecto son Marruecos, Israel, Egipto y Japón como importadores de agua virtual. Los países exportadores, como Estados Unidos, todavía no reflexionan en el comercio de agua virtual sino más bien en responder a las necesidades de alimentos de los países donde el recurso es escaso (Van Hofwegen 2003).

Primeramente, este es un concepto “*intensivo*” porque une los recursos hídricos con la producción de alimentos, enfatizando y analizando el origen del agua que se utilizó en su producción. En segunda instancia, es “*extensivo*” porque vincula la disponibilidad de alimentos en las regiones ricas en agua con la disminución del agua en las regiones pobres en el recurso, vía comercio (Allan 2003).

También es “*integrador*”, y requiere que los científicos, investigadores en cuencas naturales o sociales y administradores de las obras hidráulicas cambien su perspectiva hidrocéntrica a otra que incluya intereses sociales y económicos que identifiquen y solucionen los problemas de la disponibilidad y la asignación del recurso fuera del sector exclusivo del “agua”. La estimación de los volúmenes de agua virtual es un buen ejemplo de una solución que radica fuera de la frontera física de “la cuenca” y otros problemas locales, pues se ha visto que no son los procesos hidrológicos ni las obras hidráulicas, ni otros asuntos técnicos, los que solucionan la escasez de agua de una región; pero si se conocen los factores económicos y comerciales que operan es posible facilitar la negociación en los usos del agua en los contextos políticos (Allan 2003).

El acceso internacional al agua virtual supera en flexibilidad y en cualquier escala a otra forma competente de reserva del recurso que resuelve déficits ocasionales y permanentes. Además, el “comercio” de agua virtual es económico y políticamente invisible y silencioso. Aunque permite, a una región con escasez, evitar el desperdicio de agua para producir toneladas de productos alimenticios intensivos en agua y políticamente sensibles; hasta este punto de la historia, el proceso es eficaz y económicamente ventajoso para el país importador (Allan 2003).

La disponibilidad de agua virtual “*invisible*”, también permite a los gobiernos y a los profesionales del agua evitar el involucramiento en los debates sobre la inseguridad del recurso; sin embargo, un impacto negativo sería la tendencia a reducir o a ocultar la situación real a nivel local y regional, lo que tendría como consecuencia la postergación de las reformas requeridas en las políticas relacionadas sobre el uso del agua (Allan 2003).

Con el tiempo, el concepto de agua virtual se ha usado en escenarios empíricos y conceptuales, principalmente para describir su uso en productos agrícolas y de origen ganadero que se comercian en los mercados internacionales (Wichelns 2001), debido a que la agricultura es por mucho el mayor usuario de agua. Esta actividad usa más de 80 por ciento de las extracciones en el mundo (WRI 2001) y se estima que más de 60 por ciento del agua movilizada de las fuentes naturales para fines agrícolas se desperdicia en el sistema de irrigación producto de una mala administración (Rosegrant y Perez 1997; Casas 1999).

MÉXICO Y EL FLUJO VIRTUAL DE AGUA

México es un país con escasez relativa de agua, como la mayoría de los países latinoamericanos, asiáticos y africanos. Este recurso se ha convertido en un bien escaso en el mundo, igualmente en México el problema del agua se presentó con severidad a principios de los años ochenta, cuando el inversionista en obras hidráulicas, el gobierno, se quedó sin recursos económicos. Según datos de la Comisión Nacional del Agua, para 2003 México tenía, de 600, 102 acuíferos sobreexplotados, mientras que para 2006 estimaba que 12 millones de personas no tendrían acceso al agua (CNA 2005).

Entonces, los distritos de riego aceleraron su deterioro, la contaminación de los ríos y acuíferos fue cada vez más alarmante y se hizo evidente que ya no habría más recursos para satisfacer las necesidades de agua para la creciente población del país. El mecanismo de asignación del recurso hídrico, en el que el gobierno proveía de agua *casi gratuita* a la población para la agricultura y energía eléctrica, así como a los demás usuarios, había provocado un uso excesivo respecto a la recarga natural de los acuíferos y la disponibilidad de aguas nacionales (Ramos 2004). En México, uno de los problemas es que el agua no tiene precio, debido a la política de subsidios excesivos. Además, al estar fuera del mercado no ha tenido precio porque se cree que su disponibilidad es infinita (Ramos 2004).

No obstante los antecedentes sobre la realidad interna del manejo del recurso en México; la situación a nivel global, al compararse entre países, refleja un escenario un poco más alentador, pues un estudio realizado por Chapagain et al. (2000), indica que México

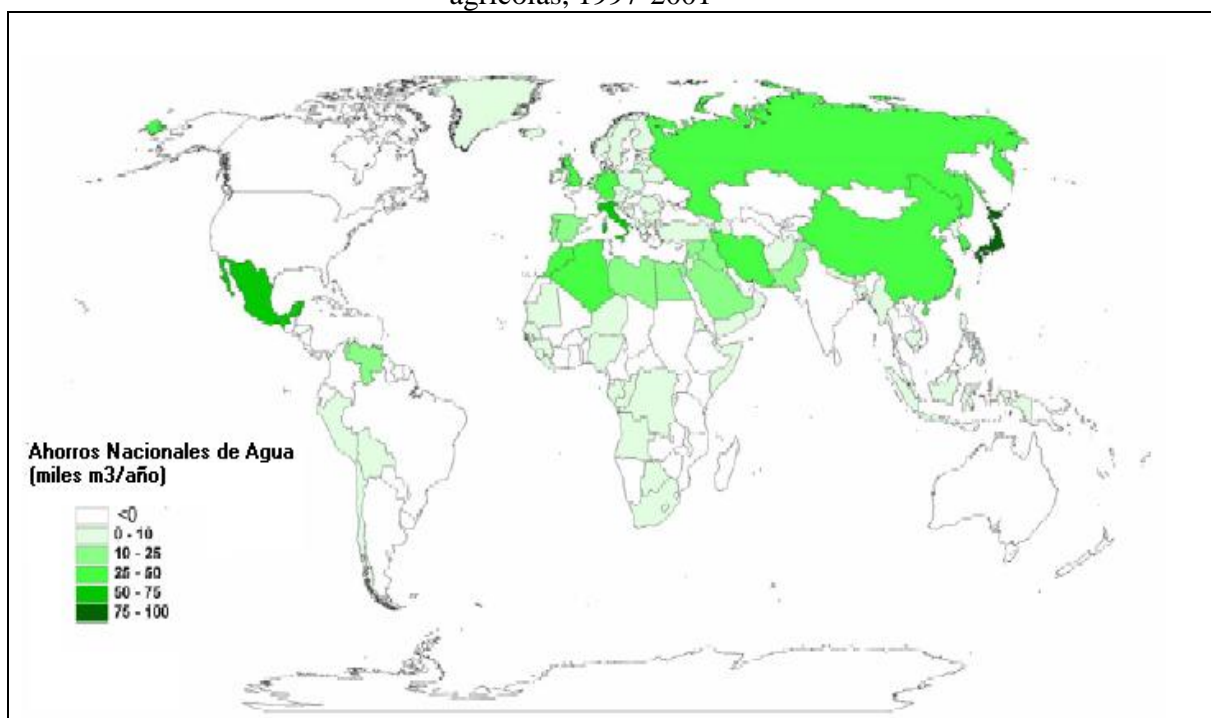
tiene un ahorro nacional neto estimado en 65 mil millones de m³ al año debido a la importación de productos que utilizan agua de forma intensiva para su producción.

El principal factor detrás del comercio internacional de productos intensivos en agua en México, es la escasez del líquido, pero también hay otros factores como la escasez de tierra fértil y de recursos financieros disponibles para la adquisición de otros insumos para el país. Sin embargo, los resultados en el ahorro de agua sólo pueden explicarse y comprenderse parcialmente a través de la escasez nacional o regional del recurso (Yang et al. 2003).

Se calcula que México tuvo ahorros totales de agua de 83 053 Mm³ anuales durante el periodo 1997-2001, asociados a la importación de productos agrícolas y cárnicos. Las pérdidas totales para el mismo periodo, debido a la exportación de estos productos, se estimaron en 17 531 Mm³ al año, por lo que se estima que México tiene ahorros netos de agua de 65 521 Mm³ por año, debido a sus relaciones comerciales con Estados Unidos y Canadá principalmente (Chapagain et al. 2005). La figura 2 muestra la distribución mundial de los ahorros de agua por país, debido a la producción relacionada con los productos agrícolas y cárnicos.

EL COLEGIO
DE SONORA

Figura 2. Ahorros nacionales de agua relacionados al comercio internacional de productos agrícolas, 1997-2001

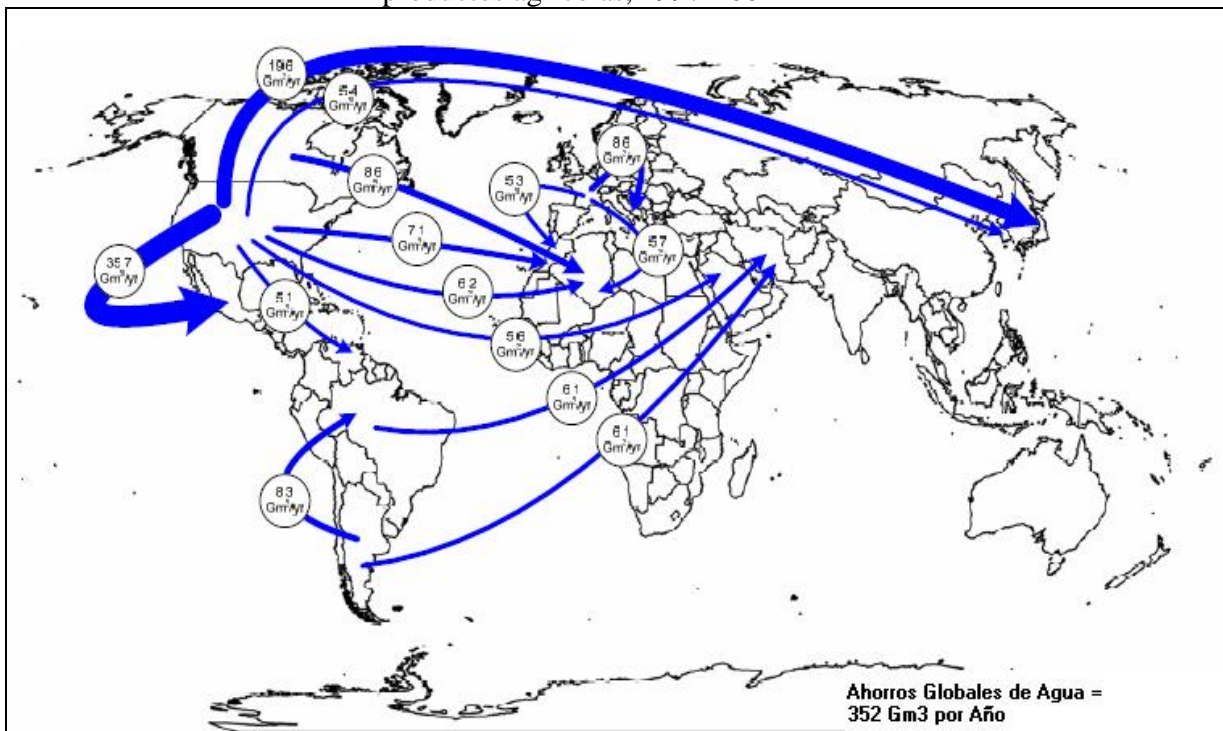


Fuente: Chapagain et al. (2005).

Los principales productos intercambiados y que ingresan al país son los cárnicos, lo que representa un ahorro de 31 000 Mm³, oleaginosas que ahorran 20 500 Mm³ y los cereales con 19 300 Mm³ al año, para el periodo 1997-2001; éstos representan aproximadamente 84.65 por ciento del total de productos comercializados al interior (Chapagain et al. 2005).

El ahorro global de agua, asociado al comercio de productos agrícolas, entre México y Estados Unidos es uno de los más representativos a nivel mundial, debido al intercambio de maíz y arroz principalmente; la diferencia a favor de México (vista como ahorro de agua) asciende a 35 700 Mm³ al año para el periodo 1997-2001, lo que representa 9.86 por ciento del ahorro global del recurso (Chapagain et al. 2005), como se indica en la figura 3 que señala los ahorros globales de agua entre países por el comercio internacional de productos agrícolas.

Figura 3. Ahorros globales de agua (> 0.5 Gm³/año) asociada al comercio internacional de productos agrícolas, 1997-2001



Fuente: Chapagain et al. (2005).

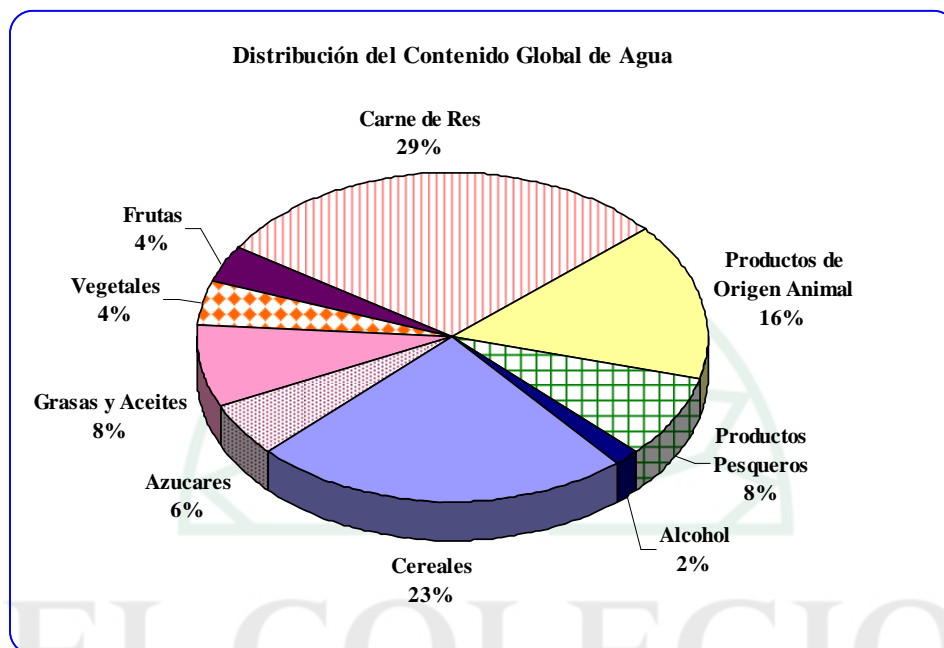
COMPOSICIÓN DEL AGUA VIRTUAL POR PRODUCTOS ALIMENTICIOS A NIVEL MUNDIAL

Las estimaciones sobre la distribución del consumo y comercio de agua virtual, por categorías de productos alimenticios, indican que la carne de res y los productos de origen animal utilizan 45 por ciento del recurso para su producción y procesamiento, como se muestra en la figura 4, mientras que a los cereales les corresponde 24 por ciento, a los mariscos y productos pesqueros, y aceites y grasas 8 por ciento del volumen total de agua virtual intercambiada durante el año 2000, considerando que el volumen comercializado para productos alimenticios fue de 5 200 km³ para este mismo año (Zimmer y Renault 2003).

Aproximadamente 47 por ciento del comercio mundial de agua virtual proviene de productos vegetales (cereales, frutas, azúcares, aceites, etcétera), 40 corresponde a productos de origen animal, como carne de res y productos pesqueros o marinos; a los cereales les corresponde 23, y a los azúcares 6 por ciento. Es interesante e inesperado que los cereales, que han capturado la atención en la seguridad alimenticia y en los estudios

previos de agua virtual, representen sólo 23 por ciento del volumen total de agua virtual intercambiado. Cabe resaltar la importancia de los cereales para la obtención de energía y proteína, pues contribuyen con más de la mitad de la energía alimenticia generada y casi la mitad de la proteína alimenticia del planeta, como se observa en la figura 4.

Figura 4. Distribución del contenido de agua virtual por categorías alimenticias

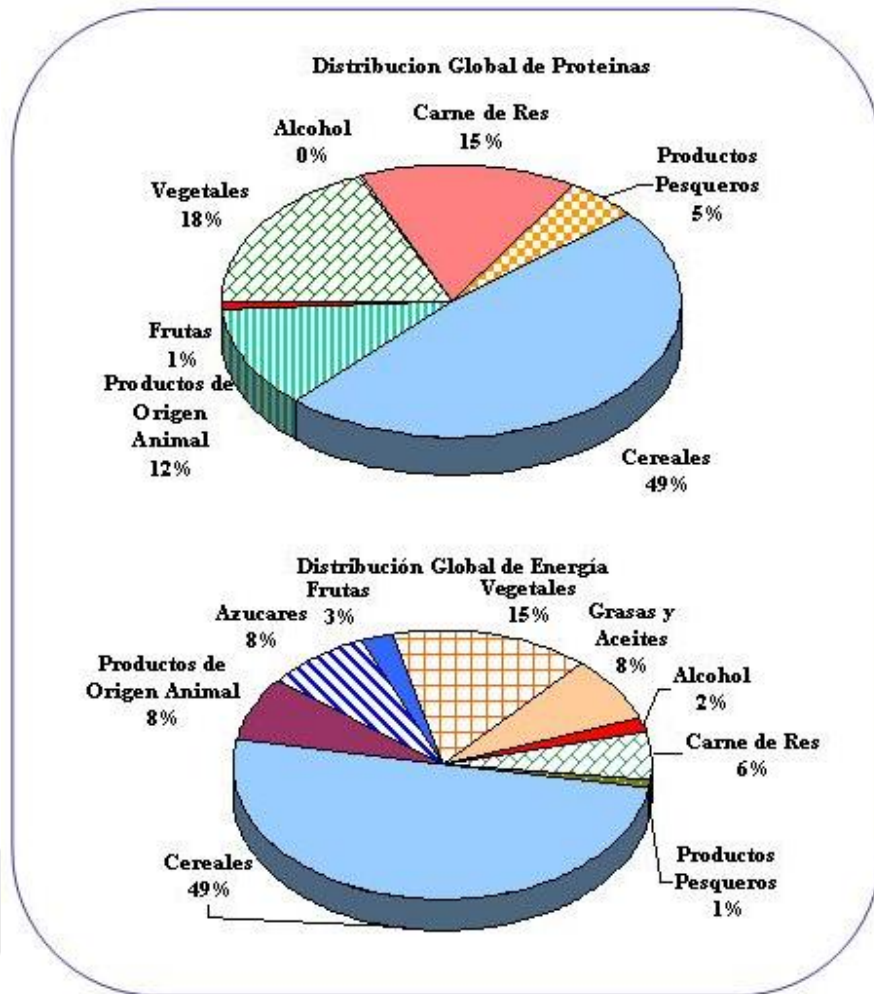


Fuente: Chapagain et al. (2005).

Estos porcentajes de participación difieren para cada región, según sus características y factores culturales, por ejemplo, en el caso de las bebidas alcohólicas, como el vino y la cerveza, sus contribuciones al equilibrio energético son importantes en algunos países, particularmente en Europa. Por ejemplo, en Alemania representan 16 por ciento del aporte energético, sin embargo, a nivel global las bebidas alcohólicas tienen una aportación de 2.0 por ciento (véase figura 5).

Para las regiones áridas, el flujo virtual de agua comercializado por los cereales es mayor a 25 por ciento; éstos contribuyeron en 48 por ciento del comercio alimenticio en el contenido de energía y nutrientes (Zimmer y Renault 2003).

Figura 5. Composición gráfica de la distribución global de energía y proteína por categorías alimenticias



Fuente: Chapagain et al. (2005).

REVISIÓN DE LITERATURA

En esta sección se revisan las metodologías anteriormente aplicadas y las experiencias obtenidas respecto a la cuantificación, evaluación y análisis a nivel global, por país y a nivel de cuenca hidrográfica, que han servido para fundamentar la toma de decisiones estratégicas en torno a la gestión del recurso agua y de la cuenca misma, lo cual ha sido documentado en libros, reportes y revistas especializadas.

A pesar de que el concepto de “agua virtual” fue propuesto por J. A. Allan (1992), su definición fue académica y políticamente aceptada hasta 1998.

Evaluar y cuantificar el agua virtual contenida en un producto no es una tarea fácil, porque existen diversos factores que influyen en la cantidad de agua usada en el proceso de producción (Hoekstra 2003). A continuación se enlistan los factores que deben considerarse en las estimaciones de agua virtual:

- El lugar y el período (por ejemplo: año, temporada) de la producción.
- Especificar el punto donde se toman las mediciones. En caso de sistemas de irrigación para la producción de cultivos por ejemplo, la pregunta sería dónde se hace la medición al momento de tomarla de la fuente o a nivel de campo de cultivo.
- El método de producción y su eficiencia asociada al uso del agua. Una pregunta relevante es si el agua desperdiciada es incluida en la estimación.
- El método de asignación o transferencia para la entrada de agua virtual a productos intermedios y a su vez al producto final.

Un primer intento por cuantificar estos volúmenes de flujo de agua virtual fue realizado por Chapagain et al. en el año 2000, obteniéndose los primeros resultados y comparaciones entre países. Los datos que se incluyeron en esta estimación son del periodo de 1995 a 1999. Hoekstra y Hung (2004) realizaron un ejercicio para cuantificar los volúmenes de los flujos de agua virtual entre las naciones para el mismo periodo, relacionado con el comercio internacional de cultivos, incluyendo un análisis del balance nacional de agua virtual por país en relación a las necesidades (importación de productos alimenticios) y a la disponibilidad de agua, según condiciones geográficas y climáticas.

Considerando varios estudios disponibles, en el enfoque general de éstos existe una pequeña convergencia. Algunos estudios toman el contenido de agua virtual de un producto en el sitio de producción y otros consideran un contenido de agua virtual hipotético si el producto se hubiera producido en el lugar donde es finalmente consumido. Los estudios también difieren con respecto al punto donde se realizaron las mediciones de consumo de agua: unos incluyen mediciones a nivel de campo y otros contabilizan la cantidad de pérdidas entre la fuente de abastecimiento y su aplicación.

Hoekstra (2003) recomienda, en el informe de evaluación de la mesa de agua virtual en el Tercer Foro Mundial del Agua, revisar los métodos de evaluación y cuantificación de agua virtual de productos de tres artículos científicos publicados por Chapagain y Hoekstra (2003), Zimmer y Renault (2003) y Oki et al. (2003).

Chapagain y Hoekstra (2003) trabajaron con diagramas de árbol relacionados con procesos de producción que muestran diferentes niveles de productos. El contenido de agua virtual en la carne de res depende, en primera instancia, del contenido de agua virtual en el cadáver del animal, que a su vez depende del contenido en el animal vivo. Igualmente si la piel del animal muerto es destinada a otro proceso, el contenido de agua virtual del animal vivo debe dividirse en proporción a su valor económico. El contenido de agua virtual del animal vivo depende considerablemente del contenido del alimento consumido durante el tiempo de vida del animal, así como el agua bebida y la destinada a otros usos, como la limpieza de los establos.

Con el propósito de calcular el agua virtual contenida en los productos, Zimmer y Renault (2003) distinguieron los productos en primarios (cosechas), procesados (como el azúcar, aceite vegetal y bebidas alcohólicas), transformados (incluso los productos animales), derivados y subproductos (como las semillas de algodón), productos múltiples (por ejemplo, los cocoteros) y productos con bajo o nulo consumo de agua (por ejemplo, el pescado de mar). Para éstos últimos, es difícil estimar el consumo de agua real, sin embargo, se asociaron a un valor equivalente de agua virtual utilizando el principio de la equivalencia nutritiva (Renault 2003). Este principio precisa que la cuantificación de los volúmenes de agua virtual no es directa, porque la productividad del agua es variable en el espacio y el tiempo (Zimmer y Renault 2003).

Oki et al. (2003) también han calculado valores del comercio de agua virtual a escala global, usando como referencia valores de agua virtual en dos categorías: uno para los países exportadores, que debía de ser bajo y uno para los países importadores, que debía ser alto. Estimaron el balance global de 1 251 km³/año para las importaciones y de 866

km³/año para las exportaciones. Esto muestra, otra vez, que la magnitud de comercio de agua virtual está alrededor de 1 000 km³/año.

Hoekstra y Hung (2002) han calculado sólo valores de volumen de agua virtual para productos agrícolas cosechados y para productos de origen ganadero, usando un método que permite la comparación de los valores estimados y que se fundamenta en datos de producción de cosecha por país, obtenidos de la base de datos de la FAO para 1999. Este resultado se combinó con estimaciones del volumen de agua requerida para cada país, por lo que los valores son particulares; probablemente los datos obtenidos son más precisos, pero no incluyeron el volumen de agua virtual unida a productos transformados y procesados.

La tabla 1 resume, para diversos productos, las estimaciones del contenido de agua virtual obtenidos por varios autores. Es preciso aclarar las distintas definiciones de contenido de agua virtual que presentan, pues es relevante el uso de palabras o frases alternativas como “demanda de agua específica”, “productos agua intensivos” (Hoekstra 1998) o “requerimientos unitarios de agua”. Oki et al. (2003) y Renault (2003) hablan acerca del valor de agua virtual de un producto sustituyéndolo por el término del contenido de agua virtual.

Tabla 1. Contenido de agua virtual de algunos productos en m³/ton según varios autores

| Productos | Hoekstra y Hung (2003)* | Chapagain y Hoekstra (2003)* | Zimmer y Renault (2003)** | Oki et al. (2003)*** |
|-----------------|-------------------------|------------------------------|---------------------------|----------------------|
| Trigo | 1 150 | - | 1 160 | 2 000 |
| Arroz | 2 656 | - | 1 400 | 3 600 |
| Maíz | 450 | - | 710 | 1 900 |
| Papa | 160 | - | 105 | - |
| Soya (grano) | 2 300 | - | Egipto: 2 750 | 2 500 |
| Carne de res | - | 15 977 | 13 500 | 20 700 |
| Carne de puerco | - | 5 906 | 4 600 | 5 900 |
| Pollo | - | 2 828 | 4 100 | 4 500 |
| Huevo | - | 4 657 | 2 700 | 3 200 |
| Leche | - | 865 | 790 | 560 |
| Queso | - | 5 288 | - | - |

Nota: *Los valores son promedios globales. **Datos referidos a un estudio para California.

***Datos referidos a Japón.

Fuente: Hoekstra (2003).

Del mismo modo que se han realizado estudios globales de estimación del contenido de agua virtual por producto y por regiones específicas, especialmente para aquellas que son áridas como los países del Oriente Medio, del sur del Mar Mediterráneo (norte de África) y Japón. A nivel de cuenca son pocos los estudios realizados, destacando en Asia y en África, como el de la cuenca del río Zambezi en África del Sur.

MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

El enfoque metodológico que guía esta investigación para estimar los volúmenes de agua virtual del área de estudio se basa en una adecuación y ajuste de la metodología aplicada por Zimmer y Renault (2003) la cual considera: 1) realizar estimaciones de las transferencias virtuales del agua basadas en un sistema único de referencias (ya sea espaciales y temporales) de acuerdo a los diversos tipos de productos agrícolas y alimenticios negociados, y 2) identificar las restricciones y consideraciones importantes requeridas para contabilizar los volúmenes virtuales de agua.

Zimmer y Renault (2003; 2004) listan algunos aspectos importantes que se deben considerar al determinar el volumen de agua virtual, los cuales intentan ser procedimientos sencillos para cuantificar los volúmenes virtuales de agua. Esta metodología es

complementaria al conjunto de principios propuestos por Renault (2003) para determinar el valor del agua virtual.

Para lograr los objetivos de la presente investigación se recopiló información preliminar y documental, se realizaron entrevistas, se aplicaron encuestas e implementaron métodos para el análisis de datos e información documental, estimación de resultados y elaboración del documento final.

De acuerdo al enfoque de Zimmer y Renault (2003), se deben describir varios aspectos para evaluar el valor virtual del agua, los cuales son:

1. Describir la actividad agrícola del área de estudio.
2. Clasificar los productos o bienes de consumo producidos respecto a los procesos y su valor de agua virtual.
3. Identificar los flujos de bienes hacia el exterior del área.
4. Describir los procesos de producción general para cada una de las clases de productos agrícolas generados y negociados.
5. Contabilizar el contenido y los flujos totales de agua virtual de los productos generados en la zona.

Descripción de la actividad agrícola en el área

La descripción de las actividades agrícolas productivas permitirá identificar las características de los cultivos asociadas al consumo de agua, sobre todo aquellas que transfieren sus productos hacia un proceso comercial e industrial.

Es crucial la identificación de los productos alimenticios primarios debido a que su cultivo o producción consume volúmenes altos de agua, teniendo en cuenta que el volumen requerido por unidad de producción está directamente relacionado con el tipo de producto.

Clasificación de los productos o bienes de la producción agrícola según procesos y su valor de agua virtual

Casi todos los productos alimenticios consumen agua como parte de su proceso de producción, sin embargo, la cantidad requerida por unidad depende del tipo de producto. Si la relación entre la producción y el consumo de agua, por ejemplo para la valoración de la evapotranspiración que a veces es clara para algunos cultivos, también puede ser bastante difícil para otros, por lo que es pertinente introducir algunas diferencias en los distintos tipos de cultivo y clasificarlos de acuerdo a un criterio adecuado de contenido de agua virtual.

La presente investigación clasificará los productos en primarios, procesados, transformados, derivados, de propósito múltiple y de bajo o nulo consumo de agua de acuerdo a:

a) Productos primarios

En esta categoría entran los cereales, hortalizas y frutas, donde la relación entre el consumo de agua durante su cultivo y producción es bastante claro. El volumen de producción (toneladas o kilogramos) y el agua evapotranspirada (m^3) se estiman a nivel de campo y son la base de la estimación del valor de agua virtual (m^3 /tonelada o kilogramos), posiblemente ajustado sólo a factores de eficacia. Aunque estos productos se clasifican como primarios, a veces son transformados (por ejemplo, elaboración de jugo de fruta a partir de la naranja o vid).

b) Productos procesados

Éstos son los productos alimenticios que se obtienen al procesar los productos primarios. Por ejemplo, los vegetales procesados pueden incluir el azúcar a partir de la caña de azúcar, el aceite derivado de productos primarios como el olivo, cártamo, maíz, etcétera y las bebidas alcohólicas incluidas vid y cebada.

c) Productos transformados

Son los productos que para su producción utilizan los primarios. Los productos de animales (cárnicos y derivados lácticos) deben considerarse como productos transformados pues para su obtención se usan productos primarios, como los cereales, pasturas y otros derivados.

d) Productos derivados

Son productos alimenticios generados simultáneamente con los productos primarios pero son para otros propósitos. Por ejemplo, la semilla de algodón que se procesa para producir el aceite, mientras que el algodón se siembra para la producción de fibra.

e) Productos múltiples

Algunos productos agrícolas se siembran para varios propósitos, o como el caso de la producción animal que va más allá de la producción de carne, como es cuero, grasa para la industria de jabones, etcétera. Otros materiales perennes que son usados para la elaboración de jabas, sacos, entre otros, en este caso la estimación del flujo virtual del agua debe dividirse en todos los usos y no sólo en el uso principal.

f) Productos con bajo o nulo consumo de agua

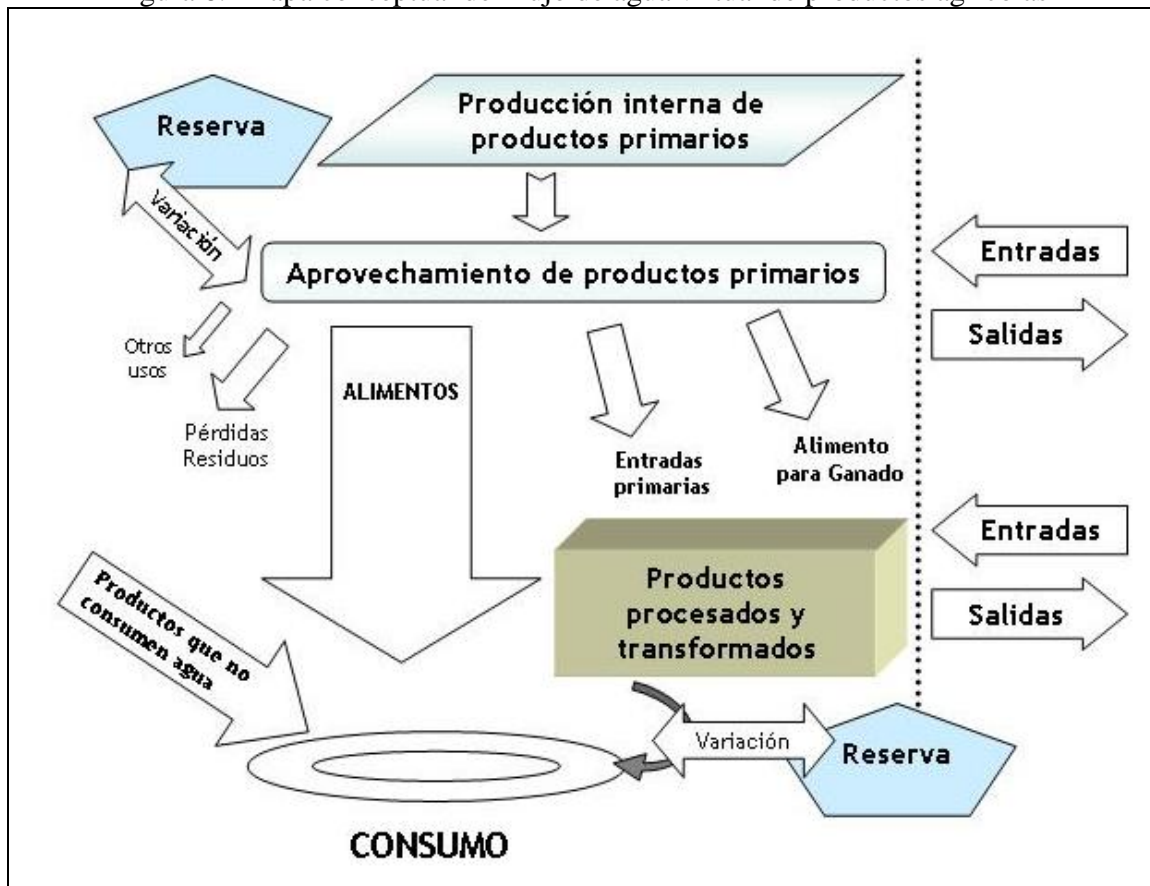
En esta categoría están los productos pesqueros que no se asocian al consumo de agua. Las pesquerías de agua dulce o pequeñas acuícolas pueden consumir agua a través de riego o evaporación de arroyos y cuerpos naturales de agua y a través de productos primarios usados para la alimentación de los peces. Otro ejemplo es la alimentación de ganado porcino con residuos de productos agrícolas y domésticos.

Identificación de los flujos de bienes hacia fuera de los límites del área de estudio

Como cualquier enfoque que involucre la contabilidad de los flujos de agua (por ejemplo la hidrología al nivel de cuenca) es crucial delimitar las fronteras del sistema que se va a considerar para continuar con la identificación de los flujos y los niveles de reserva dentro del sistema y sus límites.

En este punto es importante dissociar los productos primarios del resto, para cuantificar los flujos y las variaciones en los almacenamientos de agua, sobre todo la que se destina a las pérdidas por el uso ineficiente y la que se destina a otros usos, como el industrial, con el propósito de elaborar un mapa conceptual para cada producto agrícola generado en el área de estudio. En la figura 6 se muestra un mapa conceptual general de distribución de agua para productos primarios.

Figura 6. Mapa conceptual del flujo de agua virtual de productos agrícolas



Fuente: Zimmer, D. y Renault, D. (2004).

Una de las dificultades para cuantificar los flujos de agua con los productos procesados es asegurarse de que no exista duplicación en los valores utilizados para los diferentes productos, por ejemplo, no debe cuantificarse dos veces el agua utilizada en la producción de forrajes y después para la alimentación del ganado y en la producción de carne.

Ecuación 1

$$VT_{AV} = \sum_{i=1}^n [VP_{PPi} \cdot Q][VU_i]$$

Donde:

| | |
|------|---|
| VT | Volumen total de agua virtual (m^3 ó Mm^3) |
| AV | Agua virtual |
| VP | Volumen de producción de cultivo (kg) |
| PP | Productos primarios (cultivos sembrados) |
| Q | Porcentaje del volumen de producción que sale del área de estudio |
| VU | Volumen de agua utilizado por kilogramo de producto ($m^3/kg.$) |
| n | Número total de cultivos |
| i | Contador del número total de cultivos |

Descripción de los procesos de producción generales para cada una de las clases de productos agrícolas

El propósito de esta etapa en el método de investigación es lograr el entendimiento de los procesos y demás componentes asociados a la producción agrícola del área de estudio, con la finalidad de aproximarnos con exactitud al consumo real de agua.

En la descripción de los procesos se deben definir y precisar los niveles de eficiencia en el uso del agua, la eficiencia de los procesos productivos asociados a los productos primarios del área de estudio y la de los procesos de distribución y consumo final de los productos generados y negociados. A continuación se presentan las consideraciones particulares en cada caso.

a) Eficiencia en el uso del agua

En esta investigación, la eficiencia en el uso del agua para la producción agrícola estará estimada por el volumen de agua evapotranspirada por los cultivos a nivel del campo agrícola, para el caso de productos irrigados por el método de inundación. En los casos de los cultivos con riego presurizado se consideran también las pérdidas en aplicación excesiva o distribución ineficiente, sobre todo cuando esta agua no se puede reusar o reciclar a nivel de la misma cuenca.

b) Eficiencia en la producción

La eficiencia de la producción tomará en cuenta la cantidad total de agua consumida por la producción total en el mismo espacio temporal.

c) Eficiencia de los procesos de distribución y consumo final de los productos

Considerando que el total de la producción generada no es consumido por el consumidor local, debido a pérdidas o mermas ocasionadas durante el proceso de distribución de los productos, así como el mismo proceso de consumo ocasiona su propia pérdida, por lo que estimar la eficiencia de estos procesos es especialmente importante para los productos frescos y perecederos (como frutas y verduras) que son de difícil conservación.

Debemos notar que al comparar el contenido de agua virtual de los productos con el contenido de agua real en el producto final (incluso para los tomates) éste es siempre casi nulo, también si este valor se compara con el volumen total de agua requerida para la transformación o procesamiento del producto.

Contabilizar el contenido y los flujos totales de agua virtual de los productos generados en la zona de estudio

Se cuantificará y estimará el contenido de agua virtual de los productos agrícolas del área, según la clasificación de productos realizada por Zimmer y Renault (2003) y citada párrafos arriba.

a) Calculando el agua virtual de los productos primarios

El principio de cálculo de la productividad de agua es bastante simple, se consideran los requerimientos de agua del cultivo (ET_a), expresado en m^3/ha , lo cual es calculado tomando en cuenta la demanda climática (ET) ajustada a coeficientes del mismo cultivo. El software CROPWAT (FAO 1992) puede usarse como herramienta para este propósito.

Asumiendo lo anterior, el valor de agua virtual (VAV) se obtiene dividiendo la cantidad de agua requerida por el cultivo (ET_a) entre el rendimiento del cultivo por superficie (Y) expresado en kilogramos por hectárea, lo cual se indica en la Ecuación 2.

Ecuación 2

$$V_{AV} = \frac{ETa}{Y}$$

b) Calculando el agua virtual de los productos procesados y transformados

La valoración del agua virtual contenida en los productos transformados y procesados presenta la dificultad de relacionarlos a procesos específicos considerando que un producto primario en particular puede destinarse a la producción de varios productos.

Los productos de origen animal presentan las mismas dificultades debido a las variantes y clasificaciones de los productos y subproductos de la carne.

Para contabilizar la transformación de los productos agrícolas como hortalizas y frutas se deben de considerar dos factores: primero, el rendimiento del proceso productivo expresado en kilogramos de producto primario requerido para la producción de un kilogramo del producto final y segundo, el valor de agua virtual del producto primario transformado.

c) Calculando el agua virtual de los productos derivados

En esta categoría existen diferentes métodos de estimación de agua virtual:

- Un primer método consiste en asignar el volumen de agua virtual de todos los productos derivados en proporción a las cantidades producidas; por ejemplo, cada kilogramo de algodón proporciona 0.625 kg de fibra y 0.375 kg de semilla de algodón, por lo que al agua consumida se le asignan proporcionalmente estos valores.
- Un segundo método consiste en asignar volumen de agua virtual proporcionalmente a los valores económicos de los distintos productos. Este método puede parecer preferible, sin embargo, presenta algunos inconvenientes: i) los valores económicos suelen ser bastante inconstantes en el espacio y tiempo; ii) en caso de los productos derivados, el valor económico puede ser muy bajo porque el producto es poco atractivo para el mercado y no puede sustituirse por otro producto.

- El tercer método consiste en separar el valor del agua virtual del proceso real y determinarlo considerando el principio de la equivalencia nutritiva propuesta por Renault (2003). Por ejemplo, en el caso de aceite de algodón el valor de agua virtual es asignado comparando la equivalencia nutritiva de otra clase de aceite.

d) Calculando el agua virtual de los productos múltiples y con nulo o bajo consumo de agua

Para estas dos últimas categorías de productos se propone que la cuantificación de agua virtual se realice separando la estimación del valor del agua virtual del proceso y para el consumo estimar el valor de agua virtual utilizando el principio de equivalencia nutricional (Zimmer y Renault 2003).

INSTRUMENTOS DE RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS

Para lograr los objetivos planteados, se recurrió a distintos instrumentos de recopilación y generación de información, así como a distintas herramientas de análisis, entre las cuales se incluyen la búsqueda de información preliminar relacionada a indicadores de la producción agrícola y a características físicas, biológicas y socioeconómicas del área de estudio, como temperatura, precipitación, geología, demografía, indicadores de la actividad agrícola y otras actividades productivas.

La búsqueda de información tiene dos fases. En la primera se hace una compilación de información estadística y documental relacionada con el área de estudio; igualmente se revisa literatura publicada referente a las metodologías y los resultados obtenidos en estudios anteriores de cuantificación del valor del flujo de agua virtual entre las naciones debido al intercambio comercial de productos.

En la segunda fase se recopila información en campo, mediante recorridos por el área de estudio y la implementación de métodos para la obtención de información adicional, como la aplicación de entrevistas semiestructuradas, visita a dependencias gubernamentales y asociaciones locales de productores y usuarios de los recursos hídricos.

Los instrumentos de análisis utilizados comprenden el uso del software CROPWAT versión 5.7 desarrollado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO). Una de sus múltiples funciones es calcular la evapotranspiración de los cultivos según el modelo Penman-Monteith mediante la introducción de datos climáticos del área de estudio y el tipo de cultivo.

El CROPWAT es una herramienta práctica para ayudar a agro-meteorólogos, agrónomos e ingenieros en irrigación a realizar los cálculos estándares para los estudios de evapotranspiración de los cultivos. Permite desarrollar recomendaciones para mejores prácticas de irrigación, la planeación de los horarios de riego bajo condiciones en que el abastecimiento de agua varía. Para el cálculo de los requisitos de riego se requieren datos climáticos y del cultivo. Los datos estándares de la cosecha se incluyen en el programa y los datos climáticos se pueden obtener para 144 países con la base de datos CLIMWAT, integrada al programa de CROPWAT. El abastecimiento de agua recomendado se calcula según el patrón del cultivo proporcionado.

La herramienta utilizada para la estimación del valor del flujo de agua virtual fue una hoja de cálculo simple, según el modelo conceptual mostrado en la figura 6 de este capítulo, para cada tipo de cultivo y sus productos.

III

MEDIO FÍSICO Y SOCIOECONÓMICO

*Pocas actividades humanas pueden entenderse
sin la participación de los recursos vivos y naturales;
sin embargo, parece que por obvio,
a menudo pasa inadvertido este hecho
y sólo cuando los agotamos y ponemos en peligro,
nos damos cuenta de ello.*

Arturo Gómez-Pompa (1985).

En este capítulo se presentará una descripción de las características físicas y socioeconómicas de la región de las subcuencas 8Be y 8Bf del río Magdalena, que abarca los municipios de Imuris, Magdalena y Santa Ana, del estado de Sonora.

MEDIO FÍSICO

Esta descripción contempla los aspectos generales de clima, geología, geomorfología, suelo e hidrología.

PROVINCIA FISIAGRÁFICA

El área de estudio queda dentro de la Provincia Fisiográfica de la Zona Desértica de Sonora (CIDESON, 1995). Por su morfología, también puede clasificarse dentro de una subprovincia de sierras y valles paralelos, con orientación predominante norte-sur; la elevación de las sierras alcanza hasta los 1 500 msnm en la cabecera de las subcuencas y los 800 msnm en la porción sur de la misma. Las sierras están formadas principalmente por rocas metamórficas del paleozoico y precámbrico, siguiéndoles en importancia las rocas volcánicas del mesozoico y terciario. En la porción nororiental del área existen floraciones de grandes espesores de conglomerados que forman las terrazas de los valles del río de los Alisos y de los valles de los municipios de Magdalena y Santa Ana.

CLIMA Y METEOROLOGÍA

El clima dominante, BS1kw(x'), es semiseco, con régimen de lluvias en verano, con porcentaje de lluvia invernal mayor al 10.2; es templado con verano cálido. La temperatura media anual en un intervalo de 12 y 18 °C. La temperatura del mes más frío oscila entre 3 y 18 °C.

El periodo histórico más caliente del año comprende los meses de junio a agosto, con temperaturas promedios extremas de 44°C con el extremo de 48°C. El periodo histórico donde se presentan las temperaturas más bajas es en los meses de diciembre a febrero, con temperaturas promedio mínimas de 4 °C, con el extremo de -9.5°C, en la estación hidrométrica de Imuris.

La precipitación media anual es de 524.41 mm. Los meses más lluviosos son de julio a agosto, con lluvias mensuales superiores a los 100 mm, según el periodo histórico 1966-2003. Las precipitaciones anuales que se presentaron entre Magdalena y la Sierra de Santa Rosalía o de La Madera oscilaron entre 500 y 600 mm.

Los intemperismos severos físicos que se registran son las tormentas eléctricas y granizadas. Las tormentas eléctricas se presentan en el periodo de junio a octubre, intensificándose en los meses de julio y agosto donde se presentan de 7 a 8 días con tormentas eléctricas por mes. Las granizadas no son comunes pero han coincidido con el periodo de lluvias, siendo más frecuentes en julio, aunque se han presentado en marzo.

GEOMORFOLOGÍA

El área de estudio se encuentra en la vertiente Noroeste de la Provincia Ecológica Sierra Alta Paralela, perteneciente a la Sierra Madre Occidental. Se encuentra en una zona fuertemente afectada por materiales intrusivos.

Consiste de cuatro conjuntos morfológicos principales: cerros aislados, sierras bajas, lomas y cauces de arroyo. La composición geológica de las citadas geofomas, excepto de

los cauces de los arroyos están formados por depósitos aluviales del cuaternario, se integran de rocas intrusivas graníticas del Mesozoico.

SUELOS

En las sierras como en los cerros aislados dominan los suelos muy delgados, menores de 10 cm de profundidad, sin horizontes o capas de diagnóstico, conocidos como litosoles, los cuales se estima que cubren 30 por ciento de la zona de estudio.

En las lomas dominan los suelos regosoles líticos, limitados por roca a menos de 50 cm. de profundidad, los regosoles éutricos también se presentan en las lomas con pendientes suaves, con cobertura aproximada de 62 por ciento.

En los cauces de los arroyos dominan los depósitos de roca y arena, los cuales han sido transportados y depositados por el agua, los suelos se han originado por la acción fluvial, son más profundos debido a que se presentan en una zona de acumulación pero no rebasan los 50 cm de profundidad. Se identifican como fluvisoles éutricos, con fase lítica (CEDES, 2005).

HIDROLOGÍA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA

La disponibilidad total de agua en la cuenca del río Magdalena presenta un déficit debido a que los escurrimientos aguas abajo son escasos o poco significativos. El escurrimiento natural medio anual es de 135.3 Mm³ localizados desde la presa El Comaquito hasta la estación hidrométrica de Pitiquito lo cual no satisface las necesidades propias de la cuenca del río Magdalena (CNA 2002).

Según la Subdirección General Técnica de la Comisión Nacional del Agua, en el estudio de disponibilidad de agua en el Acuífero Magdalena del estado de Sonora publicado en 2002, la evaporación potencial media anual es de 2 328 mm. Las principales características hidrológicas se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Características hidrológicas

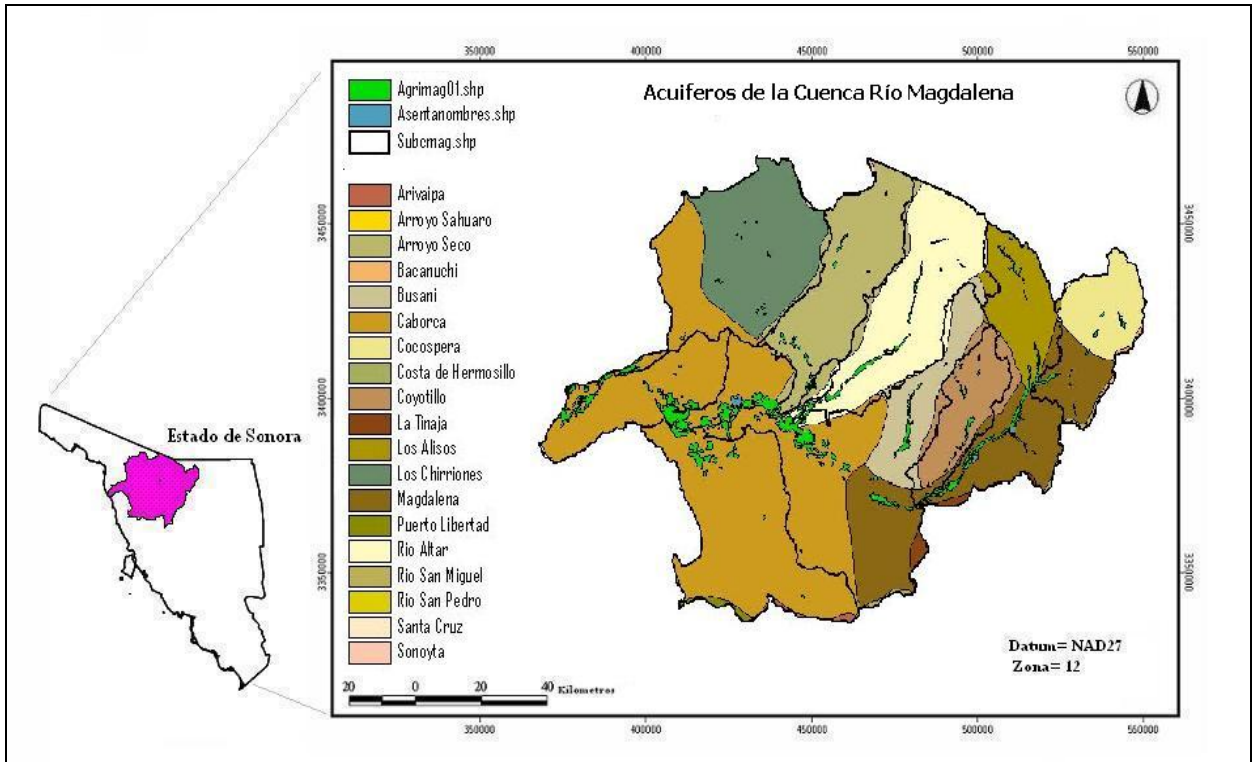
| | |
|--|---|
| <p>Hidrología superficial</p> | <ul style="list-style-type: none"> • En el área de estudio existen corrientes intermitentes tales como Las Minitas, La Cieneguita, El Coyote, El Tordillo y finalmente el arroyo permanente Cuitaca, cuya fusión forma el arroyo Cocóspera, a la altura de la localidad El Portón, al Noroeste de Cuitaca. • En el arroyo Cocóspera se encuentra la presa El Comaquito, una de las más importantes de la cuenca del río Magdalena-Asunción. • El río Magdalena está clasificado en la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua, como cuerpo receptor de uso público urbano (tipo B). |
| <p>Hidrología subterránea. Acuífero Magdalena.</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Predomina el material no consolidado formado por depósitos aluviales de canto rodado, grava y arena, presentando alta permeabilidad con posibilidades altas de formar acuíferos de tipo libre. • El drenaje subterráneo es en general bueno debido a que se trata de suelos poco profundos y con texturas gruesas, sobre pendientes moderadas a fuertes. |

Fuente: CEDES (2005).

El acuífero Magdalena se encuentra dentro de la zona de veda, según el Decreto publicado en el *Diario Oficial de la Federación* el 19 de septiembre de 1978, para la apertura de nuevos aprovechamientos de agua subterránea. Los municipios se encuentran dentro de la zona de disponibilidad 6, con respecto a la clasificación de la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua.

El acuífero Magdalena cuenta con un volumen anual concesionado de acuerdo con los títulos de concesión inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua de la Subdirección General de Administración del Agua, al 30 de abril del 2002 es de 43 380 366 m³/año. La localización del acuífero dentro de la cuenca del arroyo Cocóspera-río Concepción se muestra en la figura 7.

Figura 7. Acuíferos de la cuenca del arroyo Cocóspira- río Concepción



Fuente: CIDESON (1995)-

La organización de los usuarios de agua subterránea, es 87 por ciento ejidal (CNA 2002). La zona de este acuífero queda dentro de la jurisdicción del Distrito de Desarrollo Rural (DDR) No. 140-Magdalena. Los mayores usuarios de agua subterránea son los del sector agrícola, seguido por el público urbano, doméstico, industrial, servicios y pecuario.

MEDIO SOCIOECONÓMICO

El propósito de describir los aspectos sociales y económicos de la población asentada en el área de estudio es conocer las características y estilo de vida, que permitan identificar y estimar los impactos sobre los recursos naturales producto del manejo inadecuado del recurso agua.

DEMOGRAFÍA Y SERVICIOS PÚBLICOS

El área de estudio comprende los municipios de Imuris, Magdalena y Santa Ana, en Sonora, está habitada por 47 961 personas, que representan 2.16 por ciento de la población estatal, según el XII Censo General de Población y Vivienda del año 2000. La división por género indica que 50.46 por ciento son mujeres y 49.54 hombres. La tabla 3, muestra la población total en las subcuencas 8Be y 8Bf del río Magdalena.

Tabla 3. Población

| Municipios | Total | Hombres | Mujeres |
|------------------|-----------|-----------|-----------|
| Total Sonora | 2 216 969 | 1 110 590 | 1 106 379 |
| Total Subcuencas | 47 961 | 23 759 | 24 202 |
| Imuris | 9 988 | 5 026 | 4 962 |
| Magdalena | 24 447 | 12 032 | 12 415 |
| Santa Ana | 13 526 | 6 701 | 6 825 |

Fuente: Sonora, XII Censo General de Población y Vivienda 2000; Tabulados Básicos. Tomo I. (INEGI)

Según datos del XII Censo General de Población y Vivienda (2000), en el área existen 11 700 viviendas habitadas, de las cuales 11 688 son particulares y 12 colectivas. El promedio de habitantes por vivienda es de 4.01, ligeramente menor al promedio estatal que es de 4.14 personas por vivienda, sin embargo, es importante resaltar el promedio de ocupantes en las viviendas colectivas que es de 48 personas. Con respecto a la tenencia de la vivienda, aproximadamente 72 por ciento está habitada por sus propietarios y 28 por ciento es rentada. En la tabla 4 se detalla el total de viviendas particulares y el número de ocupantes en las localidades por municipio en la región.

Tabla 4. Viviendas habitadas y ocupantes

| Municipios | Viviendas habitadas | | | Ocupantes | | |
|------------------|---------------------|--------------|------------|-----------|--------------|------------|
| | Total | Particulares | Colectivas | Total | Particulares | Colectivas |
| Total Sonora | 530 435 | 529 937 | 498 | 2 216 969 | 2 195 958 | 21 011 |
| Total subcuencas | 11 700 | 11 688 | 12 | 47 961 | 47 383 | 578 |
| Imuris | 2 306 | 2 301 | 5 | 9 988 | 9 509 | 479 |
| Magdalena | 6 014 | 6 010 | 4 | 24 447 | 24 368 | 79 |
| Santa Ana | 3 380 | 3 377 | 3 | 13 526 | 13 506 | 20 |

Fuente: Sonora, XII Censo General de Población y Vivienda 2000; Tabulados Básicos. Tomo I. (INEGI)

Los servicios públicos que se describen son agua potable, electricidad, drenaje y servicios de saneamiento público. La cobertura de agua entubada alcanza 96.74 por ciento de las viviendas particulares habitadas, mientras que el servicio de energía eléctrica cubre 93.49 por ciento. El servicio de drenaje alcanza 88.23 por ciento de las casas habitadas. Los municipios que presentan más rezago en este aspecto son Imuris y Santa Ana. La tabla 5 indica el número de viviendas y su relación con los servicios públicos.

Tabla 5. Viviendas particulares habitadas con servicios públicos

| Municipios | Habitadas | Con energía eléctrica | Con agua entubada | Con drenaje |
|------------------|-----------|-----------------------|-------------------|-------------|
| Total Sonora | 527 427 | 506 906 | 483 057 | 417 595 |
| Total subcuencas | 11 626 | 11 248 | 10,870 | 10 258 |
| Imuris | 2 280 | 2 136 | 2 118 | 1 917 |
| Magdalena | 5 983 | 5 826 | 5 662 | 5 509 |
| Santa Ana | 3 363 | 3 286 | 3 090 | 2 832 |

Fuente: Sonora, XII Censo General de Población y Vivienda 2000; Tabulados Básicos. Tomo I. (INEGI)

La tabla 6, muestra las fuentes de abastecimiento de agua potable en la zona de estudio. Destacan tres fuentes principales: pozo profundo, manantial y otras fuentes como presas, galerías filtrantes y norias. Para el año 2003, 70.73 por ciento de las fuentes de agua potable fueron pozos profundos y 29.27 por ciento norias o galerías filtrantes. No existe representatividad en el caso de manantiales u otro tipo de abastecimiento artificial de agua potable. El municipio de Magdalena, para ese mismo año, contaba con pozos profundos como única fuente de abastecimiento a las casas habitación y los establecimientos comerciales.

Tabla 6. Fuentes de abastecimiento de agua en la cuenca del río Magdalena

| Municipio | Total | | Pozo profundo | | Manantial | | Otras* | |
|------------------|-------|-------|---------------|------|-----------|------|--------|------|
| | 2002 | 2003 | 2002 | 2003 | 2002 | 2003 | 2002 | 2003 |
| Total Sonora | 771 | 1 225 | 525 | 987 | 8 | 43 | 238 | 195 |
| Total subcuencas | 39 | 41 | 26 | 29 | 1 | 0 | 12 | 12 |
| Imuris | 11 | 15 | 4 | 9 | 1 | 0 | 6 | 6 |
| Magdalena | 10 | 10 | 10 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Santa Ana | 18 | 16 | 12 | 10 | 0 | 0 | 6 | 6 |

Fuente: Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Estado de Sonora. Dirección Técnica; Organismos Operadores Municipales.

*Comprende galerías filtrantes y norias.

En las localidades del área, el servicio de recolección de basura y limpia en general es de baja calidad, se cuenta sólo con unidades improvisadas, de seis toneladas, en malas condiciones y con camionetas para el remolque de contenedores. Con este equipo se proporciona el servicio en las comunidades por lo menos una vez por semana. Asimismo, en el área de estudio no existen rellenos sanitarios tecnificados que cumplan con la normatividad ambiental respectiva.

Los medios de comunicación son los servicios de teléfono, telégrafo y correo, además todas las cabeceras municipales y comunidades aledañas cuentan con cobertura móvil de teléfono celular. En cada uno de los municipios existe una oficina de la red telegráfica nacional, mientras que en Magdalena existe una oficina de administración del servicio postal, en Imuris y Santa Ana sólo existen agencias postales.

Los medios de transporte y de comunicación son vías de ferrocarril, vías terrestres, como carreteras federales (también llamadas principales o primarias), troncales estatales (carreteras secundarias) y brechas. De la longitud carretera del área de estudio, 31.21 por ciento pertenece a la categoría troncal federal correspondiente a las carreteras federales No. 2 y 15 (véase figura 8). La tabla 7, señala la longitud de la red carretera por municipio.

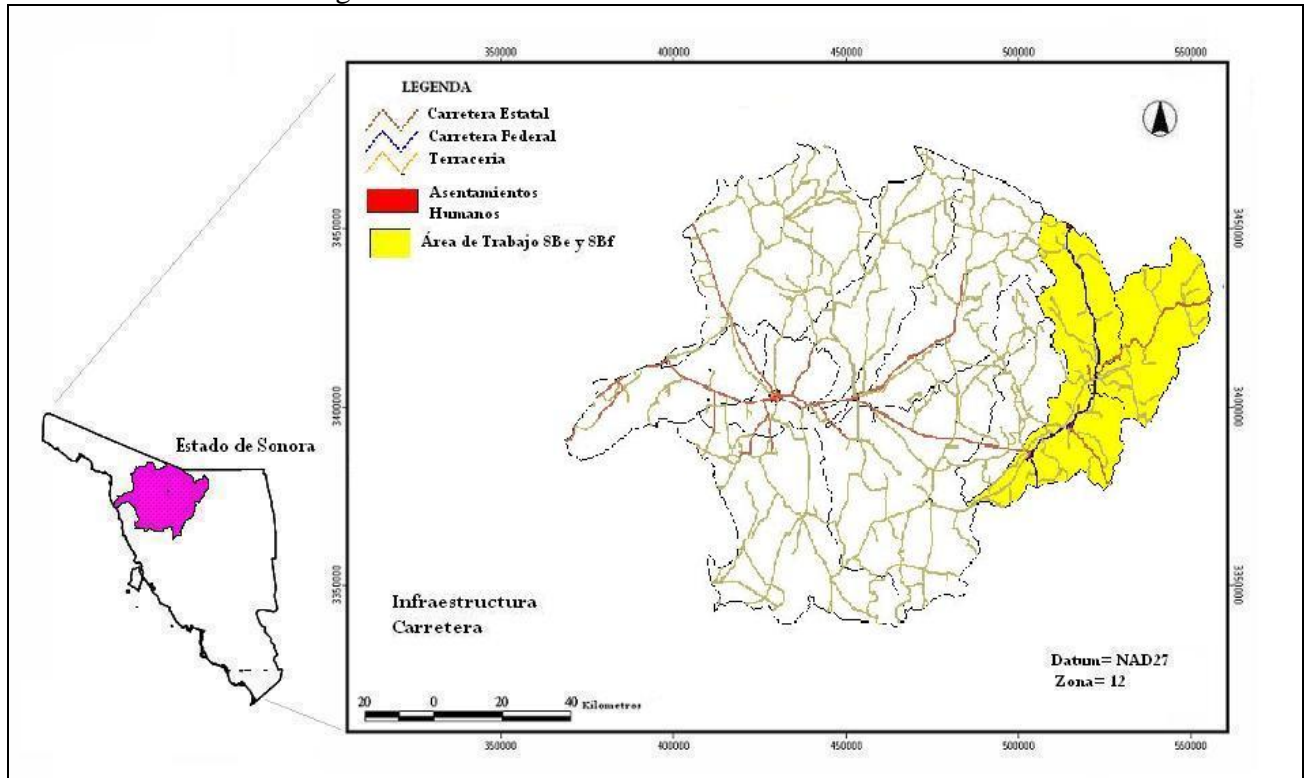
Tabla 7. Longitud de la red carretera por municipio (kilómetros)

| Municipio: | Total | Troncal federal | Alimentadoras estatales | Brechas mejoradas |
|------------------|-----------|-----------------|-------------------------|-------------------|
| Total Sonora | 24 326.90 | 2 706.60 | 3 939.80 | 17 680.50 |
| Total subcuencas | 650.80 | 202.90 | 95.80 | 352.10 |
| Imuris | 167.40 | 118.00 | 8.40 | 41.00 |
| Magdalena | 200.70 | 32.90 | 58.70 | 109.10 |
| Santa Ana | 282.70 | 52.00 | 28.70 | 202.00 |

Fuente: Centro SCT Sonora. Dirección de Programación y Evaluación; Unidad de Planeación. Junta de Caminos de Sonora. Dirección Técnica; Departamento de Programación, Información y Evaluación.

La línea del ferrocarril cruza por los municipios considerados, sin embargo sólo se usa como “paso” y cruce de mercancía de exportación. La infraestructura aérea está limitada a existencia de aeródromos, Magdalena cuenta con tres, mientras que Imuris y Santa Ana, cuentan con un aeródromo para aviones pequeños y helicópteros.

Figura 8. Plano de infraestructura carretera



Fuente: CIDESON (1995).

EDUCACIÓN

En la zona de estudio están instalados 85 planteles educativos que representan 2.4 por ciento estatal. En Imuris hay planteles hasta nivel preparatoria, en Magdalena y Santa Ana tienen planteles hasta nivel profesional. En Magdalena hay una unidad del Centro de Estudios Superiores del Estado de Sonora y en Santa Ana hay una unidad de la Universidad de Sonora. En la tabla 8, se muestra la planta física educativa por municipio.

Tabla 8. Infraestructura educativa, 2002-2003

| Municipios | Planteles* | Aulas* | Laboratorios | Talleres |
|------------------|------------|--------|--------------|----------|
| Total Sonora | 3 558 | 22 611 | 779 | 424 |
| Total subcuencas | 85 | 493 | 13 | 4 |
| Imuris | 18 | 89 | 0 | 0 |
| Magdalena | 38 | 243 | 10 | 4 |
| Santa Ana | 29 | 161 | 3 | 0 |

Fuente: Secretaría de Educación y Cultura del Gobierno del Estado. Dirección General de Planeación; Dirección de Estudios Superiores y Proyectos; Departamento de Estadística.

*La cuantificación está expresada en términos de planta física, por lo que un mismo plantel y aula pueden servir para el funcionamiento de varias escuelas y turnos.

El índice de alfabetismo tiene buen nivel según los resultados del XII Censo General de Población y Vivienda del año 2000; en Imuris este índice es de 96.53 por ciento, en Santa Ana de 97.43 y en Magdalena de 96.70. La población de 15 años y más, según alfabetismo, alcanza a 31 570 personas que corresponde a 2.13 por ciento del total para Sonora, de las que 20.26 por ciento pertenecen a Imuris, 28.78 a Santa Ana y 50.94 a Magdalena.

SERVICIOS PÚBLICOS DE SALUD

La población derechohabiente a servicios de salud representa 2.77 por ciento del total de Sonora, alcanzando 53.46 por ciento de la población, lo cual es mayor al promedio estatal, que es de 41.74 para el año 2000. Los derechohabientes afiliados al Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) son los más representativos con 66.31 por ciento del total de la población asegurada, siguiéndole el Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado (ISSSTE) con 12.24, el resto se distribuye en otras instituciones como Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado de Sonora (ISSSTESON), Petróleos Mexicanos (PEMEX), Defensa, etcétera.

El municipio con mejor cobertura de servicios de salud es Imuris, cubriendo casi 60 por ciento de la población total, mientras que en Magdalena alcanza 50.42 por ciento de la población y en Santa Ana la población derechohabiente es de 54.21; más detalles acerca de este rubro se indican en la tabla 9.

Tabla 9. Población derechohabiente por municipio y servicios de salud

| Municipio | Total | Número de derechohabientes | Derechohabiente* | | | | | N.E. |
|------------------|-----------|----------------------------|------------------|-----------|---------|------------------------|---------------------|--------|
| | | | Subtotal | IMSS | ISSSTE | PEMEX Marina o Defensa | En otra institución | |
| Total Sonora | 2 216 969 | 925 481 | 1 250 610 | 1 015 636 | 144 635 | 10 647 | 87 395 | 40 878 |
| Total subcuencas | 47 961 | 25 644 | 21 297 | 17 007 | 3 140 | 212 | 1 008 | 1 020 |
| Imuris | 9 988 | 5 984 | 3 700 | 2 995 | 646 | 5 | 54 | 304 |
| Magdalena | 24 447 | 12 327 | 11 532 | 9 336 | 1 422 | 140 | 662 | 588 |
| Santa Ana | 13 526 | 7 333 | 6 065 | 4 676 | 1 072 | 67 | 292 | 128 |

Fuente: Sonora, XII Censo General de Población y Vivienda 2000; Tabulados Básicos. Tomo III.

*La suma de las distintas instituciones de salud puede ser mayor al subtotal, debido a aquella población que tiene derecho a este servicio en más de una institución.

ACTIVIDADES PRODUCTIVAS

Las actividades económicas que se describen son las que se realizan de manera permanente y legal en los tres municipios de las subcuencas 8Be y 8Bf del río Magdalena, es decir aquellas que están registradas y reportadas en la información estadística oficial y de las cuales depende el sostenimiento de las familias de dichos municipios.

Para describir las actividades económicas se les agrupó por sectores productivos. Para el sector primario se describen las actividades de agricultura, ganadería, silvicultura y minería extractiva. Dada la importancia que reviste el sector agrícola para esta investigación se describe por separado y de forma exhaustiva en el capítulo 4.

SECTOR PRIMARIO

En este apartado se describen las actividades productivas como ganadería, silvicultura y minería extractiva.

Ganadería

La ganadería es la actividad preponderante en las subcuencas del área, en su mayoría es de tipo intensivo y con doble propósito (venta en pie y para procesamiento). Prevalece la cría de ganado bovino, para leche y carne, con 53 916 cabezas, lo que representa 3.78 por ciento a nivel estatal y 86.83 por ciento del área. En segundo lugar está el ganado ovino, para carne y lana, y equino (caballos, asnos y mulas para monta, tiro y carga) con 11.11 por

ciento del total de cabezas de ganado en la zona, respectivamente. La actividad avícola se practica a baja escala. La tabla 10 detalla la población por municipio para el año 2003.

Tabla 10. Población ganadera y avícola por municipio, 2003

| Número de cabezas | | | | | | |
|-------------------|-----------|-----------|--------|---------|--------|------------|
| Municipios | Bovino | Porcino | Ovino | Caprino | Equino | Aves |
| Total Sonora | 1 428 318 | 1 460 922 | 51 797 | 62 438 | 76 998 | 10 060 503 |
| Total subcuencas | 53 916 | 491 | 3 529 | 781 | 3 372 | 0 |
| Imuris | 17 287 | 20 | 397 | 119 | 1 009 | 0 |
| Magdalena | 17 713 | 139 | 1 705 | 210 | 1 081 | 0 |
| Santa Ana | 18 916 | 332 | 1 427 | 452 | 1 282 | 0 |

Nota: La información se deriva del Censo Ganadero que se realizó durante octubre de 2002 a enero de 2003. Fuente: Unión de Asociaciones Avícolas del Estado de Sonora A. C., Unión Ganadera Regional de Porcicultores de Sonora, Secretaría de Agricultura, Ganadería y Recursos Hidráulicos, Pesca y Acuicultura.

En el municipio de Imuris se destinan 164 392 ha a la actividad ganadera, de las cuales 27 069 son ejidales, 121 766 de pequeña propiedad y 15 557 son comunales. Estos datos no estuvieron disponibles para los otros dos municipios.

Minería extractiva

La minería está representada por la extracción de oro a pequeña escala, en el municipio de Santa Ana, llamada “San Francisco” propiedad de Geomaque de México, con un volumen para 2003 de 6 kilogramos de mineral, representando 0.1 por ciento del total para Sonora.

Silvicultura

La actividad silvícola está representada por los municipios de Magdalena y de Santa Ana, debido al aprovechamiento de especies latifoliadas como el mezquite, el nogal y el álamo. Para 2003, la producción alcanzó los 3 611 de m³ rollo, del que 89.84 por ciento corresponde a Magdalena y 10.16 a Santa Ana, para conocer los volúmenes precisos véase la tabla 11.

Tabla 11. Volumen de producción forestal maderable por municipio, 2003

| Metros cúbicos rollo | | | | | |
|----------------------|--------|-----------|--------------|--------|--------------------|
| Municipio: | Total | Coníferas | Latifoliadas | | Comunes tropicales |
| | | | Quercos | Otras* | |
| Total Sonora | 81 828 | 18 899 | 23 217 | 38 768 | 944 |
| Total subcuencas | 3 611 | 0 | 0 | 3 611 | 0 |
| Magdalena | 3 244 | 0 | 0 | 3 244 | 0 |
| Santa Ana | 367 | 0 | 0 | 367 | 0 |

Fuente: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Delegación en el Estado. Subdelegación de Gestión para la Protección Ambiental.

*Comprende: mezquite (*Prosopis juliflora*), palo fierro (*Olnega tesota*), nogal (*Carya Illinoensis*) y álamo (*Populus fremontii*).

SECTOR SECUNDARIO

El sector secundario está representado por la industria maquiladora de exportación, principalmente de productos electrónicos y hospitalarios, que emplea no sólo a personas de los municipios de Imuris, Santa Ana y Magdalena, sino también a personas que viven en los municipios aledaños, como Benjamín Hill, Trincheras y Cucurpe.

En el municipio de Santa Ana, en la localidad de Estación Llano, se encuentran cerca de 15 familias que se dedican a la producción de ladrillos, algunos de ellos de manera artesanal. La producción se destina principalmente para abastecimiento de constructoras en las ciudades de Hermosillo y Nogales.

En la comunidad de Magdalena de Kino se localiza una embotelladora refresquera, cuya producción es para abastecer a las comunidades rurales de la región y algunos municipios aledaños; también a nivel artesanal hay dos cooperativas para la elaboración de queso cocido y una cooperativa ejidal para la producción de conservas de frutas regionales.

Petróleos Mexicanos (PEMEX) también tiene presencia en la comunidad, la infraestructura con la que cuenta son tanques de almacenamiento de líquidos derivados del petróleo para su distribución al menudeo hacia industrias para su utilización posterior.

SECTOR TERCIARIO

El sector terciario en la región está representado por establecimientos comerciales y aspectos relacionados con el turismo local y de paso.

Comercio

Los servicios más comunes en los tres municipios son los abastecimientos de alimentos y bebidas preparadas, existen además tiendas de regalos, supermercados, zapaterías, ferreterías, mueblerías, farmacias, restaurantes, gasolineras, etcétera.

Adicionalmente, existen tiendas DICONSA, con precios bajos, en Imuris se encuentran tres, en Magdalena una y en Santa Ana cinco. En Imuris se hallan establecimientos de comida tradicional, como la elaboración de quesadillas y taquerías diversas. Igualmente se cuenta con establecimiento de hospedaje, hasta la categoría de tres estrellas, como se puede observar en la tabla 12.

Tabla 12. Establecimientos de hospedaje, 2003

| Municipios: | Total | Cinco estrellas | Cuatro estrellas | Tres estrellas | Dos estrellas | Una estrella | Sin categoría* |
|------------------|-------|-----------------|------------------|----------------|---------------|--------------|----------------|
| Total Sonora | 331 | 14 | 41 | 67 | 50 | 45 | 114 |
| Total subcuencas | 18 | 0 | 0 | 5 | 4 | 3 | 6 |
| Imuris | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Magdalena | 8 | 0 | 0 | 4 | 3 | 1 | 0 |
| Santa Ana | 9 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 6 |

Fuente: Secretaría de Economía del Gobierno del Estado. Anuario Estadístico de Sonora 2005.

* Comprende: cabañas, casas de huéspedes, condominios, posadas familiares, departamentos y moteles.

Recreación

La actividad turística de Imuris, Santa Ana y Magdalena es incipiente, salvo en las fiestas patronales; comúnmente se aprovechan las áreas naturales aledañas al río Bambuto y río Magdalena. Además existen otros sitios de interés como la presa El Comaquito, los parajes de La Atascosa, así como las ruinas del templo de la misión de Cocóspera.

EMPLEO

A nivel de empleo, la región cuenta con 1.66 por ciento de la población económicamente activa (PEA) estatal. Del total de la población en edad de laborar, 48.97 por ciento es activa y 50.03 es inactiva, para conocer a detalle esta información por municipio véase la tabla 13.

Tabla 13. Población de 12 años y más por municipio según actividad económica

| Municipios | Total | Población económicamente activa | | Población económicamente inactiva | No especificada |
|------------------|-----------|---------------------------------|------------|-----------------------------------|-----------------|
| | | Ocupada | Desocupada | | |
| Total Sonora | 1 617 117 | 810 424 | 9 545 | 789 609 | 7 539 |
| Total subcuencas | 27 580 | 13 508 | 148 | 13 799 | 125 |
| Imuris | 7 117 | 3 545 | 16 | 3 502 | 54 |
| Magdalena | 17 602 | 8 896 | 97 | 8 503 | 106 |
| Santa Ana | 9 978 | 4 612 | 51 | 5 296 | 19 |

Fuente: XII Censo General de Población y Vivienda 2000; Tabulados Básicos. Tomo III.

De la PEA, 98 por ciento está ocupada en un trabajo remunerativo, según datos del censo general del año 2000. Del total de la población ocupada 64 por ciento es empleado y obrero, 20.60 trabaja por su cuenta y 6.36 es jornalero y peón. La tabla 14 muestra esta información por municipio.

Tabla 14. Población ocupada por municipio según situación en el trabajo

| Municipios | Total | Empleados y obreros | Jornaleros y peones | Patrones | Trabajadores por su cuenta | Trabajadores familiares sin pago | No especificada |
|----------------|---------|---------------------|---------------------|----------|----------------------------|----------------------------------|-----------------|
| Total Sonora | 810 424 | 519 644 | 88 562 | 26 261 | 138 095 | 11 137 | 26 725 |
| Total subcuena | 17 053 | 10 924 | 1 086 | 675 | 3 512 | 216 | 640 |
| Imuris | 3 545 | 2 019 | 424 | 76 | 752 | 55 | 219 |
| Magdalena | 8 896 | 5 976 | 402 | 425 | 1 738 | 100 | 255 |
| Santa Ana | 4 612 | 2 929 | 260 | 174 | 1 022 | 61 | 166 |

Fuente: XII Censo General de Población y Vivienda 2000; Tabulados Básicos. Tomo III.

IV

ACTIVIDAD AGRÍCOLA

*La agricultura es el arte que enseña
virtud al hombre y la base de la
opulencia a todas las naciones.*

Gaspar Melchor de Jovellanos (1786).

SUPERFICIE AGRÍCOLA

La superficie agrícola de la zona de estudio está comprendida en el Distrito de Desarrollo Rural (DDR) No. 140-Magdalena. La superficie total sembrada es de 10 383 ha, que representa dos por ciento del total de la superficie sembrada en Sonora, como se muestra en la tabla 15. De total de la superficie del distrito, 9 535 ha tienen disponibilidad de riego y el resto (848 ha) corresponde a pequeñas áreas temporales, de agostadero y usos forestales. La figura 9, muestra la superficie agrícola en las subcuencas 8Be y 8Bf de la cuenca del río Magdalena.

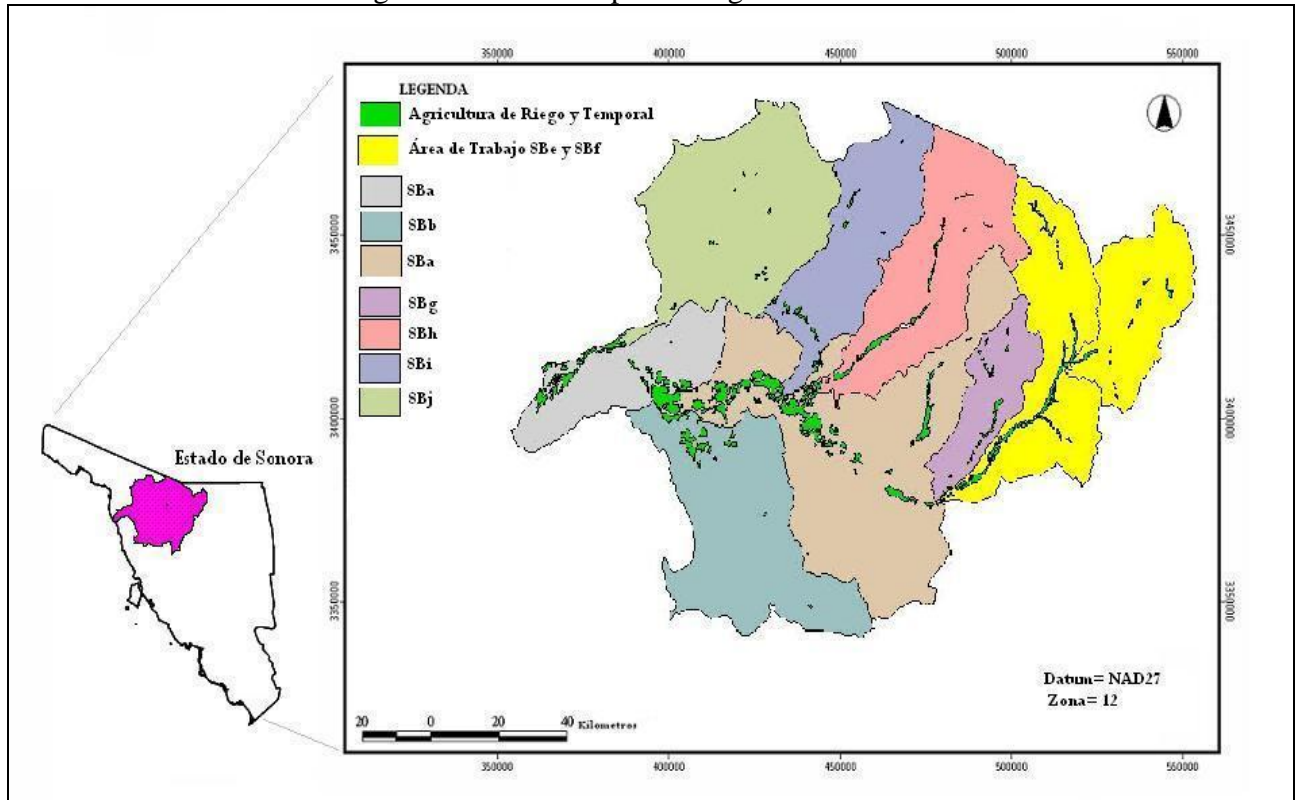
Tabla 15. Superficie total sembrada, 2002-2003

| Tipo de cultivos | Hectáreas | Porcentaje (%) |
|-------------------|-----------|----------------|
| Cultivos cíclicos | 6 895 | 66.41 |
| Cultivos perennes | 3 488 | 33.59 |
| Total superficie | 10 383 | 100.00 |

Fuente: SAGARPA. Delegación Sonora.
Anuario Estadístico del Estado de Sonora. 2004-2005.

Del total de la superficie sembrada, 90.82 por ciento es cosechada, ya sea para cultivos cíclicos y perennes; las principales pérdidas en la producción agrícola corresponden a cultivos cíclicos como sorgo forrajero, hortalizas, repollo, pepino, lechuga, así como flores y algodón hueso. En los cultivos de riego de temporal no se presentaron superficies no cosechadas.

Figura 9. Plano de superficie agrícola



Fuente: CIDESON (1995).

Debido a la variabilidad de cultivos encontrados en la zona de estudio, es preciso desagregar la parte correspondiente a otros cultivos agrupados por cíclicos y perennes. Según la tabla 16, del total de hectáreas sembradas, 66.41 por ciento corresponde a 23 cultivos cíclicos diferentes, de los cuales el sorgo forrajero es el más representativo con 54.27 por ciento de la superficie total para estos cultivos. El restante 33.59 por ciento pertenece a cultivos perennes, como la alfalfa que ocupa 74.28 por ciento del total de la superficie sembrada para cultivos perennes. Las tablas 16 y 17, indican la superficie sembrada y cosechada de los principales cultivos en la zona de estudio.

Tabla 16. Superficie sembrada y cosechada por tipo de cultivo (hectáreas), 2002-2003

| Distrito de Desarrollo Rural Magdalena | | | | | | |
|--|---------------------|------------|-----------|----------------------|------------|-----------|
| Tipo de riego | Superficie sembrada | | | Superficie cosechada | | |
| | Total | Riego | Temporal | Total | Riego | Temporal |
| Total Sonora | 539 895.60 | 497 903.60 | 41 991.50 | 534 184.60 | 493 422.10 | 40 762.50 |
| Magdalena | | | | | | |
| Cultivos cíclicos | 463 087.60 | 421 556.10 | 41 531.50 | 459 794.10 | 419 470.60 | 40 322.50 |
| Trigo | 485.00 | 485.00 | 0.00 | 472.00 | 472.00 | 0.00 |
| Maíz grano | 116.00 | 105.00 | 11.00 | 116.00 | 105.00 | 11.00 |
| Sorgo grano | 45.00 | 45.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Papa | 152.00 | 152.00 | 0.00 | 152.00 | 152.00 | 0.00 |
| Sandía | 73.00 | 73.00 | 0.00 | 68.00 | 68.00 | 0.00 |
| Resto de cultivos | 6 024.00 | 5 423.00 | 601.00 | 5 431.50 | 4 830.50 | 601.00 |
| Cultivos perennes | 76 808.00 | 76 347.50 | 460.00 | 74 390.50 | 73 950.50 | 440.00 |
| Alfalfa | 2 591.00 | 2 591.00 | 0.00 | 2 551.00 | 2 551.00 | 0.00 |
| Nogal | 326.00 | 326.00 | 0.00 | 76.00 | 76.00 | 0.00 |
| Resto de los cultivos | 571.00 | 335.00 | 236.00 | 563.00 | 327.00 | 236.00 |

Fuente: SAGARPA. Delegación Sonora. Anuario Estadístico del Estado de Sonora. 2004-2005.

La tabla 17 indica que la superficie temporalera sembrada en otros cultivos cíclicos está representada por forrajes, ya sea sorgo forrajero, avena, cebada, trigo y zacate maravilla. Igualmente para la siembra de flores y otras hortalizas como zanahorias y apio, y en menor proporción frijol. La superficie sembrada mediante riego para cultivos cíclicos está representada por 23 cultivos diferentes que son normalmente vegetales y hortalizas.

EL COLEGIO
DE SONORA

Tabla 17. Superficie sembrada y cosechada de otros cultivos cíclicos (hectáreas),
2002-2003

| Distrito de Desarrollo Rural Magdalena | | | | | | |
|--|---------------------|-----------|----------|----------------------|-----------|----------|
| Tipo de riego | Superficie sembrada | | | Superficie cosechada | | |
| | Total | Riego | Temporal | Total | Riego | Temporal |
| Total Sonora | 83 555.10 | 62 525.10 | 21 030 | 82 220.60 | 61 705.60 | 20 515 |
| Magdalena | 6 024 | 5 423 | 601 | 5 431.50 | 4 830.50 | 601 |
| Sorgo forrajero | 3 742 | 3 742 | 0 | 3 484 | 3 484 | 0 |
| Cártamo | 112 | 112 | 0 | 112 | 112 | 0 |
| Ajo | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 0 |
| Calabacita | 88 | 88 | 0 | 78 | 78 | 0 |
| Cebolla | 92 | 92 | 0 | 83 | 83 | 0 |
| Fríjol | 439 | 435 | 4 | 369 | 365 | 4 |
| Chile | 109 | 109 | 0 | 83 | 83 | 0 |
| Tomate rojo | 165 | 165 | 0 | 108 | 108 | 0 |
| Lechuga | 152 | 152 | 0 | 125 | 125 | 0 |
| Pepino | 53 | 53 | 0 | 30 | 30 | 0 |
| Col (Repollo) | 90 | 90 | 0 | 64 | 64 | 0 |
| Algodón hueso | 143 | 143 | 0 | 128 | 128 | 0 |
| Flores | 98 | 48 | 50 | 82 | 32 | 50 |
| Otras hortalizas | 262 | 192 | 70 | 206.50 | 136.50 | 70 |
| Avena forrajera | 121 | 0 | 121 | 121 | 0 | 121 |
| Cebada forrajera | 108 | 0 | 108 | 108 | 0 | 108 |
| Trigo forrajero | 12 | 0 | 12 | 12 | 0 | 12 |
| Zacate maravilla | 236 | 0 | 236 | 236 | 0 | 236 |

Fuente: SAGARPA. Delegación Sonora. Subprograma Agrícola. Cierre Definitivo de Cosechas. 2002-2003

En el área se localiza 50 por ciento de la superficie de temporal para cultivos perennes de Sonora. Desagregando el apartado “para otros cultivos perennes”, nos señala que 91.46 por ciento de la superficie total sembrada es cosechada. Los cultivos perennes de riego son los que presentan mayores pérdidas como la alfalfa, nogal y zacate buffel, en relación a la superficie sembrada y cosechada, como se observa en la tabla 18, con información detallada de los cultivos perennes del área para los años 2002 y 2003.

Tabla 18. Superficie sembrada y cosechada de otros cultivos perennes (hectáreas), 2002-2003

| Distrito de Desarrollo Rural Magdalena | | | | | | |
|--|---------------------|----------|----------|----------------------|----------|----------|
| Tipo de riego | Superficie sembrada | | | Superficie cosechada | | |
| | Total | Riego | Temporal | Total | Riego | Temporal |
| Total Sonora | 8 802.50 | 8 342.50 | 460 | 8 225.50 | 7 785.50 | 440 |
| Magdalena | 571 | 335 | 236 | 563 | 327 | 236 |
| Manzana | 49 | 26 | 23 | 49 | 26 | 23 |
| Membrillo | 125 | 70 | 55 | 125 | 70 | 55 |
| Nuez de castilla | 82 | 70 | 12 | 82 | 70 | 12 |
| Zacate bermuda | 223 | 113 | 110 | 223 | 113 | 110 |
| Pera | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 |
| Pérsimo | 7 | 3 | 4 | 7 | 3 | 4 |
| Granada | 37 | 22 | 15 | 37 | 22 | 15 |
| Olivo | 9 | 4 | 5 | 8 | 3 | 5 |
| Zacate buffel | 36 | 25 | 11 | 29 | 18 | 11 |

Fuente: SAGARPA. Delegación Sonora. Subprograma Agrícola. Cierre Definitivo de Cosechas. 2002-2003.

VOLUMEN Y VALOR DE LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

El volumen total de la producción agrícola de la región de estudio es de 81 063.59 ton, de las cuales casi 43 por ciento corresponde a sorgo forrajero. De este volumen total de producción, 93.48 por ciento pertenece a cultivos cosechados mediante sistemas de riego y el restante (6.52 por ciento) a superficies de temporal.

El valor total de la producción agrícola en el área de estudio es de 15 838 033 pesos para los años 2002 y 2003. Este valor representa 2.28 por ciento del valor de la producción agrícola estatal, 68.51 por ciento del valor total corresponde a cultivos cíclicos, principalmente sorgo forrajero, flores y hortalizas varias. El restante 26.24 corresponde a cultivos perennes, como alfalfa, y otros cultivos de mayor valor comercial como manzana, membrillo y granada. La tabla 19 muestra, a detalle, los volúmenes y el valor de la producción agrícola para el área de estudio.

Tabla 19. Volumen y valor de la producción agrícola por tipo de cultivo, 2002-2003

| Distrito De Desarrollo Rural Magdalena | | | | | | |
|--|---------------------|-----------|----------|------------------------|---------------|------------|
| Tipo de riego | Volumen (toneladas) | | | Valor (miles de pesos) | | |
| | Total | Riego | Temporal | Total | Riego | Temporal |
| Total Sonora | ND | ND | ND | 12 124 584.12 | 11 995 321.77 | 129 262.25 |
| Cultivos cíclicos | ND | ND | ND | 6 947 704.89 | 6 820 626.64 | 127 078.25 |
| Magdalena | | | | | | |
| Trigo | 2 988.60 | 2 988.60 | 0.00 | 5 379.48 | 472.00 | - |
| Maíz grano | 487.00 | 454.00 | 33.00 | 1 071.40 | 998.80 | 72.60 |
| Sorgo grano* | 270.00 | 270.00 | 0.00 | 348.30 | 348.30 | - |
| Papa | 3 342.00 | 3 342.00 | 0.00 | 14 919.00 | 14 919.00 | - |
| Cártamo | 115.20 | 115.20 | 0.00 | 380.16 | 380.16 | - |
| Sandía | 1 115.20 | 1 115.20 | 0.00 | 1 250.81 | 1 250.81 | - |
| Resto de cultivos | ND | ND | ND | 204 231.20 | 198 771.20 | 5 460.00 |
| Cultivos perennes | ND | ND | ND | 5 176 879.23 | 5 174 695.13 | 2 184.10 |
| Alfalfa | 15 281.40 | 15 281.40 | 0.00 | 28 359.48 | 28 359.48 | - |
| Nogal | 100.00 | 100.00 | 0.00 | 1 893.00 | 1 893.00 | - |
| Resto de los cultivos | ND | ND | ND | 8 090.20 | 7 417.60 | 672.60 |

Fuente: SAGARPA. Delegación Sonora. Anuario Estadístico del Estado de Sonora. 2004-2005.

ND: No determinado. *Valor estimado en base a superficie cosechada y rendimientos promedios en el DDR de Caborca.

Debido a la variabilidad de los cultivos localizados en la zona de estudio y a la variabilidad de sus precios de venta, se optó por detallar en la tabla 20, el rubro “resto de los cultivos” de la tabla anterior. Para los cultivos cíclicos, la cebolla y la papa son los que mayor rendimiento presentaron, en promedio 40 ton por ha cosechada, por lo que su aporte al volumen y valor de la producción es considerable. La tabla 20 detalla el volumen y valor de la producción del resto de cultivos cíclicos para el ciclo 2002-2003.

Tabla 20. Volumen y valor de la producción de resto de cultivos cíclicos, 2002-2003

| Distrito de Desarrollo Rural Magdalena | | | | | | |
|--|---------------------|----------|----------|------------------------|--------------|------------|
| Tipo de riego | Volumen (Toneladas) | | | Valor (Miles de pesos) | | |
| | Total | Riego | Temporal | Total | Riego | Temporal |
| Total Sonora | ND | ND | ND | 2 406 011.83 | 2 305 625.75 | 100 386.18 |
| Magdalena | ND | ND | ND | 85 163.20 | 79 190.00 | 5 973.20 |
| Sorgo forrajero | 34 848 | 34 848 | 0 | 38 894 | 38 894 | - |
| Ajo | 14.50 | 14.50 | 0 | 87 | 87 | - |
| Calabacita | 634 | 634 | 0 | 2 154.40 | 2 154.40 | - |
| Cebolla | 4 980 | 4 980 | 0 | 10 960 | 10 960 | - |
| Fríjol | 372.45 | 368.45 | 4 | 2 555.43 | 2 531.30 | 24.13 |
| Chile verde | 690.56 | 690.56 | 0 | 2 886.54 | 2 886.54 | - |
| Tomate rojo | 388 | 388 | 0 | 2 777.30 | 2 777.30 | - |
| Lechuga | 1 878.60 | 1 878.60 | 0 | 4 871.90 | 4 871.90 | - |
| Pepino | 540 | 540 | 0 | 1 080 | 1 080 | - |
| Col (Repollo) | 1 457.23 | 1 457.23 | 0 | 3 479.86 | 3 479.86 | - |
| Algodón hueso | 486.40 | 486.40 | 0 | 2 626.60 | 2 626.60 | - |
| Flores | 738 | 288 | 450 | 6 283 | 2 448 | 3 835 |
| Otras hortalizas | 1 452 | 1 092 | 360 | 5 473.10 | 4 393.10 | 1 080 |
| Avena forrajera | 191.50 | 0 | 191 | 215 | - | 215 |
| Cebada forrajera | 107 | 0 | 107 | 128.40 | - | 128.40 |
| Trigo forrajero | 13 | 0 | 13 | 18.06 | - | 18.06 |
| Zacate maravilla | 708 | 0 | 708 | 672.61 | - | 672.61 |

Fuente: SAGARPA. Delegación Sonora. Subprograma Agrícola. Cierre Definitivo de Cosechas. 2002-2003

La combinación de frutales, como granada, manzana y membrillo, con forrajes equilibra en buena medida el volumen y valor de la producción de cultivos perennes, por ejemplo: el pèrsimo es el cultivo perenne con mejor precio en el mercado, el precio promedio de venta fue de 15 000 pesos la tonelada, sin embargo, sólo se cosecharon tres ha de este cultivo. El zacate, en cualquiera de sus variedades, es el cultivo que menos valor aporta, con un precio promedio de 1 000 pesos por ton producida. La tabla 21, señala el volumen y valor de la producción del resto de cultivos perennes.

Tabla 21. Volumen y valor de la producción del resto de cultivos perennes, 2002-2003

| Distrito de Desarrollo Rural Magdalena | | | | | | |
|--|---------------------|--------|----------|------------------------|------------|-----------|
| Tipo de riego | Volumen (Toneladas) | | | Valor (Miles de pesos) | | |
| | Total | Riego | Temporal | Total | Riego | Temporal |
| Total Sonora | ND | ND | ND | 150 523.03 | 138 338.93 | 12 184.10 |
| Magdalena | ND | ND | ND | 19 615.50 | 11 301.40 | 8 314.10 |
| Manzana | 718 | 442 | 276 | 4 000.80 | 2 124 | 1 876.80 |
| Membrillo | 3 875 | 2 170 | 1 705 | 7 750 | 4 340 | 3 410 |
| Nuez de castilla | 146.90 | 125.40 | 21.50 | 1 836 | 1 567.50 | 268.50 |
| Zacate bermuda | 1 784 | 904 | 880 | 2 140.80 | 1 084.80 | 1 056 |
| Pera | 90 | 65 | 25 | 225 | 162.50 | 62.50 |
| Pérsimo | 65 | 28 | 37 | 975 | 420 | 555 |
| Granada | 1 009.05 | 600 | 409.05 | 2 522.60 | 1 500 | 1 022.60 |
| Olivo | ND | ND | ND | ND | ND | ND |
| Zacate buffel | 174 | 108 | 66 | 165.30 | 102.60 | 62.70 |

Fuente: SAGARPA. Delegación Sonora. Subprograma Agrícola. Cierre definitivo de cosechas. 2002-2003

OTROS ASPECTOS DE LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

Para el DDR de Magdalena, 97 por ciento de la superficie es fertilizada, ya sea con la aplicación de abonos químicos y orgánicos, 94 por ciento ha sido sembrada con semilla mejorada y 99 del total de la superficie es mecanizada. La tabla 22, muestra la superficie sembrada según estas características.

Tabla 22. Características de la superficie sembrada, 2002-2003

| Conceptos | Superficie sembrada | Superficie fertilizada* | Superficie sembrada con semilla mejorada | Superficie mecanizada |
|-----------------|---------------------|-------------------------|--|-----------------------|
| Total Sonora | 539 895.60 | 508 559 | 498 033 | 503 358 |
| DDR - Magdalena | 10 383 | 10 036 | 9 799 | 10 264 |

Fuente: SAGARPA. Delegación Sonora. Anuario Estadístico de Sonora 2004-2005. *Comprende la aplicación de abonos químicos y orgánicos.

Según el grado de mecanización de la superficie sembrada, 94.34 por ciento está mecanizada, mientras que 4.75 está parcialmente mecanizada. La tabla 23, indica la superficie mecanizada en el DDR de Magdalena.

Tabla 23. Superficie mecanizada según nivel de mecanización, 2002-2003

| Conceptos | Total | Totalmente mecanizada | Porcentaje (%) | Parcialmente mecanizada | Porcentaje (%) |
|----------------|---------|-----------------------|----------------|-------------------------|----------------|
| Total Sonora | 539 895 | 487 903 | 96.93 | 15 455 | 3.07 |
| DDR- Magdalena | 10 383 | 9 799 | 94.38 | 465 | 4.75 |

Fuente: SAGARPA. Delegación Sonora. Anuario Estadístico del Estado de Sonora. 2004-2005.

El agua que se utiliza para riego proviene de dos fuentes: de las presas sobre las subcuencas del área de estudio y de pozos profundos. En la zona se construyeron dos presas, con fines agrícolas y pecuarios más que urbanos: la presa El Comaquito, ubicada en Imuris y la presa Ignacio R. Pesqueira en Magdalena. En la información presentada en la tabla 24, referida al 31 de diciembre de 2003, no se reportaron datos acerca del volumen anual utilizado ni sus respectivos usos.

Tabla 24. Características de las presas, 2002

| Municipios Presas | Año de construcción | Capacidad total de almacenamiento | Capacidad útil de almacenamiento |
|-----------------------------------|------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| Total Sonora | | 8 408 | 7 044 |
| Total subcuencas | | 35 | 31 |
| Imuris | | 31 | 27 |
| El Comaquito | 1981 | 31 | 27 |
| Magdalena | | 4 | 4 |
| Ignacio R. Pesqueira (El Yeso) | 1985 | 4 | 4 |

Fuente: CNA, Gerencia Regional Noroeste. Subgerencia Técnica. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Delegación en el Estado. Subdelegación Agropecuaria.

Nota: La información se refiere a presas cuya capacidad total de almacenamiento es mayor a los quinientos mil metros cúbicos.

La capacidad total de almacenamiento se refiere a nivel de aguas de máxima operación (NAMO).

EL COLEGIO
DE SONORA

V

ESTUDIO DE CASO: ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DE AGUA VIRTUAL

Los impactos sociales y medioambientales del uso del agua generalmente no se traducen en el precio de los productos, con algunas excepciones se incluyen los costos hechos por el tratamiento de aguas residuales y la descarga final.

Chapagain, Hoekstra, Savenije y Gautam (2005).

PRODUCCIÓN DE LOS PRINCIPALES CULTIVOS

La descripción de los cultivos comprende aspectos básicos relacionados con la etapa de siembra y cosecha del cultivo, haciendo especial énfasis en la aplicación de los riegos y la utilización de agua. La descripción se presenta en base a la clasificación de cultivos cíclicos (anuales) y perennes, con información obtenida de la entrevista a los productores (véase Anexo A). La entrevista a los agricultores se aplicó durante los meses de enero y febrero de 2006, a 38 productores con los que se cubrió 88.35 por ciento de la superficie sembrada, según datos del año 2002.

CULTIVOS CÍCLICOS

a) Cártamo

Sonora es el principal productor nacional de cártamo. En el área de estudio se sembraron 112 ha durante el ciclo otoño-invierno 2002-2003. El número de riegos se determina, principalmente por la textura del suelo, la profundidad del manto freático, la lluvia invernal y la etapa de desarrollo del cultivo. En la zona se presenta el siguiente calendario de riego para cártamo, que se muestra en la tabla 25.

Tabla 25. Calendario de riego para cártamo. DDR-140 Magdalena

| Riegos | Intervalo (Días) | Etapas de crecimiento del cultivo | Lámina (cm) |
|--------------|------------------|-----------------------------------|-------------|
| Presiembra | ---- | ---- | 20-22 |
| Primer riego | 65-70 DDS | Rama | 10 |

Fuente: Información recabada en investigación de campo. DDS: Días después de la siembra.

La fertilización aplicada al cultivo fue nitrógeno, aunque está en función de la rotación de los cultivos y del tipo de suelo. El período de siembra comprende los meses de diciembre y enero. La producción de cártamo se destina al mercado nacional (90 por ciento) y el resto al mercado estatal.

b) Frijol

Los frijoles tipo azufrado y el pinto son los que tradicionalmente se cultivan en la región, la superficie sembrada en el ciclo agrícola 2002-2003, ascendió a 439 ha. Se siembra en los ciclos de otoño y primavera, evitando el riesgo de pérdidas por heladas. Los métodos de siembra son “tierra venida”, ya sea en plano o sobre el lomo del surco a una profundidad de 6 a 8 cm.

En forma general se aplican tres riegos de auxilio de láminas de 8-10 cm de agua, cada uno en las etapas de formación de botones florales (35-40 días después de la siembra - DDS), para el desarrollo de vainas entre 55 y 60 DDS y en el llenado del grano aproximadamente 70 DDS, a veces es necesario agregar un riego más, de auxilio, 15 días después del último. Es importante resaltar que la planta no tolera excesos de humedad por lo que los riegos son muy ligeros y si es posible en surcos alternados.

Por lo general el frijol cosechado se exporta a Estados Unidos, a pesar de que la demanda estatal no está cubierta y que se estima en 50 000 toneladas anuales.

c) Maíz

En el DDR -140 la superficie de maíz reportada para el ciclo 2002-2003 fue de 116 ha. En la región de estudio se han consolidado los ciclos de otoño-invierno y verano. El calendario de riego para el ciclo otoño-invierno, se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 26. Calendario de riegos para el maíz. Ciclo otoño-invierno y verano

| Riego | Lámina (cm) | Aspecto de la planta |
|-----------------|-------------|--------------------------|
| Presiembra | 20 | |
| Primer auxilio | 10 | 10-12 hojas con aurícula |
| Segundo auxilio | 10 | Espigamiento |
| Tercer auxilio | 10 | Elote lechoso |
| Cuarto auxilio | 10 | Elote tierno |
| Total | 60 | |

Fuente: Investigación directa en campo.

El maíz de verano crece rápidamente, a veces puede verse favorecido por las lluvias de julio, agosto y septiembre por lo que en esta temporada el número de riegos disminuye.

La cosecha de maíz de otoño-invierno se hace mecánicamente, las siembras realizadas en verano se pueden cosechar a mediados de enero con 30 por ciento de humedad. La máquina cosechadora está equipada con dispositivos para triturar y esparcir uniformemente el rastrojo para que el terreno se pueda rotar con la siembra de otros cultivos, como cártamo. El maíz de verano se cosecha en octubre, alrededor de los 120 o 130 días después de la siembra hecha entre julio y agosto, en época seca y con un contenido de humedad del grano inferior a 2.2 por ciento, que es el límite establecido en los centros de recepción.

Este maíz se destina a la producción de harina para la elaboración de tortillas y 15 por ciento se destina a la venta de elote en el mercado local y estatal.

d) Hortalizas

Los principales cultivos agrícolas son chile, sandía, papa, tomate y calabaza. El principal destino es el mercado de exportación (90 por ciento) y el resto (10 por ciento) es para consumo local o doméstico.

Chile

Las variedades sembradas son el jalapeño, verde de tipo *anaheim* y chile serrano. La superficie sembrada para el ciclo 2002-2003 alcanzó las 109 ha. Este cultivo se siembra durante el ciclo otoño-invierno. Casi en su totalidad, el área de siembra con chile se

establece por trasplante, usando plántulas de seis semanas de edad crecidas en invernaderos.

El riego aplicado, además del pretrasplante, es de 8 a 12 riegos de auxilio dependiendo de la fecha del establecimiento. Setenta por ciento de la superficie de este cultivo es de riego por goteo, se requiere regar cada tercer día con la duración necesaria para mantener el nivel de humedad apropiado de acuerdo a la etapa de desarrollo del cultivo, evitando cualquier síntoma de estrés hídrico, así mismo, la excesiva humedad origina la presencia de enfermedades en la raíz.

La cosecha se realiza de forma manual y ocurre aproximadamente en 100 días después del trasplante. La producción obtenida es comercializada en el mercado estatal (80 por ciento) y el restante 20 por ciento permanece en la región.

Sandía

La superficie sembrada de sandía es de 73 ha, el tipo de suelo al que mejor se adapta es del tipo aluvión profundo con buen drenaje. Previo al establecimiento se prepara la cama de siembra mediante el barbecho, rastreo y nivelación.

Se riega con frecuencia semanal, por goteo, durante el periodo vegetativo y cada tercer día durante floración y llenado del fruto. El periodo de siembra va desde los primeros días de noviembre y se prolonga hasta mediados de diciembre. Dado que la mayoría de las siembras se realizan en terrenos de aluvión, en donde el nivel freático se encuentra elevado, normalmente no es necesario aplicar riego de auxilio. Sin embargo, bajo condiciones específicas se requiere dar riegos de auxilio de 5 cm, cada semana hasta que se alcanza el tamaño deseado. La cosecha se realiza de forma manual, una vez que la fruta alcanza el tamaño y la madurez adecuada.

En la región se producen dos variedades de sandía: un híbrido sin semilla para el mercado estadounidense e híbridos con semilla para el mercado local. Setenta por ciento de

la producción se destina al mercado de exportación, principalmente Estados Unidos y el restante se consume en el mercado estatal. El potencial de rendimiento es de 80 ton/ha.

Papa

La superficie sembrada de papa en el área para el ciclo 2002-2003 fue de 152 ha. Los rendimientos superan las 40 ton/ha. Este cultivo responde favorablemente al barbecho, rastreo cruzado y nivelación que permita un buen manejo del agua de riego y un establecimiento uniforme del cultivo. La siembra debe efectuarse en el ciclo otoño-invierno, iniciando a partir del mes de noviembre. Las variedades que se siembran son Alpha y Diamante.

El riego es por gravedad, el de la presiembra es pesado de 12 cm, y los riegos de auxilio ligeros, aplicados con la frecuencia necesaria para mantener el suelo húmedo, pero evitando excesos que pudieran incrementar el riesgo de enfermedades de la raíz y del tubérculo. Se aplican en promedio seis riegos de auxilio con una lámina de entre 3 y 5 cm.

La cosecha depende de la precocidad de la variedad utilizada, ésta ocurre entre los 90 y 120 días después de la siembra. Una vez que el tubérculo alcanza el tamaño requerido, se elimina el forraje mecánicamente, después se dejan transcurrir dos semanas antes de proceder a la extracción para que la cáscara de los tubérculos madure. La extracción se realiza en forma mecánica y la recolección en forma manual. El producto se destina al mercado nacional para su consumo tanto en fresco como para su procesamiento industrial.

Tomate

La superficie sembrada fue de 165 ha. La variedad predominante es el *saladette*. El periodo de establecimiento es otoño-invierno, los mejores rendimientos se obtienen los dos últimos meses del periodo recomendado, el cual puede ser en siembra directa o en trasplante; se fertiliza utilizando nitrógeno y fósforo. El riego es por gravedad, se realiza cinco días después del trasplante y posteriormente a intervalos de 10 a 15 días, aplicando riegos ligeros evitando encharcamientos.

La cosecha se realiza de forma manual; ocurriendo por lo general a los 90 días después del trasplante según la precocidad del cultivo y de las condiciones del clima. El fruto se cosecha en diferentes etapas de madurez, lo cual depende del mercado al que se destine e involucra varios cortes, los cuales pueden prolongarse hasta por dos meses. La producción se destina en fresco al mercado estatal, en 90 por ciento, y para consumo local el restante.

Calabacita

En el DDR 140 Magdalena se siembran anualmente alrededor de 88 ha de calabacita, cosechando 78 ha de la variedad italiana. Las variedades que se siembran son la verde y la amarilla.

Al cultivo se le garantizan niveles de humedad adecuados durante todo el periodo de crecimiento. Además del riego de siembra de 10 cm, se aplican entre 5 y 12 riegos de auxilio dependiendo de las condiciones del clima, que puede variar de 3 a 5 cm de lámina. La cosecha se realiza de forma manual a diario, o cada tercer día, la cual inicia de los 35 a 50 días de acuerdo a la época de establecimiento.

La longitud del fruto comercial varía de 15 a 30 cm, de acuerdo a los requerimientos del mercado. Su producción se destina al mercado local (20 por ciento), al mercado estatal (40 por ciento) y al mercado de exportación (40 por ciento).

Repollo

La superficie sembrada en la zona de estudio es de 90 ha, mientras que la cosechada es de 64. Se siembra en el ciclo otoño-invierno debido a que en las etapas tempranas de crecimiento requiere de bajas temperaturas.

El riego aplicado a este cultivo es una lámina inicial de 25 cm y riegos auxiliares de 5 cm cada 10 días hasta su cosecha. El ciclo medio de la producción del repollo es de 70 días, para que alcance un diámetro entre 10 y 15 cm, debido a que los repollos cosechados

inmaduros pueden experimentar arrugamiento acelerado y pérdida de olor durante el almacenamiento.

La fertilización utilizada es a base de nitrógeno, fósforo y potasio. La cosecha se realiza manualmente con cuchillos muy afilados, se debe cosechar en horas frescas y requiere de un manejo cuidadoso para evitar daños en las hojas, lo cual afecta la apariencia del repollo y además se constituye en posible fuente de entrada de microorganismos causantes de enfermedades.

Se estima que 80 por ciento de la producción se vende en el mercado estatal y 20 por ciento es comercializado a nivel local.

e) *Forrajes*

A continuación se describirán las características de cultivo de los forrajes producidos en el área de estudio; se incluye el sorgo, la cebada y trigo forrajero, que se siembran anualmente. Estos cultivos se riegan con aguas residuales domésticas provenientes de la comunidad de Magdalena de Kino, Sonora.

Cebada forrajera

Para el ciclo agrícola 2002-2003, se sembró una superficie de 108 ha. Este es un cultivo del ciclo otoño-invierno. Los métodos de siembra que se utilizaron son melgas, corrugaciones en surcos anchos y angostos. La cebada responde básicamente a la fertilización con nitrógeno y fósforo. El riego aplicado sigue el calendario presentado en la tabla 27.

Tabla 27. Calendario de riego aplicado en el cultivo de cebada forrajera

| Riegos | Intervalo (Días) | Etapas de crecimiento del cultivo | Lámina (cm) |
|--------------------------|------------------|-----------------------------------|-------------|
| Presiembra | ---- | ---- | 20-25 |
| Primer riego de auxilio | 50-55 DDS | Encañe | 10 |
| Segundo riego de auxilio | 70-75 DDS | Espigamiento | 10 |
| <i>Total</i> | | | 45-50 |

Fuente: Información recabada en investigación de campo. DDS: Días después de la siembra.

La cosecha se realiza cuando el grano contiene alrededor de 13 por ciento de humedad. La producción se destina a ranchos ganaderos de la región (50 por ciento) y el restante (50 por ciento) se comercializa principalmente en Hermosillo.

Sorgo forrajero

El sorgo forrajero es una especie anual del ciclo primavera-verano y es ampliamente utilizado en las explotaciones pecuarias por su calidad nutritiva y alta producción, repartida en dos cortes durante el verano (Becerra 2004). La superficie sembrada es de 3 742 ha, mientras que la superficie cosechada fue 3 484 ha, la cual es de riego presurizado.

Para el crecimiento óptimo del cultivo se requiere de temperaturas altas y días largos, principalmente después de los 60 días de la siembra, por eso se recomienda sembrar la primera quincena de abril.

Antes de la primera cosecha se requieren cuatro riegos, distribuidos a los 0, 25, 50 y 80 días después de la siembra, en total se requieren aplicar entre 50 y 55 cm de lámina de riego. Sin embargo, si se presentan lluvias abundantes durante la temporada los riegos se reducen a dos. La cosecha se efectúa cuando el grano se encuentra en un estado mañoso, el cual se comprueba al oprimir el grano y observar su consistencia, en este punto la planta tiene de 65 a 70 por ciento de humedad, lo que asegura buenas condiciones para el ensilaje y buen contenido de nutrientes.

El destino de la producción es el mercado estatal en 85 por ciento y el consumo de los ranchos lecheros y ganaderos (15 por ciento) del área de estudio.

Sorgo para grano

Este cultivo es importante como materia prima en la elaboración de alimentos balanceados para la alimentación animal. El sorgo para grano se puede sembrar en primavera y en verano. En primavera se siembran híbridos intermedios, los tardíos del mes de febrero a marzo y los híbridos precoces durante las últimas semanas de marzo. Por su parte, en

verano se deben sembrar híbridos intermedios y tardíos durante los meses de junio y julio. Normalmente, se opta por sembrar híbridos precoces de julio a agosto.

En relación con el manejo del agua, el sorgo es tolerante a la falta de agua, pero sólo en ciertas etapas de su crecimiento. El riego que se requiere se muestra en la tabla 28.

La cosecha se realiza cuando el grano tiene de 14 a 16 por ciento de humedad. El grano se debe almacenar cuando tiene 12 por ciento de humedad para evitar que se caliente y sea atacado por hongos.

La producción obtenida se comercializa en 85 por ciento en Sonora, principalmente al sur del estado y el resto se coloca en la región de estudio.

Tabla 28. Calendario de riegos para el sorgo para grano

| Riego | Lámina (cm) |
|-----------------|-------------|
| Presiembra | 24 |
| Primer auxilio | 14 |
| Segundo auxilio | 13 |
| Tercer auxilio | 14 |
| Cuarto auxilio | 13 |
| Total | 78 |

Fuente: Investigación directa obtenida de aplicación de encuestas a los productores.

Trigo forrajero

En el DDR 140-Magdalena, el trigo se cultiva en el ciclo otoño-invierno. La superficie sembrada es de 12 ha. El trigo sembrado es duro o macarronero debido a que tiene mayor resistencia al carbón parcial y ofrece mayor potencial de rendimiento; las variedades sembradas son Altar C84.

Se requiere un riego de presiembra de una lámina de 30 cm, después se le aplican tres riegos de auxilio según la etapa de crecimiento. El primer riego de auxilio es de 14–15 cm entre los 35 a 40 días después de la siembra. El segundo riego se aplica en la etapa de espigamiento, con una lámina de 12-15 cm, 80 días después de la siembra. El tercer y

último riego se aplican en la etapa de grano lechoso, la lámina de agua es de menos de 15 cm.

El método de siembra es por medio de surcos. La fertilización utilizada es mediante nitrógeno, aunque éste depende del tiempo de descanso del terreno del cultivo anterior, el manejo del productor y el ciclo biológico de la variedad.

La cosecha depende del ciclo de crecimiento, se presenta alrededor de los 120 a 125 días y se realiza mecánicamente teniendo cuidado de no provocar daños al grano. La producción se comercializa en Sonora, 85 por ciento, y el restante, 15 por ciento, se queda en la región, en algunos casos es de autoconsumo.

CULTIVOS PERENNES

Los principales cultivos perennes de la zona de estudio son alfalfa, manzana, membrillo, nogal y olivo.

Alfalfa

La alfalfa es el principal cultivo perenne de la región, se tienen sembradas 2 591 ha, de las cuales para el ciclo 2002-2003 se cosecharon 2 551 ha. La alfalfa es una leguminosa perenne con alto potencial productivo y de rápido crecimiento en el verano; tiene un sistema de raíz profunda, razón por la que su mayor producción y longevidad se logran en suelos profundos con buen drenaje. En las zonas semiáridas de México, las láminas de agua requeridas son generalmente superiores a los 1 000 mm anuales (Becerra 2004).

Durante la fase productiva, las láminas de riego aplicadas son de 14 a 16 cm distribuidas en uno o dos riegos según la humedad del suelo. La lámina total de riego aplicada fue de 90 cm. El método de fertilización empleado se basa en la aplicación de nitrógeno y fósforo. Los arbustos tienen tres años establecidos y la vida productiva de éstos es en promedio de 6 a 7 años.

La producción de alfalfa es para abastecer a ranchos ganaderos locales (50 por ciento) y el restante se traslada a otros puntos ganaderos en Sonora.

Manzana

En el DDR-140 de Magdalena, la superficie sembrada en el área de estudio es de 49 ha, de las cuales 26 son de riego mecanizado y 23 son de riego de temporal. Las variedades sembradas son *red delicious* y *dorsett golden*.

Los climas ideales para el desarrollo de este frutal son los templados subhúmedos de los tipos semifrío y frío. Crece mejor en zonas donde la temperatura es igual o inferior a 0° C durante al menos dos meses. Los requerimientos exactos de horas frío dependen de la variedad. El árbol llega a soportar hasta -40 °C de temperatura (Calderón 1985).

Se estima que arriba de 95 por ciento de los huertos tienen más de cinco años de establecidos, para estos árboles se aplica riego cada 15 días con una lamina total de 110 cm por año; es de vital importancia suministrar agua al manzano con riego auxiliar durante la época de no lluvia para mantener la humedad, sin que ésta sea excesiva. La fertilización aplicada en los árboles plantados son nitrógeno, fierro y zinc.

La producción de manzana se destina generalmente al mercado estatal y sólo cinco por ciento se comercializa en la región de estudio, principalmente para la producción de jaleas y mermeladas.

Membrillo

La superficie de membrillo asciende a 125 ha, todas fueron cosechadas; de este total, 70 ha son de riego y 55 ha de temporal. La lámina de riego aplicada a la superficie de temporal es de 150 cm por temporada, aplicando riegos auxiliares en épocas de escasez de lluvia. Para la superficie de riego por goteo se estima que la ración de agua es de 60 litros por árbol cada tres o cuatro días; en cada hectárea se estima que hay 40 árboles en promedio.

Los árboles productores de membrillo tienen en promedio ocho años de establecidos. El método de cosecha es manual para evitar que el fruto sufra daños.

La producción obtenida se comercializa como producto fresco, 90 por ciento se distribuye en el estado de Sonora y el resto permanece en las comunidades locales.

Nogal

La superficie para el año 2002 fue de 326 ha, de las que se cosecharon 76. La producción de nuez se estima en 100 ton; debido a su alto contenido en aceites insaturados ha generado una importante demanda de la industria de alimentos, que es usada en pastelerías, bisquetería, confitería y nevería.

La necesidad de agua se basa principalmente en la evapotranspiración de los árboles. Los nogales requieren de humedad en el suelo durante todo el año, un nogal adulto con 70 por ciento de cobertura puede transpirar 680 litros diarios durante el verano, con una densidad de 10 a 160 plantas por hectárea (Fundación PRODUCE 2004).

En el área de estudio la superficie sembrada es de riego presurizado. La lámina neta total aplicada a la superficie sembrada varía entre 130 y 150 cm por temporada.

Los huertos establecidos tienen entre 8 y 10 años. La fertilización o nutrientes más requeridos son el nitrógeno y zinc y en menor medida fósforo y potasio. El proceso de recolección de la nuez se realiza mecánicamente mediante vibradores especiales, la vibración permite la caída de nueces con y sin ruzno, los cuales caen sobre lonas para facilitar su recolección.

La producción obtenida es exportada en su totalidad hacia Estados Unidos.

Olivo

La superficie para 2002 y 2003 fue de 9 ha, de las que cinco son de riego de temporal rodado y cuatro de riego presurizado. La especie cultivada es la *Olea europaea*, de la variedad manzanilla.

Los requerimientos de humedad del olivo son sumamente bajos, menos de 25 por ciento en el suelo. Esta indicación de baja humedad se debe a que el árbol es de lenta transpiración, por su bajo número de estomas; tiene altos requerimientos de oxígeno en las raíces, que se obtiene por la aireación y drenaje, y posee una fuerte cobertura de cera en las hojas que lo protegen de la sequía (Juárez 1998).

En Magdalena, la lámina de riego inicial que se aplica varía entre 80 y 100 cm, iniciando los riegos en abril y terminando en octubre, aplicando además entre 5 y 6 riegos auxiliares por temporada. Si el riego es por goteo se utilizan en promedio 15 litros diarios por planta, teniendo entre 80 y 100 plantas por hectárea.

FACTORES LIMITANTES DEL ESTUDIO

Los principales factores limitantes de esta investigación se resumen en cuatro aspectos. El primero es la dispersión de la información oficial con respecto a la producción agrícola, ya sea cíclica o perenne en el área de estudio.

Otro factor es la amplia variedad de cultivos, en total se tienen 33, agrupados en anuales y perennes. Los cultivos anuales o cíclicos se encuentran divididos, oficialmente, en ciclos agrícolas de primavera-verano y otoño-invierno, sin embargo, hay ciclos no formales de cultivo durante los meses de verano-otoño e invierno-primavera.

Asimismo, dentro de los cíclicos se siembran ciertos cultivos que no tienen un método de cultivo establecido y que están en fase de experimentación, como son las 98 ha cultivadas con flores; de éste no fue posible realizar la descripción de su producción y requerimientos de agua debido a que los productores no proporcionaron la información. Igualmente, para los sembradíos de ajo que son dos ha, algodón hueso cuya superficie

asciende a 143 ha, avena forrajera con 121 y las variedades de zacates, para las cuales los productores no aportaron información.

Un factor más, es que los datos utilizados como base para la estimación del flujo de agua virtual de los productos agrícolas, se derivan directamente de la investigación realizada en campo, sobre todo, aquella relacionada con los volúmenes de agua aplicados a cada uno de los cultivos, los cuales pueden ser inexactos.

ESTIMACIÓN DEL FLUJO DE AGUA VIRTUAL DE LOS CULTIVOS

La estimación del flujo de agua virtual de los cultivos ha sido dividida en cultivos cíclicos y perennes. Se cuantificó 90 por ciento del volumen total producido y 82 por ciento del valor total de la producción de la zona, ya que no se contó con la información adecuada y complementaria para algunos cultivos, como por ejemplo, el olivo. La cuantificación del volumen total de agua virtual se realizó en base a la Ecuación 2, citada con anterioridad.

ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DE AGUA VIRTUAL DE CULTIVOS CÍCLICOS

Para la cuantificación del flujo de agua virtual de cultivos cíclicos se consideró un total de 5 724 ha, que corresponde a 83 por ciento del total de la superficie sembrada con estos cultivos y a 90 por ciento del volumen total de producción relacionada a cultivos cíclicos.

Del procesamiento y el análisis de la información derivada de la aplicación de la entrevista a los productores se obtuvieron datos sobre la lámina de riego aplicada para cada uno de los cultivos cíclicos, los cuales se muestran en la tabla 29.

Tabla 29. Tabla de riego total aplicado a cultivos cíclicos, 2002- 2003

| Cultivo | Lámina (cm*) |
|------------------|--------------|
| Cártamo | 32 |
| Cebada forrajera | 50 |
| Frijol | 50 |
| Chile | 60 |
| Sandía | 65 |
| Papa | 42 |
| Tomate rojo | 50 |
| Repollo | 60 |
| Calabacita | 60 |
| Maíz | 60 |
| Sorgo forrajero | 55 |
| Sorgo para grano | 78 |
| Trigo forrajero | 75 |

Fuente: información obtenida de la aplicación de entrevistas a los productores.

Considerando la información presentada en la tabla anterior y tomando en cuenta que la lámina de riego es aplicada por hectárea de superficie sembrada de cada uno de los cultivos, y correlacionándola con el volumen de producción por cultivo, obtenemos la cantidad de metros cúbicos de agua requeridos para producir un kilogramo de producto, lo cual se muestra en la tabla 30.

Tabla 30. Volumen de agua virtual de los cultivos cíclicos, 2002-2003

| Tipo de cultivo | Superficie sembrada (ha) | Volumen de producción (kg) | Volumen total de agua aplicada (m ³) | Volumen de agua por kilogramo de producto (m ³) |
|------------------|--------------------------|----------------------------|--|---|
| Cártamo | 112 | 115 200 | 358 400 | 3.11 |
| Cebada forrajera | 108 | 107 000 | 540 000 | 5.05 |
| Frijol | 439 | 372 450 | 2 195 000 | 5.90 |
| Chile | 109 | 690 560 | 654 000 | 0.95 |
| Calabacita | 88 | 634 000 | 528 000 | 0.83 |
| Tomate rojo | 165 | 388 000 | 825 000 | 2.13 |
| Sandía | 73 | 634 000 | 474 500 | 0.75 |
| Papa | 152 | 3 342 000 | 638 400 | 0.19 |
| Repollo | 90 | 1 457 230 | 540 000 | 0.37 |
| Maíz | 116 | 487 000 | 696 000 | 1.43 |
| Sorgo forrajero | 3 742 | 34 848 000 | 20 581 000 | 0.60 |
| Sorgo para grano | 45 | 270 000 | 351 000 | 1.30 |
| Trigo forrajero | 12 | 13 000 | 7 500 | 0.58 |

Fuente: SAGARPA. Delegación Sonora. Cierre Definitivo de Cosechas 2002-2003; Anuario Estadístico del Estado de Sonora 2004-2005. Información obtenida de la aplicación de entrevistas a los productores.

ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DE AGUA VIRTUAL PARA CULTIVOS PERENNES

Para la cuantificación del volumen de agua virtual de cultivos perennes se consideraron 3 100 ha de superficie sembrada, que representan 89 por ciento de la superficie total y 86 por ciento del volumen de producción total de cultivos perennes para el ciclo 2002- 2003.

La tabla 31 muestra la lámina de riego total aplicada para los cultivos perennes cuantificados. Esta información sirvió de base para cuantificar el volumen de agua virtual de los productos agrícolas del área de estudio.

Tabla 31. Tabla de riego total aplicado a cultivos perennes, 2002- 2003

| Cultivo | Lámina (cm*) |
|-----------|--------------|
| Alfalfa | 90 |
| Manzana | 110 |
| Membrillo | 150 |
| Nogal | 140 |
| Olivo | 150 |

Fuente: Información obtenida de la aplicación de entrevistas a los productores.

A partir de la tabla anterior se correlacionan el volumen total de agua aplicado con la superficie sembrada y el volumen de producción obtenido para estimar el volumen de agua requerido para la producción de un kilogramo de producto, los resultados por cultivo se muestran en la tabla 32.

Tabla 32. Volumen de agua virtual de los cultivos perennes, 2002-2003

| Tipo de cultivo | Superficie sembrada (ha) | Volumen de producción (kg) | Volumen total de agua aplicada (m ³) | Volumen de agua por kilogramo de producto (m ³) |
|-----------------|--------------------------|----------------------------|--|---|
| Alfalfa | 2 591 | 15 281 400 | 23 319 000 | 1.53 |
| Manzana | 49 | 718 000 | 539 000 | 0.75 |
| Membrillo | 125 | 3 875 000 | 1 875 000 | 0.49 |
| Nogal | 326 | 100 000 | 4 564 000 | 45.64* |
| Olivo | 9 | ND | ND | ND |

Fuente: SAGARPA. Delegación Sonora. Cierre definitivo de cosechas 2002-2003; Anuario Estadístico del Estado de Sonora 2004-2005. Información obtenida de la aplicación de entrevistas a los productores. ND: No disponible. * Caso particular.

RESULTADOS

El análisis de los resultados indica que, en general, los volúmenes de agua virtual estimados para los forrajes y el frijol, en promedio, resultan más altos que el valor de agua virtual de las hortalizas.

Entre los cultivos cíclicos, el frijol es el cultivo que más agua utilizó para su producción. Para el ciclo agrícola 2002-2003 requirió 5 900 litros de agua para la producción de un kilogramo. El cártamo, destinado para la producción de aceite, requirió 3 110 litros de agua para la producción de un kilogramo de producto.

Entre las hortalizas, la papa es el cultivo que menos volumen de agua requirió para producir un kilogramo, con 200 litros; le sigue el repollo con 370 litros de agua para producir un kilogramo y la sandía con 750 litros. El tomate rojo es la hortaliza que más agua utiliza para la producción de un kilogramo de producto fresco requiriendo 2 130 litros.

Para el caso de los forrajes, la cebada forrajera es el producto que mayor volumen de agua requiere, pues para los ciclos agrícolas 2002 y 2003 requirió 5 050 litros de agua. Los forrajes que menos agua requirieron fueron el sorgo y el trigo forrajero, que utilizaron alrededor de 600 litros para producir un kilogramo de forraje fresco. Cabe aclarar que estos cultivos fueron regados con aguas residuales urbanas y no con agua fresca proveniente de fuentes superficiales o subterráneas.

Con respecto a cultivos perennes, a los que se cuantificó el contenido de agua virtual, el menos intensivo en uso es el membrillo, pues se requirió 490 litros de agua para producir un kilogramo de fruto, debido a su alto rendimiento; le sigue la manzana, que para la producción de un kilogramo de fruto se aplicaron 750 litros de agua. La siembra de forraje perenne, como la alfalfa, requirió alrededor de 1 200 litros para producir un kilogramo de alfalfa fresca.

Para el caso del nogal pecanero, el volumen de agua virtual calculado resulta poco confiable debido principalmente a la relación irregular entre la superficie sembrada y

cosechada, la cual muestra una relación de 5:1. En esta investigación no fue posible desagregar la superficie total regada de la sembrada y cosechada e identificar los motivos por los que la primera no fue cosechada en su totalidad, esto puede observarse en la tabla 16.

ESTIMACIÓN DEL FLUJO DE AGUA VIRTUAL HACIA EL EXTERIOR DEL ÁREA DE ESTUDIO

Para evaluar el volumen de agua virtual que sale de los límites de la región, es necesario determinar el volumen de producción que se destina para su consumo o procesamiento en regiones externas a la misma. Del análisis de los resultados de las entrevistas se obtuvieron los porcentajes de producción destinada a otros mercados para los productos agrícolas, ya sea anuales o perennes, lo cual se muestra en las tablas 33 y 34.

Tabla 33. Destino de la producción de cultivos cíclicos del área de estudio

| Cultivo | Porcentaje de la producción destinada fuera del área de estudio | Principales destinos comerciales (%) |
|------------------|---|--|
| Cártamo | 100 | 90 <i>Mercado nacional</i> 10 <i>Mercado estatal</i> |
| Cebada forrajera | 50 | 100 <i>Mercado estatal</i> |
| Frijol | 100 | 100 <i>Mercado internacional</i> |
| Maíz | 90 | 85 <i>Mercado regional</i> 15 <i>Mercado estatal</i> |
| Chile | 90 | 100 <i>Mercado estatal</i> |
| Sandía | 100 | 70 <i>Mercado internacional</i> 30 <i>Mercado estatal</i> |
| Papa | 90 | 100 <i>Mercado nacional</i> |
| Tomate rojo | 90 | 100 <i>Mercado estatal</i> |
| Calabacita | 80 | 50 <i>Mercado estatal</i> 50 <i>Mercado internacional</i> |
| Repollo | 80 | 100 <i>Mercado estatal</i> |
| Sorgo forrajero | 85 | 100 <i>Mercado estatal</i> |
| Sorgo para grano | 85 | 100 <i>Mercado estatal</i> |
| Trigo forrajero | 85 | 100 <i>Mercado estatal</i> |

Fuente: Información obtenida de la aplicación de entrevistas a los productores.

Tabla 34. Destino de la producción de cultivos perennes del área de estudio

| Cultivo | Porcentaje de la producción destinada fuera del área de estudio | Principales destinos comerciales |
|-----------|---|---|
| Alfalfa | 100 | 50 Mercado local 50 Mercado estatal y nacional |
| Manzana | 95 | 100 Mercado estatal |
| Membrillo | 90 | 100 Mercado estatal |
| Nogal | 100 | 100 Mercado internacional |

Fuente: Información obtenida de la aplicación de entrevistas a los productores.

Tomando como base el volumen de producción presentado en las tablas 31 y 32, así como el consumo de agua por kilogramo de producto, obtenemos que durante el ciclo agrícola 2002–2003 el área de estudio exportó 40.65 Hm³ contenida en productos agrícolas.

Igualmente hay que destacar que 100 por ciento de la superficie sembrada con forrajes, como cebada y trigo forrajeros, son regados con aguas residuales domésticas, por lo que es importante determinar este volumen para desagregarlo del volumen total de agua proveniente directamente de la presa, pozos y del propio río Magdalena.

De la superficie sembrada con forrajes durante el ciclo agrícola 2002-2003, 5.33 por ciento es regada con agua residual proveniente de las casas-habitación de las localidades de Magdalena de Kino y de Imuris principalmente. Los volúmenes totales de agua aplicados por tipo de cultivo se muestran en la tabla 35.

Tabla 35. Volúmenes totales de agua aplicados y exportados por tipo de cultivo

| Tipos de cultivo | Volumen total aplicado (Hm ³)* | Volumen total exportado (Hm ³) | Volumen total de agua residual aplicada (Hm ³) | Volumen total de agua residual exportada (Hm ³) |
|------------------|--|--|--|---|
| Cíclicos | 28.39 | 24.48 | 0.55 | 0.28 |
| Perennes | 30.30 | 16.17 | 2.39 | 2.39 |
| Total | 58.69 | 40.65 | 2.94 | 2.67 |

Fuente: Información obtenida de la aplicación de entrevistas a los productores.

* Incluye: agua dulce y aguas residuales.

Del volumen total exportado por el área de estudio, en forma de productos agrícolas, es decir 40.65 Hm³, 6.6 por ciento corresponde a agua residual doméstica.

VI

CONCLUSIONES

*Buscando las soluciones a nuestros problemas medioambientales
debemos aceptar el fracaso –con la esperanza,
de que cada fracaso pueda llevar a un esfuerzo fresco–,
un nuevo principio que no puede llegar demasiado tarde.*

Saki (H. H. Munro) (1971).

Los resultados generales que se obtuvieron en esta investigación muestran que casi 50 por ciento del comercio mundial de agua virtual proviene de los productos vegetales, incluyendo cereales, frutas, azúcares, aceites, entre otros. A los productos de origen animal y a los productos pesqueros o marinos corresponde 40 por ciento. Es importante recalcar que sólo la carne de res representa 29 por ciento del volumen de agua virtual comercializada a nivel mundial (Zimmer y Renault 2003).

Según Chapagain et al. (2005), a nivel global, México tuvo ahorros totales de 83.05 Mm³ al año durante el periodo 1997-2001. Estos ahorros de agua se deben a la importación de productos derivados de los productos cárnicos y agrícolas, procedentes de Estados Unidos y Canadá.

Los productos agrícolas importados que propician ahorro de agua para México son las oleaginosas, como el cártamo y la soya, así como los cereales, principalmente el arroz y el trigo.

La población total del área de estudio es de 47 961 habitantes según el censo del año 2000, de los que 66 por ciento se dedica a la actividad agrícola y ganadera.

La superficie total sembrada es de 10 383 ha, que corresponde a dos por ciento del total de la superficie sembrada en Sonora.

El análisis de la información estadística oficial indica que en el área de estudio se siembran 34 cultivos diferentes, agrupados en hortalizas y forrajes. De éstos, 23 corresponden a cultivos anuales o cíclicos y 11 son perennes.

El valor total de la producción agrícola es de 15 838 033 pesos para 2002 y 2003, este valor representa 2.28 por ciento del valor de la producción agrícola estatal; 68.51 por ciento del valor total corresponde a cultivos anuales, principalmente sorgo forrajero y hortalizas variadas, como la cebolla, el tomate y la lechuga.

Los cultivos más importantes son los forrajes, ya sean cíclicos, como el sorgo, la cebada y el trigo forrajero, o perennes como la alfalfa. La superficie total sembrada con forrajes para el ciclo 2002-2003 fue de 7 114 ha que representan 68.51 por ciento de la superficie total sembrada.

El volumen anual concesionado por la Comisión Nacional del Agua para el acuífero Magdalena, es de 43.38 Hm³, a partir de abril de 2002. El principal usuario es el sector agrícola y el público urbano.

En el área de estudio, 91.83 por ciento de la superficie es de riego mecanizado y 8.16 por ciento es de temporal. Para el riego de los cultivos agrícolas se utilizan cuatro fuentes de abastecimiento de agua: de pozo, de la presa El Comaquito, toma directa o desviación de agua del río Magdalena, y el uso de aguas residuales domésticas.

El total de la superficie sembrada con cebada y trigo forrajero es regada con aguas residuales urbanas, lo que corresponde a 3.65 por ciento de la superficie total.

El área de estudio exportó 40.65 Mm³ de agua “contenida” en productos agrícolas, durante el ciclo agrícola 2002-2003, sin embargo, 6.6 por ciento de este volumen es agua residual doméstica reutilizada para la siembra y el riego de forrajes.

Se aplicó un volumen total de 55.75 Hm³ de agua fresca para la siembra de productos agrícolas. De este volumen, 73 por ciento se exportó fuera del área de estudio.

Del total del volumen anual de agua concesionada por la Comisión Nacional del Agua para el acuífero Magdalena, 93.70 por ciento sale del área en forma de productos agrícolas.

De la estimación del contenido de agua virtual de los productos agrícolas derivados de los cultivos cíclicos se encontró que las hortalizas son los cultivos menos intensivos en uso de agua, en comparación con el frijol, el cártamo y los forrajes. El frijol es el cultivo cíclico que más agua utilizó para su producción. Para el año agrícola 2002-2003 para producir un kilogramo se requirieron 5 900 litros de agua fresca. Para la producción de un kilogramo de maíz se utilizaron 1 430 litros de agua; este valor es menor al que se obtuvo en Japón para el mismo periodo que fue de 1 900 litros de agua por kilogramo.

El tomate rojo *saladette* es la hortaliza que más agua utilizó para la producción de un kilogramo de producto fresco con 2 130 litros de agua. El cultivo de la papa fue el más rentable en cuanto a volumen de agua requerido, pues utilizó 200 litros de agua por kilogramo de producto. Este volumen no es muy diferente al que se utiliza en otras regiones, como Sudamérica y el norte de África, que para su cultivo requiere alrededor de 160 l/kg.

En el caso de los forrajes, la cebada forrajera es la que mayor volumen de agua requiere para producir un kilogramo de producto, pues para los ciclos agrícolas 2002 y 2003 requirió 5 050 litros de agua; el sorgo para grano utilizó 1 300. Los forrajes menos intensivos en la utilización de agua fueron el sorgo y el trigo, que utilizaron alrededor de 600 litros para producir un kilogramo de forraje fresco.

A lo largo de esta investigación se realizó una estimación sobre los volúmenes de agua utilizados por los cultivos agrícolas y el punto final de consumo. El mercado estatal, nacional y el de Estados Unidos, son los principales consumidores de los productos agrícolas de la región y por lo tanto del recurso agua “contenida” en ellos, en este caso 40.65 Mm³, de agua fresca durante el ciclo agrícola 2002–2003.

El estudio también revela que para sustentar las actividades agrícolas de la región se ha recurrido al uso de grandes volúmenes de agua residual doméstica para el riego de las superficies de forrajes, debido a su costo, que es prácticamente nulo, y a su constante disponibilidad. El agua residual utilizada no fue tratada antes de su uso, y si bien no fue empleada para el riego de productos agrícolas de consumo directo por los seres humanos, bajo circunstancias no controlables puede desencadenar problemas de salud pública.

Se observa que la gestión del recursos hídrico está en manos del sector productivo agrícola, que ve el agua como un insumo y medio para incrementar los beneficios económicos a cualquier costo. Debido a que el agua comercializada de manera virtual en los productos agrícolas ya tiene asignado un precio fijo para la extracción o utilización de la misma, mediante la concesión de derechos que posee el agricultor, éste no evalúa la conveniencia de usarlo de manera más eficiente, utilizándola para producir otros cultivos más rentables (en cuanto al volumen de agua requerido por kilogramo de producto fresco) o destinarla para la siembra de productos demandados para el consumo en la misma zona de estudio y no exportarlos, tomando sólo en consideración el precio de venta final del producto en el mercado.

Otra conclusión es que el proceso de producción de cultivos agrícolas es poco sustentable, debido a la mala administración del recurso agua, la cual está destinada a cultivos poco aptos para la región de estudio. Es el caso del frijol y el cártamo y la superficie de forrajes sembrada y regada con agua residual urbana.

Esta investigación también concluye que la cuantificación y estimación del volumen de agua virtual de las subcuencas 8Be y 8Bf del acuífero del río Magdalena es un

instrumento que contribuye a fundamentar decisiones relacionadas con la eficiencia en la asignación del recurso agua para la siembra de “ciertos” cultivos que propicien la sustentabilidad del recurso en el área de estudio.

El reto es que la información y los datos obtenidos con la aplicación de un modelo de estimación del flujo de agua virtual se utilicen como herramienta y se *integren* en la implementación de los mecanismos que permitan a los usuarios y autoridades lograr acuerdos, sobre el uso del agua disponible. En particular, en “cuencas”, “áreas” o “regiones” donde es urgente establecer políticas referentes al aprovechamiento racional y la calidad del recurso, que respondan a los problemas de carácter local y regional y no sólo a satisfacer la demanda de un producto primario en un país o región del exterior.



BIBLIOGRAFÍA

- Allan, J. A. 1997. *Virtual Water: A Long Term Solution for Water Short Middle Eastern Economies?* Occasional Paper 3, School of Oriental and African Studies (SOAS). Londres: University of London.
- Allan, J. A. 2003. *Achieving a Non-hydrocentric Understanding of Water Allocation and Management*. Virtual Water Voices. Folleto Informativo.
- Becerra, Juan. 2004. *Guía para la asistencia técnica en la producción de forrajes de riego en el estado de Querétaro*. México: INIFAP.
- Bustamante, Francisco. 2005. *Álbum Fotográfico. Magdalena de Kino, Sonora*. Tomo 4. Hermosillo: Sonora Mágica Ediciones.
- Calderón, Esteban. 1985. *Fruticultura general*. México: Editorial Limusa.
- Casas, J. 1999. *Economy and agriculture of the WANA region: some basic data*. Aleppo <http://www.icarda.cgiar.org/NARS/TOC.html>.
- Chapagain, A. K., A.Y. Hoekstra y H. Savenije. 2000. *Water Value Flows. A Case Study on the Zambezi Basin*. Value of Water Research Report Series No. 2. IHE-UNESCO. Netherlands.
- Chapagain, A. K., A.Y. Hoekstra y H. Savenije. 2005. *Saving Water through Global Trade*. Value of Water Research Report Series No. 17. IHE-UNESCO. Netherlands.
- Chapagain, A. K., A.Y. Hoekstra, H. Savenije y R. Gautam. 2006. The Water Footprint of Cotton Consumption: An Assessment of the Impact of Worldwide Consumption of Cotton Products on the Water Resources in the Cotton Producing Countries. *Analysis. Ecological Economics* 02-428: 18.
- Centro de Investigación y Desarrollo de los Recursos Naturales de Sonora (CIDESON). 1995. *Plan de ordenamiento ecológico territorial de Sonora*. Informe Final.
- Comisión de Ecología y Desarrollo Sustentable del Estado de Sonora (CEDES). 2005. *Estudio integral de la cuenca del río Magdalena. Caracterización y alternativas de solución*. Reporte preliminar.

- Comisión Nacional del Agua. 2005. *Síntesis de las estadísticas del agua en México*. México: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Comisión Nacional del Agua. 2002. *Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Magdalena*. Estado de Sonora. Comisión Nacional del Agua. Subdirección General Técnica. Gerencia de Aguas Subterráneas. Subgerencia de Evaluación y Modelación Hidrogeológica. México.
- Diario Oficial de la Federación*. 1992. *Reformas a la Ley de Aguas Nacionales*. El Congreso de los Estados Unidos Mexicanos. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. 29 de abril del 2004. 102 pp.
- FAO, 1999. *Software CROPWAT*. Versión 5.7. Julio. Dirección de Fomento de Tierras y Aguas. En la página de internet: <http://www.fao.org/landandwater/aglw/cropwat.stm>
- Fundación PRODUCE. 2004. *Nogal Pecanero*. Reconversión productiva con visión a largo plazo. Agenda de agronegocios. Hermosillo: Fundación PRODUCE Sonora, A. C. INIFAP, FIRA y PIEAES, A. C.
- Hong, Y. y A. J. B. Zehnder. 2002. Water Scarcity and Food Import: A Case Study for Southern Mediterranean Countries. *World Development* 30 (8): 1413–1430.
- Hoekstra, A.Y. y Hung, P. Q. 2002. *Virtual water trade: a quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade*. Value of water Research Report Series No. 11. IHE-UNESCO. Netherlands.
- Hoekstra, 2003. Report Series No. 12. IHE-UNESCO. Netherlands.
- Hoekstra, A.Y. y Hung, P.Q. 2004. Globalisation of water resources: international virtual water flows in relation to crop trade. *Global Environmental Change* 15(2005): 45-56.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 2001. *Guía técnica para los cultivos del área de influencia del campo experimental del Valle del Yaqui*. Ciudad Obregón: SAGARPA. Fundación PRODUCE Sonora, A. C. y PIEAES, A. C.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 2001. *XII Censo General de Población y Vivienda*. Resultados Definitivos. Aguascalientes.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 2004. *Anuario Estadístico de Sonora*. Edición 3. Aguascalientes.

- Juárez, G. R. A. 1998. *Variedades de olivo*. Caborca: INIFAP.
- Oki, T., M. Sato, A. Kawamura, M. Miyake, S. Kanae, y K. Musiake. 2003. *Virtual water trade to Japan and in the world*.
- Project WET. 2005. *Descubre una cuenca: El río Colorado*. Guía para educadores. Estados Unidos: WET Internacional Foundation.
- Ramos, Sergio. 2004. *Mercados de agua*. México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Comisión Nacional del Agua.
- Renault, D. 2003. *Value of Virtual for Food. Principles and Features. Proceedings Expert Meeting on Virtual Water*. Delft. December, 2002. Netherlands.
- Rodríguez, J.C., B. Duchemin, R. Hadria, C. Watts, J. Garatuza, A. Chehbouni, S. Cava, G. Boulet, E. Palacios y A. Lahrounf. 2004. Wheat Yield Estimation Using Remote Sensing and STICS Model in the Semiarid Yaqui Valley, Mexico *Agronomie* 24 (2004): 295–304.
- Rosegrant, M., y Perez, M. (1997). Water resources development in Africa: a review and synthesis of issues, potentials, and strategies for the future. Discussion Paper No. 28. *International Food Policy*. Research Institute, Washington D.C.
- Ruiz de Velasco, Amalio. 2003. *El agua en la Agricultura*. México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Turton, A. R. 2000. *Precipitation, People, Pipelines and Power: Towards a “Virtual Water” Based Political Ecology Discourse*. MEWREW Occasional paper. Water issues study group, School of Oriental and African Studies (SOAS) University of London.
- Van Hofwegen, P. 2003. Conscious Choices. *Virtual Water Voices*. Folleto informativo. Julio.
- Wichelns, D. 2001. The Role of Virtual Water in Efforts to Achieve Food Security and Other National Goals, With an Example from Egypt. *Agricultural Water Management* 49 (2001): 131–151.
- Yanes, G., M. Reyes y G. L. Soto. 2003. La cuenca del río Magdalena: caracterización, diagnóstico y alternativas de solución. *Memoria del Foro Situación ambiental del río Magdalena*. Red Fronteriza de Salud y Ambiente, A. C. Instituto Nacional de Desarrollo Social. Santa Ana.

Yang, H. y A. J. B. Zehnder. 2002. Water Scarcity and Food Import: A Case Study for Southern Mediterranean Countries. *World Development* 30 (8): 1413–1430.

Zimmer, D. y D. Renault. 2003. *Virtual Water in Food Production and Global Trade. Review of Methodological Issues an Preliminary Result*. World Water Council. FAO-AGLW.

Zimmer, D. y Renault, D. 2004. *Virtual water in food production and global trade. Review of methodological issues and final results*. Ecological Economics. Article in Press.



EL COLEGIO
DE SONORA

ANEXO A. GUÍA DE LA ENTREVISTA

Dirigida a agricultores del DDR 140 - Magdalena

1.- ¿Cuáles son los cultivos que Usted siembra?

.....
.....

2.- ¿Cuál es el ciclo o el periodo de siembra por cultivo?

.....
.....

3.- ¿Cuál es el destino de la producción agrícola por cultivo?

.....
.....

4. ¿Cuál es la fuente de abastecimiento de agua para el riego de sus cultivos?

.....
.....

5.- ¿Utiliza el riego de presiembra en sus cultivos?

.....
.....

6.- ¿Cuántos riegos adicionales aplica por cultivo? ¿Qué lámina (volumen de agua) aplica por cultivo?

.....
.....

7.- ¿Cuál es el método de siembra de sus cultivos?

.....
.....

8.- ¿Cuáles son los rendimientos obtenidos por cultivo en promedio durante los últimos años?

.....
.....

9.- ¿Qué tipo de fertilizante utiliza por cultivo?

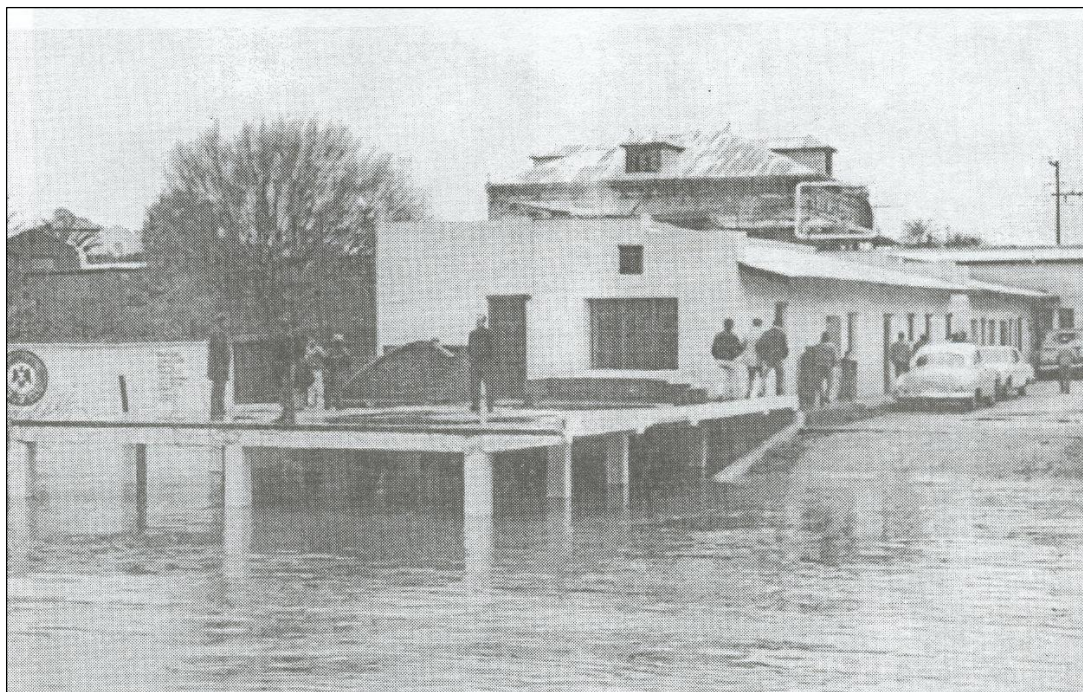
.....
.....

ANEXO B. DATOS CLIMATOLÓGICOS

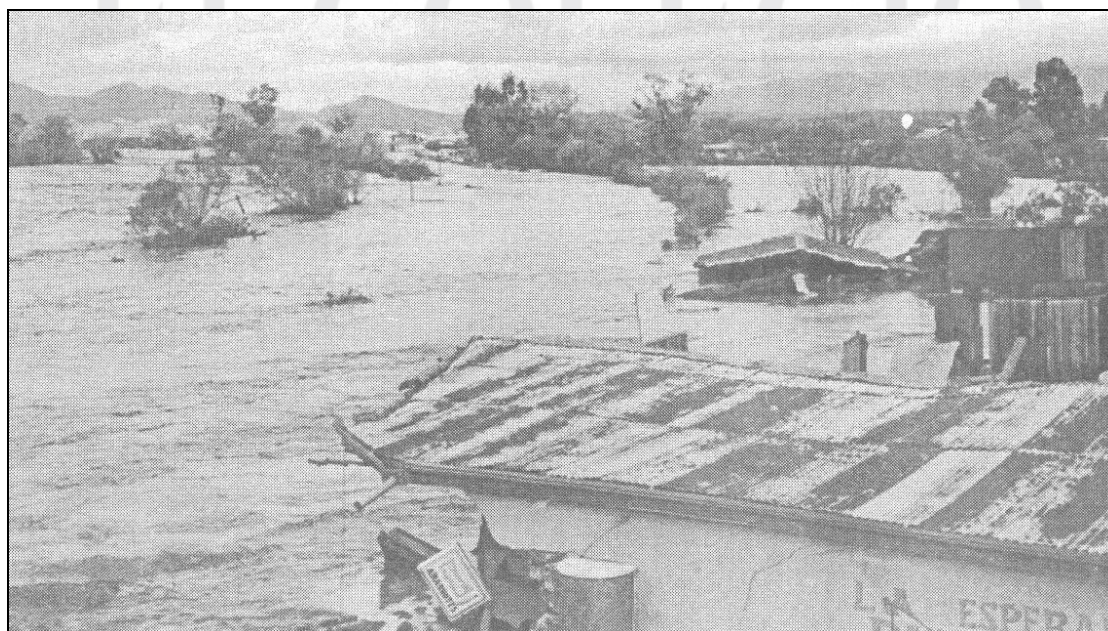


EL COLEGIO
DE SONORA

ANEXO C. FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Creciente del río Magdalena en 1967 que subió casi hasta la parte sólida del Hotel El Cuervo. Atrás se aprecia el Hotel México, ya desaparecido.



Fotografía 2. Inundación de 1967, en la localidad de Magdalena de Kino. Hacia el norte se percibe el edificio de la Estación del Ferrocarril inundado por la creciente.



Fotografía 3. Vista del vertedero de la presa “El Yeso”, localizada en la comunidad de Magdalena de Kino, Sonora.



Fotografía 4. Cauce del río Magdalena entre las comunidades de Terrenate y Magdalena de Kino, Sonora.



Fotografía 5. Cultivo de hortalizas en los márgenes del río Magdalena adyacente al corredor ripario.



Fotografía 6. Perturbación de arroyos tributarios del río Magdalena con residuos sólidos.