

II Aspectos Generales

II.1 La situación del agua en México

México tiene actualmente una baja disponibilidad de agua per cápita. La desigual distribución regional y estacional del agua dulce dificulta su aprovechamiento sostenible ya que la disponibilidad natural de agua superficial se concentra en el sur del país, pero la población, la actividad económica y las mayores tasas de crecimiento ocurren en el centro y norte del territorio nacional.

La precipitación media anual en México es de 772 mm (serie 1941-1998), que significa un volumen de agua en todo el territorio de 1,512 km³. De este volumen total, cerca del 73% se pierde en evapotranspiración y evaporación directa de las masas de agua, por lo que el potencial de agua naturalmente disponible del país para el año 2005 fue de 472.2 km³/año. En el año 2000, con 97 millones de habitantes, esto significó una disponibilidad por habitante de 4,841 m³/año. En 2005, ésta se estimó en 4,573 m³/año. Esta situación resulta preocupante porque significa que México es un país con disponibilidad natural de agua por habitante baja y decreciente. Si se sigue por el mismo camino, en el año 2030 se dispondrá de 3,705m³/año por habitante.

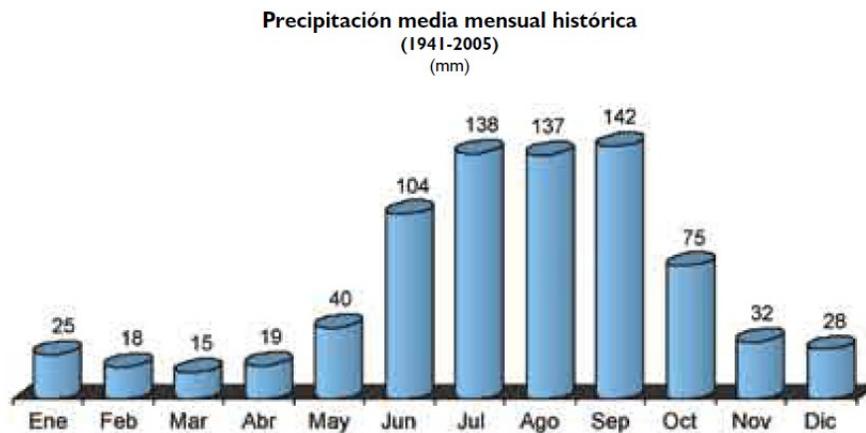
Figura 1. Países con mayor disponibilidad media per cápita, 2007

No.	País	Precipitación media (milímetros)	Disponibilidad (miles de millones de m ³)	Disponibilidad natural media per cápita (m ³ /hab/año)
1	Groenlandia	350	603	10 595 305
2	Guayana Francesa	2 895	134	680 203
3	Islandia	1 940	170	574 588
4	Guyana	2 387	241	320 667
5	Congo	1 646	910	281 618
6	Surinam	2 331	122	250 501
7	Papúa Nueva Guinea	3 142	801	146 651
8	Gabón	1 831	164	126 154
9	Canadá	537	2 902	93 549
10	Islas Salomón	3 028	45	90 298
11	Noruega	1 414	382	81 967
12	Liberia	2 391	232	80 573
13	Nueva Zelanda	1 732	327	78 146
14	Perú	1 738	1 913	69 446
15	Bolivia	1 146	623	67 472
16	Paraguay	1 130	336	65 076
17	Belice	1 705	19	61 566
18	Chile	1 522	922	57 291
19	Laos	1 834	334	56 836
20	Colombia	2 612	2 132	46 302
25	Brasil	1 782	8 233	44 081
62	Estados Unidos de América	715	3 051	10 293
89	México ^a	760	458	4 312
101	Francia	867	204	3 320
107	Turquía	593	214	2 891

NOTA: 1 km³ = 1 000 hm³ = mil millones de m³.
FUENTE: FAO, Information System on Water and Agriculture, Aquastat. www.fao.org/AG/AGL/aglw/aquastat/main/index.stm. Junio de 2008.
CONAGUA. Subdirección General Técnica. Año 2008.

La lluvia a lo largo del año se concentra principalmente en los meses de junio a octubre. Con cierta frecuencia se presentan períodos de sequías sobre todo en el norte del país. En los últimos 50 años se han registrado tres períodos críticos: el más severo de 1948 a 1954, el segundo 1960 a 1964 y el más reciente, entre 1993 y 1996.

Figura 2. Precipitación media mensual histórica en México (1941-2005)



Fuente: Subdirección General Técnica. CONAGUA.

Los recursos hídricos, además de escasos y estacionales, se encuentran repartidos de una forma desigual a lo largo del territorio mexicano, dando lugar a variaciones significativas de las disponibilidades de agua por región. El 50% del escurrimiento superficial se genera en el sureste, en tan sólo el 20% del territorio mientras que en el norte, que abarca el 30% de la superficie, se genera sólo el 4% de dicho escurrimiento. Por otra parte, en México, Los asentamientos humanos y el desarrollo de las actividades agrícolas e industriales se ubican donde la disponibilidad de agua es escasa. Así, en la porción norte y el altiplano del país, donde sólo se registra el 19% del escurrimiento medio anual y habitan dos terceras partes de la población, se dispone del 40% de tierras con potencial agrícola y se realiza el 70% de la actividad industrial.

Figura 3 - Disponibilidad media de agua per cápita (2005)

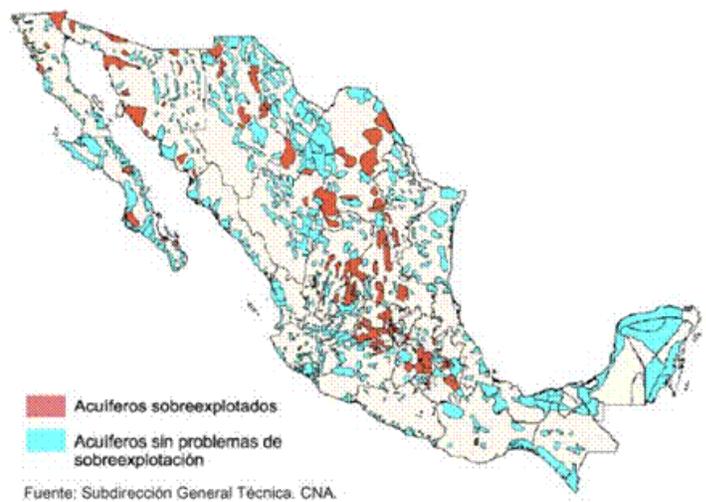


Fuente: Subdirección General de Programación. CONAGUA.

Por tanto, el 31% del territorio mexicano es árido, el 36% semiárido y únicamente 33% de la superficie nacional pertenece al trópico húmedo. La mayor parte de los recursos hídricos del país 68%, se localiza en ríos, le siguen presas con 17.8%, acuíferos, con 11.7%; finalmente lagos y lagunas, con 2.3 %. En México se reconocen 37 ríos principales y cerca de 70 lagos y lagunas que en conjunto cubren 370,891 hectáreas. En cuanto a las aguas subterráneas del país, éstas se han clasificado en 653 acuíferos.

En las zonas áridas y semiáridas gran parte del desarrollo de las actividades humanas se sustenta en la extracción de agua subterránea mediante sistemas de bombeo accionados con energía eléctrica. A mediados de los años 40 se inició la explotación formal de los acuíferos y dos décadas más tarde, la región empezó a sentir los efectos del abuso en la perforación de pozos que, por el abatimiento progresivo de los niveles de extracción, requirieron de la instalación de sistemas de bombeo cada vez más potentes. A la fecha, los 90 acuíferos que presentan problemas de sobreexplotación, sustentan actividades económicas fundamentales y de bienestar en gran parte de los estados de Baja California Sur, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León, Zacatecas, Aguascalientes, Jalisco, San Luis Potosí, Guanajuato, Michoacán, Querétaro y Puebla, entre otros.

Figura 4 - Cuerpos de agua subterránea con sobreexplotación (2000)



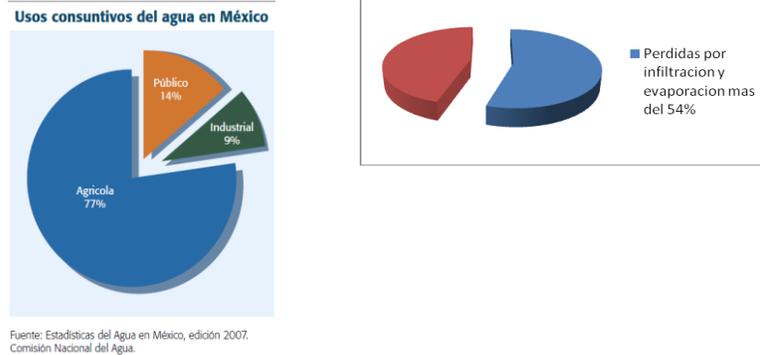
Aún cuando se han iniciado concertaciones entre la CONAGUA y los usuarios, para establecer el control de las extracciones de agua de estos acuíferos, lo cierto es que no se avanza lo necesario y prevalece la tendencia de bombear mayores volúmenes de los que anualmente se recargan. Además, la sobreexplotación ha inducido a problemas de intrusión marina en 17 acuíferos ubicados en los estados de Baja California, Baja California Sur, Colima, Sonora y Veracruz.

De la extracción total de agua en el país, 77% se destina a las actividades agropecuarias, 14% al abastecimiento público, y 9% a la industria autoabastecida, agroindustria, servicios, comercio y termoeléctricas. El 48.5% del agua destinada al sector agropecuario es utilizado en distritos de riego; 69%

del agua extraída de los acuíferos y fuentes superficiales se usa en el riego agrícola, aunque este último padece de grandes carencias tecnológicas y de infraestructura, por lo que su eficiencia en el uso del agua es de menos del 46 %.

Más de la mitad del agua que se extrae para uso agrícola no se usa en los cultivos y se "pierde" por infiltración al subsuelo y evaporación a la atmósfera. Una parte de ésta, con cierto grado de contaminación especialmente por el uso de fertilizantes químicos, regresa al ciclo hidrológico: a los acuíferos, a través de la filtración, y a los cuerpos superficiales por medio del escurrimiento y la evapotranspiración.

Figura 5: La importancia del riego y la eficiencia en la aplicación (2005)

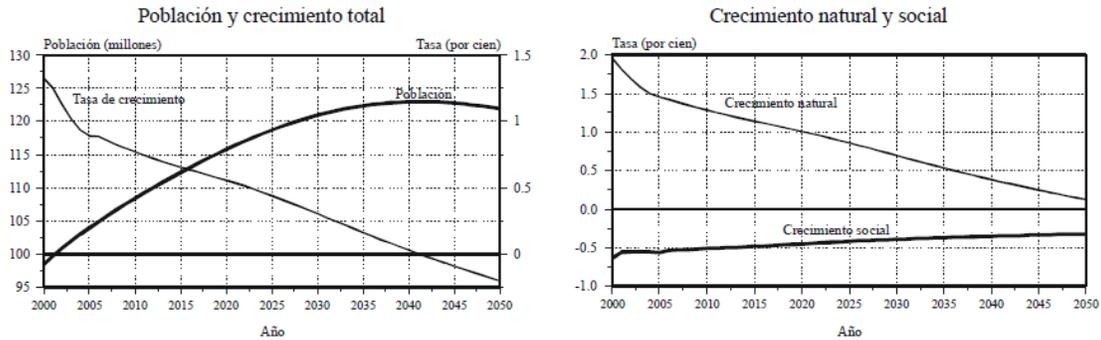


En cuanto al origen del agua de riego, tradicionalmente los grandes sistemas de riego han estado constituidos por embalses o derivaciones de ríos y canales de gravedad, empleándose como técnica principal el riego por superficie. Así se desarrollaron los primeros sistemas de riego, que constituyen hoy los Distritos de Riego del Noroeste y que presentan pérdidas considerables en la red (eficiencia global entre el 25% y 35, %). Iniciada la utilización de las aguas subterráneas, solamente cuando se establecieron zonas de veda de asignaciones y de volúmenes de extracción (especialmente en la zona central del país: Guanajuato, Querétaro, Distrito Federal, etc.) debido a la sobreexplotación de acuíferos, se empezaron a modificar los sistemas de riego y a mejorar sus eficiencias.

Las zonas con mayor tradición en el riego y que han comenzado a sentir los efectos de la escasez del agua, son las que han comenzado a mejorar su eficiencia de riego (zonas centro, noroeste y norte), mientras que en aquellas donde el agua es más abundante (zona sur- sureste), esta mejora se ha producido de una forma más lenta.

Uno de los aspectos más importantes que condicionará el futuro de México es el incremento de la población. De acuerdo con el Censo 2005 del INEGI y las estimaciones de CONAPO, entre 2005 y 2030 la población del país se incrementará en 24.2 millones de personas. Aproximadamente el 79% se asentará en localidades urbanas y prácticamente el 86% se ubicará en la zona centro, norte, noroeste y noreste del país. El reto será incrementar la producción de alimento a fin de abatir el rezago alimentario existente y la demanda adicional debido al incremento poblacional.

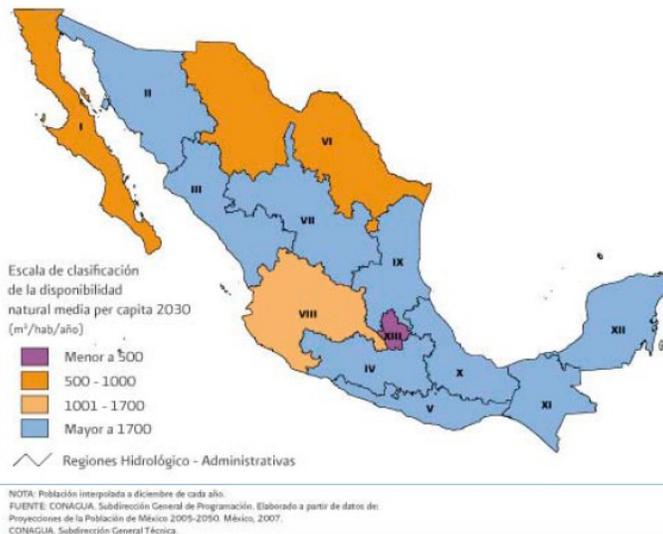
Figura 6: Población total y tasas de crecimiento, 2000-2050



Fuente: Estimaciones del CONAPO.

La población de México en el 2025 se estima será de 130 millones de habitantes, distribuidos en forma similar a la que se presenta actualmente. Por tal motivo, resulta alarmante que en algunas de las regiones del país la disponibilidad natural media de agua alcanzará niveles cercanos e incluso inferiores a los 1,000 m³/hab./año, es decir una condición clasificada como extremadamente baja.

Figura 7 Disponibilidad media de agua per cápita (2030)



En esta perspectiva, es evidente la necesidad urgente de racionalizar el uso del agua en el país. En virtud de que el sector agropecuario es el mayor consumidor de agua, es en este sector donde se presentan las mayores áreas de oportunidad para el ahorro de agua. De acuerdo con el IMTA, las acciones para mejorar la eficiencia en el riego agrícola tendrán mayores efectos en el consumo global que el conjunto de todas las demás acciones en otros sectores.

Las agencias gubernamentales han estudiado dos posibles escenarios del agua para el año 2025: el tendencial y el sustentable. En el escenario tendencial se considera que no hay cambios sustanciales en los patrones de consumo ni en los niveles de inversión actuales: la demanda de agua se incrementa considerablemente y los rezagos en materia de agua potable, alcantarillado y saneamiento se mantienen en niveles similares a los actuales. En el escenario sustentable prácticamente se duplica el nivel de inversiones actual: se logra contener el crecimiento de la demanda de agua, revertiendo la sobreexplotación de los acuíferos y reduciendo los rezagos en materia de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Los resultados se presentan en la tabla siguiente:

Figura 8: Escenarios tendencia y sustentable (2025)

Parámetro	Actual	Tendencial	Sustentable
Hectáreas modernizadas	0.8 millones	1.1 millones	5.8 millones
Nuevas hectáreas con riego	—	490 mil	1 millón
Pérdidas en riego	54%	51%	37%
Pérdidas en uso público urbano	44%	44%	24%
Cobertura de agua potable	88%	88%	97%
Cobertura de alcantarillado	76%	76%	97%
Porcentaje de aguas residuales tratadas	23%	60%	90%
Volumen de agua utilizada (miles de millones de metros cúbicos)	72* / 79	85* / 91	75* / 80
Inversión anual del sector (miles de millones de pesos)	14	16	30

* Con restricciones en la demanda de riego por sequía

Es urgente mejorar el manejo del agua para el riego agrícola. De acuerdo con las recomendaciones de organismos nacionales e internacionales especializados como el ICID, y la CONAGUA, son tres las principales líneas de acción:

1. Incrementar la eficiencia en la aplicación del agua de riego a través de un adecuado manejo parcelario y la tecnificación de los sistemas de riego. Actualmente existen sistemas de riego con eficiencias de aplicación superiores al 90%. En el capítulo II.3 de este documento se revisarán las características principales de los sistemas de riego tecnificado más usuales. Una de las opciones con mayor viabilidad, sobre todo en la zona norte del país, que como hemos visto es aquella con mayor presión en sus recursos hídricos, es el empleo de sistemas de riego por pivote central. En el capítulo III se describe su funcionamiento de acuerdo con el tipo de equipo, los principales fabricantes y los componentes del sistema.
2. Sustituir el uso de, fuentes de abastecimiento de agua por el uso de agua tratada para el riego agrícola. En México, desde hace más de cien años, la utilización del agua residual cruda ha sido una práctica común especialmente en Tula en el Estado de Hidalgo, en donde hasta la fecha, el agua residual generada por la zona metropolitana de la Ciudad de México, es utilizada para el riego agrícola. Sin embargo existen serios riesgos a la salud derivados de estas prácticas, sobre todo en cultivos de hortalizas por lo que debe trabajarse en el reúso pero con agua residual tratada de acuerdo con la normatividad vigente NOM-003-ECOL-1997. En el año 2005, se estima que en

- los sistemas de alcantarillado se colectaron 205 m³/s de aguas residuales municipales y de ellas solo 71.8 m³/s (35%) recibieron tratamiento. De las aguas tratadas, 25.3 m³/s (35.2%) se re usaron en forma directa, 1.2 m³/s en forma indirecta y el resto se dispuso en cuerpos receptores. Del caudal no tratado que asciende a 133.2 m³/s (65%), 118.5 m³/s (89%) se destinaron a reúso indirecto, 9.4 m³/s a reúso directo y 5.3 m³/s fueron descargados a cuerpos receptores.
3. Modernizar la infraestructura existente para evitar pérdidas en la conducción y distribución. Este punto incluye la construcción y mantenimiento de presas de almacenamiento y derivación: la reconstrucción y revestimiento de canales a cielo abierto o su sustitución por conductos cerrados que eviten pérdidas por evaporación e infiltración; entre otras acciones.

Figura 9: Reuso de agua residual municipal (2005)



En virtud de que el riego en México es responsable del 69% del agua extraída en el país, de la cual se desperdicia más del 54%, es importante conocer el desarrollo del riego en México y su situación actual.

II.2 Desarrollo de la Irrigación en México

México es un país con gran tradición en el diseño y construcción de obras hidroagrícolas, la cual se remonta a la época prehispánica en la que la relación de las principales culturas mesoamericanas con el agua no estuvo solamente asociada a sus actividades cotidianas sino que también era de índole religiosa.

Era práctica común la irrigación permanente con empleo de fuentes perennes: para su aprovechamiento se construyeron presas, canales de tierra y de piedra con estuco, acueductos sobre taludes y redes de acequias. Se utilizaban también sistemas de riego temporales, en cuyo caso se hacían presas de tierra, pasto, troncos, varas y piedras, y canales de tierra a fin de conducir las avenidas en tiempo de lluvias. Otra forma de riego eran las chinampas, que eran parcelas artificiales de suelo construidas sobre el fondo de lagos poco profundos, que recibían la humedad por infiltración. Los mayas protegían sus tierras de la erosión construyendo terraplenes agrícolas y erigiendo paredes de piedra para sostener la tierra. También hacían obras de desagüe y obras para desviar las corrientes de los ríos.

Poco antes de la conquista, el lago de México estaba dividido en varios compartimientos, por diques, calzadas y albarradas. Sus funciones eran el control del flujo de las aguas de los lagos y ríos para evitar inundaciones, y la desalación de todo el sistema.

Figura 10: Canal de Netzhualeoyotl



A las obras hidráulicas de la Conquista, para asegurar el abasto a la Ciudad de México, siguieron las del Virreinato que permitieron el establecimiento de ciudades mineras, emporios agrícolas y puertos en ambos océanos. Entre los siglos XVIII y XIX, la agricultura experimentó un desarrollo importante, impulsado por el crecimiento demográfico, minero, mercantil y manufacturero de la época. En su apoyo se construyeron presas, casi todas de mampostería, en el territorio de los actuales estados de Aguascalientes, Guanajuato, México y Querétaro. En el año 1920 había un millón de hectáreas bajo riego, principalmente del sector privado.

Figura 11: Acueducto El sitio del siglo XVIII Tepetzotln, Estado de México



No obstante, el desarrollo del sector del riego en México ha estado íntimamente ligado a los procesos de la Revolución Mexicana y la Reforma Agraria, por lo que la construcción de grandes proyectos de riego se

inició después de la Revolución Mexicana con la promulgación de la Ley sobre Irrigación con Aguas Federales y la creación de la Comisión Nacional de Irrigación en 1926.

Las primeras acciones de esta dependencia se orientaron a la construcción de infraestructura de riego a lo largo de la frontera norte, con el fin de fortalecer el desarrollo económico y social de esa región e integrarla a la economía nacional. A partir de esta época, la mayor parte de las inversiones en materia de riego fueron encaminadas a desarrollar importantes obras hidráulicas y la creación de los grandes distritos de riego, pero no se desarrolló un marco legal adecuado que favoreciese la inversión del sector privado. Así en 1945, la superficie bajo riego de propiedad privada seguía siendo del orden de un millón de hectáreas, mientras que la total era ya de dos millones de hectáreas.

A partir de la constitución de la Secretaría de Recursos Hidráulicos, que absorbe a la CNI, en 1947 se sentaron las bases institucionales y jurídicas para el desarrollo del sector, y se asignaron nuevas líneas de actividad tales como la realización de estudios, proyectos e instalaciones para la generación hidroeléctrica en las presas. En ese mismo año se establecieron las Comisiones ejecutivas para impulsar el desarrollo hidráulico de las principales cuencas del país. Las 2 primeras fueron la de los ríos Papaloapan y Tepalcatepec que más adelante sería la Comisión del Río Balsas y la Comisión Hidrológica para la cuenca del Valle de México.

La realización de infraestructura de riego entre 1940 y 1960, entre la que destaca la construcción de la presa Álvaro Obregón en el río Yaqui, tuvo fuertes efectos en el desarrollo de la producción agrícola nacional. En 1965 la superficie de riego era de 3.5 millones de hectáreas, correspondiendo el aumento casi en su totalidad al sector público. Durante la siguiente década se construyeron grandes presas entre las que destacan la presa Netzqualcoyotl (Malpaso) sobre el río Grijalva, la presa Adolfo López Mateos (el Humaya) en Sinaloa y se puso en operación la central hidroeléctrica Belisario Domínguez en Chiapas.

Figura 12: Presa Malpaso, sobre el Río Grijalva



En 1976, las Secretarías de Agricultura y Ganadería, y de Recursos Hidráulicos se fusionan en la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Continuó la ejecución de importantes proyectos relacionados con la apertura de nuevas áreas de riego y la rehabilitación de los distritos. Entre las presas más importantes de este periodo destacan Chicoasén en Chiapas. San Gabriel en Durango. José López Portillo y Gustavo Díaz Ordaz en Sinaloa.

En 1980 se llegó a los 5.3 millones de hectáreas, de los que sólo correspondían 1.3 millones al sector privado. En el contexto de la crisis económica internacional y nacional que se vivía en 1982, existían diversos problemas relacionados con el agua: una tendencia cada vez más acentuada a la escasez y a la contaminación del líquido, el efecto devastador de inundaciones y la creciente necesidad del agua en todos los sectores de la sociedad. Al integrar las necesidades de infraestructura hidráulica se concluyó que en los siguientes 20 años México debía ser capaz de duplicar lo realizado entre 1926 y 1982.

En el periodo entre 1983 y 1988 se construyó infraestructura de temporal en 541,000 hectáreas, se incorporaron 448,000 hectáreas al riego y se rehabilitaron 285,000 hectáreas. Se terminaron 75 presas de almacenamiento y se inició la construcción de otras 22 entre ellas Trojes en Michoacán y Colima y Trigomil en Jalisco.

Figura 13: Presa La angostura sobre el río Bavispe en Sonora para uso agrícola y generación de energía eléctrica



En este periodo se dio importancia a la incorporación de nuevas tierras a la agricultura de riego, por lo que el énfasis en la construcción de las áreas de riego se puso en la red de distribución mayor: poco se hizo en las redes ínter parcelarias y muy poco en el desarrollo parcelario.

Con el fin de fomentar el desarrollo agrícola, a partir de la década de los setenta, el sector agropecuario recibió subsidios por diferentes conceptos, entre ellos el relativo al pago de la tarifa de energía eléctrica para el riego por bombeo. Este subsidio propició que los usuarios no tomaran verdadera conciencia del valor de la energía ni del agua, causando distorsiones en su aprovechamiento y poniendo en riesgo el desarrollo sostenido de las regiones agrícolas que utilizan sistemas de riego.

Figura 14: Canales de distribución del agua para uso agrícola en el distrito de riego del río El Fuerte, Sinaloa

Módulo	Unidad	Nombre	Área (ha) Extensión	Red de canales, km			Densidad (km/Km)X100
				Revest.	Tierra	Total	
I-1	Primera	Guasave	19,624	20.5 9.5%	194.2 90.5%	214.7 100.0%	9.55%
I-2	Primera	Río Fuerte	21,798	30.5 14.6%	178.9 85.4%	209.4 100.0%	14.57%
II-1	segunda	Leyva Solano	14,262	0.00 0.0%	91.7 100.0%	91.7 100.0%	0.00%
II-2	segunda	Ruiz Cortinez	18,904	0 0.0%	143.64 100.0%	143.64 100.0%	0.00%
II-3	segunda	Batequis	12,114	0 0.0%	90.5 100.0%	90.5 100.0%	0.00%
III-1	Tercera	Santa Rosa	34,316	0.2 0.1%	301 99.9%	301.2 100.0%	0.07%
III-2	Tercera	Taxtes	22,636	0 0.0%	217.59 100.0%	217.59 100.0%	0.00%
IV-1	Cuarta	Sevelbampo	23,403	13.5 5.7%	223.8 94.3%	237.3 100.0%	5.69%
IV-2	Cuarta	Pascola	18,970	14.6 7.0%	195.26 93.0%	209.86 100.0%	6.96%
V-1	Quinta	Mavari	14,878	15 5.7%	249.94 94.3%	264.94 100.0%	5.66%
V-2	Quinta	Cahuinahua	6,984	35.6 36.7%	61.4 63.3%	97 100.0%	36.70%
VII-1	segunda	Juncos	12,296	26.4 44.9%	32.44 55.1%	58.84 100.0%	44.87%
VII-2	Tercera	Nohme	8,257	0 0.0%	81.38 100.0%	81.38 100.0%	0.00%
Suma			228,441	156.3 7.0%	2,061.8 93.0%	2,218.1 100.0%	7.05%
RED DEL VALLE DEL FUERTE S.R.L.				1.4 0.7%	186.36 99.3%	187.76 100.0%	0.75%
SUMA DE 13 MODULOS + S. DE R.L.				157.7 6.8%	2248.11 93.4%	2405.81 100.0%	6.55%

Fuente: Elaboración propia con datos del Distrito de Riego 075, Río Fuerte, Comisión Nacional del Agua

En 1989 se creó la Comisión Nacional del Agua como la autoridad ejecutiva única del Agua e inició un ambicioso programa de modernización y transferencia de los Distritos de Riego a los usuarios. Para corregir las distorsiones en el precio de la energía eléctrica, el 29 de mayo de 1990, la federación inició una serie de modificaciones en la política tarifaria en los sistemas de riego por bombeo. A partir de esa fecha y hasta octubre de 1993, esta tarifa tuvo varios incrementos que representaron un aumento final del 460 % en

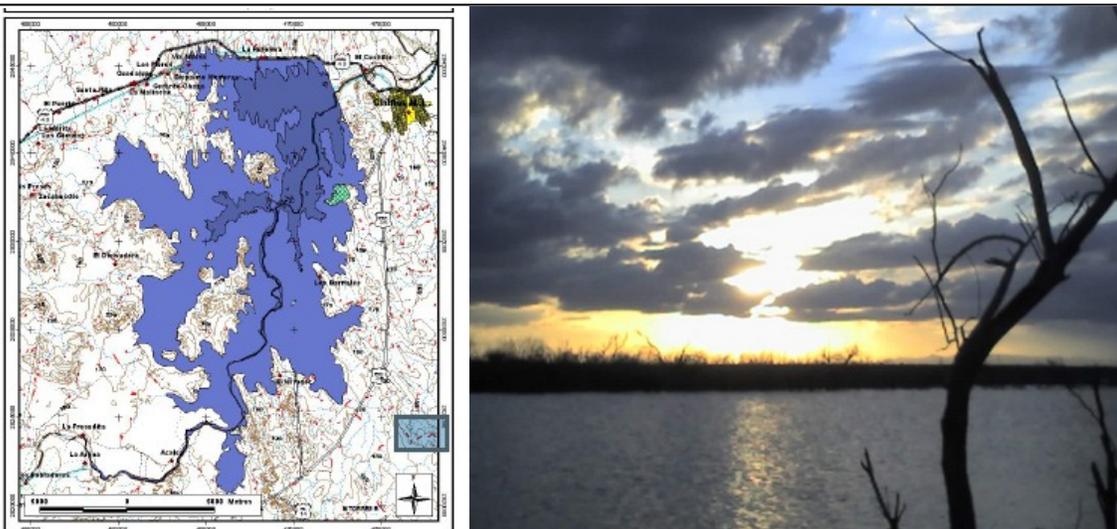
el costo del kilo watt hora. El ajuste de los subsidios en el sector agropecuario elevó considerablemente los costos de producción en el campo, afectando en mayor medida a los agricultores que utilizan sistemas de riego por bombeo. Para atenuar lo más posible el impacto de los incrementos a las tarifas eléctricas en septiembre de 1990 la CNA puso en marcha el Programa de Uso Eficiente del Agua y la Energía Eléctrica.

La superficie total bajo riego en 1997 era cercana a los 6.2 millones de hectáreas, de las cuales 6.0 millones de ha eran aptas para el riego sin necesidad de rehabilitación. La superficie sembrada en el mismo año fue de 5.4 millones de hectáreas, 4.2 millones en cultivos anuales y 1.2 millones en cultivos permanentes. Cabe destacar que más de una cuarta parte de la superficie bajo riego se concentra en dos estados del norte: Sinaloa 15% y Sonora 11 %.

La evolución del riego en los últimos años no se ha concentrado en incrementar la superficie de riego sino en optimizar el uso de la superficie existente. Además, la política actual de riego en México se enfoca de manera diferente según la zona del país. Mientras que en las regiones del sur se puede incrementar su superficie bajo riego y su superficie de drenaje, en las regiones del Norte, Nordeste y Centro, las tendencias actuales se centran en (i) incrementar la eficiencia del riego, (ii) controlar gradualmente las extracciones en los acuíferos sobre explotados: (iii) optimizar la operación y mantenimiento de los sistemas de riego; y (iv) estudiar pequeñas zonas localizadas para eventuales aprovechamientos. Cabe notar que actualmente los programas de riego más exitosos están encaminados tanto para grupos de productores en grandes distritos de riego como para productores privados en unidades de riego

En el 2006, la infraestructura hidráulica del país, estaba constituida por aproximadamente: 4,000 presas de almacenamiento de las cuales 667 están clasificadas como grandes presas de acuerdo con la definición de la ICOLD, 6.4 millones de hectáreas con riego, 2.65 millones de hectáreas con temporal tecnificado.

Figura 15: Presa El Cuchillo- Solidaridad Nuevo León



De las 6.4 millones de hectáreas irrigadas en México, 3.5 hectáreas corresponden a 86 distritos de riego, y 2.9 hectáreas a 39,482 unidades de riego. La eficiencia de conducción en los Distritos de Riego en el periodo de 1990 a 2005, se encuentra en el rango de 61.6% (1990) y 65.5% (1999). A esta cifra hay que aplicarle un factor por pérdidas en la aplicación al cultivo.

En México, los métodos más utilizados para aplicar el agua a las parcelas son los de gravedad y los presurizados. El riego parcelario presurizado ocupa aproximadamente el 10% (640,000 a hectáreas) de la superficie bajo riego del país, mientras que el 90% (5.76 millones de hectáreas) restante se riega por gravedad. Los métodos de riego por canales y compuertas son los más comunes en el riego parcelario por gravedad, en tanto que el goteo, el de micro aspersión y el de aspersión, son los que predominan en el riego parcelario presurizado.

A continuación se describe el funcionamiento de los principales sistemas de riego disponibles actualmente en el país.

II.3 Sistemas de Riego

El riego puede definirse como la acción de suministrar la humedad esencial para el crecimiento de la planta o cultivo. A fin de lograr un uso eficiente y racional del agua, debe responderse concreta y cuantitativamente a las siguientes preguntas:

- ¿Por qué regar?, es decir determinar el beneficio económico que se espera obtener incorporando el riego a un suelo de temporal o al modernizar un sistema de riego existente.
- ¿Cuándo regar? , determinar con qué frecuencia se deben repetir riegos consecutivos de acuerdo con cierto criterio.
- ¿Cuánto regar? Determinar el tiempo de riego y la lámina que debe aplicarse a la superficie agrícola
- ¿Cómo regar?



Determinar la forma de aplicar el agua al suelo de acuerdo con el tipo de sistema de riego elegido.

El uso ineficaz del agua (es decir, el riego excesivo) no solamente desperdicia el recurso que podría servir para otros usos y para ayudar a evitar los impactos ambientales, aguas abajo, sino que también causa el deterioro, mediante saturación, salinización y lixiviación, y reduce la productividad de los cultivos. La optimización del uso del agua, por tanto, debe ser la preocupación principal de todo sistema de riego.

Hay grandes áreas de tierra bajo riego que han dejado de producir debido al deterioro del suelo. Puede ser conveniente y, por supuesto, beneficioso para el medio ambiente, invertir en la restauración de estas tierras, antes que aumentar el área de bajo riego

Existen un buen número de consideraciones a tomarse en cuenta para la selección de un sistema de riego que incluyen: tipo de cultivo, clima, factores económicos, limitaciones topográficas, propiedades del suelo, compatibilidad con otras operaciones agrícolas, entre otras. La selección de un sistema de riego debe hacerse cuidadosamente ya que un riego deficiente puede ocasionar:

- Pérdidas de agua, es decir una baja eficiencia en la aplicación del recurso ya sea por escurrimiento superficial o por percolación profunda bajo la zona ocupada por las raíces de las plantas.
- Lavado de nutrientes minerales, concentración excesiva de sales en la zona radicular y contaminación de fuentes de agua.
- Bajos rendimientos de los cultivos por falta o exceso de agua ya sean en diferentes zonas de la unidad de riego o en diferentes temporadas del ciclo agronómico del cultivo.

En el funcionamiento de los sistemas de riego es importante evaluar las siguientes eficiencias:

- Eficiencia total. $E_t = V_d/V_e$, donde V_d es el volumen que está disponible para los cultivos y V_e es el volumen total entregado a la zona de riego
- Eficiencia de aplicación, $E_a = V_d/V_a$, donde V_d es el volumen de agua que está disponible para los cultivos y V_a es el volumen aplicado a las parcelas que incluye pérdidas por infiltración, escurrimiento superficial, viento, etc.
- Eficiencia de conducción, $E_c = V_a/V_e$, donde V_a es el volumen total aplicado a las parcelas y V_e es el volumen entregado a la zona de riego que incluye pérdidas en la conducción por infiltración, derrames, fugas y evaporación.
- Eficiencia del requerimiento de riego $E_r = V_d/V_r$ donde V_d es el volumen de agua que está disponible para los cultivos y V_r es el volumen requerido por los cultivos para sus funciones vitales.
- Eficiencia de uniformidad (uniformidad de aplicación). $E_u = 1 - AL/nL_p$, donde AL es la suma de las diferencias absolutas entre la lámina aplicada en el punto i y la lámina promedio. n es el número de puntos considerados y L_p es la lámina promedio

Los sistemas de riego disponibles en la actualidad pueden clasificarse en sistemas de riego por gravedad y presurizados y sus principales características se describen a continuación:

II.3.1 Por gravedad

En los sistemas de riego por gravedad o por superficie, el agua tiene energía potencial por su posición por encima de la zona de riego, ya sea porque la fuente de abastecimiento está en una elevación superior o por que fue previamente bombeada a esta posición. Como su nombre lo indica, en los sistemas de riego por

gravedad, la energía potencial se transforma en movimiento y el agua recorre el terreno de las zonas altas a las más bajas ya sea a lo largo de canales abiertos o conductos cerrados. El objetivo es aplicar uniformemente la lámina de riego a lo largo del surco o de la melga para lo cual es indispensable una nivelación adecuada de las parcelas. La melga se compone de dos surcos tapados con un surco pequeño en sus extremos, el ancho es de aproximadamente 2 m y se utiliza para cultivos de inundación o que requieren mucha agua en el riego (arroz, alfalfa, etc.), así es que una melga es un "canal" donde se regara un cultivo específico y que el agua se infiltrara en el suelo

Figura 16. Sistema de riego por gravedad



II.3.1.1 Canales

Este es el más tradicional de los sistemas de riego. Históricamente los canales fueron excavados en la propia tierra de cultivo o contruidos con bordos de piedras y tierra apisonada. En los grandes distritos de riego contruidos por el Estado a partir de la revolución, los canales más frecuentes son rectangulares o trapezoidales y revestidos de concreto. Incluyen estructuras de aforo y de controles como vertedores, canales Parshall y compuertas metálicas para distribuir el agua a lo largo de las parcelas. Normalmente la operación de estos sistemas de riego es enteramente manual aunque existen dispositivos (válvulas y medidores de gasto) electrónicos.

La eficiencia en la conducción de canales revestidos de concreto es del orden del 60% - 70% y las principales pérdidas son por fugas ocasionadas por la falta de mantenimiento de las estructuras, por infiltración y por evaporación a lo largo de la superficie libre del agua.

Una vez que el agua llega a la parcela es distribuida por surcos o melgas de la propia tierra de cultivo. Las pérdidas dependen de muchos factores como son el tipo de suelo, la frecuencia de riego y la nivelación del terreno por lo que son muy variables. La eficiencia en la aplicación es del 40% al 70%. Por lo general, en

estos sistemas de riego la eficiencia total es menor al 50%. La uniformidad de aplicación depende del tipo de suelo y la longitud de los surcos, normalmente es menor al 60%. Los sistemas de riego por canales constituyen alrededor del 70% de la superficie irrigada total en México.

La instalación de sistemas de riego por canales es favorecida cuando no se dispone de capital para hacer una inversión inicial en otros tipos de sistema más sofisticados; cuando la topografía de la superficie es tal que requiere muy poca preparación adicional; cuando hay gran disponibilidad de agua por lo que el riego es exclusivamente de apoyo durante periodos cortos, y cuando el cultivo tiene requerimientos especiales de agua tales como el arroz que necesita para su crecimiento estar cubierto en gran parte por agua.

La operación de un sistema de riego por gravedad es intensiva en mano de obra, hace algunos años cuando el costo de la mano de obra y del agua era relativamente bajo no había justificación económica para substituirlos. Sin embargo ya vimos que la situación del agua en México exige un uso más racional del agua. Por otra parte, la emigración de la mano de obra rural a centros urbanos y a Estados Unidos ha encarecido su costo por falta de disponibilidad. Estos factores presionaron para la instalación de sistemas de riego por gravedad más eficientes como el que se presenta a continuación:

Figura17. Sistema de riego por canales



II.3.1.2 Compuertas o Multicompuertas

En este sistema de riego, la distribución se realiza por gravedad (o bien por bombeo a baja presión en parcelas muy grandes o mal niveladas) a lo largo de conductos cerrados subterráneos. Si bien existen otros materiales, el más frecuente por precio, resistencia y baja rugosidad es el PVC. La tubería subterránea forma redes abiertas que tienen una eficiencia en la conducción del orden del 95%. La profundidad a la que se coloca depende del diámetro y es la mínima necesaria para permitir el paso de maquinaria agrícola sin que se rompan los tubos.

El agua sale a la superficie a través de piezas T invertidas que tienen válvulas hidrantes (normalmente manuales pero que pueden ser electrónicas). En la superficie se colocan codos de aluminio con los manuales para abrir y cerrar las válvulas hidrante. A estos codos se conectan tubos de PVC (resistentes a la intemperie) o de aluminio que tienen múltiples perforaciones con compuertas plásticas (de ahí el nombre del sistema de riego) que se pueden abrir o cerrar para permitir o impedir el flujo del agua.

La tubería de compuertas (o Multicompuertas) se coloca perpendicular a los surcos en la parte más alta. La distancia entre compuertas es la misma que entre surcos, por lo que el agua se conduce prácticamente sin pérdidas por infiltración ni evaporación hasta el cabezal del surco. Cuando la compuerta se encuentra abierta, el agua sale del tubo y recorre el surco por gravedad a lo largo de no más de 50 metros, a fin de garantizar una buena uniformidad de aplicación. A esa distancia deberá colocarse otro hidrante al que se conectará la tubería de compuertas.

La eficiencia en la aplicación, usando el sistema de riego por compuertas está entre 60% y 75% y la eficiencia total es del orden del 60 %. Además del ahorro de agua y una aplicación más uniforme de la lámina en el cultivo se tienen otras ventajas en cuanto al manejo hidráulico como las siguientes.

La posibilidad de abrir y cerrar las compuertas plásticas permite regular el gasto aplicado a cada surco o bien regar surcos alternados en riegos consecutivos. Además se puede colocar la tubería de compuertas a uno y otro lado del hidrante y controlar el flujo de agua para regar primero de un lado y después del otro. El riego por pulsos permite que el agua cierre los poros del terreno y se obtiene una mayor distancia de recorrido del agua en el siguiente pulso. Este manejo permite reducir significativamente las pérdidas por infiltración y mejorar la eficiencia de uniformidad.

Si bien, la inversión inicial es mayor que en el caso de los canales a cielo abierto (del orden de 300 - 500 USD por hectárea), la operación requiere menor cantidad de mano de obra y se puede automatizar fácilmente.

Figura 18: Sistema de riego por compuertas



II 3.2 Presurizados

Como su nombre lo indica, los sistemas de riego presurizados, están conformadas por redes (generalmente abiertas) de tuberías con agua a presión ya sea generada con un sistema de bombeo o bien por un desnivel mayor a 30 metros.

El costo de la inversión inicial es significativamente mayor que en los sistemas por gravedad. Si bien, el uso de mano de obra en este tipo de sistemas es menor, normalmente se requiere de energía eléctrica, incrementando así los costos de operación.

Por lo tanto, el uso de sistema de riego es favorecido cuando existe escasez del recurso agua; cuando los suelos son muy porosos o variables para obtener una buena distribución por métodos de superficie; cuando los costos de nivelación son excesivos o los suelos son pocos profundos y no se pueden nivelar; si el suelo es fácilmente erosionable; cuando el costo de la mano de obra es alto o no existe disponibilidad y cuando los cultivos son de un alto valor que justifique la inversión inicial.

En todos los sistemas de riego presurizados bien operados la eficiencia en la conducción es superior al 95%. La eficiencia y la uniformidad en la aplicación dependen del tipo de emisor y del diseño del sistema de riego pero por lo general son mayores al 60%. Sin embargo la mayor ventaja de los sistemas de riego presurizados radica en la posibilidad de aplicar fertilizantes, plaguicidas y otros agroquímicos fácilmente a través del riego. A esto se le conoce como fertirrigación o quimigación.

De acuerdo con el emisor, los sistemas de riego presurizados pueden clasificarse en aspersión, micro aspersión y goteo:

II.3.2.1 Aspersión

El principio de operación en los sistemas de riego por aspersión es convertir la energía de presión en energía de velocidad a la salida de la boquilla del aspersor en forma de chorro. A medida que dicho chorro de agua pasa sobre el terreno, éste queda esparcido en forma de gotas, las cuales disminuyen su velocidad por fricción con el aire y caen a la superficie del suelo. Un sistema de riego por aspersión consiste en una red de tuberías normalmente de aluminio, acero o PVC de alta resistencia, con aspersores acoplados a ellos, arreglados de tal manera que puedan distribuir la precipitación del agua de riego lo más uniformemente posible sobre el campo de cultivo.

La ventaja principal de los sistemas de riego por aspersión es que se tiene un control efectivo sobre la cantidad y tasa de aplicación del agua. Éstos se diseñan para que la intensidad de precipitación sea menor que la tasa de infiltración básica del suelo. Así se logra que toda el agua se infiltre y se evitan tanto encharcamientos como escurrimientos superficiales que puedan generar erosión y una mala distribución del agua. De esta forma pueden aprovecharse eficientemente los gastos pequeños y se logran buenas eficiencias tanto en aplicación como en uniformidad de riego.

Asimismo, este sistema permite agilizar las operaciones de labranza ya que se eliminan acequias, canales, etc. Por tanto se reduce la cantidad de mano de obra requerida y puede ser poco especializada. No obstante la inversión inicial puede ser alta (entre 800 y 2500 USD por hectárea) y son sistemas que requieren de un uso intensivo de energía.

Existen ciertos factores que también se deben considerar como son que el viento distorsiona el patrón de esparcimiento del agua y puede resultar en grandes pérdidas por evaporación en algunas zonas. También la aspersión puede lavar los insecticidas que son aplicados manualmente al follaje de las plantas y producir un daño en la floración. Finalmente, si bien el gasto requerido en estos sistemas de riego es menor dada su mayor eficiencia, para su mejor utilización se requieren condiciones de continuo suministro de agua.

Además del riego, fertirrigación y quimigación, los sistemas de riego por aspersión pueden ser empleados para el control de polvo y temperatura así como la limpieza del estiércol en corrales de ganado vacuno; han servido para conservación de suelos, con aplicaciones frecuentes pero ligeras permite acelerar la germinación y asegurar el crecimiento en las primeras fases de crecimiento de algunos cultivos y controlar la temperatura ambiente de los cultivos, enfriándolos cuando el calor es excesivo o protegiéndolos cuando se trata de un helada tardía.

Los sistemas de riego por aspersión pueden ser clasificados de muy diversas formas: Una primera clasificación puede ser de acuerdo al tipo de movimiento que tienen sobre el campo de cultivo: ya sea aspersión mecanizada si es que tiene dispositivos para desplazarse automáticamente de un lado a otro o aspersión no mecanizada. La aspersión no mecanizada puede a su vez, clasificarse de acuerdo con su probabilidad en sistemas fijos o portátiles. Finalmente, de acuerdo con el tipo de emisor pueden emplear aspersores o cañones.

Empezaremos por describir los sistemas de riego por aspersión no mecanizada:

II.3.2.1.1 No Mecanizada

Como su nombre lo indica, los sistemas de riego por aspersión no mecanizada, están compuestos por una red hidráulica de tuberías en la que circula agua a presión. Los materiales pueden ser acero, aluminio y PVC de alta resistencia. La tubería principal no tiene orificios puesto que es exclusivamente para conducción. Las líneas secundarias o regentes tienen orificios equidistantes en los que se colocan los aspersores. El elevador es un tramo de tubo que conecta al aspersor con la línea de tubería lateral. Frecuentemente consiste en un tramo de tubo de longitud fija y a veces puede ser un tubo telescópico.

II.3.2.1.1.1 Fija

En los sistemas fijos o permanentes, la tubería está ubicada de acuerdo con el diseño hidráulico en el campo regado. Generalmente la tubería se encuentra enterrada y no se desplaza de esta ubicación. Los altos costos iniciales (entre 1500 y 2500 USD por hectárea) se compensan a lo largo de la vida útil del equipo con el ahorro en mano de obra, con la calidad y cantidad de la producción obtenida y con las economías en la aplicación de fertilizantes, pesticidas y el control eventual de heladas.

En los sistemas fijos la operación puede estar completamente automatizada y los riegos pueden ser más cortos y frecuentes, mejorando significativamente las eficiencias de aplicación y uniformidad.

II.3.2.1.1.2 Semi fija

Los sistemas Semi-fijos emplean líneas de conducción principales enterradas permanentemente en el

campo; las tuberías secundarias o laterales donde se ubican los aspersores, son transportadas de un campo a otro en forma rotativa durante la temporada de riego. El costo inicial se reduce significativamente (entre 1000 y 1800 USD por hectárea) pero no puede ser automatizado.

II.3.2.1.1.3 Portátil

En los sistemas portátiles, todos los componentes desde el punto de bombeo o fuente se presión hasta el último aspersor son transportables de un punto a otro en el campo regado. El costo inicial por hectárea es menor (Entre 800 y 1200 USD por hectárea) puesto que la tubería es reutilizable en diferentes puntos del campo de cultivo.

Sin embargo los costos de mano de obra se incrementan, existen mayores probabilidades de fugas y no se puede garantizar que la colocación de los aspersores sea la indicada en el diseño. Por tal motivo, generalmente los sistemas portátiles tienen menor eficiencia de aplicación y de uniformidad. Asimismo, la vida útil de la tubería es menor en virtud de que sufre cierto deterioro al ser transportada de un lugar a otro y por estar expuesta al medio ambiente. Con frecuencia la maquinaria agrícola pasa por encima de los tubos que están colocados en la superficie del terreno y los rompe o los maltrata.

II.3.2.1.1.4 Aspersores

Los aspersores de cabeza giratoria tienen un movimiento rotatorio a lo largo de un eje, causado por la reacción que produce el agua al salir de una o dos boquillas e impactarse sobre el brazo giratorio del aspersor. Éste está cargado con un resorte para lograr un retroceso y periódicamente interrumpe el chorro que sale por alguna de las boquillas. Sus diámetros varían entre 1.5 mm y 15 mm, descargando un gasto que va de 0.1 (l/s) hasta 2 (l/s) cubriendo áreas circulares de 10 a 40 metros de diámetro y trabajando a presiones de 1.4 a 4.2 Kg. /cm². Cabe señalar que algunos tipos de aspersores pueden ser ajustados para dar un círculo completo o cubrir cualquier segmento de círculo. Los materiales principales son aluminio, bronce y plástico.

Los aspersores requieren elevadores de 12 a 30 mm y deben tener un mínimo de 8 cm. de alto y hasta 1 metro. Pueden emplearse en una gran variedad de cultivos ya que existen en el mercado una gran variedad de opciones.

Dependiendo del diseño pueden alcanzar eficiencias de aplicación de hasta 85% con uniformidad de aplicación del orden del 70%.

Figura 19: Sistema de riego por aspersión con aspersores



II.3.2.1.1.5 Cañones

Los aspersores gigantes o de gran cañón comúnmente conocidos como cañones son aspersores giratorios equipados con un brazo que al oscilar interrumpe el chorro de agua con cierta periodicidad ocasionando un giro sobre la base del aspersor. Estos aspersores descargan desde 5 y hasta 80(l/s) cubriendo un diámetro de 75 a 190 metros de precipitación. Durante la operación trabajan a presiones que van desde 4.2 hasta 7 Kg./cm² y están equipados con boquillas de 15 a 50 mm de diámetro.

Los cañones requieren elevadores más altos y de mayor diámetro (hasta 75 mm) y frecuentemente se colocan en un tripié o en carritos que pueden ser remolcados. Los cañones tienen una amplia variedad de usos, especialmente en cultivos altos (como cereales y árboles en huertos completamente desarrollados). Generalmente están hechos de aleaciones metálicas.

A pesar de ser más fáciles de operar que los aspersores para ciertos cultivos ya que cubren una mayor superficie de riego a mayor altura, los cañones presentan algunas desventajas. Por ejemplo, requieren presiones de operación mayores y por ende consumen más energía eléctrica. Además tienen menores eficiencias de aplicación (60%- 75%) y de uniformidad (65%) y son más afectados que los aspersores por la incidencia del viento.

Figura 20: Sistema de riego por aspersión con cañones



II.3.2.1.2 Mecanizada

Como hemos visto, los sistemas fijos son los más fáciles de operar ya que no se requiere estar moviendo la tubería de un lado para otro, sin embargo son también el tipo de aspersión más cara. Los sistemas mecanizados surgieron de la necesidad de mover la tubería regente a lo largo del terreno de cultivo de una forma más sencilla y total o parcialmente automatizada.

La escasez de la mano de obra en el campo en conjunto con los progresos logrados en el desarrollo de la mecanización agrícola ha traído como consecuencia un notable incremento en el uso de sistemas de riego

por aspersión mecanizada o de movimiento continuo. Estos sistemas se caracterizan por contar con una línea lateral con aspersores que permanece unida a una línea alimentadora de agua de riego sobre el campo.

II.3.2.1.2.1 Cañón Viajero

En un sistema Semi fijo por cañones, el cañón se conecta a un hidrante de la tubería principal enterrada y se coloca en la primera posición. Al completar el ciclo de riego se desconecta se mueve y se conecta en la posición siguiente. Para facilitar el movimiento se pensó en colocar el cañón sobre un carrito con ruedas.

El sistema de riego por cañón viajero parte del mismo principio, consiste de un vehículo equipado con ruedas y un aspersor gigante que arrastra una manguera flexible que lo une al suministro de agua de la tubería principal. Este vehículo es frecuentemente impulsado mediante un mecanismo hidráulico que funciona con el agua a presión que llega a través de la manguera. La trayectoria de avance es gobernada por un cable de acero que se acopla en un carrete de enrollado en el vehículo y se ancla en el otro extremo al final del campo.

El cañón opera a presiones de 4 a 5.5 Kg. /cm², descargando gastos que van de 10 a 40(l/s) cubriendo áreas de 60 a 180 m de diámetro. Las trayectorias que recorren estos sistemas usualmente se encuentran separadas unas de otras de 50 a 100 metros. La manguera flexible puede tener de 100 a 200 metros de largo que le permiten recorrer trayectorias de riego de 200 hasta 400 m de largo.

El cañón viajero riega franjas rectangulares de terreno y es adaptable a un amplio rango de tamaños y formas de campos de cultivo. Su costo inicial por hectárea es más bajo que la mayoría de los sistemas de riego mecanizado y sus requerimientos de mano de obra son bajos. Estos sistemas pueden ser usados en superficies de diferentes condiciones topográficas y en aquellos con obstáculos como árboles, líneas de alta tensión y edificios.

Las limitaciones de este sistema se relacionan con los problemas causados por suelos arcillosos que tienen velocidades de infiltración muy bajas, además de que tienden a causar problemas de tracción en el avance del sistema. Vientos fuertes tienden a distorsionar grandemente el patrón de precipitación reduciendo la uniformidad del sistema en un mayor grado de lo que ocasiona en otros tipos de sistema de riego por aspersión. El vehículo y la manguera deben permanecer fuera del área de siembra y se debe tener cuidado con la manguera flexible ya que puede dañarse fácilmente.

Figura 21: Sistema de riego por cañón viajero



II.3.2.1.2.2 Side Roll

El "side Roll", a veces conocido como "wheel Roll" es un sistema de riego mecanizado que consiste de una línea regante o lateral, usualmente de 400 metros de longitud montada sobre ruedas de entre 1 y 3 metros de diámetro. La tubería, de entre 4 y 5 pulgadas de diámetro, sirve de eje a las ruedas que la sostienen. El agua proviene de la línea principal subterránea y entra la sistema a través de una manguera flexible de alta resistencia conectada a los hidrantes.

Riega una franja de 10 a 30 metros de ancho, dependiendo de los aspersores que tenga la línea regante por un periodo de 3 a 8 horas. Cuando completada el ciclo de riego, un motor de gasolina localizado al centro del equipo lo mueve a la siguiente posición a unos 10 metros. Como la tubería gira con las ruedas, normalmente los aspersores están colocados sobre elevadores giratorios cuyo contrapeso permite que el aspersor siempre esté en la parte superior del equipo sin importar en qué sitio se detenga.

Es un sistema limitado en su operación a terrenos muy regulares en su topografía, tendiendo a ser rectangulares y no se recomienda para pendientes superiores al 5%. Requiere menor mano de obra que los sistemas portátiles pero mayor mano de obra que los sistemas mecanizados continuos, aunque estos últimos son también más costosos. Además de ser ligero es resistente a los esfuerzos mecánicos que se ejercen principalmente en las ruedas pero puede ser dañado por vientos muy fuertes.

Si se quiere mover de un terreno a otro se deben instalar ruedas especiales giratorias pero cada equipo puede regar solo hasta 15 hectáreas. El "side Roll" está más adaptado a suelos arcillosos que otros sistemas de aspersión mecanizada y se usa principalmente para regar cultivos cortos, como cereales forrajeros.

Figura 22: Sistema de riego por Side Roll



II.3.2.1.2.3 Pivote Central

Este tipo de sistemas de riego por aspersión fue por primera vez patentado en 1952, aunque su uso se ha extendido a nivel mundial sólo hasta hace algunos años. Los sistemas de riego por pivote central funcionan por aspersión mecanizada de tipo continuo, es decir, no deben dejar de regar para cambiar de posición, sino que se mueven continua y simultáneamente al riego.

Consisten en una línea lateral con aspersores, la cual tiene uno de sus extremos fijos a un pivote mientras que el otro extremo se desplaza en círculos alrededor del punto pivote. El agua entra al sistema a través del

extremo fijo. La línea lateral es soportada por torres y armaduras metálicas (normalmente de acero galvanizado) en las cuales el tubo, además de servir como conducción del agua, tiene funciones estructurales. Las torres son desplazadas por unidades motrices equipadas con propulsión individual, montadas sobre grandes ruedas similares a las de un tractor. Estas torres están separadas unas de otras de 25 a 75m y la longitud total de la línea lateral varía entre 50 y 1000 metros.

El área de riego es circular aunque pueden incorporarse, con un incremento substancial en el costo del pivote, equipos esquineros para terrenos rectangulares. Actualmente hay pivotes que riegan hasta 150 hectáreas en forma circular, y mientras más grande sea el equipo, menor es el monto de la inversión inicial por hectárea (Entre 800 y 3000 USD por hectárea). De tal suerte que para terrenos muy grandes el costo es similar al de una aspersión portátil tradicional.

La restricción principal para la longitud del pivote es la pendiente del terreno que debe ser menor a 15% promedio. Aunque inicialmente estos sistemas de riego operaban con unidades motrices de impulsión hidráulica, actualmente la impulsión se realiza primordialmente con motores eléctricos o de combustión interna.

La línea lateral es mantenida en forma alineada durante el movimiento del sistema alrededor del punto pivote mediante un sistema de control que regula la velocidad de avance en cada torre. En caso de que la alineación del sistema falle, un dispositivo de seguridad automáticamente suspende el funcionamiento de todo el sistema de riego antes de que alguna parte del equipo resulte dañada.

Dependiendo del tipo de aspersor, de la longitud del equipo y de la longitud de las bajantes, pueden lograrse coeficientes de uniformidad superiores al 80% y eficiencias de aplicación de hasta el 95%. Sin embargo, su ventaja principal es que requiere muy poca mano de obra para su operación, y es fácilmente automatizabas. Con telemetría una sola persona puede controlar decenas de equipos al mismo tiempo.

Se emplean para todo tipo de cultivos, desde hortalizas, cereales y hasta árboles frutales.

Figura 23: Sistema de riego por pivote central



II.3.2.1.2.4 Avance frontal

Los sistemas de riego por avance frontal, en su estructura, son exactamente iguales a los pivotes centrales. Sin embargo, para irrigar terrenos rectangulares se tiene que las torres, que soportan la línea lateral con sus

aspersores, se mueven todas a la misma velocidad en línea recta. Cada torre en forma individual tiene sus dispositivos de impulsión y de alineación con el resto del sistema y se mueven con una velocidad de desplazamiento de entre 0.2 y 0.5 m/min.

El agua proviene de la línea principal subterránea y entra al sistema a través de una manguera flexible de alta resistencia que se conecta a los hidrantes. Dependiendo de los aspersores que se coloquen se puede alcanzar eficiencias de aplicación de hasta 95% y de uniformidad de hasta 90%.

El costo del equipo es superior que el de un pivote central pero se prorratea mejor en terrenos angostos pero muy largos (Entre 1000 y 3000 USD por hectárea). No obstante, este tipo de sistemas no es tan fácilmente automatizables ya que se debe conectar la manguera flexible a los hidrantes y se tienen problemas de alineación en suelos muy arcillosos.

Figura 24: Sistema de riego por avance frontal



II.3.2.2 Sistemas de Riego Localizado

En los sistemas de riego localizado, como en todos los presurizados, el agua se conduce por tuberías a presión mayor que la atmosférica. El agua se suministra al suelo mediante emisores que la dispersan, humedeciendo únicamente la zona de las raíces. Estos emisores permiten aplicar gastos pequeños con alta frecuencia, creando así un medio ambiente con humedad óptima para los cultivos.

La zona entre emisores, queda sin regar evitando el crecimiento de malas hierbas. Por este motivo, el concepto de eficiencia de uniformidad, o uniformidad de aplicación deja de tener la misma validez. En este tipo de sistemas de riego, se busca uniformidad de presiones ya que si los emisores presentan un funcionamiento adecuado, el gasto que emiten es igual a lo largo de toda la parcela.

La ventaja más importante de este tipo de sistemas es que tienen una alta eficiencia del requerimiento de riego, arriba del 90%. Debido a que solamente la zona radicular de la planta es suplida con agua, bajo un apropiado manejo sólo se pierde una mínima cantidad de agua por percolación profunda, consumo de plantas no beneficiosas o evaporación desde la superficie del suelo. Este control tan eficiente permite ahorros de agua substanciales.

Como en los demás sistemas de riego presurizados, el riego localizado permite la fertirrigación y la

quimigación con un ahorro muy importante ya que los agroquímicos no se desperdician además de que pueden ser automatizados fácilmente. Además, de acuerdo con el tipo de emisor podemos encontrar dos tipos de riego localizado: el riego por goteo y por micro aspersión.

II.3.2.2.1 Goteo

Los sistemas de riego por goteo suministran el agua a los cultivos en forma de gotas, directamente al suelo, con láminas de riego muy pequeñas e intervalos de tiempo muy cortos.

II.3.2.2.1.1 Superficial

Según su tipo de emisión pueden ser puntuales (de emisión individual) y tubería continua (cinta regante). Si el emisor es un gotero puntual, fabricado por molde normalmente se emplea en cultivos perennes como la vid. En estos goteros el patrón superficial de mojado es también puntual con un espaciamiento que va de 0.5 m a 1.0 m dependiendo del tipo de cultivo. Espaciamientos menores encarecerían el sistema. Por tal motivo, cuando se riegan cultivos en surco como las hortalizas frecuentemente se emplea la manguera ligera de polietileno con orificios equidistantes llamada cinta. Los goteros de emisión continua o cintas regantes tienen un patrón de mojado en franja continua, ya que el espaciamiento entre emisores es generalmente menor a 0.60m.

II.3.2.2.1.2 Sub-superficial.

El riego por goteo puede aplicarse debajo de la superficie el suelo y se llama riego sub-superficial. Este método consiste en suministrar el agua al suelo cerca de la profundidad radicular a la que se distribuye por capilaridad. Es muy empleado en hortalizas y se aplica principalmente por tuberías de polietileno (cinta) con goteros integrados.

Las eficiencias de aplicación y del requerimiento de riego son superiores al 90%. Sin embargo los goteros pueden taparse fácilmente, para evitar esto es necesario contar con complejos sistemas de filtrado y usar únicamente agroquímicos solubles para la fertirrigación. En una parcela promedio, pueden emplearse miles de goteros y será necesario que mano de obra altamente especializada revise el adecuado funcionamiento de cada uno de ellos.

Los costos iniciales (Arriba de 2000 USD por hectárea) y de mantenimiento de los sistemas de riego por goteo son los más altos, por ello frecuentemente se emplean en cultivos de alto valor y bajo condiciones controladas como en el caso de invernaderos.

Figura 25: Sistema de riego por goteo



II.3.2.2.2 Micro aspersión

Los sistemas de riego por micro aspersión son similares a los sistemas de riego por aspersión pero el agua se aplica de forma localizada.

Los sistemas de riego por micro aspersión son empleados frecuentemente en frutales ya que suministran el agua a los cultivos en forma de lluvia artificial directamente a la zona radicular, como es la base de cada árbol.

Los difusores del micro aspersores tienen varias formas de asperjar el agua, como la lluvia en círculos o sectores de círculos, la nebulización y los chorros. Los micro aspersores tienen láminas precipitadas horarias que no exceden la velocidad de infiltración del agua en el suelo a fin de evitar encharcamientos.

Si bien son más sensibles a la acción del viento que los sistemas de riego por goteo, la eficiencia de aplicación es superior al 90% y la eficiencia del requerimiento de riego es superior al 85%.

El costo de la inversión inicial (arriba de 1500 USD por hectárea) depende en gran medida de la distancia entre cada micro aspersor pero por lo general es ligeramente menor que los sistemas de riego por goteo.

Figura 26: Sistema de riego por micro aspersión



