

OPTIMIZACIÓN DE PATRONES DE CULTIVO DE DISTRITOS DE RIEGO DEL NOROESTE DE MÉXICO

OPTIMIZATION OF CROP PATTERNS IN THE IRRIGATION DISTRICTS FROM NORWEST MEXICO

J. O. Inzunza López

Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo. Apdo. Postal No. 8. C.P. 35230. México.

RESUMEN. Ante la incertidumbre climática en las diferentes regiones hidrológicas del país, se presenta una reducción de agua disponible para el desarrollo de actividades agropecuarias en los distritos de riego redundando en un impacto en las economías regionales. Ante esta situación, el uso de herramientas para la toma de decisiones es un proceso indispensable en aras de hacer un uso óptimo de las disponibilidades limitantes de agua en los embalses. La programación lineal asiste en la optimización los patrones de cultivo que año con año se proponen mediante los comités hidráulicos en los distritos de riego. Este algoritmo considera la eficiencia de riego, la superficie disponible, requerimientos hídricos de los cultivos, el volumen de agua disponible, y aspectos sociales, como los factores o restricciones que limitan la plena producción en los distritos. La optimización (maximización del ingreso neto y productividad del agua de riego), es una alternativa que predispone al uso adecuado de los recursos agua y suelo. El algoritmo propuesto además, propone tecnologías para incrementar rendimientos: el uso de variedades adecuadas, nivelación de terrenos, técnicas de riego, diversificación de cultivos, entre otras. Este trabajo presenta, como estudio de caso, los resultados de la aplicación del método durante los ciclos agrícolas 2004-2005 y 2005-2006 otoño invierno, primavera verano y perennes en los distritos de riego de Río Fuerte y Valle del Carrizo en Sinaloa, Colonia Yaquis, Valle del Yaqui, Valle del Mayo y Costa de Hermosillo en Sonora, Valle de Santo Domingo en Baja California Sur y el Valle de Delicias en Chihuahua.

Palabras clave: Uso del agua, Disponibilidad, Programación lineal, Distrito de riego.

SUMMARY. Climate uncertainty impacts water availability for agricultural development in the irrigation districts of Mexico having a negative impact in the economy of the regions. The use of tools for decision taking it is an essential process for planning the optimal use of irrigation water. Linear programming is useful for optimizing crop patterns that year by year the water users proposed to the managers of the irrigation districts. The algorithm considers irrigation efficiency, available land, crop water requirements, total water volume available as well as social aspects like factors or constraints that limits full production in the irrigation districts. The optimization procedure (net income and water productivity maximization), it is an alternative that triggers adequate use of both water and soil resources. The algorithm also proposes technologies for increasing crop yields as: crop varieties, irrigation techniques, land leveling and crop diversification among others. This document present case study, of the method application during crop cycles winter 2004 and winter – summer 2005 in the irrigation districts: Río Fuerte and Valle del Carrizo in Sinaloa, Colonias Yaquis, Valle del Yaqui, Valle del Mayo and Costa de Hermosillo in Sonora, Valle de Santo Domingo in Baja California Sur and Valle de Delicias in Chihuahua.

Key words: Water use, Availability, Lineal programming, Irrigation district.

INTRODUCCIÓN

Ante la variabilidad en espacio y tiempo de la disponibilidad de agua para las actividades agropecuarias en los distritos de riego del país, se pone de manifiesto la vulnerabilidad de dichas actividades impulsando a los tomadores de decisiones a considerar

cambios en los sistemas productivos que tiendan al uso racional del recurso agua. Por ello, la operación de los distritos de riego debe basarse en los volúmenes reales disponibles considerando el patrón de cultivos que maximice el ingreso de los productores e incremente la productividad del agua de riego. Esta aproximación debe ser integral al considerar las recomendaciones de

manejo del agua a nivel distrito y parcelario que incrementen las eficiencias de conducción y aplicación del agua de manera que se potencie el mejoramiento global, observando las características distintivas de cada distrito.

El objetivo del presente trabajo es transferir un método de análisis para obtener el patrón de cultivos que maximice el ingreso neto considerando las cantidades de agua autorizadas para la operación de los distritos de riego del país.

Para el análisis se tendrá en consideración: los cultivos propuestos por el distrito de riego, en función de los volúmenes autorizados acorde de la disponibilidad de agua en las presas, teniendo como restricciones no sembrar más de la superficie disponible del distrito, que las necesidades de agua de los cultivos no exceda los volúmenes autorizados y las restricciones propias de operación de cada distrito; se usa además la tecnología disponible del INIFAP generada en el área de influencia de cada distrito de riego a través de los campos experimentales del Instituto.

Por lo tanto, la hipótesis a probar es que con el método de programación lineal aplicado en la optimización de patrones de cultivo que maximice el ingreso neto de los distritos de riego, se incrementa la productividad y la eficiencia de conducción y aplicación del agua disponible para riego de cada distrito.

De acuerdo a la Comisión Nacional del Agua (CNA, 2003) los distritos de riego son áreas agrícolas cuyos programas de producción se apoyan básicamente en el servicio de riego que se proporciona a los terrenos de cultivo con las obras de infraestructura hidroagrícola construidas para tal propósito y, por sus múltiples relaciones con los diferentes sectores de la economía regional, extienden su influencia a una amplia zona.

Los distritos de riego, aunque con un objetivo común, tienen características muy variadas; algunos son pequeños, en el orden de 10 mil hectáreas; otros de extensión media, entre 30 y 100 mil hectáreas; y otros más grandes, entre 100 y 270 mil hectáreas (Palacios, 1981).

De un total de 20 millones de hectáreas que en promedio se cosechan cada año en México, aproximadamente 6 millones son de riego y el valor de la producción en éstas es cercano al 55 por 100 del valor total de la cosecha nacional, lo que significa que en las áreas regadas la productividad es 3.7 veces la obtenida en las áreas de temporal (De León, 2000).

De la superficie que cuenta con riego, 3.3 millones de hectáreas están comprendidas dentro de los 86 Distritos

de Riego que operan en el país, perteneciendo el 58 por 100 de esta superficie al sector ejidal y el 42 por 100 restante a la pequeña propiedad. El número de usuarios registrados es de 560 mil, correspondiendo el 74 por 100 a ejidatarios y el 26 por 100 a pequeños propietarios (Martínez, 2000).

Para regar dicha superficie se cuenta con 144 presas de almacenamiento, 335 presas derivadoras, 496 plantas de bombeo, 4,256 pozos profundos -tanto oficiales como particulares-, 49,484 kilómetros de canales, 32,482 kilómetros de drenes, 70,757 kilómetros de caminos, 287,203 estructuras para la operación, control del agua, medición o aforo, protección o de paso, así como 3,205 edificios (CNA, 2003).

En los distritos de riego, durante los años agrícolas 1990-2002 se han utilizado en promedio 30,376 millones de metros cúbicos de agua a nivel de fuente de abastecimiento para proporcionar el servicio de riego a los cultivos en 2'831,614 hectáreas. De ésta superficie, 112,122 hectáreas corresponden a riegos de auxilios en cultivos que no concluyeron su ciclo vegetativo en el año agrícola anterior, 2'344,931 hectáreas a cultivos que se establecieron en los ciclos otoño-invierno, primavera-verano y perennes y 374,562 hectáreas de segundos cultivos. Los cultivos que destacan por la mayor superficie sembrada, regada y cosechada son: maíz, trigo, sorgo, algodón y caña de azúcar (*ídem*).

En el mismo periodo, se han sembrado en promedio 2'931,243 hectáreas cada año agrícola y se ha cosechado en 2'828,310 hectáreas, en el que se ha obtenido una producción media de 34.0 millones de toneladas de productos agrícolas. De la superficie sembrada, el 44 por 100 corresponde a cultivos del ciclo otoño-invierno, el 27.5 por 100 a cultivos de primavera-verano, el 17.5 por 100 a perennes y el restante 11.4 por 100 a segundos cultivos (Martínez, 2000).

Los distritos analizados en este estudio de caso se encuentran en las entidades federativas de Sinaloa, Sonora, Baja California Sur y Chihuahua. En el estado de Sinaloa los distritos involucrados son: 075 Río Fuerte y 076 El Carrizo; en Sonora están los distritos: 018 Colonias Yaquis, 038 Río Mayo, 041 Río Yaqui y 051 Costa de Hermosillo, en Baja California Sur el distrito 066 Santo Domingo y en Chihuahua el distrito 005 Delicias. (Ver Figura 1).

Distrito de riego 075 Río Fuerte, Sinaloa

Se localiza en la zona noroeste del estado de Sinaloa en los municipios de Los Mochis, y Guasave, con una superficie cultivable para el 2005 de 221000 hectáreas y un volumen disponible para riego de 2261 Mm³. Los

cultivos más importantes en cuanto a superficie cultivada son: maíz, tomate, frijol, papa, caña de azúcar y jitomate con 110 000, 18600, 15200, 13900, 13300 y 12500 hectáreas respectivamente. Se cultivan además cultivos como: garbanzo, calabaza, cebolla, sorgo y pepino. En cuanto al valor de la producción tenemos que los cultivos más redituables son: tomate, papa, maíz, frijol, pepino, chile, calabaza y cebolla.

Distrito de riego 076 El Carrizo, Sinaloa

Se encuentra en la parte nornoroeste de Sinaloa, en colindancia con el estado de Sonora; cuenta con una superficie cultivable de 65500 hectáreas y un volumen disponible para riego de 603 Mm³. Predominan los cultivos básicos tales como: maíz, trigo, frijol y garbanzo con 36000, 14000, 3000 y 500 hectáreas respectivamente. Existen también aproximadamente 10000 hectáreas de hortalizas como: tomate, pepino, chile entre otras, generando después del maíz el mayor beneficio neto para este distrito.

Distrito de riego 018 Colonias Yaquis, Sonora

Localizado en la parte sur del estado de Sonora en el municipio de Cd. Obregón, llamado también la antigua Cajeme, entre el valle de Guaymas y el Río Mayo en Navojoa. Las colonias yaquis se localizan en el margen izquierdo del Río Yaqui, tales como Potam, Vicam, Vacum, Cocorit, entre otras. Cuenta con una superficie cultivable de aproximadamente 21000 hectáreas y dispone de un volumen de 236 Mm³ de la presa Álvaro Obregón que es compartida con el distrito del Río Yaqui.

Este distrito se irriga con el llamado Canal Alto (Espinoza, 1981). Se cultiva principalmente trigo y maíz, con 15000 y 4000 hectáreas cada uno; y con superficies que oscilan entre 100 y 500 hectáreas están los cultivos: frijol, cártamo, garbanzo y alfalfa.

Distrito de riego 038 Río Mayo, Sonora

En la parte más sur del estado de Sonora se localiza este distrito, en el municipio de Navojoa. Cuenta con un volumen disponible de 700 Mm³ y una superficie cultivable de 85000 hectáreas. Se cultiva principalmente trigo, maíz y cártamo con 36000, 10000 y 20000 hectáreas respectivamente. Además se cultiva papa, frijol, garbanzo y algunas especies forrajeras. Se cuenta además una superficie moderada de 4000 hectáreas con hortalizas como chile, tomate, sandía entre otras, que después de la papa y el trigo generan el mayor beneficio neto para este distrito.

Distrito de riego 041 Río Yaqui, Sonora

En referencia a lo señalado en la descripción del distrito de riego de las colonias yaquis, solo es necesario mencionar que este distrito se localiza en la parte baja del Río Yaqui, irrigado con el Canal Bajo proveniente de la presa Álvaro Obregón. Es el principal distrito de riego del estado de Sonora con una superficie cultivable de 230000 hectáreas y un volumen disponible de 1570 Mm³. Su cultivo principal es el trigo con más de 150000 hectáreas y genera el 70 por 100 del beneficio neto de este distrito. Se cultiva además cártamo, maíz, garbanzo, algodón y alfalfa con 30000, 19500, 10000,



Figura 1. Localización de los distritos de riego.

5000 y 4500 hectáreas respectivamente.

Distrito de riego 051 Costa de Hermosillo, Sonora

Localizado en la parte central del estado de Sonora en los municipios de Hermosillo, prolongándose hacia la costa por Bahía de Kino, hacia el norte con Magdalena de Kino, y con Carbó por el otro lado. Cuenta con un volumen disponible de riego de aproximadamente 400 Mm³ y una superficie cultivable de aproximadamente 46000 hectáreas. Se cultivan los perennes: uva de mesa, uva de vino, nogal y alfalfa con 8700, 2500, 2400 y 1150 hectáreas respectivamente, siendo la uva de mesa el cultivo más redituable con una aportación del 80 por 100 del beneficio neto total del distrito dada su temporada de cosecha. En cuanto a cultivos anuales, están presentes: trigo con 12000 hectáreas, garbanzo, maíz, frijol y cártamo con superficies que oscilan entre 600 y 2700 hectáreas. Se han establecido cultivos que se consideran alternativos como la jojoba y el persimonia con pequeñas superficies 130 hectáreas. Entre todos estos cultivos se genera un 10 por 100 del beneficio neto total del distrito, siendo el 10 por 100 restante aportado por 7500 hectáreas de hortalizas tales como: sandía, chile, tomate, entre otras.

Distrito de riego 066 Santo Domingo, BCS

Localizado en la parte central en el lado oeste de la península de Baja California Sur; cuenta con una superficie cultivable de 15000 hectáreas y un volumen disponible de 160 Mm³. Los cultivos perennes presentes más importantes son: alfalfa, naranja y espárrago con 3500, 1950 y 1700 hectáreas respectivamente. Su importancia radica en que entre estos tres cultivos se genera el 75 por 100 del beneficio neto total del distrito. En cuanto a los cultivos anuales, tenemos: garbanzo, trigo y maíz con 2900, 2500 y 1200 hectáreas respectivamente.

Distrito de riego 005 Delicias, Chihuahua

Localizado a 60 Km. al sureste de la ciudad de Chihuahua, en la parte central del estado. Distrito irrigado principalmente con aguas del Río Conchos. Con una superficie cultivable de 30000 hectáreas y un volumen disponible de 430 Mm³. Sus principales cultivos son el algodón y el chile con 8600 y 8000 hectáreas respectivamente, siendo el chile el más importante en términos de beneficio económico que junto con el nogal pecanero (2179 hectáreas) generan el 60 por 100 del beneficio neto total del distrito. Siendo no menos importantes: cacahuete, alfalfa, cebolla y el maíz forrajero.

Mediante el uso de programación lineal, se puede

maximizar o minimizar funciones objetivo. De acuerdo a Taha (1981), las unidades de la función objetivo no son necesariamente monetarias de beneficio o costo, sin embargo, tales criterios pueden ser reducidos a minimización de costos o maximización de beneficios equivalentes.

De acuerdo a Wong (1983), el método Simplex, es un procedimiento general para encontrar la solución óptima a problemas de programación lineal. Este método llega a la solución óptima en un número finito de pasos. Los fundamentos del método son los siguientes:

Considerar que n de las $(n + m)$ variables son igual a cero, también suele denominarse variables no básicas. Bajo esta condición el número de soluciones posibles se reduce de infinito a un número igual de combinaciones ($C_n^{n + m}$) de las $(m + n)$ variables tomadas de (m) en (m) , esto es:

$$C^{m + n} = \frac{(m + n)!}{m! n!} \quad (2)$$

El símbolo (!) en la ecuación anterior significa la función factorial. Este número aún puede ser muy grande, pero de estas soluciones, pueden descartarse todas las que dan valores negativos para las variables de acuerdo a la desigualdad de no negatividad, por lo que el número de soluciones se reduce considerablemente.

Finalmente, deben seleccionarse variables para entrar en la solución factible (denominadas variables básicas); sólo aquellas que mejoren el valor de la función objetivo X_0 , de donde puede resultar una solución óptima, si el problema considerado tiene solución. Como se observa, el método se basa en un proceso de tamizado, que elimina todas las soluciones que no sean promisorias para lograr la optimalidad de la función objetivo lo cual se logra por medio de iteraciones sucesivas (Beneke, 1973).

De acuerdo a Graybill (1976), la base del método simplex que garantiza generar tal sucesión de soluciones básicas está formada por dos condiciones fundamentales:

- 1.- La condición de optimalidad asegura que nunca se encontrará una solución inferior (relativa al punto de solución actual).
- 2.- La condición de factibilidad garantiza que partiendo de una solución básica factible, únicamente se encontrarán durante el cálculo soluciones básicas factibles.

MATERIALES Y MÉTODOS

La recopilación de datos fue a través de correo electrónico y/o vía fax donde de cada distrito se recibió información sobre superficie cultivable total, volumen disponible para riego, eficiencia de riego, patrón de cultivos propuesto y los requerimientos de riego para cada cultivo. Teniendo la información, se procedió a darle tratamiento para sistematizar y uniformizar los datos a través de una máscara de Microsoft Excel direccionada.

Esta hoja de cálculo contiene datos de cultivos, láminas de riego bruta y neta, rendimientos promedio, costo de producción, precio de venta, beneficio neto, superficie, beneficio neto total, volumen neto y bruto, coeficientes de requerimiento y productividad media física.

En la construcción del modelo de optimización (función objetivo), se asienta que las variables de decisión son el número de hectáreas de cada cultivo que se deberán sembrar para maximizar el ingreso neto y estas estarán restringidas por la cantidad de agua disponible en el distrito.

El modelo así planteado con sus restricciones, se resolvió con un programa computacional (LINDO 6.1) para obtener la solución óptima para cada distrito de riego analizado. El programa realiza iteraciones introduciendo y despejando superficies de cultivo hasta que se encuentra la combinación óptima de cultivos (patrón de cultivos) que maximiza el ingreso neto sujeto a las restricciones planteadas en el problema.

Los datos que se utilizaron para el planteamiento del problema de optimización del beneficio neto de los distritos, en algunos casos las láminas y volúmenes de agua reportados arrojan eficiencias altas si se comparan con el promedio nacional. Esto puede repercutir en un sesgo del planteamiento propuesto por el INIFAP con respecto a la realidad.

Aunque en algunos distritos de riego la mano de obra pudiera ser factor limitante, para el presente caso se asume que existe disponibilidad y que no es condicionante para obtener buenos rendimientos de los cultivos. En algunos distritos ésta se incluye como variable a considerar dado el impacto social potencial. También se asume que no hay restricción de capital, es decir, créditos oportunos y que los cultivos cuentan con los avíos necesarios.

Comúnmente, bajo condiciones normales de la operación de distritos, se traslapan riegos con la consecuente demanda simultánea de agua para satisfacer los requerimientos de los cultivos. Para el presente caso se asume una suficiente capacidad de la red hidráulica

mayor instalada en virtud de las áreas restringidas a sembrar. Se considera una eficiencia global del distrito para la propuesta del INIFAP variante entre 50 y 70% dependiendo del distrito de riego en cuestión.

Para el caso de distritos de riego con carencia de información, se analizan los coeficientes de las restricciones de agua mediante el uso de un programa computacional que considera fechas de siembra, tipo de suelo, clima, ciclo de cultivo.

RESULTADOS

Se anexa un ejemplo del patrón de cultivo resultante después del análisis planteado, donde podemos observar las diferencias entre un esquema preliminar y el esquema propuesto por INIFAP en cuanto a las láminas de riego, los rendimientos, la superficie, el beneficio neto y la productividad del agua (Ver Cuadro 1).

CONCLUSIONES

Los resultados anteriores son obtenidos de la aplicación del método con todas sus consideraciones. Los datos iniciales son proporcionados por los distritos de riego y a su vez los resultados serán usados por el distrito usando sus criterios propios.

El método será confiable en medida en que los datos proporcionados se acerquen más a la realidad. Datos incongruentes los podemos encontrar en: láminas de riego; los que afectan el beneficio neto como precio de venta, rendimiento, costos y sobre todo los subsidios; y aquellos que forman restricciones en el programa lineal como son la superficie y el volumen disponible de riego.

El supuesto ideal sería la aplicación de los resultados tal y como lo arroja el método; lo cual es una situación difícil. La primera implicación tiene carácter social: los cultivos básicos el método tiende a sacarlos del patrón de cultivos, dada su baja rentabilidad; pero hacerlo conlleva a conflicto dada la situación de que dichos cultivos se siembran para autoconsumo no tanto para su venta, o bien dado que existe una infraestructura industrial que gira en torno a un cultivo (tal es el caso del trigo en el valle del Yaqui). Una segunda dificultad tiene enfoque económico: la finalidad es la optimización del ingreso neto del distrito de riego, donde el ideal sería que la mayor superficie se sembrara con el cultivo más redituable; solo que esto causaría el desplome del precio del producto dada la saturación del mercado. El tercer enfoque es el técnico. Bajo las restricciones de agua y superficie se busca el óptimo para aquellos cultivos que sean más redituables y que tengan un coeficiente de

Cuadro 1. Patrón de cultivos para el distrito de riego 075 "Río Fuerte, Sinaloa" para el ciclo 2004-2005.

Análisis del beneficio neto en el distrito de riego 075 "Río Fuerte" 2004-2005

Cultivo	Esquema tradicional					
	Lam Bruta cm	Rendimiento t/ha	Superficie ha	Beneficio Neto \$	Vol Bruto m ³	Productividad Agua Kg/m ³
Algodón	146.4	2.5	39	84006	570804	0.17
Calabaza	109.7	12.0	4708	82630108	51651468	1.09
Cartamo	46.8	1.8	1446	2170446	6773064	0.37
Cebolla	113.9	18.0	402	14016534	4577976	1.58
Chile verde	138.8	18.0	4844	97548472	67234720	1.30
Frijol	70.1	2.0	40890	322376760	286557120	0.28
Garbanzo	47.2	1.9	3829	16901206	18072880	0.40
Maiz	127.4	9.5	50538	329785719	643651968	0.75
Melon	137.9	26.0	177	5660814	2440830	1.89
Papa	69.4	22.0	12381	667694949	129988119	2.10
Pepino	68.4	24.0	1524	82905600	16358616	2.24
Sandía	58.8	25.0	1240	35354880	12605840	2.46
Tomate	73.4	30.0	15118	643648850	174582664	2.60
Trigo	68.4	4.5	4713	7319289	52564089	0.40
Suma			141849	2308097633	1467630158	

Beneficio (\$/m³) : 1.57

Cultivo	Esquema propuesto por el INIFAP					
	Lam Bruta cm	Rendimiento t/ha	Superficie ha	Beneficio Neto \$	Vol Bruto m ³	Productividad Agua Kg/m ³
Algodón	120.1	3.0	39	210171	468501	0.25
Calabaza	96.5	15.0	4800	120244800	46328229	1.55
Cartamo	40.8	2.4	1446	5272116	5897614	0.59
Cebolla	107.1	20.0	500	20933500	5355714	1.87
Chile verde	128.4	20.0	5800	145800400	74480286	1.56
Frijol	60.9	2.0	45000	372780000	274178571	0.33
Garbanzo	44.8	2.5	4200	34918800	18804000	0.56
Maiz	113.9	9.5	54042	352651071	615538380	0.83
Melon	114.4	30.0	200	8196400	2288571	2.62
Papa	99.1	25.0	15000	1011435000	148671429	2.52
Pepino	97.6	28.0	1800	138240000	17575714	2.87
Sandía	84.0	30.0	1500	54018000	12602143	3.57
Tomate	104.9	35.0	18200	956865000	190892000	3.34
Trigo	97.6	5.0	4713	12079419	46019079	0.51
Suma			157240	3233644677	1459100231	

Beneficio (\$/m³) : 2.22

Ahorro potencial de agua (m³) : 8529927

requerimiento de riego mas bajo. La cuarta y última implicación es bajo el punto de vista práctico. No podemos decidir arbitraria o unilateralmente la propuesta de patrón de cultivos a optimizar, el ejercicio ideal sería: reunir a los interesados e involucrarlos en el proceso para que los datos se aproximen más a la realidad.

Su utilidad radica en su uso como herramienta en la toma de decisiones de los encargados de un distrito de riego.

La aplicación del método en ciclos continuos llevaría sistemáticamente al distrito a incrementar el volumen

de agua disponible ahorrado para el tiempo de sequía, manejar la superficie cultivable año con año, elevar paulatinamente el beneficio neto del distrito y por lo tanto el ingreso *per cápita* de los usuarios.

LITERATURACITADA

- Beneke, Raymond R. y Winterboer, Ronald. 1973. Linear programming applications to agriculture. The Iowa State University Press. AMES.
- CNA (Comisión Nacional del Agua). 2003. Los distritos de riego de México. Recuperado el 08 de noviembre de 2004, de <http://www.cna.gob.mx/eCNA/Espaniol/Directorio/Default.aspx>
- De León, Mojarro Benjamín. 2000. Operación y conservación de distritos de riego. Memorias del congreso internacional de transferencia de sistemas de riego. Comisión Nacional del Agua. México.
- Espinoza, Vicente Enrique. 1981. Los distritos de riego, su administración, operación y conservación. Compañía Editorial Continental S.A. de C.V. México.
- Graybill, Franklin A. 1976. Theory and application of the linear model. DUXBURY Press. EE.UU.
- Martínez, Austria Polioptro. 2000. Desarrollo y transferencia de tecnología de distritos de riego. Memorias del congreso internacional de transferencia de sistemas de riego. Comisión Nacional del Agua. México.
- Palacios, Vélez Enrique. 1981. Introducción a la teoría de la operación de distritos y sistemas de riego. Colegio de Postgraduados. Segunda edición. México.
- Taha, Hamdy A. 1981. Investigación de operaciones, una introducción. Representaciones y servicios de ingeniería S.A. México.
- Wong, Homero. 1983. El método Simplex. En Memorias del curso de programación lineal. CENID-RASPA INIFAP. México.

