

COMPARACIÓN DE DOS MÉTODOS DE COSTOS FIJOS EN LA EXTRACCIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA

Ma. Magdalena Sánchez Astello^{1*}; Pablo Miguel Coras Merino¹

¹Departamento de Irrigación Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México Texcoco km 38.5, Chapingo, México. C.P. 56230.

mastello83@hotmail.com, msancheza@chapingo.mx - Tel. (52) 595 9521500 ext. 5698
(*Autor de correspondencia)

Resumen

La determinación de los costos totales (CT) de cualquier actividad, suele ser un problema muchas veces difícil, este trabajo plantea dos formas de determinar los costos fijos (CF) de extracción de agua subterránea: el método de Análisis de Precios Unitarios (APU) propuesto por el RLOPySRM¹ y el de Recuperación de Capital (RC) utilizado en Ingeniería Económica. Se plantea la ecuación de los CT igual a CF (costos de perforación y equipamiento), más los costos variables (consumos de energía eléctrica, mano de obra y aceite) que están en función del número de horas de operación del pozo (y). Para realizar este trabajo se utilizó y actualizó la información (al año 2022) de los pozos de la SPR Villagrán Produce ubicada en Villagrán, Guanajuato. Se obtuvo el CF por los dos métodos encontrándose una gran similitud en los valores resultantes, con una variación de 14 al 16%, determinada principalmente por la inversión inicial en el establecimiento del pozo, de tal manera que los pozos con mayor profundidad presentan los costos más altos, p.ej. el pozo Regino con 300 m, (el de mayor profundidad) su CF anual por el método APU es de \$345,802, por m³ es de \$4.27 y por hora es de \$460.67; por RC, el CF es de \$402,365, por m³ es de \$4.83 y por hora es de 4521.75. Las dos metodologías pueden usarse ya que sus resultados son semejantes, el método de RC es más sencillo de utilizar, pues solo es la aplicación de una ecuación.

Palabras clave: capital, costos de extracción de agua, costos totales, recuperación.

¹ Reglamento de la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionadas con las Mismas en México

Introducción

En México, las aguas subterráneas desempeñan un papel de vital importancia en el crecimiento socioeconómico del país, gracias a sus características físicas que les permiten ser aprovechadas de manera versátil, funcionan como presas de almacenamiento y red de distribución, siendo posible extraer agua en cualquier época del año de prácticamente cualquier punto del acuífero. Funcionan, además, como filtros purificadores, preservando la calidad del agua. La importancia del agua subterránea se manifiesta en la magnitud del volumen utilizado por los principales usuarios. El 39.1% del volumen total concesionado para usos consuntivos (34,380 hm³ para el año 2017), procede de agua subterránea (CONAGUA, 2018).

El uso del agua subterránea se debe regular, considerando la sustentabilidad ambiental (extracciones inferiores a la recarga natural). Además de los límites ambientales de las extracciones de agua subterránea, en un futuro muy cercano será necesario también tener en mente los límites físicos y económicos al consumo de agua que impone un modelo de utilización de agua de primer uso. El límite económico del agua subterránea se alcanza cuando la profundidad de bombeo (costo de extracción) no es redituable, financieramente hablando. Esto se define en función del tipo de acuífero, los costos de electricidad, la capacidad de bombeo y los precios de los cultivos que se siembran. Adicionalmente, se puede anticipar que este límite económico será variable en función del tamaño del productor y de la región climática (pequeño productor vs agroindustria), sin dejar de señalar que productores más grandes (con mayor poder económico) podrán pagar pozos más profundos a costa de la sobreexplotación del acuífero, afectando al resto de los usuarios (Pedrozo, 2021).

Al contrario de lo que suele ocurrir con la explotación del agua superficial, el agua subterránea por lo general se emplea mediante una iniciativa empresarial, individual o colectiva. Si la actividad es individual puede pensarse en la venta del sobrante del agua a un precio determinado. Por el contrario, si se trata de un proyecto asociativo, la entidad, establecerá los criterios de utilización del agua entre los socios (Caballer & Guadalajara, 1998). En ambos casos es imprescindible calcular el costo de obtención de los metros cúbicos de agua, con el fin de asignar precios por metro cúbico o por tiempo de explotación (Caballer & Guadalajara, 1998).

Este trabajo pretende hacer una comparación entre el método de análisis de precios unitarios y el de recuperación de capital para calcular el costo de extracción de agua subterránea, encontrando las ecuaciones de costo total y a partir de esto recomendar una metodología que permita calcularlo en función del número de horas de operación de un pozo.

Objetivo

Determinar de los costos de extracción de agua subterránea considerando los costos fijos y variables para establecer ecuaciones de costo total utilizando las metodologías de análisis de precios unitarios y recuperación de capital.

Metodología

Los datos usados para realizar este trabajo se obtuvieron de la información y resultados de la investigación de Villanueva (2018), quien realizó un trabajo de determinación de costos de agua subterránea en una Sociedad de Producción Rural del Municipio de Villagrán, Guanajuato.

Para obtener el costo de extracción del agua subterránea en la zona de estudio se utilizó la fórmula citada en Sánchez A. (2012) de:

$$\text{Costo Total} = \text{Costo fijo} + (\text{Costo variable} * y) \quad (1)$$

Donde

y = número de horas de operación del pozo.

Para la determinación del costo de extracción unitario, se divide el costo total entre el volumen de explotación o el tiempo de operación anual, con la finalidad de obtener un costo por metro cúbico y costo horario de extracción:

$$\text{Costo del agua subterránea} \left(\frac{\$}{m^3} \right) = \frac{\text{Costo Total} (\$)}{\text{Volumen de explotación} (m^3)} \quad (2)$$

$$\text{Costo horario} \left(\frac{\$}{h} \right) = \frac{\text{Costo total} (\$)}{\text{Tiempo de operación anual} (horas)} \quad (3)$$

De acuerdo con la ecuación 1, los métodos que se van a comparar se aplican para determinar los costos fijos, pues el costo variable se calcula de la misma manera en las dos metodologías.

Método de análisis de precios unitarios (APU).

Para la metodología de análisis de precios unitarios se utiliza la establecida en el Reglamento de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las mismas para determinar el costo por m³ de agua. En esta metodología se contempla en los costos fijos la consideración de los costos de inversión, de depreciación y de mantenimiento de la perforación y equipamiento del pozo.

$$\text{Costos por depreciación} \quad D = \frac{Vm - Vr}{Ve} \quad (4)$$

$$\text{Costo por inversión} \quad Im = \frac{Vm - Vr}{2 * Hea} \quad (5)$$

Donde:

D = Costo por depreciación de pozo, Vm = Valor del pozo considerado como nuevo, Vr = Valor de rescate del pozo, Ve = Vida económica del pozo, Im = Costo por la inversión, Hea = Número de horas efectivas que el pozo trabaja durante el año, i = Representa la tasa de interés anual.

$$\text{Costo horario por mantenimiento} \quad M_n = K_o * D \quad (6)$$

Donde:

M_n = Costo por mantenimiento mayor y menor del pozo.

K_o = Coeficiente que considera tanto el mantenimiento mayor como el menor.

Método de recuperación de capital (RC).

Para esta metodología se utilizará la fórmula de recuperación de capital de un activo en tiempo presente, considerando el valor del dinero en el tiempo y la actualización de su valor de rescate o salvamento en el tiempo 0, esta fórmula establece un monto amortización de la inversión erogada en la perforación del pozo y su equipamiento, la cual puede ser equivalente a los costos fijos.

$$RC = (P - V_s) \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] + iV_s \quad (7)$$

Donde:

RC = Recuperación de Capital, P = Valor del pozo como nuevo, V_s = Valor de salvamento del pozo, i = Tasa de interés anual, n = No. de años de vida del pozo.

Costos variables.

Los costos variables son iguales a los consumos, estos son los consumos por energía eléctrica, mano de obra, mantenimiento y consumo de aceite y estarán en función del número de horas de operación del pozo.

Costo por consumo de energía eléctrica.

$$CE = P_c * y * CPE \quad (8)$$

Donde:

CE: Costo de la energía eléctrica en pesos, P_c : Potencia consumida kw, y = número de horas de operación del pozo, CPE: Cargo por consumo de energía eléctrica \$/kwh.

Costo por operación por mano de obra. En este concepto se contempló un operador quien trabaja una hora diaria en la operación del equipo.

Costo por consumo de aceite. Este costo se debe al consumo de aceite necesario para mantener lubricada la flecha que conduce la energía mecánica, para después ser transformada por los impulsores de la bomba en energía hidráulica. El consumo de aceite se tomó constante, la Ecuación (6) normalmente es utilizada para conocer la factibilidad de los proyectos que implican estos consumos (FIRA, 1985).

$$Ca=0.0004 * HP \tag{9}$$

Donde:

Ca = Consumo horario de aceite (l/h), 0.0004 = Coeficiente de consumo de aceite por HP del equipo, HP = Potencia nominal del motor que forma parte del equipo de bombeo, HP

Dado que el cálculo anterior es un costo horario, es necesario multiplicarlo por el tiempo de operación anual y el precio del aceite:

$$CA=(0.0004*HP)y* Pa \tag{10}$$

Donde:

CA = Costo de aceite, HP = Potencia nominal del motor que forma parte del equipo de bombeo, HP, y = Número de horas de operación del pozo, Pa = Precio del aceite, \$/l.

Resultados y análisis

La información de los pozos se puede observar en el Cuadro 1.

Costos fijos por la metodología de APU.

Para calcular los costos fijos de esta metodología se hacen las siguientes consideraciones: para el costo de depreciación se considera para la perforación una vida económica de 25 años, para el equipamiento una vida de 10 años, el valor de rescate en la perforación es 0 y en equipamiento es el 5% de valor como nuevo. En el costo de la inversión se contempla una tasa de interés igual a la suma de la inflación anual de mayo 2022 (7.62%) más la tasa de los bonos gubernamentales CETES del 30 de junio 2022 (7.56%) dando una tasa anual de 15.18%.

Cuadro 1. Información básica de los pozos de agua para riego.

Nombre del Pozo	Profundidad	Gasto	Motor	Potencia consumida	Costo de perforación	Costo de equipamiento	Volumen de extracción	Tiempo de operación
	m	lps	HP	Kwh	\$	\$	m3/año	h/año
Praderas	127	49	150	74	\$ 536,564	\$ 804,085	258,360	1,465
Zeferino	200	34	300	130	\$ 955,794	\$ 966,437	166,000	1,356
Regino	300	30	150	64	\$ 1,844,340	\$ 746,874	100,000	926
Juan Salinas	120	8	30	14	\$ 387,352	\$ 411,630	120,000	4,167
Manuel Subías	150	12	75	31	\$ 711,960	\$ 454,975	180,000	4,167
Lupe	200	31	150	71	\$ 963,322	\$ 870,736	148,462	1,330
El Chica	250	28	153	108	\$ 1,290,147	\$ 767,596	96,000	952

Fuente: elaboración propia con información de Villanueva (2018).

Para ilustrar la metodología en un pozo, se toman los datos del pozo Praderas y se sustituyen en las ecuaciones 4, 5 y 6.

Costo anual por depreciación de la perforación $D = \frac{536,564-0}{25} = \$21,463$
 Costo por hora por depreciación del equipamiento

$$D = \frac{804,085 - (5\% \cdot 804,085)}{10} = \$76,388$$

Costo por inversión de la perforación $I = \frac{536,564-0}{2 \cdot 1} * 15.18\% = \$40,725$

Costo por inversión del equipamiento

$$I = \frac{804,085 - (5\% \cdot 804,085)}{2 \cdot 1} * 15.18\% = \$57,979$$

Costo por mantenimiento $Mn = 5\% * (21,463 + 76,388) = \$4,893$

El costo fijo es igual a la suma de estos costos = \$ 201,447.

En el Cuadro 2 se aprecian los valores para todos los pozos.

Cuadro 2. Costos fijos de los pozos por el método del APU.

Nombre del Pozo	Costo por depreciación de la perforación	Costo por depreciación del equipamiento	Costo por inversión de la perforación	Costo por inversión del equipamiento	Costo por mantenimiento	Suma Costos Fijos
	\$/año	\$/año	\$/año	\$/año	\$/año	\$/h
Praderas	\$ 21,463	\$ 76,388	\$ 40,725	\$ 57,979	\$ 4,893	\$ 201,447
Zeferino	\$ 38,232	\$ 91,812	\$ 72,545	\$ 69,685	\$ 6,502	\$ 278,775
Regino	\$ 73,774	\$ 70,953	\$ 139,985	\$ 53,853	\$ 7,236	\$ 345,802
Juan Salinas	\$ 15,494	\$ 39,105	\$ 29,400	\$ 29,681	\$ 2,730	\$ 116,409
Manuel Subías	\$ 28,478	\$ 43,223	\$ 54,038	\$ 32,806	\$ 3,585	\$ 162,130
Lupe	\$ 38,533	\$ 82,720	\$ 73,116	\$ 62,784	\$ 6,063	\$ 263,216
El Chica	\$ 51,606	\$ 72,922	\$ 97,922	\$ 55,348	\$ 6,226	\$ 284,024

Fuente: elaboración propia.

Costos fijos por la metodología de RC.

Para esta metodología se utilizan los mismos datos que para el otro método, se toma una vida económica de 25 años para la perforación y de 10 para el equipamiento, la tasa de interés es del 15.18%. Se sustituyen valores en la Ecuación 7, esta recuperación de capital es anual, por lo que se divide entre el tiempo de operación para que arroje un valor en horas.

Recuperación anual del capital para la perforación pozo Praderas:

$$RC = (536,564 - 0) \left[\frac{15.18\%(1+15.18\%)^{25}}{(1+15.18\%)^{25}-1} \right] = \$48,389.$$

Recuperación anual de capital para el equipamiento pozo Praderas:

$$RC = (804,085 - 5\% * 804,085) \left[\frac{15.18\%(1+15.18\%)^{10}}{(1+15.18\%)^{10}-1} \right] + 5\% * 804,085 * 15.18\% = \$114,631.$$

Para el mantenimiento anual se considera el 5% del costo inicial de la perforación y el equipamiento y se divide entre el tiempo de operación:

$$M = (5\% * (536,562+804,085)) = \$67,032.$$

El costo fijo total es la suma de estos costos igual a \$211.80 por hora. En el Cuadro 3 se observan los costos para todos los pozos.

Cuadro 3. Costos fijos de los pozos por el método de RC.

Nombre del Pozo	Recuperación de capital de la perforación	Recuperación de capital del equipamiento	Costo de mantenimiento	Suma Costos Fijos
	\$/año	\$/año	\$/año	\$/año
Praderas	\$ 48,389	\$ 114,631	\$ 67,032	\$ 230,053
Zeferino	\$ 86,197	\$ 137,776	\$ 96,112	\$ 320,084
Regino	\$ 166,329	\$ 106,475	\$ 129,561	\$ 402,365
Juan Salinas	\$ 34,933	\$ 58,682	\$ 39,949	\$ 133,564
Manuel Subías	\$ 64,207	\$ 64,862	\$ 58,347	\$ 187,415
Lupe	\$ 86,876	\$ 124,133	\$ 91,703	\$ 302,712
El Chica	\$ 116,350	\$ 109,429	\$ 102,887	\$ 328,666

Fuente: elaboración propia.

Costos variables.

En estos costos se consideran los costos consumo de energía eléctrica y de aceite, mano de obra por operación y mantenimiento preventivo del equipo, los cuales estarán en función del número de horas de operación del pozo en un año (variable y).

Costo por consumo de energía eléctrica. Para el cálculo del costo por consumo de energía eléctrica, se tomó en cuenta la tarifa 6 Cargo único (CU) denominada tarifa de estímulo para bombeo de agua para riego agrícola con cargo único, con un costo de \$0.68 por kilowatt-hora de energía consumida (tarifa para el año 2022), sustituyendo en la ec. 8:

$$CE = 74 * y * 0.68 = 50.32 y$$

Costo por operación por mano de obra. El costo del operador fue considerándolo como ayudante general y su salario nominal de la zona de estudio, \$282 por jornal de 8 horas, el costo por hora = $\$282/8 = 35.25$ \$/hora, por lo tanto, esto se puede expresar:

$$CMo = 35.25 \text{ y}$$

Costo por consumo de aceite. Se aplica la Ecuación 10 y se utiliza un precio de aceite de \$141 por litro.

$$CA=(0.0004*150)y*141 = 8.46 \text{ y}$$

Los costos variables para el pozo praderas:

$$Cv = 50.32 \text{ y} + 35.25 \text{ y} + 8.46 \text{ y} = 94.03 \text{ y}$$

El Cuadro 4 ilustra los coeficientes de los costos variables para todos los pozos.

Cuadro 4. Coeficientes de consumos costos variables para los pozos.

Nombre del Pozo	Coeficientes			Suma
	Energía eléctrica	Mano de obra	Consumo de aceite	
Praderas	50.32	35.25	8.46	94.03
Zeferino	88.40	35.25	16.92	140.57
Regino	43.52	35.25	8.46	87.23
Juan Salinas	9.52	35.25	1.69	46.46
Manuel Subías	21.08	35.25	4.23	60.56
Lupe	48.28	35.25	8.46	91.99
El Chica	73.44	35.25	8.63	117.32

Fuente: elaboración propia.

Costos totales

La ecuación de costos totales por año del pozo Praderas con la metodología de APU:

$$CT = 201,447 + 94.03 \text{ y}$$

La ecuación de costos totales por año del pozo Praderas con la metodología de APU:

$$CT = 230,053 + 94.03 \text{ y}$$

En el cuadro 5 se muestran los valores de las variables de las ecuaciones de costo total de cada pozo.

Para la determinación del costo de extracción unitario, por m^3 se aplica la Ecuación 2, se considera que $y = 1,465$ horas de operación anual y el volumen de extracción de $256,360 m^3/año$; y para costo horario se utiliza la Ecuación 3:

$$\text{Costo por } m^3 \text{ por el método APU} = \frac{201,447+94.03*1,465}{258,360} = \$1.31 \text{ por } m^3$$

$$\text{Costo horario por el método RC} = \frac{201,447+94.03*1,465}{1,465} = \$251.06 \text{ por h}$$

Cuadro 5. Ecuaciones de costo total por método.

Nombre del Pozo	Costos fijos APU	Costos fijos RC	Coefficiente de costos variables	Ecuación de CT con APU	Ecuación de CT con RC
Praderas	\$ 201,447	\$ 230,053	94.03	201,447 + 94.03 y	239,053 + 94.03 y
Zeferino	\$ 278,775	\$ 320,084	140.57	278,775 + 140.57 y	320,084 + 140.57 y
Regino	\$ 345,802	\$ 402,365	87.23	345,802 + 87.23 y	402,365 + 87.23 y
Juan Salinas	\$ 116,409	\$ 133,564	46.46	116,409 + 46.46 y	133,564 + 46.46 y
Manuel Subías	\$ 162,130	\$ 187,415	60.56	162,130 + 60.56 y	187,415 + 60.56 y
Lupe	\$ 263,216	\$ 302,712	91.99	263,216 + 91.99 y	302,712 + 91.99 y
El Chica	\$ 284,024	\$ 328,666	117.32	284,024 + 117.32 y	328,666 + 117.32 y

Fuente: elaboración propia.

El Cuadro 6 muestra los costos totales de cada método y los costos unitarios por m³ y por hora.

Cuadro 6. Costos totales y unitarios por método de APU y RC.

Nombre del Pozo	Costos totales con método APU	Costos totales con método RC	Costo por m ³		Costo por hora	
			Método APU	Método RC	Método APU	Método RC
	\$	\$	\$/m ³	\$/m ³	\$/h	\$/h
Praderas	\$ 339,201	\$ 367,807	1.31	1.42	231.54	251.06
Zeferino	\$ 469,388	\$ 510,697	2.83	3.08	346.16	376.62
Regino	\$ 426,577	\$ 483,140	4.27	4.83	460.67	521.75
Juan Salinas	\$ 310,017	\$ 327,171	2.58	2.73	74.40	78.51
Manuel Subías	\$ 414,483	\$ 439,769	2.30	2.44	99.47	105.54
Lupe	\$ 385,563	\$ 425,058	2.60	2.86	289.90	319.59
El Chica	\$ 395,711	\$ 440,354	4.12	4.59	415.66	462.56

Fuente: elaboración propia.

Análisis

Al comparar los costos fijos por los dos métodos, se puede observar las siguientes similitudes de las dos metodologías:

- Concordancia de los valores de costos fijos con respecto a los montos de la inversión, mayores montos de inversión mayor costo fijo.
- Consideran el valor del dinero en el tiempo a través de una tasa de interés vigente, en el método de APU a través del costo de inversión y en el otro en la fórmula de recuperación de capital.
- Contemplan la vida económica y valor residual de los activos.
- Pueden determinar el costo por unidad de tiempo, se calculó en un año, pero puede hacerse por mes o por hora.

La diferencia entre ambos métodos sería la facilidad de aplicación de cada uno, es más sencillo y práctico el de RC.

En cuanto a los resultados se puede observar que los costos fijos de ambos métodos son muy similares, los costos fijos determinados por el método de RC son más altos en una variación que va del 14 al 16%, en donde se presenta la mayor variación (16%) es en los pozos que tienen una mayor cantidad de inversión, ver Cuadro 7.

Cuadro 7. Variación de los costos fijos por los 2 métodos.

Nombre del Pozo	Praderas	Zeferino	Regino	Juan Salinas	Manuel Subías	Lupe	El Chica
Variación de los costos fijos por los 2 métodos	14%	15%	16%	15%	16%	15%	16%

Fuente: elaboración propia.

Ambos métodos pueden aplicarse para la determinación de costos totales de los pozos y al llegar a la ecuación como está en función del número de horas de operación del pozo, y ésta a su vez está determinado por el tipo de cultivo o cultivos que se van a regar, por lo cual, al encontrar esta ecuación puede servir como un indicador de costo dentro de los costos de producción de los cultivos.

Conclusiones

Este trabajo arroja las siguientes conclusiones:

- Las ecuaciones de costo total se pueden obtener por los dos métodos y diferenciar el costo fijo del costo variable en la operación de un pozo de agua para riego agrícola.
- Los costos fijos son mayores en el método de Recuperación de Capital, esta variación está en función del monto de la inversión de la perforación y el equipamiento.
- Las similitudes de los dos métodos son: hay una concordancia de los valores de costos fijos con respecto a los montos de la inversión, mayores montos de inversión mayor costo fijo, consideran el valor del dinero en el tiempo a través de una tasa de interés vigente y contemplan la vida económica y el valor residual de los activos.
- Pueden determinar el costo por unidad de tiempo, año, mes o por hora.
- Las dos metodologías pueden utilizarse y sus resultados son semejantes, el método de Recuperación de Capital es más sencillo de utilizar, debido a que solo se aplica una ecuación.
- La ecuación de costo total de agua para riego agrícola puede utilizarse en la determinación de los costos de producción de un cultivo referidos a su consumo de agua.

Bibliografía

- Caballer, V., & Guadalajara, N. (1998). Valoración económica del agua de riego. Madrid, España: Mundi-Prensa. Páginas 49-50.
- CONAGUA. (2018) Estadísticas del Agua en Mexico. México, D.F. Página 55.
- FIRA. 1985. Instructivos técnicos de apoyo para la formulación de proyectos de financiamiento y asistencia técnica. México D.F. Página 13.
- Pedrozo A. A. 2021. Uso sustentable del agua subterránea: llave de acceso a la conservación de ríos. PERSPECTIVAS IMTA N°. 26, DOI: doi.org/10.24850/b-imta-perspectivas-2021-26. Página 3.
- Sánchez A. M.M. 2012. Manual de análisis de precios unitarios. Editado por la Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. Página 36.
- Villanueva M. Z. 2018. Costo del agua subterránea en la SPR de RI Villagrán Produce. Tesis profesional. Departamento de Irrigación. Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México. México. Páginas 56-66.