

INCREMENTO DE EFICIENCIA FÍSICA EN TRES CÉLULAS DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE QUERÉTARO, MÉXICO

Carlos Eduardo Mariano¹, Victor Javier Bourguett¹

Resumen - Se presenta las acciones ejecutadas para incrementar la eficiencia física y de facturación en tres células de distribución de agua potable de la ciudad de Querétaro. Por medio de balances volumétricos se determina la eficiencia de inicio en las tres células en estudio, se vinculan predios con contrato a fin de actualizar el padrón de usuarios, identificar clandestinaje y tomas irregulares. Se localizan fallas en la instalación de micro medidores y se cuantifica el error aproximado de medición ocasionado por la mala instalación. Se cuantifica el error medio de micro medición y se determina el consumo para una muestra de predios de cada una de las células. De la misma forma se completa una campaña de detección y reparación de fugas visibles y no visibles.

Al final de las acciones descritas se mide la eficiencia física y el consumo mínimo nocturno, los que se relacionan con los resultados de una prueba de cierre con la finalidad establecer criterios de relación y monitoreo de eficiencias. Se presenta la relación beneficio costo de los trabajos y los incrementos obtenidos.

¹ Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Paseo Cuauhnáhuac 8532, Progreso, Jiutepec, Mor, México, cmariano@tlaloc.imta.mx

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la ciudad de Santiago de Querétaro, Qro., se ha desarrollado considerablemente. Esto ha supuesto que la demanda de servicios, especialmente en lo referente al abastecimiento de agua potable, sea cada vez mayor.

Como primer paso para la optimización de este recurso, la Comisión Estatal de Aguas de Querétaro (CEA), implantó el actual sistema celular de distribución dividiendo la ciudad en sectores o células. De esta manera, se puede realizar un control independiente, facilitándose en gran medida aspectos tales como la regulación o la búsqueda de fugas.

Una vez creadas las células, surge la necesidad de conocer cuál es el nivel de eficiencia en el que están trabajando. Se considera como eficiencia de física el cociente entre el volumen que se consume en una célula entre el volumen que se suministra a una célula; como eficiencia de conducción, al cociente entre el volumen que llega al tanque de regulación de la célula y el volumen de agua producido por la fuente destinada a la célula; como eficiencia de facturación, al cociente del volumen facturado y el volumen consumido por la célula; finalmente, la eficiencia global se calcula como el producto de la eficiencia física y la comercial.

Si estas eficiencias no son lo suficientemente altas, se deberían desarrollar trabajos destinados a la recuperación de agua y a la mejora de los sistemas de facturación. En este trabajo se considera como límite inferior la eficiencia global del 70% y, del 90%, para la eficiencia de conducción.

Con base en los criterios definidos, la CEA seleccionó cinco células, de las que se eligieron tres, dado que todas no cumplen con los valores mínimos de eficiencia. Las células seleccionadas fueron: célula 90 Colinas del Cimatario, al sureste del centro de la ciudad de Querétaro; célula 83 Las Plazas, al suroeste del centro de la ciudad, y célula 32 Lomas del Marqués Parte Alta, al noreste del centro de la ciudad (ilustración 1).

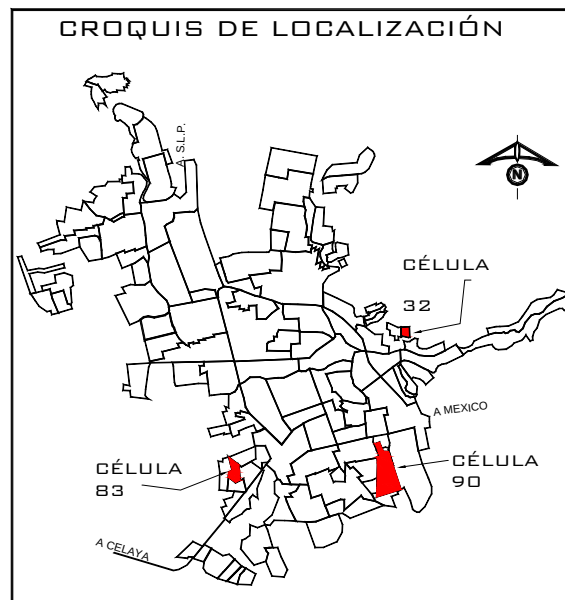


Ilustración 1. Localización de las células en la ciudad de Querétaro, Qro.

Con los valores de eficiencias iniciales y mediante la recuperación de agua procedente de la reparación de fugas visibles y no visibles, se aseguró que al menos el 90% del volumen de agua producido por el pozo llega al tanque de alimentación de la célula (líneas de conducción). Mediante la recuperación de agua procedente de la reparación de fugas visibles y no visibles, y la regularización de tomas clandestinas, se logró incrementar los valores de eficiencia física, permitiendo que una mayor proporción del volumen de agua suministrado por el tanque es registrado por los micromedidores (líneas de distribución). Por medio del incremento de la facturación producido por la regularización de tomas clandestinas, y considerando los errores de medición obtenidos de las pruebas de exactitud de los micromedidores, se aseguró que una mayor proporción del volumen consumido por los usuarios es medido.

Balances iniciales de aguas

Con la finalidad de conocer el estado de operación de las tres células en el estudio, se realizaron balances volumétricos para la conducción y la distribución.

Las eficiencias de conducción para los tres casos de estudio se reportan en la Tabla 1. En el caso de la célula 32 Lomas del Marqués, se reportan dos. El primero de ellos nos indicó fallas en la red de conducción, por lo cual se procedió a la búsqueda de las causas. Como resultado se identificaron conexiones clandestinas, que se cancelaron para dar cabida a una segundo balance de conducción en el que se obtiene el 90.75% de eficiencia.

Tabla 1. Valores de eficiencia de conducción para las tres células.

Célula	Eficiencia obtenida
90	96.15 %
83	93.39 %
32	89.53% / 90.75 %

Eficiencia física Colinas del Cimatario

De acuerdo con el padrón de usuarios proporcionado por la CEA, el número total de contratos en noviembre de 2004 en la célula 90 era de 767. La determinación del volumen consumido para el cálculo de la eficiencia física, se hace por medio de la cuantificación de los volúmenes entregados en cada uno de los predios en la célula, mediante de la lectura de micromedidores. Para ello, se recorrió el 100% de los predios, siendo un total de 790 los predios visitados. Del total de los predios visitados, se pudo obtener la lectura de 620 domicilios, mientras que no fue posible en 137, estimando su consumo a partir del volumen medio de los consumos de cada uno de los predios reportados por el área comercial para el mes de septiembre de los años 2002, 2003 y 2004. Se identificaron 33 predios no contenidos en el padrón de usuarios proporcionado por la CEA. Con base en este levantamiento, se determinó que el volumen consumido en la célula (leído más estimado) fue de 3,992.65 m³ para la semana del 16 al 23 de octubre de 2004 (Tabla 2).

Tabla 2. Volúmenes y eficiencias en la célula 90.

Consumo total (m ³)		Volumen suministrado a la célula m ³	Volumen facturado CEA (sep. 2004) m ³	Volumen facturado semanal CEA (sep. 2004) m ³	Eficiencia física (%)	Eficiencia de facturación (%)	Eficiencia global (%)
Medido	Estimado						
3,448.23	544.42	5,540.12	15,406.00	3,594.73	72.07%	90.03%	64.89%

Por su parte, el volumen suministrado a la célula a lo largo del mismo periodo fue de 5,540.12 m³, mientras que el volumen facturado por semana por la CEA para el mes de septiembre fue de 3,594.73 m³. Los valores de volumen presentados permiten determinar que las eficiencias física, de facturación y global, toman los valores presentados en la Tabla 2.

Además, si consideramos el consumo medido directamente, 3,448.63 m³, y lo dividimos entre el número de predios en los que fue posible la lectura, 620, obtenemos que el consumo medio por predio en una semana es de 5.56 metros cúbicos/toma/semana.

Eficiencia física Las Plazas

De acuerdo con el padrón de usuarios proporcionado por la CEA, el número total de predios con contrato fue de 762. La determinación del volumen consumido para el cálculo de la eficiencia física, se hace por medio de la cuantificación de los volúmenes entregados en cada uno de los predios en la célula, mediante la lectura de micromedidores. Para ello se recorrió el 100% de los predios, siendo un total de 752 predios visitados. Del total de los predios visitados, se pudo obtener la lectura de 614 domicilios, mientras que no fue posible en 138, estimando su consumo a partir del volumen medio de los consumos de cada uno de los predios reportados por el área comercial para el mes de septiembre de los años 2002, 2003 y 2004. En el conjunto de 138 predios donde no fue posible la toma de lectura, se identificaron 21 predios no contenidos en el padrón de usuarios proporcionado por la CEA. Con base en este levantamiento, se determinó que el volumen consumido en la célula (leído más estimado) fue de 2,508.35 m³ para la semana del 15 al 22 de octubre de 2004 (Tabla 3).

Tabla 3. Volúmenes y valores de eficiencia del balance inicial de aguas en la célula 83.

Consumo total (m ³)		Volumen suministrado a la célula m ³	Volumen facturado CEA (sep. 2, 3 y 4) m ³	Volumen facturado semanal CEA (sep. 2, 3 y 4) m ³	Eficiencia física (%)	Eficiencia de facturación (%)	Eficiencia global (%)
Medido	Estimado						
2,118.30	390.06	3,486.79	11,255.00	2,426.17	71.94%	96.72%	68.58%

Por su parte, el volumen suministrado a la célula a lo largo del mismo periodo fue de 3,486.79 m³, mientras que el volumen facturado por semana por la CEA para el mes de septiembre fue de 2,426.17 m³. Los valores de volumen presentados permiten determinar que las eficiencias física, de facturación y global toman los valores presentados en la (Tabla 3).

Además, si consideramos el consumo medido directamente, 2,118.30 m³, y lo dividimos entre el número de predios en los que fue posible la lectura, 614, obtenemos que el consumo medio por predio en una semana es de 3.45 metros cúbicos/toma/semana.

Eficiencia física Lomas del Marqués

De acuerdo con el padrón de usuarios proporcionado por la CEA, el número total de predios con contrato es de 833. La determinación del volumen consumido para el cálculo de la eficiencia física, se hace por medio de la cuantificación de los volúmenes entregados en cada uno de los predios en la célula, mediante de la lectura de micromedidores. Para ello se recorrió el 100% de

los predios, siendo un total de 859 predios visitados. Del total de los predios visitados se pudo obtener la lectura de 687 domicilios, mientras que en 122 no fue posible, estimando su consumo a partir del volumen facturado para cada predio en el mes de noviembre de 2004. En el conjunto de los 172 predios donde no fue posible la toma de lectura, se identificaron cincuenta predios no contenidos en el padrón de usuarios proporcionado por la CEA. Con base en este levantamiento, se determinó que el volumen consumido en la célula (leído más estimado) fue de 2,289.87 m³, para la semana del 5 al 12 de enero de 2005 (tabla 4).

Tabla 4. Volúmenes y valores de eficiencia del balance inicial de aguas en la célula 32.

Consumo total (m ³)		Volumen suministrado a la célula m ³	Volumen facturado CEA (nov. 2004) m ³	Volumen facturado semanal (nov. 2004) CEA m ³	Eficiencia física (%)	Eficiencia de facturación (%)	Eficiencia global (%)
Medido	Estimado						
2,038.07	251.8	3,582.50	9,772.00	2,280.13	63.92%	99.57%	63.65%

Por su parte, el volumen suministrado a la célula a lo largo del mismo periodo fue de 3,582.50 m³, mientras que el volumen facturado por semana por la CEA para el mes de noviembre de 2004 fue de 2,280.13 m³. Los valores de volumen presentados permiten determinar que las eficiencias física, de facturación y global toman los valores presentados en la tabla 4.

Además, si consideramos el consumo medido a lo largo del balance inicial, 2,038.07 m³, y lo dividimos entre el número de predios en los que fue posible la lectura, 687, obtenemos que el consumo medio por predio en una semana es de 2.96 metros cúbicos/toma/semana.

Acciones de mejora de eficiencias

Célula 90

Como parte de las acciones de mejora de eficiencias se vincularon los predios con el padrón de usuarios de la CEA, de lo cual resultaron siete predios en construcción sin contrato, 12 predios habitables sin contrato y los 11 clandestinos no incorporados, obteniéndose 774 predios potenciales consumidores de agua. Si cada uno de estos predios adicionales consume el volumen medio por semana obtenido en el balance inicial, se logra una recuperación de 38.93 metros cúbicos/semana.

En relación con las fugas identificadas, tanto visibles como no visibles, se pudieron recuperar 542.02 m³/semana. La Tabla 5 muestra cada una de las componentes del agua recuperada para la célula 90 Colinas del Cimatario.

Tabla 5. Agua recuperada en Colinas del Cimatario.

	Recuperación de agua por vinculación	Recuperación por búsqueda de fugas	Recuperación por sustitución y giro de micromedidores	Recuperación total
Metros cúbicos/semana	38.93	542.02	No es posible indicar valores exactos para este rubro	580.95
Porcentaje respecto del total recuperado	6.70%	93.30%		100.00%

Célula 83

Como resultado del proceso de vinculación predio-contrato, se identificaron diez predios habitables sin contrato y ocho clandestinos no incorporados, lo que permite obtener 781 predios potenciales consumidores de agua. Comparando estos predios con el número de predios con contrato en el padrón original, se aprecia que existen 19 predios adicionales. Si cada uno de estos predios adicionales consume el volumen medio por semana obtenido en el balance inicial, se logra una recuperación de 65.55 metros cúbicos/semana.

En relación con la detección y reparación de fugas, tanto visibles como no visibles, fue posible la recuperación de 174.17 m³/semana. La

Tabla 6 muestra las componentes y los valores para cada una de éstas en la célula 83 Las Plazas.

Tabla 6. Agua recuperada en Las Plazas.

	Recuperación de agua por vinculación	Recuperación por búsqueda de fugas	Recuperación por sustitución y giro de micromedidores	Recuperación total
Metros cúbicos/semana	65.55	174.18	No es posible indicar valores exactos para este rubro	239.73
Porcentaje respecto del total recuperado	27.34%	72.66%		100.00%

Célula 32

Del proceso de vinculación se identificaron dos predios en construcción sin contrato y seis predios habitables sin contrato, para hacer un total de 860 predios potenciales consumidores de agua. Comparando estos predios con el número de predios con contrato en el padrón original, se aprecia que existen 27 predios adicionales. Si cada uno de estos predios adicionales consume el volumen medio por semana obtenido en el balance inicial, se logra una recuperación de 80.10 metros cúbicos/semana.

En relación con el caudal recuperado por detección y reparación de fugas visibles y no visibles, se lograron 544.32 m³/semana. La Tabla 7 muestra cada una de las componentes del caudal recuperado para la célula 32 Lomas del Marqués.

Tabla 7. Agua recuperada en Lomas del Marqués.

	Recuperación de agua por vinculación	Recuperación por búsqueda de fugas	Recuperación por sustitución y giro de micromedidores	Recuperación total
Metros cúbicos/semana	80.10	544.32	No es posible indicar valores exactos para este rubro	624.42
Porcentaje respecto del total recuperado	12.83%	87.17%		100.00%

Balance final de aguas en la célula 90

Para la cuantificación del volumen de agua consumido en una semana en la célula, fue posible la lectura de 639 medidores en ésta; en 105 predios no se pudieron tomar lecturas, para los que se consideró el consumo facturado por la CEA en el mes de febrero de 2005, y 11 predios resultaron no incluidos en el padrón de usuarios, dado que la CEA requiere de acciones legales para su regularización. Con lo anterior resulta que el volumen consumido en una semana fue de 4,605.00 m³, compuestos por 4,228.00 m³ leídos y 377.00 m³ estimados. En relación con el volumen de agua que se suministra a la célula, se cuantificaron 5,627.8 m³ para el mismo periodo de evaluación. Por otro lado, para el mes de febrero de 2005, la CEA facturó 15,882.00 m³, que representan en términos medios 3,970.50 m³ por semana. Estos valores permiten obtener los valores de eficiencia física, de facturación y global mostrados en la tabla 8.

Tabla 8. Volúmenes y valores de eficiencia logrados en el balance final de aguas en la célula 90.

Consumo total (m ³)		Volumen suministrado a la célula m ³	Volumen facturado CEA (feb 2005) m ³	Volumen facturado semanal cea (feb 2005) m ³	Eficiencia física (%)	Eficiencia de facturación (%)	Eficiencia global (%)
Medido	Estimado						
4,228.00	377.00	5,627.8	15,882.00	3,970.50	81.83%	86.22%	70.55%

Influencia de las acciones de incremento de eficiencias

Partiendo del volumen consumido en la célula en el balance inicial de aguas, que fue igual a 3,992.65 m³/semana, y agregando a este volumen el volumen recuperado por fugas (542.02 m³/semana), más el volumen recuperado por actualización del padrón (38.93 m³/semana), se obtiene un volumen agregado igual a 4,573.60 m³/semana. Dividiendo el volumen agregado entre el volumen suministrado a la célula en el balance final de aguas, que fue de 5,627.80 m³/semana, se obtiene una eficiencia física igual al 81.27% que, comparada con la eficiencia física obtenida directamente del balance final de aguas, de 81.83%, representa una diferencia de 0.56%, favorable al balance final de aguas.

La diferencia de eficiencias se atribuye a las acciones realizadas por la CEA, en relación con la sustitución, rotación y alineación de micro medidores.

Tabla 9. Proporción de cada una de las componentes del agua recuperada en la célula 90.

Actividad	Puntos porcentuales de aumento de la eficiencia física	Peso de la acción sobre el aumento de la eficiencia obtenido
Búsqueda de fugas	8.58%	87.96%
Vinculación predio-contrato	0.62%	6.32%
Otros (sustitución o rotación de micros)	0.56%	5.72%
Totales	9.76%	100.00%

En el caso de la eficiencia de facturación, se debe considerar el volumen facturado en el balance final de distribución, agregando el posible consumo de los 11 predios consumidores de agua no regularizados. Esto permite que volumen facturado sea de 4,043.28 m³/semana, que

relacionado con el volumen consumido permite un valor de eficiencia de facturación del 88.70%. La eficiencia global resulta de 71.84 por ciento.

Beneficio-costo

Tabla 10. Ingresos esperados tras los trabajos realizados en Colinas del Cimatario.

Ingreso por venta de agua	Volumen semanal de agua recuperada (m3)	Volumen anual de agua recuperada (m3)	Precio de venta promedio del m3 de agua	Ingreso anual
	581	30,212	\$7.00	\$211,484.00
Ingreso por contrataciones (19 predios)	Contrataciones ya efectuadas en predios en construcción o ya construidos	No de predios	Ingreso medio obtenido	Ingreso total obtenido
		5	\$16,849.60	\$84,248.00
	Contrataciones pendientes en predios en construcción o ya construidos	No de predios	Costo del contrato, derechos y medidor	Ingreso esperado (en un año)
		14	\$8,000	\$112,000

Cálculo de beneficios:

1. **Ingreso anual esperado por venta de agua para la CEA por los 580.95m³ semanales recuperados.** Se considera que el precio medio de venta por cada m³ en la CEA es de \$7.00. El volumen anual de agua recuperada fue de 30,212 m3, lo que supone un ingreso anual estimado de **\$211,484.00**.
2. **Contrataciones ya realizadas.** Se contrataron cinco predios con un ingreso de **\$84,248**.
3. **Contrataciones pendientes.** Aún faltan 14 predios por regularizar. Suponiendo un ingreso fijo de \$8,000 en concepto de derechos, contrato y medidor, se estima recaudar aproximadamente **\$112,000** a lo largo del próximo año.

Tabla 11. Relación costo beneficio para Colinas del Cimatario.

Costo proyect	Ingresos obtenido	Monto pendiente amortiza	Ingresos anuales		Periodo amortizació (año\$)	Periodo amortizació (mese)
			Contrataciones el primer	Venta de		
\$215,00	\$84,24	\$130,75	\$112,00	\$211,48	0.40	5

El costo de los trabajos desarrollados en esta célula fue de \$215,000.

Tras descontar del costo del proyecto los \$84,248 que ya ingresó la CEA por concepto de regularización de contratos, resultaría una cantidad pendiente de amortizar de \$130,752.

Si se supone una entrada de dinero para el primer año de \$323,484, correspondiente a venta de agua y contrataciones, el periodo de amortización se reduce a cinco meses.

Balance final de aguas

Para la cuantificación del volumen de agua consumido en una semana en la célula fue posible la lectura de 614 medidores en ésta; en 140 predios no se pudieron tomar lecturas, para los que se consideró el consumo facturado por la CEA en el mes de febrero de 2005, y ocho predios resultaron no incluidos en el padrón de usuarios, dado que la CEA requiere de acciones legales para su regularización. Con lo anterior resulta que el volumen consumido en una semana fue de 2,782.13 m³, compuestos por 2,412.76 m³ leídos y 369.37 m³ estimados. En relación con el

volumen de agua que se suministra a la célula, se cuantificaron 3,314.78 m³ para el mismo periodo de evaluación. Por otro lado, para el mes de febrero de 2005, la CEA facturó 11,605 m³, que representan en términos medios 2,901.25 m³ por semana. Estos valores permiten obtener los valores de eficiencia física, de facturación y global mostrados en la Tabla 12.

Tabla 12. Volúmenes y eficiencias logradas en la célula 83.

Consumo total (m ³)		Volumen suministrado a la célula m ³	Volumen facturado CEA m ³	Volumen facturado semanal cea m ³	Eficiencia física (%)	Eficiencia de facturación (%)	Eficiencia global (%)
Medido	Estimado						
2,412.76	369.37	3,314.78	11,605.00	2,901.25	83.93%	104.28%	87.52%

Influencia de las acciones de incremento de eficiencias

Partiendo del volumen consumido en la célula en el balance inicial de aguas, que fue igual a 2,508.9 m³/semana, y agregando a este volumen el volumen recuperado por fugas (174.18 m³/semana), y el volumen recuperado por actualización del padrón de usuarios (65.55 m³/semana), se obtiene un volumen agregado igual a 2,748.63 metros cúbicos/semana.

Dividiendo el volumen agregado entre el volumen suministrado a la célula en el balance final de aguas, que fue de 3,314.78 m³/semana, se obtiene una eficiencia física igual al 82.92%, que comparada con la eficiencia obtenida directamente del balance final de aguas, de 83.93%, representa una diferencia de 1.01% favorable al balance final de aguas.

La diferencia de eficiencias se atribuye a las acciones realizadas por la CEA en relación con la sustitución, rotación y alineación de micro medidores.

De esta forma, la proporción que guarda cada uno de los rubros identificados de recuperación de agua se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13. Proporción de cada una de las componentes del agua recuperada en la célula 83.

Actividad	Puntos porcentuales de aumento de la eficiencia física	Peso de la acción sobre el aumento de la eficiencia obtenido
Búsqueda de fugas	7.97%	66.53%
Vinculación predio-contrato	3.00%	25.04%
Otros (sustitución o rotación de micros)	1.01%	8.44%
Totales	11.98%	100.00%

En el caso de la eficiencia de facturación, se debe considerar el volumen facturado en el balance final de distribución, agregando el posible consumo de los ocho predios consumidores de agua no regularizados. Esto permite que el volumen facturado sea de 2,932.7 m³/semana, que relacionado con el volumen consumido permite un valor de eficiencia de facturación del 100%. La eficiencia global resulta de 88.47 por ciento.

Beneficio-costo

Tabla 14. Ingresos esperados tras los trabajos realizados en Las Plazas.

Ingreso por venta de agua	Volumen semanal de agua recuperada (m3)	Volumen anual de agua recuperada (m3)	Precio de venta promedio del m3 de agua	Ingreso anual
	240	12,480	\$7.00	\$87,360.00
Ingreso por contrataciones (11 predios)	Contrataciones ya efectuadas en predios en construcción o ya construidos	No de predios	Ingreso medio obtenido	Ingreso total obtenido
		0	\$0.00	\$0.00
	Contrataciones pendientes en predios en construcción o ya construidos	No de predios	Costo del contrato, derechos y medidor	Ingreso esperado (en un año)
		11	\$8,000	\$88,000

Cálculo de beneficios

1. **Ingreso anual esperado por venta de agua para la CEA por los 240m³ semanales recuperados.** Se considera que el precio medio de venta por cada m³ en la CEA es de \$7.00. El volumen anual de agua recuperada fue de 12,480 m³, lo que supone un ingreso anual estimado de **\$87,360**.
2. **Contrataciones ya realizadas.** No se contrató ningún predio.
3. **Contrataciones pendientes.** Aún faltan 11 predios por regularizar. Suponiendo un ingreso fijo de \$8,000 en concepto de derechos, contrato y medidor, se estima recaudar aproximadamente **\$88,000** a lo largo del próximo año.

El costo de los trabajos desarrollados en esta célula fue de \$215,000.

Tabla 15. Relación costo beneficio para Las Plazas.

Costo del proyecto	Ingresos ya obtenidos	Monto pendiente de amortizar	Ingresos anuales potenciales		Periodo de amortización (años)	Periodo de amortización (meses)
			Contrataciones (sólo el primer año)	Venta de agua		
\$215,000	\$0	\$215,000	\$88,000	\$87,360	1.45	17

Si se supone una entrada de dinero para el primer año de \$175,360, correspondiente a la venta de agua y a las contrataciones, y de \$87,360 el segundo año correspondiente exclusivamente a la venta de agua, el periodo de amortización se extiende a 17 meses.

Balance final de aguas

Para la cuantificación del volumen de agua consumido en una semana en la célula fue posible la lectura de 747 medidores en ésta; en 105 predios no se pudieron tomar lecturas, para los cuales se consideró el consumo facturado por la CEA en el mes de febrero de 2005, y 12 predios resultaron no incluidos en el padrón de usuarios dado que la CEA requiere de acciones legales para su

regularización. Con lo anterior, resulta que el volumen consumido en una semana fue de 2,567.17 m³, compuestos por 2,301.37 m³ leídos y 265.80 m³ estimados. En relación con el volumen de agua que se suministra a la célula, se cuantificaron 3,021.89 m³ para el mismo periodo de evaluación. Por otro lado, para el mes de febrero de 2005, la CEA facturó 9,921 m³, que representan en términos medios 2,240.23 m³ por semana. Estos valores permiten obtener los valores de eficiencia física, de facturación y global mostrados en la Tabla 16.

Tabla 16. Volúmenes y eficiencias logradas en la célula 32.

Consumo total (m ³)		Volumen suministrado a la célula m ³	Volumen facturado CEA m ³	Volumen facturado semanal CEA m ³	Eficiencia física (%)	Eficiencia de facturación (%)	Eficiencia global (%)
Medido	Estimado						
2,301.37	265.80	3,021.89	9,921.00	2,240.23	84.95%	87.26%	74.13%

Influencia de las acciones de incremento de eficiencias

Partiendo del volumen consumido en la célula en el balance inicial de aguas, que fue igual a 2,289.87 m³/semana, y agregando a este volumen el volumen recuperado por fugas (544.32 m³/semana), y el volumen recuperado por actualización del padrón de usuarios (80.10 m³/semana), se obtiene un volumen agregado igual a 2,914.29 metros cúbicos/semana.

Dividiendo el volumen agregado entre el volumen suministrado a la célula en el balance final de aguas, que fue de 3,021.89 m³/semana, se obtiene una eficiencia física igual al 96.44%, que comparada con la eficiencia obtenida directamente del balance final de aguas, de 84.95%, representa una diferencia de 11.49% favorable a la estimación del volumen agregado con los volúmenes de agua recuperados.

Es curioso observar cómo la eficiencia física que se debería haber obtenido tras la reparación de las fugas es superior a la realmente obtenida. Muy probablemente, la explicación se encuentre en el mal estado de la red. Parte de las fugas reparadas, cuyo gasto fue considerado como gasto recuperado, se pudo haber reproducido de nuevo en la red antes de realizar el segundo balance, con lo cual se está considerando un volumen recuperado superior al realmente obtenido. Finalmente, se concluye que el estado de la red distorsiona los resultados obtenidos, o bien, se estuvo reparando “la misma fuga” varias veces a lo largo de la red.

En el caso de la eficiencia de facturación no existen predios pendientes por regularizar, por lo que no es posible estimar un incremento por este concepto. Sólo restaría agregar el efecto no cuantificable del cambio, alineación y rotación de micromedidores.

Beneficio-costo

Tabla 17. Ingresos esperados tras los trabajos realizados en Lomas del Marqués Parte Alta.

Ingreso por venta de agua	Volumen semanal de agua recuperada (m3)	Volumen anual de agua recuperada (m3)	Precio de venta promedio del m3 de agua	Ingreso anual
	195	10,140	\$7.00	\$70,980.00
Ingreso por contrataciones (8 predios)	Contrataciones ya efectuadas en predios en construcción o ya construidos	No de predios	Ingreso medio obtenido	Ingreso total obtenido
		5	\$7,916.60	\$39,583.00
	Contrataciones pendientes en predios en construcción o ya construidos	No de predios	Costo del contrato, derechos y medidor	Ingreso esperado (en un año)
		3	\$3,000	\$9,000

Cálculo de beneficios

1. **Ingreso anual esperado por venta de agua para la CEA por los 195m³ semanales recuperados.** Se considera que el precio medio de venta por cada m³ en la CEA es de \$7.00. El volumen anual de agua recuperada fue de 10,140 m³, lo que supone un ingreso anual estimado de **\$70,980**.
2. **Contrataciones ya realizadas.** Se contrataron cinco predios con un ingreso de **\$39,583**.
3. **Contrataciones pendientes.** Aún faltan seis predios por regularizar. Suponiendo un ingreso fijo de \$3,000 en concepto de derechos, contrato y medidor, se estima recaudar aproximadamente **\$18,000** a lo largo del próximo año.

El costo de los trabajos desarrollados en esta célula fue de \$215,000.

Tabla 18. Relación costo beneficio para Lomas del Marqués Parte Alta.

Costo del proyecto	Ingresos ya obtenidos	Monto pendiente de amortizar	Ingresos anuales potenciales		Periodo de amortización (años)	Periodo de amortización (meses)
			Contrataciones (sólo el primer año)	Venta de agua		
\$215,000	\$39,583	\$175,417	\$9,000	\$70,980	2.34	28

Tras descontar del costo del proyecto los \$39,583 que ya ingresó la CEA por concepto de regularización de contratos, resultaría una cantidad pendiente de amortizar de \$175,417.

Si se supone una entrada de dinero para el primer año de \$79,980, correspondiente a la venta de agua y a las contrataciones, y de \$70,980 el segundo año correspondiente exclusivamente a la venta de agua, el periodo de amortización se extiende a 28 meses.

Bibliografía

Mariano, C., *Incremento de eficiencia física y de facturación en tres células de la ciudad de Querétaro*, informe final del proyecto HC-0454 del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2005.