



Relaciones

Revista de El Colegio de Michoacán

El Colegio de Michoacán

relaciones@colmich.edu.mx

ISSN 0185-3929

MÉXICO

2002

Jacinta Palerm / Carlos Chairez

MEDIDAS ANTIGUAS DE AGUA

Relaciones, otoño, Vol. 23, número 92

El Colegio de Michoacán

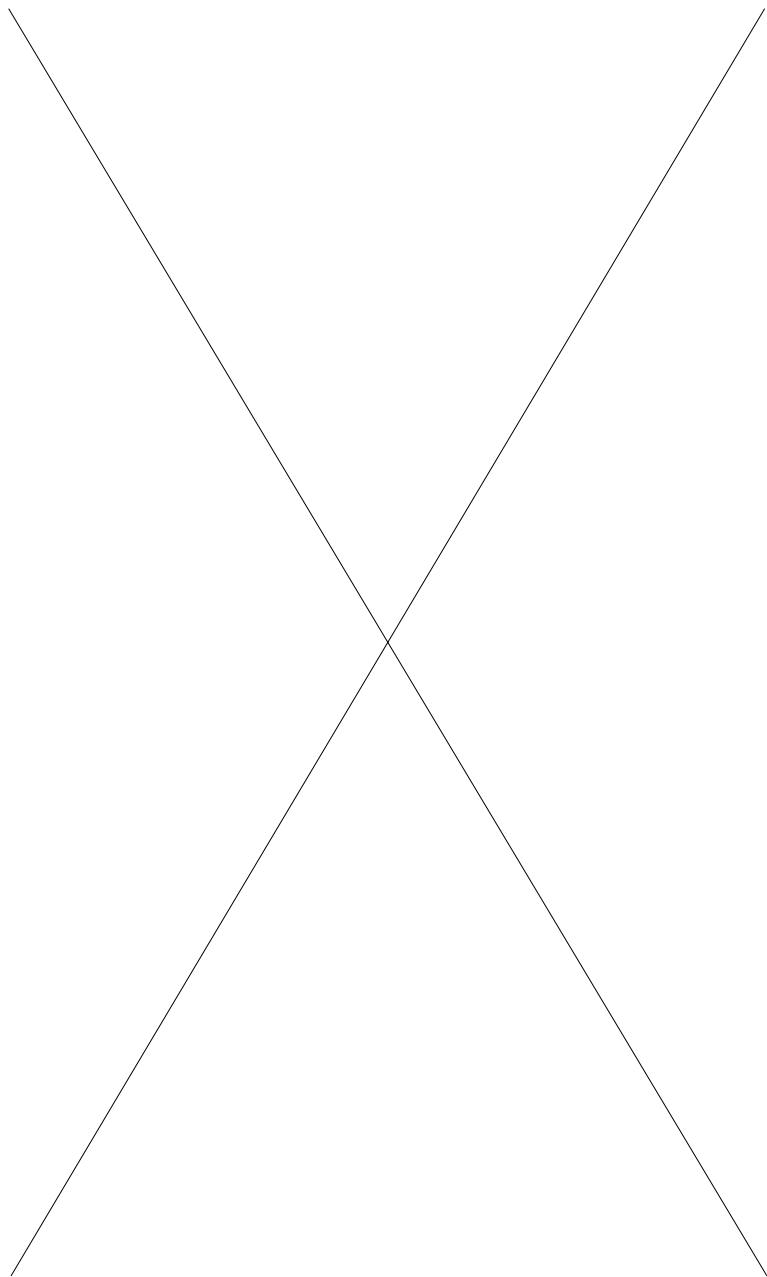
Zamora, México

pp.227-251



Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe
Ciencias Sociales y Humanidades

<http://redalyc.uaemex.mx>



Las medidas antiguas de agua usadas en México, llamadas surcos, bueyes, pajas, naranjas –tienen conversiones no sistemáticas a litros por segundo–. Ello ha levantado la sospecha de que no se consideraba la velocidad en la medición del agua. Sin embargo un Reglamento de 1761, elaborado por Lasso de la Vega incorpora la medición de la velocidad; cálculo tratado con anterioridad, al parecer, por Sáenz de Escobar (ca. 1706); basados en los avances de la ciencia: la ley de Castelli (1625); y el principio de Torricelli (ca. 1630). La variación en las conversiones tampoco parece poder explicarse por diversidad regional de las medidas. Todo parece indicar que la confusión inicia con el *Decreto de 1863*, decreto con el que México pasa oficialmente al sistema métrico decimal. La ciencia y técnica de la medición del agua en Nueva España y México es un capítulo no explorado de nuestra historia (medidas antiguas de agua, surco, buey, paja, aforar).



MEDIDAS ANTIGUAS DE AGUA

Jacinta Palerm Viqueira*
Carlos Chairez Araiza
COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INTRODUCCIÓN

Las medidas de aguas utilizadas en la Nueva España y México, antes del cambio al sistema métrico decimal, recibían nombres como surco, buey, paja, real, dedo, naranja. La equivalencia de las medidas antiguas al sistema métrico decimal presenta una variación desconcertante, un sur-

* jpalem@colpos.colpos.mx <http://isei.colpos.mx/~jpalem> (carloshairez@hotmail.com) Agradezco el apoyo entusiasta de colegas en enviarme sus hallazgos de medidas antiguas de agua: D. Birrichaga, Frank de la Teja (a través de W. Doolittle), J. G. Rodríguez Meza, J. Rivera, M. Rivas, I. Salcedo, M. González Huerta y C. Cirelli –así como a Daniel Murillo, quién me proporcionó el libro recién reeditado de Enzo Levi, *El agua según la ciencia*–. La primera versión de este trabajo se presentó en el *XXI International Congress of History of Science* (Ciudad de México 8-14 julio, 2001), la sesión “Cambios tecnológicos y culturales en torno al uso y manejo del agua” fue coordinada por Rolando García

co de agua equivale a cantidades que van desde 3.24 litros por segundo hasta 17.5 litros por segundo, pasando por 6.5 litros por segundo.

Nuestro propósito es tratar de explicar esta variación considerando lo siguiente: (a) la diversidad o estandarización de las medidas antiguas de agua; (b) la forma de medir el agua, tomando en cuenta que las técnicas y conocimiento sobre medición se van modificando con los avances en hidráulica y la formación de especialistas hidromensores en el periodo en que se utilizaron (desde el siglo XVI hasta el XIX y, en algunos casos, para aguas municipales, hasta el siglo XX);¹ y (c) el sustento de las diversas conversiones al sistema métrico decimal.

LAS MEDIDAS ANTIGUAS DE AGUA, LA ESTANDARIZACIÓN

Empecemos por señalar que la medición y la estandarización de medidas han sido desde antiguo motivo de interés. Carrera Stampa y Hamilton ya han señalado la rigurosidad en las medidas en la Nueva España y España respectivamente; por su parte Kula ha señalado la diversidad de medidas y la dificultad de su conversión al sistema métrico decimal.

Las medidas antiguas de agua en la Nueva España y el México del siglo de la Independencia se denominan buey, surco, naranja, real, dedo, paja. Las más pequeñas eran para agua municipal, típicamente la paja; mientras las más grandes eran para uso rural, típicamente el surco.

En los documentos se establece el tamaño del marco o data (orificio) para cada una de estas medidas, así como las equivalencias entre medi-

Blanco. Fueron muy estimulantes los comentarios y discusión durante la sesión (y después de la sesión) entre los compañeros de sesión y público asistente, entre ellos Horacio Capel, David Barkin, Brigitte Boehm, Marco Antonio Sánchez, Teresa Rojas, José Rivera, Patricia Ávila, Roberto Melville, Sergio Vargas y otros más. También nuestro agradecimiento a los árbitros anónimos y a Jaime Collado, sus comentarios fueron enriquecedores.

¹ Tal parece ser el caso de Sayula, Jalisco: "A.-Dic. 29 de 1949. P.-Dic. 31 de 1949. 5508.- Autoriza al Ayto. de Sayula, para cobrar un cinco por ciento sobre lo que se paga por paja de agua, destinando el producto al pago de reparaciones urgentes que demanda el drenaje" y "A.-Mar. 23 de 1950. P.-Mar. 30 de 1950. 5537.- Deroga el Decreto no. 5508, que creó un impuesto especial por paja de agua en Sayula" (Congreso del Estado de Jalisco).

das, así por ejemplo un buey de agua corresponde a un marco de una vara cuadrada y hay 48 surcos en un buey.

En documentos oficiales y escritos de época: la *Ordenanza de 1536*, los escritos de José Sáenz de Escobar ca. 1706; el *Reglamento de 1761*; los cálculos de don Miguel de Constansó en 1792; la *Memoria de 1830*; el libro de Galván Rivera editado por primera vez en 1844 y reeditado múltiples veces en el siglo XIX, se establecen las medidas oficiales para el agua rural y urbana. La información básica aportada de manera repetitiva corresponde a los nombres de las medidas, el tamaño de los marcos o datas y la equivalencia entre medidas.

En las fuentes consultadas no hemos encontrado variación en el tamaño de las datas o marcos. En la equivalencia entre medidas hemos encontrado algunas variaciones, no obstante parecen ser de origen tipográfico,² sólo en un documento de 1635 encontramos una clara falta de congruencia en las equivalencias entre medidas antiguas de agua que no parece atribuible a errores tipográficos.³

² Tal es el caso en la *Ordenanza de 1536* (p. 190), cuando señala "4 real [sic] o 18 pajas" equivalente a 1 1/8 pulgadas cuadradas, cuando debieran ser "1 real o 18 pajas", en la misma columna se señala la equivalencia para "4 reales"; en los demás cuadros se señala "1 real o 18 pajas". En el *Decreto de 1863* (p. 484-485) cuando señala que un buey es equivalente a 141 naranjas, cuando debieran ser 144 naranjas. En Lipssett-Rivera (1999, p. 18, 20, 155 n. 28) cuando señala que un surco equivale a 48 pajas, error que probablemente provenga de señalar –correctamente– en ese mismo párrafo que un buey equivale a 48 surcos; y también parece ser otro error tipográfico cuando señala que un real equivale a 8 pajas, cuando debieran ser 18 pajas (textualmente señala "paja, 1/8 of a real"). Sin embargo Bendfeldt (1993) señala para Guatemala que "El Ayuntamiento a su vez, vendía el derecho de agua [...] en 1618 a \$ 4.00 (Pesos) el Real, y la paja de agua a medio peso. Según lo anterior, cada Real de agua constaba de ocho pajas". Es decir en Guatemala un real tendría 8 y no 18 pajas.

³ En Lipssett-Rivera (1999) las medidas señaladas en las páginas 18 y 20 corresponden a las que ya hemos encontrado en otros textos, salvo errores tipográficos (véase nota anterior), sin embargo en el documento reproducido facsimilmente en la p. 19 (AGN, Ramo Hospital de Jesús, Legajo 267, exp 13, fol. 16v, 1635) se puede leer "Lo que llaman cuerpo de Buey es una vara en quadro; y aquella cantidad que cabe por el otro quadro, teniendo una vara por cada lado, dentro caben 48 surcos: en una cuarta en quadro, que la tenga por todos los quatro lados, caven 3 surcos; cada surco en forma prolongada tiene una sesma de largo, y una ochaba de ancho: Cada surco tiene 3 Naranjas: cada Naranja tiene 442 Pajas: y un Surco 1326 Pajas. el quadrado. que se tuviere con la Diagonal,

| Cuadro de equivalencias entre medidas antiguas de agua |
|---|
| 1 buey = 48 surcos ^[1-3, 5-6, 9-12] = 144 naranjas ^[5, 10] [= 141 naranjas ? ^[6]] = 1,152 reales ^[5] = 20,736 pajas ^[5-7] = 2,304 dedos cuadrados ^[1, 5] = 1,296 pulgadas cuadradas ^[1, 5, 8] |
| 1 surco = 3 naranjas ^[1-2, 5-7, 9-12] = 24 reales ^[6-7] = 432 pajas ^[6-7] [= 1326 pajas ? ^[12]] [= 48 pajas ?] ^[11] = 48 dedos cuadrados ^[1, 5, 14] = 27 pugas cuadradas ^[1, 5, 7-8] = 432 cuartillos por minuto ^[7] |
| 1 naranja ^a = 8 reales ^[1-2, 4-7, 9, 11] = 144 pajas ^[6-7] [= 442 pajas ? ^[12]] = 16 dedos cuadrados ^[1, 5] = 9 pulgadas cuadradas ^[1, 5, 8] |
| 1 real o limón ^b = 18 pajas ^[1-9] [= 8 pajas ? ^[11, 13]] = 2 dedos cuadrados ^[5] = 1 1/8 pulgadas cuadradas ^[1, 5] |
| 4 reales = [18 pajas ? ^[1]] |
| 1 merced ^c = 5 pajas ^[9-10] |
| 9 pajas cuadradas = 16 granos cuadrados = 1 dedo cuadrado ^[1] |
| 1 paja = 1 cuartillo o libra por minuto ^[4, 6-9] = 1/9 dedo cuadrado ^[1, 5] = 1/16 pulgadas cuadradas ^[1, 5, 7] = 14.5 quintales en un día ^[4, 6-7] |
| 1 dedo cuadrado = 9 pajas ^[3, 5] = 16 granos cuadrados ^[3, 5] |

¹ Ordenanza de 1536 (p. 187-191), ² Saénz de Escobar (ca. 1706) citado en Baxter (2000: 398, 403), ³ Reglamento de 1761 (p. 201-216 o p. 260-279), ⁴ Constansó (1792) y Memoria de 1830 citado en Bribiesca (1959: 84 y s/p la lámina II) y Ávila González (1997: 136-142), ⁵ Galván Rivera 1844 (p. 252-255, 256-257, 265-266), ⁶ Decreto de 1863 (p. 484-485), ⁷ Robelo 1908, ⁸ Carrera Stampa (1949: 18-19), ⁹ CNC (1970: 162-164 y fé de erratas), ¹⁰ Ávila González (1997: 137), ¹¹ Lipsett-Rivera (1999: 18 y 20), ¹² AGN 1635, ¹³ Bendfeldt (1993), ¹⁴ Haggard (1941: 83)

^a Lipsett-Rivera señala que la naranja recibe también el nombre de grana. Este nombre no lo habíamos encontrado con anterioridad, sin embargo si hemos encontrado el nombre grano (cuadrado y lineal), pero no corresponde a la naranja.

^b El nombre de medida de agua limón, equivalente a real; no la hemos ubicado en textos anteriores al siglo XX. Lipsett-Rivera señala que el real recibe también el nombre de *hila*.

^c El nombre de medida de agua merced, equivalente a 5 pajas; no la hemos ubicado en textos anteriores al siglo XX. En Ávila González (1997, 137) se señala que “El término merced de agua, a la vez que designaba una concesión, hacía referencia a una medida hidráulica. Lo menos que se podía arrendar a un usuario era media merced, es decir, 2.5 pajas de agua”.

| Equivalencias entre medidas antiguas (longitud) |
|---|
| 1 vara = 2 medias = 3 tercias o piés = 4 cuartas o palmos = seis sesmas = ocho ochavas = 36 pulgadas = 48 dedos |
| 1 pulgada = 12 líneas |
| 1 línea = 12 puntos |
| 1 dedo = 3 pajas = 4 granos |

LA MEDICIÓN DEL AGUA, EL PROBLEMA DE LA VELOCIDAD

En los documentos se establece para cada medida de agua el tamaño del marco o data. Esto es, el tamaño de la abertura por la que pasa el agua. Sin embargo la velocidad a la que se mueve el agua modifica la cantidad de agua que pasa en un tiempo dado.

Nos planteamos por lo tanto la pregunta de si las medidas antiguas, o más bien –las “formas de medir” antiguas estaban o no considerando la velocidad del agua–; dado que estas se expresan en un tamaño de abertura. Misma interrogante que se plantea Baxter (2000) para concluir que las medidas de agua antiguas no consideraban la velocidad del agua y que no existía en la Nueva España y posteriormente en el México independiente una técnica para medir la velocidad del agua⁴ –siendo hasta 1844, con Galván, que se presenta una–. Baxter (2000, 398-400)

vale por dos surcos [...]” Todo cuadra: un buey corresponde a una vara cuadrada, una cuarta corresponde a 12 dedos, y en una cuarta cuadrada hay 144 dedos cuadrados equivalente a 3 surcos o lo que es lo mismo 48 dedos cuadrados equivalente a un surco, el señalamiento “Un surco se compone de una sesma de largo y una ochava de lo alto” la repite Constansó en 1792; tampoco hay problema con la equivalencia de un surco igual a 3 naranjas; pero no coincide una naranja igual a 442 pajas y un surco igual a 1 326 pajas.

⁴ La tecnología para mediciones exactas a la que se refiere Baxter (2000) es el invento de Henri de Pitot divulgado en 1732 como “Description d’une machine pour mesurer la vitesse des eaux courantes et le sillage des vaisseau”. Baxter también señala que antes del trabajo de Saénz de Escobar (ca. 1706) no había regulaciones uniformes, sin embargo ahí están las Ordenanzas de 1536. Por otra parte la formulación científica que incorpora la velocidad a la medición del agua la realiza Benedetto Castelli en 1625, alumno de Galileo

también señala que la solución de Lasso de la Vega (autor del *Reglamento de 1761*) es regular la velocidad. Por otra parte Lipsett-Rivera (1999, 18) señala que Sáenz de Escobar (ca. 1706) mejora el método de medición, método que anteriormente no consideraba la velocidad.⁵

Lo que podemos afirmar, con relación al *Reglamento de 1761*, gracias a la colaboración de un ingeniero agrónomo y civil –coautor de este trabajo–, es que hay dos descripciones, la primera consiste en cómo realizar un aforo y, por supuesto están midiendo la velocidad, tanto en el texto del *Reglamento de 1761*, como en el instructivo que aporta Galván Rivera, la segunda descripción consiste en cómo diseñar una estructura reguladora.

Parece claro que desde el *Reglamento de 1761* de Lasso de la Vega, o desde Sáenz de Escobar (ca. 1706), se estaba considerando la velocidad del agua para aforar (véase la demostración en el apartado: Aforar en 1761). Sin embargo las medidas de agua (en surcos, bueyes, naranjas) consistían en un área por donde, según la velocidad del agua, podía pasar más o menos agua en un tiempo determinado.

Por ejemplo en 1850 (Comisión Exploradora del Atoyac, p. 13) se relata explícitamente la medición de velocidad en ríos, sin que en el texto se asiente este cálculo como novedoso:

El río tiene en este punto 18 varas de ancho de agua, por término medio; de fondo, máximum 3 piés, 7 pulgadas, y de mínimum 2 piés, 8 pulgadas, después de la confluencia del Mixteco: el descenso es de 12 pulgadas por 100 varas, y se mueve la corriente a razón de 50 varas en 40" que corresponde á 4 000 varas por hora. La cantidad de agua que fluye por el Atoyac es de 18

y también maestro de Torricelli, es la llamada Ley de Castelli: $Q=VA$, donde Q es el gasto, A es el área de la sección y V es la velocidad. Pasarán varias décadas antes de resolver la cuestión de la diferencia de velocidad en la parte superior e inferior, así como el desarrollo de instrumentos para medir la velocidad en el fondo del río (Levi 2001, 126-129, 151, 153 y ss, 167 y ss).

⁵ "To allocate a certain portion of water, an expert surveyor assessed the depth and width of a stream with a *vara hidromensora* [...] and thus calculated the volume of a body of water" (Lipsett-Rivera 1999, 18). Posiblemente así se realizaron los aforos mencionados en Palerm Viqueira y Martínez Saldaña (2000, 44, 167, 261, 263) para los años 1684, 1689, 1708 y 1765.

bueyes, con los 3 bueyes que introduce el Mixteco, pues solo traía 15 el Atoyac en diciembre de 1850.

Las medidas de bueyes y surcos, sin embargo, corresponden a medidas de área y no de volumen. Según el cálculo aritmético realizado la cantidad de agua que fluye por el Atoyac, para el tiempo indicado, corresponde a 4 500 varas por hora (y no a 4 000 varas por horas), lo que hace 18.75 bueyes o 900 surcos (y no 18.00 bueyes como se señala), así, si se considera la velocidad con la que fluye el agua en el Atoyac (1.0475 m/s) el aforo del río Atoyac es igual a 13 790 00 lps lo que hace que un buey convertido al sistema métrico decimal surta 735.4666 lps o bien, que un surco, también convertido al sistema métrico decimal, surta 15.3222 lps.

En el *Reglamento de 1761* el instructivo de diseño de la estructura reguladora no parece incorporar la velocidad, más bien la atención se centra en garantizar el paso proporcional del agua. Ello quiere decir que un surco de agua, representando un orificio, tendrá diverso gasto (Q) dependiendo de la altura viva del agua en la tasa partidora. Suponiendo que la altura viva del agua se mantiene constante, el gasto (Q) será proporcional. Es decir, si la altura viva del agua sobre el centro de los orificios varía y las demás condiciones se mantienen constantes –forma del orificio, tipo de pared, etcétera–, el gasto (Q) en cada unidad de medida antigua será proporcional a su área. En esta parte del texto del *Reglamento de 1761* son importantes las indicaciones que se hacen sobre el diseño y construcción de pilas o tasas de agua para fines de distribución.

Ello también implica que si se mantiene una cierta altura viva del agua, se puede regular el volumen de agua que pasa por el orificio, suponiendo que la velocidad de llegada del agua a los orificios es despreciable.⁶ Encontramos entonces que si en la tasa repartidora se mantiene

⁶ Teorema de Torricelli (Evangelista Torricelli, 1608-1647 –alumno de Galileo) referido al cálculo de velocidad en un orificio bajo el influjo de la presión atmosférica y donde la velocidad de llegada del agua es despreciable: $V = \sqrt{2gh}$, luego $Q=(A) \sqrt{2gh}$ ("V" corresponde a la velocidad, "g" a la gravedad que es un valor universal [9.81 m/s], "h" a la carga hidráulica o tirante y "A" al área del orificio, "Q" corresponde al gasto). Estas condiciones son similares al caso que nos ocupa. La ecuación de Torricelli fue precisada ca. 1846, resultando $Q=(Cd)(A) \sqrt{2gh}$ donde Cd tiene un valor aproximado de 0.60.

una carga hidráulica que para el surco sería de 7 cm o 3 pulgadas (medidos desde el centro del área del surco hasta la altura viva del agua, unos 2 cm por arriba del marco del surco) se tiene un gasto de 3.25 lps. Donde a menos altura de agua en la tasa disminuye el gasto, y a más altura del agua en la tasa incrementa el gasto.

Valores de Q para un un orificio del tamaño de un surco (27 pulg²), al variar el valor de h (carga hidráulica)

| (h) | | área | | gasto (Q) | | |
|-------|------------|----------------|-------------------------|-------------------|---------------------------|---------|
| m | pulg. mex. | m ² | pulg. ² mex. | m ³ /s | pulg. ³ mex./s | lps |
| 0.005 | 0.2148 | 0.0146 | 27 | 0.0027 | 33.2565 | 2.7494 |
| 0.006 | 0.2578 | 0.0146 | 27 | 0.0030 | 36.4307 | 3.0118 |
| 0.007 | 0.3007 | 0.0146 | 27 | 0.0033 | 39.3496 | 3.2532 |
| 0.008 | 0.3437 | 0.0146 | 27 | 0.0035 | 42.0665 | 3.4778 |
| 0.009 | 0.3866 | 0.0146 | 27 | 0.0037 | 44.6183 | 3.6887 |
| 0.01 | 0.4296 | 0.0146 | 27 | 0.0039 | 47.0318 | 3.8883 |
| 0.02 | 0.8592 | 0.0146 | 27 | 0.0055 | 66.5130 | 5.4988 |
| 0.03 | 1.2888 | 0.0146 | 27 | 0.0067 | 81.4615 | 6.7347 |
| 0.04 | 1.7184 | 0.0146 | 27 | 0.0078 | 94.0636 | 7.7765 |
| 0.05 | 2.1480 | 0.0146 | 27 | 0.0087 | 105.1663 | 8.6944 |
| 0.10 | 4.2959 | 0.0146 | 27 | 0.0123 | 148.7276 | 12.2958 |
| 0.15 | 6.4439 | 0.0146 | 27 | 0.0151 | 182.1534 | 15.0592 |
| 0.20 | 8.5918 | 0.0146 | 27 | 0.0174 | 210.3326 | 17.3888 |

El *Reglamento de 1761* considera el concepto de velocidad en las dadas contenidas en la caja repartidora (medidas de distribución), al posicionar su centro de área sobre un mismo centro de gravedad, de manera que la carga hidráulica sea igual para cada una de ellas y por consiguiente puedan proporcionar gastos (Q) proporcionales a su área. Si el flujo en la caja repartidora varía, como es el caso que se da en épocas de lluvia y seca, variando entonces la carga hidráulica, el diseño de la caja repartidora permite participar en los beneficios y perjuicios en forma proporcional a las concesiones. De aquí la importancia de las medidas de reconocimiento (el aforo de la corriente) y distribución (las estructuras reguladoras).

Por otra parte en 1792 parece introducirse otra innovación que consiste en asignar explícitamente un valor volumétrico a las medidas antiguas de agua. La *Memoria económica de la municipalidad de México* publicada en 1830, basada en las mediciones hechas por don Miguel de Constansó en 1792, indica “Una paja produce en cada *minuto* una libra o cuartillo de agua, y por consecuencia 14 1/2 quintales en un *día* natural, y por lo mismo un real o 18 pajas rinden las 24 *horas* 259 quintales, con cuya cantidad hay lo sobrado para llenar una fuente de agua de 4 1/2 varas en cuadro y una de profundidad”.⁷ Tomando como base que una paja produce un cuartillo por minuto, donde un cuartillo es igual a 0.4500 litros, y como un surco se compone de 432 pajas, entonces, el surco producirá 3.24 lps.

Tal sistematización permitiría entonces, en principio, la conversión al sistema métrico decimal, no sólo como una medida de área (tamaño del orificio), sino también como una medida volumétrica (litros por segundo).

LAS CONVERSIONES DE MEDIDAS ANTIGUAS AL SISTEMA MÉTRICO DECIMAL (LITROS POR SEGUNDO)

Como acabamos de ver a fines del siglo XVIII Constansó establece para las medidas antiguas de agua los volúmenes que producirán en un dado tiempo. La propuesta de Constansó,⁸ realizada por orden del virrey conde de Revillagigedo, es retomada en la *Memoria económica de la municipalidad de México en 1830*, aunque en el reporte de la *Comisión Ex-*

⁷ Para el mismo caso se tiene que la paja no produce 14.50 quintales en un día natural sino 14.0794 quintales y, por consiguiente un real o 18 pajas producirán 253.4295 quintales en 24 horas o 11.664.0000 litros en 24 horas (y por lo tanto una paja 648 litros en 24 horas y 0.0075 lps), lo que significa que la cantidad de agua vertida por 18 pajas en 24 horas, es insuficiente para llenar la fuente con las dimensiones descritas, donde caben 258.98 quintales (1 x 4.5 x 4.5 varas; 944,784 pulg³; 11.917 m³). Por otra parte, si 18 pajas producen 259 quintales, la caja (de 258.98 quintales) no tiene capacidad suficiente.

⁸ Aunque esta medida volumétrica puede ser anterior: Carrera Stampa señala “The paja [...] produced one *cuartillo* per minute, or about 648 liters a day” y señala como fuente a J. Sáenz de Escobar “Geometría práctica y mecánica dividida en tres tratados”, manus-

ploradora del Atoyac de 1850 se siguen considerando las medidas de agua como marcos por donde pueden pasar volúmenes variables.

En ninguna de las conversiones al sistema métrico decimal (litros por segundo), que hemos localizado, se establece el razonamiento para la conversión, aquella de Constansó de 1792, de la cual se deriva una velocidad de 0.2214 m/s, nos da un surco igual a 3.2392 lps que son aproximadamente 3.24 lps y cuya diferencia obedece al número de decimales aplicadas a las operaciones aritméticas $[(0.2214 \text{ m/s}) \times (0.01463 \text{ m}^3 \text{ área del surco}) = 0.1943 \text{ m}^3 \text{ por minuto}, 194.3569 \text{ litros por minuto o } 3.2392 \text{ lps}]$.

La variación en las conversiones al sistema métrico decimal inicia en el texto del *Decreto de 1863*. En el *Decreto* (p. 484-485) se señala de manera categórica que un surco de agua equivale a 6.5 litros por segundo. Pero al referirse a las pajas indica: “Una paja produce por minuto un cuartillo o libra de agua, o cuarenta y cinco centésimas de litro y por lo mismo, en un día natural producirá catorce y medio quintales,⁹ o seiscientos cuarenta y ocho litros”. y también “se considerará la paja igual a cuarenta y cinco centésimos de litro por minuto”.

Si consideramos la relación entre surcos y pajas, donde un surco tiene 432 pajas (equivalencia que señala el mismo *Decreto de 1863*), entonces un surco producirá 3.24 lps $[(648 \text{ l}) / (432 \text{ pajas})]$ y una paja 0.0075 lps $[(648 \text{ l}) / (86,400 \text{ s})]$ lo que significa que los valores asumidos son iguales a los derivados del cálculo de Constansó (un surco igual a 3.24 lps y una paja igual 0.0075 lps).

Robelo en 1908 (sin paginación) proporciona dos equivalencias. Afirma que 1 surco equivale a 6.5 lps, y en el mismo párrafo dice que 1 surco equivale a 432 cuartillos por minuto de agua, y que éstos se convierten en litros multiplicando el número de cuartillos por 0.456264, al hacer la operación el resultado es 3.28 lps. Bajo “buey” consigna que

crita en Archivo del Museo Nacional, vol. 465, fol. 65. Es en otra parte del párrafo que señala como fuentes a Galván Rivera (1844), Pablo Argumosa (1895), Andrés Oscoy (1903), Robelo (1908).

⁹ Hay un pequeño error de cálculo en lugar de 14.50 quintales en 24 horas, deben ser 14.0794 quintales en 24 horas (véase nota 7).

“equivale a 159 litros por segundo”.¹⁰ En la sección sobre “principales conversiones” Robelo indica los números por los que hay que multiplicar para convertir respectivamente bueyes, surcos, naranjas, reales y pajas a litros por minuto; en todos los casos, luego de calcular, el resultado oscila entre 3.24 y 3.41 lps. Señala, al igual que en el *Decreto de 1863*, que 1 paja produce 648 litros en un día, lo que equivale a 0.0075 litros por segundo; y dado que un surco tiene 432 pajas luego un surco equivale a 3.24 lps.

Es decir es únicamente cuando en el texto de Robelo se señala la equivalencia del surco y no una operación a realizar, que aparece una conversión a 6.5 litros por segundo –posiblemente el tipógrafo lo “corrigió” o en la reedición facsimilar, que es la que tuve acceso, se “corrigió”.

En el *Diccionario de derecho agrario mexicano* se retoman las equivalencias del *Decreto de 1863*: “un surco de agua se considerará igual a seis litros y medio por segundo, en las medidas rústicas; e igual a cuarenta y cinco centésimas de litro por minuto para la paja en las urbanas”; sin embargo en la equivalencia de paja y de otras medidas (buey, naranja y limón) se toma la base de un surco equivalente a 6.5 litros por segundo, y no la de una paja equivalente a 45 centésimas de litro por minuto (p. 67, 492, 560, 588, 818.).

En otros textos¹¹ incluyendo el ejercicio académico más completo de recopilación de medidas antiguas novohispanas y su conversión al sistema métrico decimal y a medidas modernas anglosajonas,¹² un surco de agua equivale a una cantidad que oscila entre 3.21 y 3.41 lps. Los historiadores han retomado una u otra conversión.¹³

¹⁰ La diferencia decimal con el cálculo de Constansó se debe a lo siguiente: asigna un valor al cuartillo de 0.456264 y no de 0.45, lo que ocasiona que al realizar las operaciones aritméticas necesarias, el surco sea igual a 3.28 lps y no a 3.24 lps; y al convertir el buey al sistema métrico decimal, le asigna un valor de 159 litros por segundo, cuando según su secuencia de cálculo debiera ser 157.4400 lps $[(3.28 \text{ lps}) / (48 \text{ surcos del buey})]$.

¹¹ Baxter 1997, 34; 2000, 399, 403; CNC 1970, 162-164 y fe de erratas.

¹² Carrera Stampa 1949, 18-19.

¹³ Por ejemplo para la medida de surco más grande: Wobeser 1983-a, 479; 1983-b, 91; Henao 1980, 92; y para la medida de surco más pequeña: Rivera 1998, 231; Meyer [1984] 1997, 78 nota 23, 96, 109 nota 67.

No parece haber explicación de porqué en el *Decreto* se propone una conversión de surcos y pajas al sistema métrico decimal donde no se respeta la equivalencia en el sistema antigua de medidas entre surcos y pajas.¹⁴

Además de la confusión en la conversión de medidas antiguas de agua al sistema métrico decimal en un documento oficial (el *Decreto de 1863*), encontramos una diversidad de conversiones establecidas por el personal encargado del reparto agrario: en 1923 en el estado de Morelos y en 1925 en el valle de Teotihuacán (Estado de México) se da la equivalencia de un surco 17.50 lps;¹⁵ también para Morelos pero en 1918 se da la equivalencia “oficial” de conversión (un surco igual a 6.5 lps).¹⁶ Sólo reuniendo más casos podremos ver el abanico de posibilidades de hacer operativo el cambio del sistema de medidas antiguas al sistema métrico decimal.

COMPARACIONES PRELIMINARES CON OTROS PAÍSES HISPANOAMERICANOS

Colegas de Chile me han señalado que en algunas regiones de su país siguen midiendo el agua en surcos, también Roberto Melville me señaló recientemente que en Guatemala siguen midiendo el agua urbana en pajas.

¹⁴ Jaime Collado ha sugerido buscar en los archivos del Congreso los documentos preparatorios del *Decreto*.

¹⁵ AHA-AS Caja 80, Exp. 1569 “Informe de Inspección Reglamentaria del río Amatzinac 21 de mayo de 1923” en Valladares 1996, 61, Valladares (p. 61) indica que “Cuando se realizaron los estudios hidrológicos con motivo del reparto agrario [...] se tomó como base la equivalencia de 17.5 lps por surco”. AHA-AS, Caja 417, Exp. 7742, fs. 16 y 17; equivalencia dada por un Ing. el 18 de agosto de 1925, en relación con el aforo de los manantiales de San Juan Teotihuacán en Palerm Viqueira y Martínez Saldaña 2000, 144.

¹⁶ AHA-AS, Caja 78, Exp. 1552, fs 103 y 104; equivalencia dada por un ingeniero el 9 de enero de 1918, con relación a un aforo en la zona del río Cuautla en Valladares 1996, 100. Se indica en el documento de 1923 que 2.5 bueyes equivalen a 780 lps. Realizamos la conversión considerando que 2.5 bueyes equivale a 120 surcos; donde 1 buey equivale a 48 surcos y entonces 1 surco igual a 6.5 lps.

Cuadro de equivalencias de medidas antiguas de agua al sistema métrico decimal.

| Unidad de medida | Litros por segundo | Fuentes |
|------------------|--------------------|---|
| Buey | 159.00000 | CNC |
| | 159.06101 | Robelo |
| | 163.85000 | Carrera Stampa |
| Surco | 003.24 | Carrera Stampa, (equivalencia de pajas [0.00750 lps] a surcos), (equivalencia de reales [0.135 lps] a surcos), (equivalencia de naranjas [1.08 lps] a surcos), (equivalencia de merced [0.0375 lps] a surcos) |
| | 003.28 | Robelo, (equivalencia de pajas [0.00760 lps] a surcos) |
| | 003.31 | Robelo, CNC 1970, (equivalencia de bueyes [159.06101 lps] a surcos) |
| | 003.39 | (equivalencia de pajas [0.00766 lps] a surcos) |
| | 003.41 | (equivalencia de bueyes [163.85 lps] a surcos) |
| | 006.50 | <i>Decreto de 1863</i> , Robelo, AHA-AS (1918) |
| | 017.50 | AHA-AS (1923) y (1925) |
| Naranja | 001.0800 | Carrera Stampa, CNC 1970 |
| Real o Limón | 000.1350 | Carrera Stampa |
| | 000.1370 | CNC |
| Merced | 000.0375 | Carrera Stampa |
| | 000.0380 | CNC 1970 |
| Paja | 000.00750 | <i>Decreto de 1863</i> , Robelo, Carrera Stampa |
| | 000.00760 | Robelo |
| | 000.00766 | CNC 1970 |

Efectivamente para Guatemala sigue usándose la medida de paja de agua. Bendfeldt (1993) señala que

Por acuerdo gubernativo del 25 de julio de 1931, se estableció que una paja de agua equivale a dos mil litros de agua en 24 horas [0.0231 lps]. Esa disposición fue aprobada para normar el reglamento de la Cía. del Agua del Mariscal, S. A., publicado en 1932, que dice en su artículo 30: “El propietario de una paja de agua del Mariscal, tiene derecho a que se le suministren dos metros cúbicos de agua por cada 24 horas, y es dueño a perpetuidad, del agua correspondiente tomada de las fuentes del río Mariscal”. Poste-

riormente, esa definición se generalizó y las municipalidades de la república, así como las compañías de agua, han emitido títulos de pajas de agua, usualmente referidas a un caudal identificado.¹⁷

Para Chile se mencionan como medidas de agua: teja de agua, paja de agua, bateas, regadores, y en el Decreto Supremo de 1819 se establece “Que el regador [...] se compondrá de una sexma de alto, y una cuarta de ancho, con el desnivel de 15 pulgadas” (Valderrama 1997). Está claro que se trata de una estructura que hidráulicamente funciona como orificio al mencionar que el regador mide una sexma de alto y una cuarto de ancho. Sin embargo cuando menciona un desnivel de 15 pulgadas (35 cm) no se menciona en qué distancia y por consiguiente no se puede determinar el valor de la pendiente (S) necesaria para usar la ecuación de Manning.¹⁸

Parece existir en México (1792), en Chile (1819) y en Guatemala (1931) la necesidad de precisar las medidas antiguas de agua.

ÚLTIMAS CONSIDERACIONES

Aforar sigue siendo asunto, hasta la fecha, de peritos hidromensores.¹⁹ Los regantes del Nexapa que administran y operan por sí mismos un sistema de cerca de 10 000 hectáreas recurren a un ingeniero de la Comisión Nacional del Agua cuando quieren aforar, y luego utilizando las “marcas de agua” vigilan que entre la cantidad correcta de agua.²⁰ Tal ausencia de peritos entre los regantes de las acequias puede ser la causa que en Nuevo México, a principios del siglo XX, resultó difícil establecer una

¹⁷ Aunque la relación entre pajas y reales no parece ser la misma que documentamos para México (véase nota 2).

¹⁸ Robert Manning 1846-1897.

¹⁹ Por otra parte los regantes también tienen diversas estrategias para dividirse el agua, que sean o no exactas, son consideradas como correctas –tal y como se relata en Boelens y Dávila (1998)–. En el valle de Tehuacán son capaces de llevar en un canal varias aguas encimadas y pueden a su satisfacción volverlas a separar (véase en Palerm Viqueira y Martínez Saldaña 2000, 309).

²⁰ Palerm Viqueira y Martínez Saldaña 2000, 373.

conversión de surcos al sistema de medición anglosajón, una de las conversiones a la que llegan los ingenieros es, por ejemplo, un surco equivale a un pie cúbico por segundo, es decir unos 28 lps, llevando a Baxter (2000, p. 408, 410) a concluir que el surco es una medida “elástica”.²¹

La importancia de las medidas, la insuficiencia de “la gente sabe cuánto es”, los problemas cuando se cambia de un sistema de medición a otro, puede constatarse en la historia misma del desarrollo de medidas (Kula 1980) y más vívidamente con la “Revolta dos Quebra-Quilos” cuando impusieron en Brasil el sistema métrico decimal y la gente salió a la calle a romper las nuevas medidas (Castro Moreira *et al.* 2001).

Parece necesario documentar las formas concretas de aforar y distribuir el agua mercedada (dotada o concesionada) a través de la historia de México, tomando en cuenta los avances en el conocimiento de la hidráulica que fundamentaban la medición del agua.

REFERENCIAS

- Archivos: AGN: Archivo General de la Nación; AHA-AS: Archivo Histórico del Agua, Aprovechamientos Superficiales
 AGN, Ramo Hospital de Jesús, Legajo 267, exp 13, fol. 16v, 1635 (reproducido en Lipsett-Rivera 1999: 19)
 AHA-AS, Caja 417, Exp. 7742, fs. 16 y 17 [18 de agosto de 1925, manantiales de San Juan Teotihuacán] (citado en Palerm Viqueira y Martínez Saldaña 2000: 144).
 AHA-AS, Caja 78, Exp. 1552, fs 103 y 104 [9 de enero de 1918, zona del río Cuautla] (citado en Valladares 1996: 100).
 AHA-AS, Caja 80, Exp. 1569 “Informe de Inspección Reglamentaria del río Amatzinac 21 de mayo de 1923” (citado en Valladares 1996: 61)
 ÁVILA GONZÁLEZ, Salvador (coord.) *Guía de fuentes documentales para la historia del agua en el Valle de México (1824-1928)*. Archivo Histórico de la Ciudad de México, México, IMTA/CIESAS, 1997.

²¹ Posiblemente el surco fue tanto una medida de área, como una medida volumétrica; de la misma manera que actualmente las medidas “masa” y “peso” son usadas de manera no diferenciada.

- BAXTER, J. O. "Measuring New Mexico's Irrigation Water: how big is a surco" in *New Mexico Historical Review*, vol 75, (2000), 3: 397-413.
- , *Dividing New Mexico's Waters (1700-1912)*, Albuquerque, University of New Mexico Press, 1997.
- BENDFELDT, Juan F., "Propiedad y el mercado del agua", año XXXIV 15 de mayo, 1993 núm. 774 en <http://www.cees.org.gt/html/topicos/textos/topic-774.htm>, consultado julio 2001.
- BOELENS, R. y G. DÁVILA, *Buscando la equidad Concepciones sobre justicia y equidad en el riego campesino*, Los Países Bajos, Van Gorcum, 1998.
- BRIEBSCA CASTREJÓN, Ing. Civil J. L. "El agua potable en la república mexicana", cuarta parte en *Ingeniería Hidráulica*, vol. XIII, 1959, 2, 83-94.
- CARRERA STAMPA, M., "The evolution of weights and measures in New Spain" in *Hispanic American Historical Review* 29,1949, p. 3-30.
- CASTRO MOREIRA, I. de y L. MASSARANI, "Quilos: les hommes de sciences et la réaction populaire a l'introduction du systeme métrique décimal dans le Brésil" en *XXI International Congress of History of Science*, Ciudad de México 8-14 julio, 2001) *Book of Abstracts* 1, Simposia. General Theme: Science and Cultural Diversity, p. 185-186.
- CNC (Confederación Nacional Campesina) *Manual de tramitación agraria*, México, 1970.
- Comisión Exploradora del Atoyac, 1850, en *Dos viajes de exploración por el Río de las Balsas en el siglo XIX*, México, Comisión del río Balsas, 1966.
- Congreso del Estado de Jalisco, Índice de Decretos, Legislatura XXXIX, febrero 1o. de 1949- enero 31 de 1953. 5433 - 5846, (C) 2000 Unidad de Informática-Congreso del Estado de Jalisco,<http://www.jalisco.gob.mx/plegsla/congreso/legis/LEG039.html>, consultado marzo 2001.
- CONSTANSÓ, don Miguel de (1792) reproducido en BRIEBSCA 1959, 84, s/p, en la lámina I titulada Medidas de agua, se señala "Copia fiel tomada de lámina de la Memoria económica de la municipalidad de México en 1830. Mediciones hechas por Don Miguel de Constansó en 1792"; en la lámina II se señala "Copia fiel de la lámina de la Memoria económica de la municipalidad de México publicada en 1830. Dimensiones reales de las aberturas de las "mercedes" fijadas por Don Miguel Constansó de orden del Virrey Conde de Revillagigedo, en 1792." Las láminas se encuentran también reproducidas en Ávila González 1997, 136-142.
- Decreto de 1863: "Decreto sobre medidas de tierras y aguas (agosto 2 de 1863)"* en J. T. Lanz Cárdenas *Legislación de aguas en México, Estudio histórico-legislativo de 1521-1981*, tomo 1, México, Consejo Editorial del Gobierno del estado de Tabasco, 1982, p. 484-485.
- Diccionario de Derecho Agrario Mexicano* por A. Luna Arroyo y L. G. Alcerreca, México, Editorial Porrúa, 1982, p. 67, 492, 560, 588, 818.
- GALVÁN RIVERA, M. *Ordenanzas de Tierras y Aguas*, México, RAN/AHA/CIESAS [edición facsimilar de la quinta edición 1868], 1998.
- HAGGARD, J. V. *Handbook for Translators of Spanish Historical Documents*, Austin, The University of Texas Archives Collections, 1941.
- HAMILTON, E. J., *El tesoro americano y la revolución de los precios en España 1501-1650*, capítulo 7, Pesas y medidas, Barcelona, Editorial Ariel, [1934] 1975, p. 164-198
- HENAO, L. E., *Tehuacán, campesinado e irrigación*, México, Edikol, 1980.
- KULA, W. *Las medidas y los hombres*, México, Siglo XXI, [1970] 1980.
- LANZ Cárdenas, J. T., *Legislación de aguas en México, Estudio histórico-legislativo de 1521-1981*, tomo 1, México, Consejo Editorial del Gobierno del Estado de Tabasco, 1982.
- LASSO DE LA VEGA, véase *Reglamento de 1761*.
- LEVI, Enzo, *El agua según la ciencia*, México, IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 1ª edición 1989, 2001.
- LIPSETT-RIVERA, S., *To defend our water with the blood of our veins. The struggle for resources in Colonial Puebla*, Albuquerque, The University of New Mexico Press, 1999.
- Memoria de 1830: Memoria económica de la municipalidad de México (1830)* en Briebesca "El agua potable en la república mexicana", Cuarta parte en *Ingeniería Hidráulica*, vol. XIII, (1959) núm. 2: 83-93, p. 84 y s/p (lámina II) y en Salvador Ávila González (coord.) *Guía de fuentes documentales para la historia del agua en el Valle de México (1824-1928)*. *Archivo Histórico de la Ciudad de México*, México, IMTA/CIESAS, 1997, pp.136-142.
- MEYER, M. C., *El agua en el suroeste hispánico, una historia social y legal 1550-1850*, México, IMTA/CIESAS [1984], 1997.
- Ordenanza de 1536: "Ordenanza del virrey Antonio de Mendoza, expedida en el año de 1536, sobre medidas de tierras y aguas"* (p. 185-191) en J. T. Lanz Cárdenas, *Legislación de aguas en México, Estudio histórico-legislativo de 1521-1981*, tomo 1, México, Consejo Editorial del Gobierno del Estado de Tabasco, 1982.

PALERM VIQUEIRA, J. y T. MARTÍNEZ SALDAÑA (eds.) *Antología sobre pequeño riego vol. II, Organizaciones autogestivas*, México, Colegio de Postgraduados/ Plaza y Valdés, 2000.

Reglamento de 1761: "Reglamento General de las Medidas de las Aguas, publicado en el año de 1761" en J. T. Lanz Cárdenas *Legislación de aguas en México, Estudio histórico-legislativo de 1521-1981*, tomo 1, México, Consejo Editorial del Gobierno del estado de Tabasco, 1982, p. 201-216; también en M. Galván Rivera *Ordenanzas de Tierras y Aguas*, México, RAN/AHA/CIESAS [edición facsimilar de la quinta edición 1868] 1998, p. 260-279. Galván señala que este *Reglamento* fue escrito por Lasso de la Vega.

RIVERA, J. *Acequia Culture. Water, Land and community in the southwest*, Albuquerque, University of New Mexico Press, 1998.

ROBELO, C. A. *Diccionario de pesas y medidas mexicanas antiguas y modernas, y de su conversión para uso de los comerciantes y de las familias*, México, SEP/CIESAS [edición facsimilar de la edición de 1908], 1997.

SÁENZ DE ESCOBAR, José, *Libro de Ordenanzas y Medidas de Tierras y Aguas* citado en Baxter 2000, p. 398, 403.

SÁENZ DE ESCOBAR, José, "Geometría práctica y mecánica dividida en tres tratados", manuscrito en Archivo del Museo Nacional, vol. 465, fol. 65 citado en Carrera Stampa 1949, 18.

VALDERRAMA HOYL, Pablo, "Reseña histórica sobre el manejo de las aguas en Chile desde la conquista hasta la dictación del código civil (1541-1855)". diciembre de 1997, http://www.bcn.cl/pags/publicaciones/serie_estudios/esolis/nro172.html en *Serie Estudios* (Publicaciones realizadas por el Departamento de Estudios de la Biblioteca del Congreso Nacional, a petición de los Señores Parlamentarios y Señores Secretarios de Comisiones, pertenecientes a las Comisiones de ambas Cámaras) http://www.bcn.cl/pags/publicaciones/serie_estudios/serie_estu2001.htm, consultado julio 2001.

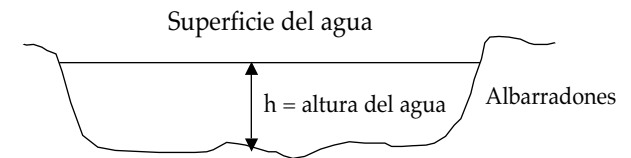
VALLADARES DE LA CRUZ, R., *Cuando el agua se esfumó: cambios y continuidades en los usos sociales del agua en Morelos: 1880-1940*, México, tesis de maestría ENAH, 1996.

WOBESER, G., "El uso del agua en la región de Cuernavaca, Cuautla durante la época colonial" en *Historia Mexicana* vol. 2, 128 (1983-a), 467-495.

_____, *La formación de la hacienda en la época colonial el uso de la tierra y el agua*, México, UNAM, 1983-b.

APARTADO, *AFORAR EN 1761: CÁLCULO DE LA VELOCIDAD MEDIA TOMANDO EN CONSIDERACIÓN LAS MEDIDAS DE RECONOCIMIENTO** (Carlos Chairez Araiza)

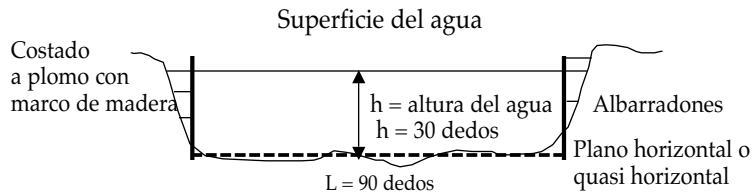
"*Alveo* del río, se interpreta en una ley, por lo mismo que camino del río, por donde corre (1), y las paredes en que insiste, si son artificiales, de trapaplen ó céspedes, se llaman con grande propiedad *albarradones*. *Alveo*, *canal*, *río*, *tarjea*, y *aqueducto*, son voces equivalentes, por ser única la común operación hydrométrica, que las regula, como también los ministros, que actúan las diligencias de agua, toman *univoce* las voces de *agujero*, *toma*, *data*, *puerta*, *merced*, *marco*, *foramen*, para explicarse en los repartimientos. Las pilas ó receptáculos menores, en donde se recibe para que vuelva con mayor ímpetu á fluir, se llaman *alcantarillas*, y si ay en ellas muchos interesados, se les ponen varios conductos, que se llaman: órganos syphunculos ó surtidores; a estos se siguen los saltos, que se ponen á trechos, hasta las fuentes, y son unas piedras con varios agujeros, para reconocer los daños de las formas, sin ser menester registrar todo el trecho de la cañería" (Art. 9).



Alveo, canal, río, targea, aqueducto o camino del río

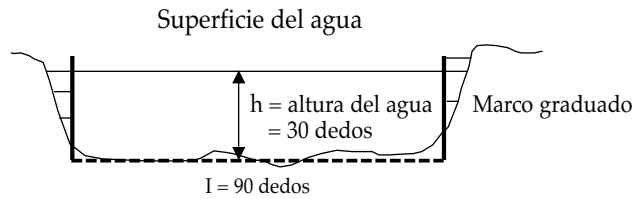
"Y comenzando por las medidas de reconocimiento, digo: que éstas se practican, eligiendo el mejor trecho de la targea, ó azequia, donde proceda el agua rectamente, sin rapida corriente, por averse de buscar un plano horizontal, ó quasi horizontal, para que nivelado, y sus costados dispuestos á plomo, forme dicha targea figura geométrica, capaz de reducir á cálculo: á la qual se le aplicará un marco de madera, de suerte, que parezca estar unido con los planos, tanto el horizontal, como los verticales: todo lo qual se puede disponer exhausta por averse echado la agua por un *ladrón* artificial, antes del plano reconocido" (Art. 20).

* Todas las citas corresponden al *Reglamento de 1761* en Galván.



Alveo, canal, río, targea, aqueducto o camino del río

“El sobredicho marco llevará sus números marginales para reconocer la altura viva del agua, pues con esto, y multiplicando la latitud por la altura viva, quedará medida la amplitud de la sección, advirtiendo: que este producto, que sale de la multiplicación de un lado por el otro, avrá de partirse á el área de la naranja, sulco, etc., por haverse de assentar la diligencia, en medidas municipales de la corte” (Art. 21).



Alveo, canal, río, targea, aqueducto o camino del río

$$\text{ÁREA HIDRÁULICA} = (h) (l)$$

Si:

$$h = 30 \text{ dedos.}$$

$$l = 90 \text{ dedos.}$$

$$\text{ÁREA HIDRÁULICA} = (30 \text{ dedos}) (90 \text{ dedos})$$

$$= 2700 \text{ dedos cuadrados.}$$

$$= 1518.75 \text{ pulgadas cuadradas.}$$

$$= 82.29579001 \text{ centímetros cuadrados.}$$

$$= 0.8229579001 \text{ m}^2.$$

Tomando como base las conversiones de la tabla I a diferentes unidades, se parte el área de la sección hidráulica al área de las unidades municipi-

pales de la corte. Igual se puede usar pulgadas cuadradas, centímetros cuadrados o cualquier otra unidad para conocer a cuántas y cuáles unidades es igual el área hidráulica de nuestro canal o río en estudio.

$$(1518.75 \text{ pulg.}^2 / 1296 \text{ pulg.}^2) = 1.171875 \text{ bueyes.}$$

$$(1518.75 \text{ pulg.}^2 / 27 \text{ pulg.}^2) = 56.25 \text{ surcos.}$$

$$(1518.75 \text{ pulg.}^2 / 9 \text{ pulg.}^2) = 168.75 \text{ naranjas.}$$

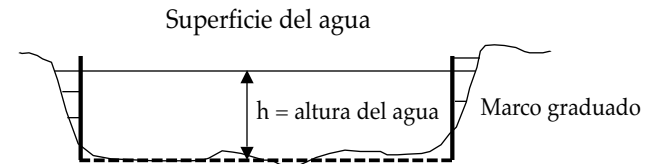
$$(1518.75 \text{ pulg.}^2 / 1.125 \text{ pulg.}^2) = 1,350 \text{ reales.}$$

$$(1518.75 \text{ pulg.}^2 / 0.0625 \text{ pulg.}^2) = 24,300 \text{ pajas.}$$

$$(1518.75 \text{ pulg.}^2 / 0.5625 \text{ pulg.}^2) = 2,700 \text{ dedos cuadrados.}$$

$$(1518.75 \text{ pulg.}^2 / 0.20 \text{ pulg.}^2) = 7,593.75 \text{ centímetros cuadrados.}$$

“Si se advirtiere en el concierto, que se mida mathemáticamente, se hará el previo cálculo, en el órden siguiente. Supuesto que está sabido la altura viva del agua, como assimismo, su latitud, y el área resultante; para hallar el centro de la media velocidad, en conformidad de que en todo canal horizontal, o quasi horizontal, es mayor en la velocidad en el fondo que en la superficie (1), se hará esta regla de tres: como 9 á 4: assi la altura viva, que lleva toda la targea, con la altura de el agua, sobre el centro de la velocidad media” (Art. 23).



Alveo, canal, río, targea, aqueducto o camino del río

$$h = \text{altura viva del agua en la targea} = 30 \text{ dedos.}$$

$$l = \text{latitud} = 90 \text{ dedos.}$$

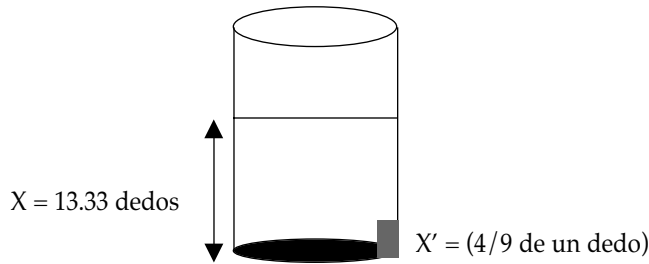
$$30 \quad \quad \quad 9$$

$$\times \quad \quad \quad 4$$

$$x = 13.33 \text{ dedos.}$$

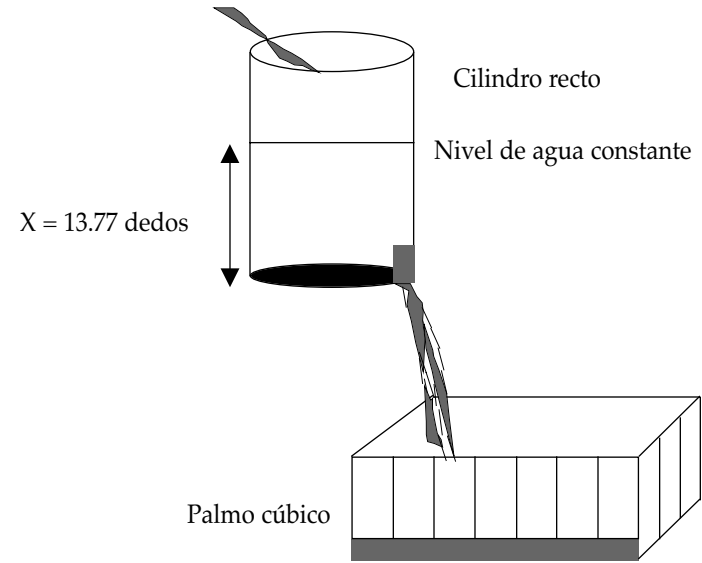
$$\text{ALTURA DEL CENTRO DE VELOCIDAD MEDIA} = (4/9 * h) = 13.33 \text{ dedos.}$$

“Y por cuanto esta velocidad media, es la misma que tendría el agua, surtiendo de un vaso, ó cilindro peremne, que su altura fuera igual á la distancia que hay desde la superficie del canal, hasta el dicho centro: se preparará un vaso, ó cilindro recto, cuya altura sea igual á la distancia media predicha, hallada por la regla de tres, y abriéndole en lo inferior, una puerta de un dedo cuadrado, á el qual también se le hallará su módico centro de media velocidad, para determinar desde aquí la altura precissa del cilindro, el qual ha de correr peremne, sin disminuir la altura de la gua, que se le administrare por arriba, obsérvese con un reloj de péndula, en qué tiempo se evaqua cierta cantidad que sea capaz de llenar un palmo cúbico de alatón, ú otra materia la que se guardará para inquirir el espacio que correrá, en el dicho tiempo; y para quitar dudas advierto: que este espacio no es otro, que aquel agregado de palmos, que correrá en un minuto, ú otro cualquier tiempo, un punto puesto horizontalmente dentro de el agua, imaginando, que este comienza a moverse desde el centro de la velocidad media” (Art. 24).



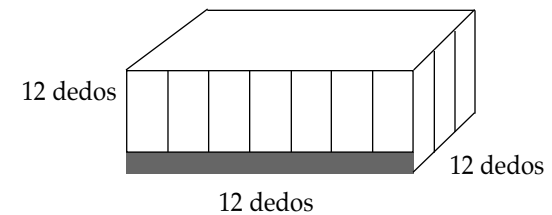
LA ALTURA QUE DEBE TENER EL AGUA EN EL CILINDRO ES DE 13.774444 DEDOS, QUE RESULTA DE LA SUMA DE 13.33 DEDOS QUE ES LA ALTURA A LA QUE SE ENCUENTRA EL CENTRO DE VELOCIDAD EN LA TARGEA O RIO Y, 0.44444 DEDOS QUE ES LA ALTURA A LA QUE SE ENCUENTRA EL CENTRO DE VELOCIDAD MEDIA EN EL ÁREA DEL DEDO CUADRADO POR LA QUE SE EVAQUA CIERTA CANTIDAD DE AGUA

AGUA QUE SE SUMINISTRA POR ARRIBA PARA MANTENER CONSTANTE EL NIVEL DE AGUA EN EL CILINDRO PARA QUE NO SEA AFECTADO EL VALOR DE LA VELOCIDAD MEDIA.



TIEMPO DE LLENADO: 0.2166 minutos (13 seg.)

“Y porque en el plano referido cúbico, se halla aquel cordón de agua que surtiria si se le extendiese; aquí no hay más que hacer, que reducir dicha cantidad á palmos, como si por observación tuvo el palmo cubicado 1,728 dedos, estos mismos, puestos en seguida, harán 144 palmos, espacio ignorado, este multiplicado por el área de la sección, dará el paralelepipedo cúbico de agua, ó por mejor decir, la cantidad justa, que ciertissimamente pasa por una sección, en un determinado tiempo” (Art. 25).



PALMO CÚBICO DE ALATON

- EL PALMO CUBICADO MIDE: 12 dedos X 12 dedos X 12 dedos = 1728 dedos³.
- TIEMPO DE LLENADO: 0.2166 MINUTOS.
- EL PALMO CUBICO QUE NOSOTROS SELECCIONAMOS TIENE 1728 dedos³ y CADA PALMO MIDE 12 dedos, ENTONCES:

1728 dedos³ / 12 dedos = 144 PALMOS, ; ESPACIO INQUIRIDO !

1 dedo = 1.745850002 cm.

1 PALMO = 12 dedos = 20.9502 cm. = 0.209502 m.

- PARA NUESTRO CASO:

(0.209502 m) (144) / 0.2166 min. = 30.168288 m / 0.2166 min.
= 139.28 m / min.

ENTONCES:

Q = (ÁREA HIDRAULICA) (VELOCIDAD).

Q = (A) (V)

DONDE:

AREA EN M².

VELOCIDAD EN m/minuto.

Q = (0.822957 m²) (139.28 m / minuto)

= 114.62 m³ / minuto

= 1,910.33 l/s

NOTA.- Este es un ejemplo hipotético. La velocidad fue calculada suponiendo un tiempo para el llenado del palmo cúbico.

TABLA 1. Areas de datos o tomas rectangulares para distribución de aguas rústicas y urbanas. Ordenanzas de tierras y aguas (facsimil de la quinta edición de 1868).

| equivalencias unidad | buey de agua | | surcos | | naranjas | | reales de agua | | pajas de agua | | dedos cuadrados | | pulgadas cuadradas | | cm. cuadrados* |
|-------------------------|--------------|--|--------|-------|----------|-------|----------------|-------|---------------|--|-----------------|--|--------------------|--|-------------------|
| | agua | | agua | | agua | | agua | | agua | | cuadrados | | cuadradas | | |
| buey de agua | | | 48 | 144 | 1152 | 20736 | 2304 | 1296 | 7022.574081 | | | | | | |
| surco | 1/48 | | | 3 | 24 | 432 | 48 | 27 | 146.3036267 | | | | | | |
| naranja | 1/144 | | 1/3 | | 8 | 144 | 16 | 9 | 48.76787556 | | | | | | |
| real de agua | 1/1152 | | 1/24 | 1/8 | | 18 | 2 | 1.125 | 6.095984445 | | | | | | |
| paja de agua | 1/20736 | | 1/432 | 1/144 | 1/18 | | 1/9 | 1/16 | 0.338665803 | | | | | | |
| dedo cuadrado | 1/2304 | | 1/48 | 1/16 | 1/2 | 9 | | 9/16 | 3.047992223 | | | | | | |
| pulgada cuadrada | 1/1296 | | 1/27 | 1/9 | 8/9 | 16 | 17/9 | | 5.41865284 | | | | | | |
| cm. cuadrado | 1/7023 | | 3/439 | 1/49 | 1/6 | 3 | 1/3 | 1/5 | | | | | | | |