

**Primer Simposio Nacional "Metrología UCR 2002", 24 10 2002,
Universidad de Costa Rica**

***Certificación de un Material de Referencia de Dicromato de
Potasio para la Calibración de Espectrofotómetros
Ultravioleta Visible***

(Primer Material de Referencia Certificado en Costa Rica)

**B.Q. Sandra Marcela Rodríguez Zúñiga (*)
Lic. Jorge Chacón Solano (*)**

(*) Escuela de Química, Universidad de Costa Rica

Resumen

Se elaboró y certificó el Material de Referencia denominado ***MRC-UV-001-2001 "Patrón de dicromato para la calibración de la escala fotométrica de espectrofotómetros ultravioleta visible"***. El producto certificado constó de un lote de 48 unidades en presentación de 15 gramos. La propiedad certificada al MRC-UV-001-2001 fue la absorptividad aparente. Con este Material de Referencia Certificado es posible realizar la calibración de la escala fotométrica de los espectrofotómetros ultra violeta visible con tolerancia igual o mayor a 0,009 unidades de absorbancia, así como la linealidad fotométrica.

Para la certificación del material de referencia se utilizaron los procedimientos establecidos por ISO y por el National Institute of Standard and Technology (NIST). En la elaboración de los certificados del material de referencia se siguieron los lineamientos internacionales establecidos en la Guía ISO 33 "*Contenido de los Certificados para Materiales de Referencia*".

A partir del material de referencia certificado en Costa Rica y los métodos desarrollados para la calibración de espectrofotómetro, es posible garantizar la trazabilidad de las mediciones espectrofotométricas realizadas en el país.

Introducción.

Para garantizar la exactitud (veracidad y precisión) de las mediciones en los campos de la investigación, desarrollo e industria es necesario contar con patrones trazables a las definiciones de las unidades y de procedimientos de calibración y verificación acordes con el nivel de confianza requerido. Esta necesidad es también reconocida en las normas internacionales de Sistemas de Gestión de la Calidad y Sistemas de Gestión Ambiental y por tanto se han definido en ellas requisitos referentes a la trazabilidad y a la calibración de los instrumentos de medida que afectan la calidad de los procesos o productos. Este fenómeno ha provocado un aumento exponencial en la utilización de servicios de calibración en nuestra nación durante los últimos diez años. Siendo la química una ciencia que está presente en todos los campos, es necesario el establecimiento de patrones y medios de calibración para cumplir con estos requisitos y optar a la acreditación de los laboratorios de ensayo, o bien, participar en el proceso de certificación de organizaciones que utilizan análisis químicos.

En Costa Rica, se ha trabajado durante la última década en el establecimiento de una estructura metrológica que sea capaz de afrontar las necesidades nacionales. De este modo se ha consolidado un Laboratorio Costarricense de Metrología, encargado de custodiar los patrones nacionales y de diseminar las unidades. Así mismo, se ha dado un importante avance en el establecimiento de laboratorios secundarios de calibración que brindan sus servicios a la industria y al estado. No obstante, el desarrollo de la Metrología aplicada al campo de la Química, por su complejidad, se encuentra aún dando sus primeros pasos. De este modo, por ejemplo, a la fecha no se habían desarrollado en nuestro país Materiales de Referencia Certificados. El desarrollo de la Metrología en Química es vital para una nación en la que se realizan diariamente una gran cantidad de análisis en campos tan trascendentales como la salud

(análisis clínicos), el control de calidad en la industria, la evaluación de conformidad de productos comerciales por parte del estado y por supuesto en la investigación. Es responsabilidad de todos los sectores afectados por los resultados de los análisis químicos contribuir al establecimiento de mecanismos para garantizar la trazabilidad de las mediciones químicas.

A la cadena de comparaciones que se puede establecer entre un instrumento de medición, un patrón de trabajo, un patrón secundario y un patrón primario se le llama ***cadena de trazabilidad***. De acuerdo con la Organización Internacional de Metrología Legal (OIML) ^[6], la trazabilidad es la propiedad del resultado de una medición o el valor de un patrón, por la cual puede ser relacionada con los patrones de referencia, usualmente patrones nacionales o internacionales, a través de una cadena ininterrumpida de comparaciones, en las que se tienen establecidas las incertidumbres.

La definición de los patrones para las magnitudes físicas (temperatura, masa, presión, etc.) ^[15], es relativamente fácil y ha sido estudiada ampliamente durante los últimos doscientos años^[11]. A diferencia de estas magnitudes físicas, la trazabilidad y la calibración de instrumentos de medición utilizados en el campo de la Química es mucho más compleja. En primer lugar, pese a que la cantidad de sustancia (mole) es una unidad base, aún no es posible su medición directa. Por ello, para cuantificar una cantidad de una sustancia, es necesario utilizar otras magnitudes como la masa o el volumen y alguna constante universal como la masa atómica del carbono. En segundo lugar, en el campo de la química ha sido necesario crear escalas convencionales para comparar la magnitud de alguna propiedad, por ejemplo la de pH y la de número de octano. Un instrumento diseñado para medir en escalas convencionales obviamente no puede ser trazado directamente a unidades base, sino a los patrones que la definen. Por

todo ello, en el campo de la Química es necesario contar con tipos especiales de patrones, comúnmente llamados ***Materiales de Referencia Certificados***^[1].

Un ***Material de Referencia Certificado*** (MRC) es un material o sustancia en la cual, uno o más de sus valores propios son suficientemente homogéneos y están bien establecidos, para ser usados en la calibración de un aparato, la evaluación de un método de medición o para la asignación de valores a otros materiales de menor nivel metrológico^[3] y que está acompañado de un certificado emitido por una organización competente^[5]. Pese a que la elaboración de materiales de referencia es una actividad centenaria, en Costa Rica no se ha reportado formalmente la producción de estos.

Para dar trazabilidad a las mediciones en el campo de la Metrología en Química se utilizan métodos primarios que son directamente trazables a unidades del Sistema Internacional (SI)^[15] y a Materiales de Referencia Certificados^[3]. La aplicación de uno u otro depende de la jerarquía del método que se está utilizando. En la Figura N° 1 se muestra la jerarquía de los métodos y materiales de referencia utilizados en el campo de la química. Es posible, a partir de esta jerarquía de patrones y de métodos de medición, establecer en forma ininterrumpida la relación que existe cuando se realiza una medición en un análisis de rutina con la definición de las unidades del SI^[14]. La cadena de mediciones que se forma desde la aplicación de campo hasta la definición de las unidades corresponde a la *cadena de trazabilidad en la química*.

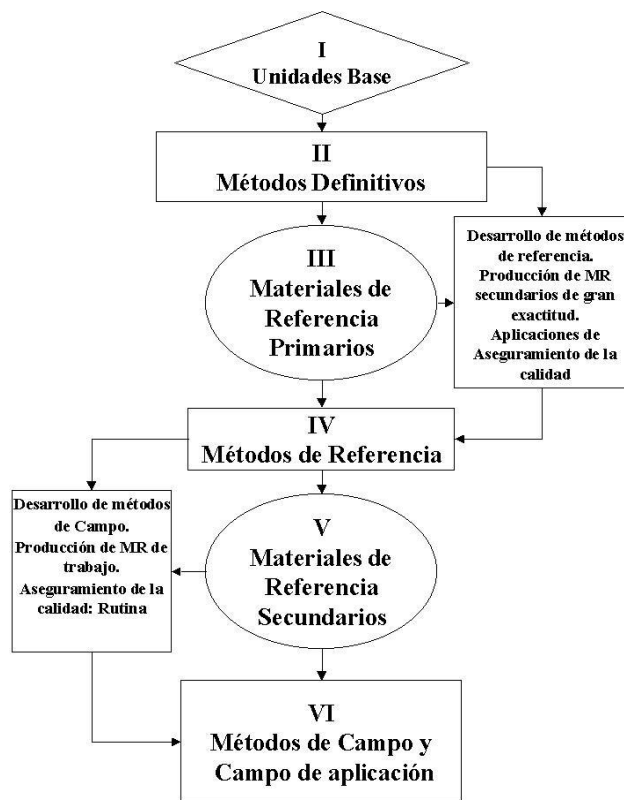


Figura 1: Trazabilidad de las mediciones en Metrología Química

Al más alto nivel en el campo de las mediciones se encuentran las Unidades Base del Sistema Internacional de Unidades. Esta definición de las Unidades es propuesta por laboratorios metroológicos dedicados al campo científico y aprobados por la Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM) en sus reuniones realizadas cada cuatro años. La realización y diseminación de esas definiciones es labor de los laboratorios nacionales de metrología.

En el nivel de los Métodos Definitivos se ubican los métodos de mayor exactitud de los cuales dispone el químico analítico, llamados también métodos primarios. Para que un método sea incluido en esta categoría, debe poseer alta exactitud (veracidad y precisión), un fundamento teórico válido y bien descrito, haber sido altamente evaluado y además que la variable medida sea directamente trazable a unidades del SI. Estos métodos son directamente trazables a las

definiciones de las unidades del SI y se utilizan para transferir la unidad de cantidad de sustancia (mol, o concentración) a los *Materiales de Referencia Primarios*. Los Materiales de Referencia Primario son aquellos cuyo valor certificado es asignado utilizando un Método Definitivo y generalmente, son sustancias puras. Los Métodos de Referencia se basan en un principio físico, pero la variable medida (por ejemplo: cantidad de luz emitida o absorbida) se relaciona en forma indirecta con la concentración del analito. Ejemplos: los métodos espectroscópicos en los que la variable medida es una absorbancia, cuyo valor puede ser relacionado con la concentración de un analito particular por medio de una curva de calibración. En los Materiales de Referencia Secundarios el valor de su propiedad es asignado mediante el uso de dos o más métodos de referencia. Normalmente, son materiales de matriz, es decir, el analito de interés se encuentra en una matriz natural o artificial en un porcentaje dado. A partir de materiales de referencia secundarios certificados, es posible garantizar la exactitud de las mediciones realizadas en aplicaciones propias de la química, por ejemplo: control de calidad en industrias, análisis de muestras de agua para control ambiental, análisis de muestras de sangre (Química Clínica), etc. El uso de los materiales de referencia certificados para calibrar los equipos utilizados a este nivel, o para validar los métodos, permiten incluir en el sistema los efectos de matriz de las muestras.

Siendo tan importante, en el campo de la Metrología en Química, el contar con Materiales de Referencia Certificados, se han desarrollado procedimientos y métodos para llevar a cabo esta labor de una manera sistemática, en la cual se garanticen la exactitud del producto y su trazabilidad^[4, 9]. El procedimiento general para la elaboración y certificación de un material de referencia se muestra en la Figura N° 2.

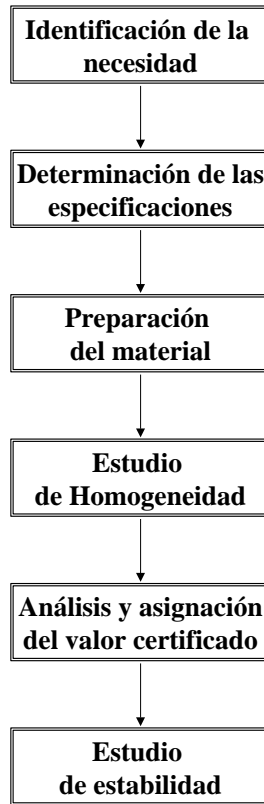


Figura 2: Proceso general para la elaboración y certificación de materiales de referencia

Del procedimiento antes señalado es importante acotar que, lo primero que debe hacerse para la elaboración de materiales de referencia es determinar la necesidad del material en el mercado. Debe señalarse que el proceso de elaboración y certificación de un material de referencia es normalmente largo y costoso, por lo cual es necesario garantizar la existencia del mercado para el producto.

Una vez que se ha determinado el nicho de mercado, debe procederse a definir en forma exacta los requerimientos para el MRC en cuanto a exactitud, características, número de parámetros a certificar, etc. Uno de los parámetros más importantes en un MRC es obviamente la exactitud en la característica certificada. La exactitud en un MRC debe ser acorde a las necesidades del producto. En general, puede utilizarse como guía la recomendación del ILAC^[16], en donde se

establecen los siguientes criterios de aceptación para un material de referencia en un uso determinado, tomando como base su contribución a la incertidumbre total del proceso de medición:

$$\frac{I_T}{I_{MRC}} \geq 10 \quad \text{Satisfactorio.}$$

$$10 > \frac{I_T}{I_{MRC}} > 4 \quad \text{Aceptable.}$$

$$2 < \frac{I_T}{I_{MRC}} < 4 \quad \text{Aceptable si no existe otra alternativa, pero requiere revisión de la estimación de la incertidumbre.}$$

$$\frac{I_T}{I_{MRC}} \leq 2 \quad \text{Insatisfactorio.}$$

Donde I_T es la incertidumbre total del proceso e I_{MRC} la contribución de incertidumbre del MRC a la incertidumbre total.

Otro parámetro que debe estudiarse y definirse en estas primeras etapas es el estado físico del material que posee mejores características en cuanto a estabilidad, pero que a la vez brinden ciertas facilidades a los usuarios. Normalmente, si el valor certificado corresponde a una propiedad de una sal en disolución, el material se venderá en estado sólido (porque es más estable que la disolución) a pesar de que implique mayor trabajo por parte de quien utiliza el material (por ejemplo dos sales certificadas para formar un amortiguador de pH). Sin embargo, si existiera algún punto crítico en la elaboración final del material de referencia y que podría afectar el valor certificado, se preferiría el estado final (disolución) sobre el estado sólido (sal) a pesar de que vida útil del material sea menor. Debe existir en esta etapa un balance en comodidad para el usuario y estabilidad (o seguridad) para el MRC.

Para facilitar la comprensión del contenido de los certificados de los materiales de referencia, se debe declarar en los certificados del material toda información que pueda ser de utilidad para el usuario. Esta necesidad ha sido detectada por organismos internacionales de normalización y por ello, se han elaborado guías que establecen el contenido de los certificados, siendo la referencia más importante la ***Guía ISO 31 Contenido de los Certificados de los Materiales de Referencia***^[2].

El objetivo del presente estudio fue elaborar y certificar un material de referencia de dicromato de potasio para la calibración de la escala fotométrica y la evaluación de la linealidad fotométrica de los espectrofotómetros ultravioleta visible. A partir de este material, es posible garantizar la trazabilidad a unidades del Sistema Internacional de Unidades de las mediciones realizadas con los espectrofotómetros UV-Visible en cualquier área del quehacer nacional.

Preparación y certificación del material de referencia certificado de dicromato de potasio, código *MRC-UV-001-2001*; propiedad certificada: Absortividad específica aparente.

Selección del patrón.

La primera etapa del presente estudio radicó en la selección de un espectrofotómetro para ser utilizado como patrón en la certificación del material de referencia. Dado que la Escuela de Química de la Universidad de Costa Rica posee el espectrofotómetro con las mejores características metrológicas del país, el cual posee especificaciones similares a los espectrofotómetros ultravioleta visible que han sido declarados patrones nacionales en México y

Brasil^[12] (los dos países con mayor desarrollo metrológico a nivel de América Latina y con reconocimiento mundial) se escogió para utilizarlo como patrón. Su calibración y caracterización para tenerlo bajo control metrológico está debidamente documentado por Rodríguez y Chacón^[13].

Selección de la materia prima.

Para que un material de referencia certificado sea adecuado a un propósito, deben cumplirse al menos tres requisitos: a) que el material sea homogéneo, b) que sea estable en el tiempo y c) que el valor certificado (y su incertidumbre) tengan el nivel de exactitud adecuado para el mercado hacia el que va dirigido. Es por ello, que durante la certificación del material de referencia MRC-UV-001-2001 "*Patrón de dicromato de Potasio para la calibración de la escala fotométrica y la linealidad de espectrofotómetros Ultra Violeta Visible*" se realizaron pruebas para demostrar el comportamiento del material en cada uno de los tres puntos citados anteriormente.

En la elaboración del MRC se siguió el procedimiento establecido por el NIST^[7, 8, 9], para la certificación de materiales de referencia por lotes, esto es: la selección de la materia prima, la separación y embalaje del material en unidades que forman un lote, el estudio de homogeneidad, la certificación de la propiedad de interés y estudio de estabilidad a lo largo del tiempo:

La materia prima para la elaboración del MRC consistió de un envase de 1000 g del reactivo Dicromato de Potasio, en estado de polvo cristalino, color naranja. de la casa comercial Merck, código de lote N° K24160764 735 y con una pureza mínima de 99,9%.

Homogeneización y subdivisión de la materia prima

Para lograr una buena homogeneización del material, se procedió a colocar el producto en un separador de ocho canales de funcionamiento eléctrico y el cual separa las muestras en diferentes recipientes mediante rotación. Al finalizar el proceso se contaba con ocho recipientes conteniendo 125 gramos de dicromato de potasio cada uno. Los frascos fueron rotulados con las letras de la A a la H. De cada frasco se obtuvieron 6 unidades, las cuales fueron colocadas en recipientes de vidrio. Estos recipientes fueron rotulados como $a_1, a_2 \dots a_6; b_1, b_2, \dots b_6$, y así sucesivamente. En la figura N° 3 se presenta el esquema del proceso de preparación de las unidades que conforman el lote a certificar.

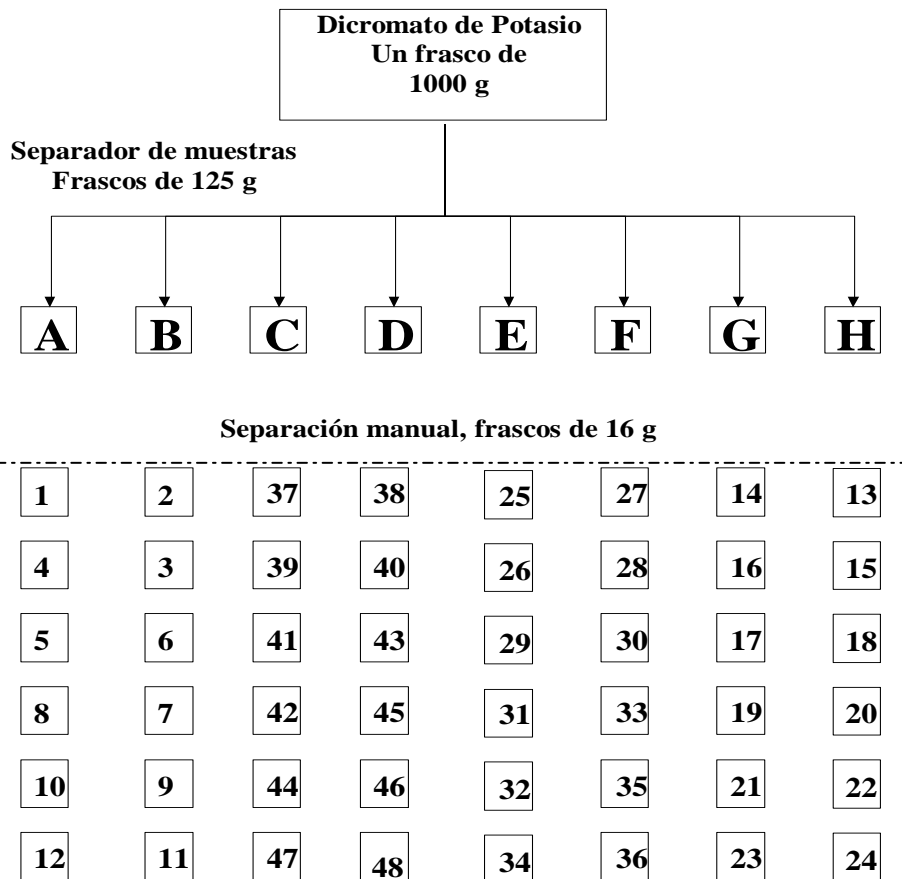


Figura 3: Esquema utilizado para la elaboración del lote a certificar

Embalaje y rotulado:

Para el embalaje del producto se utilizaron frascos de vidrio, incoloros y transparentes de aproximadamente 100 cm³. En cada frasco se colocaron 16 gramos de producto. El material fue colocado en los frascos manualmente. Para el llenado del producto se utilizó además una balanza granataria, marca Mettler, con resolución de 0,01 gramos. El rotulado de las unidades se realizó de acuerdo con la etiqueta que aparece en la figura N°4.



Figura 4: Etiqueta utilizada para la rotulación del Material de Referencia Certificado

En la etiqueta el origen del material puede ser identificado con el código colocado dentro del rectángulo. Por ejemplo; B 06 significa que el dicromato de potasio de este frasco provenía del recipiente B y que fue la unidad número seis de ahí obtenida.

Muestreo para análisis de homogeneidad.

Dado que en el estudio de homogeneidad interesa conocer el comportamiento de la propiedad que se está certificando, en función del tiempo de llenado de las muestras, es necesario aplicar un método de muestreo que permita obtener unidades distribuidas uniformemente a lo largo del lote de producción. Para el estudio de homogeneidad se seleccionó la primera y la última

unidad del lote producido (a_1 y d_{48}), así como una unidad de cada una de las restantes columnas de forma aleatoria. Utilizando este sistema de muestreo, fueron seleccionadas las unidades: b_3 , c_{42} , e_{32} , f_{36} , e_5 , g_{14} y h_{18} .

Realización del estudio de homogeneidad

El estudio de homogeneidad se llevó a cabo utilizando las ocho muestra seleccionadas para este fin. Para cada una de las muestras se preparó una disolución de concentración 0,06 g/kg. A cada disolución se le determinó la absortividad aparente a 5 longitudes de onda: 235 nm, 257 nm, 313 nm, 345 nm y 350 nm, utilizadas para caracterizar el material. Con los resultados se realizó un gráfico del orden de llenado contra una relación de concentración entre el valor de absortividad aparente. Con base en el gráfico se calculó la pendiente para realizar pruebas de significancia estadística que permitió establecer si existe correlación o no en cuanto al orden de llenado.

Muestreo para la asignación del valor certificado.

Se seleccionaron, con la mayor aleatoriedad posible, cinco unidades para el estudio de asignación del valor. Para la selección de estas unidades se utilizó el Reglamento Técnico NCR 148. Metrología. Contenido Neto de Productos Preempacados^[10]. Las unidades seleccionadas fueron: b_3 , c_{41} , g_{23} , h_{18} y h_{24} .

Obtención del valor certificado.

La absortividad aparente fue determinada en cada muestra a las 5 longitudes de onda antes señaladas. Para ello, se prepararon disoluciones de las siguientes concentraciones: 0,06 g/kg, 0,08 g/kg, 0,10 g/kg, 0,12 g/kg, 0,14 g/kg, 0,16 g/kg, 0,18 g/kg, 0,20 g/kg, La asignación del valor fue realizada midiendo la absorbancia de cada muestra, a cada concentración y a las cinco longitudes de onda seleccionadas.

El modelo matemático utilizado para determinar la absorptividad aparentes es:

$$a = \frac{A}{b \cdot c}$$

Donde:

- a = Absortividad aparente (en $\text{cm}^{-1} \text{g}^{-1} \text{kg}$)
 A = Absorbancia medida en el espectrofotómetro patrón
 b = es la trayectoria de luz monocromática a través de la muestra (cm)
 c = Concentración de la muestra (en g kg^{-1})

En la estimación de la incertidumbre del valor de absorptividad aparente asignado se tomó en consideración la variabilidad de los resultados entre las muestras medidas, así como la incertidumbre propia del espectrofotómetro patrón. Todas las componentes de incertidumbre identificadas fueron estimadas, calculadas, normalizadas (asignación de un tipo de distribución) y sumadas en forma cuadrática, tal como lo establece la Guía ISO/BIPM para la estimación de la incertidumbre^[17]. Finalmente se calculó la incertidumbre expandida, utilizando un factor de cobertura de 2 ($k=2$; 95%).

Estudio de estabilidad:

Para garantizar que la propiedad certificada no cambia significativamente con el tiempo, se realizó el estudio de estabilidad 9 meses después de haber realizado la asignación del valor. El estudio de estabilidad en el tiempo fue llevado a cabo con 3 unidades. Las unidades utilizadas fueron: g_4 , a_4 y g_2 . A cada muestra se le determinó nuevamente el valor de absorptividad aparente a cinco longitudes de onda y a la concentración de 0,06 g/kg. Para establecer si había existido variación en la propiedad certificada se comparó estadísticamente el valor

establecido para el material durante la asignación del valor contra el nuevo resultado establecido durante la prueba de estabilidad.

Resultados

Estudio de homogeneidad.

A partir del gráfico del orden de llenado versus la relación de concentración (en g/kg) entre el valor de absorptividad aparente (en $\text{cm}^{-1} \text{g}^{-1} \text{kg}$), si no existe tendencia en el orden de llenado, la pendiente del gráfico no debe ser estadísticamente diferente de cero. La gráfica obtenida es mostrada en la Figura N° 5 y los valores de las pendientes de cada curva se detallan en el cuadro I.

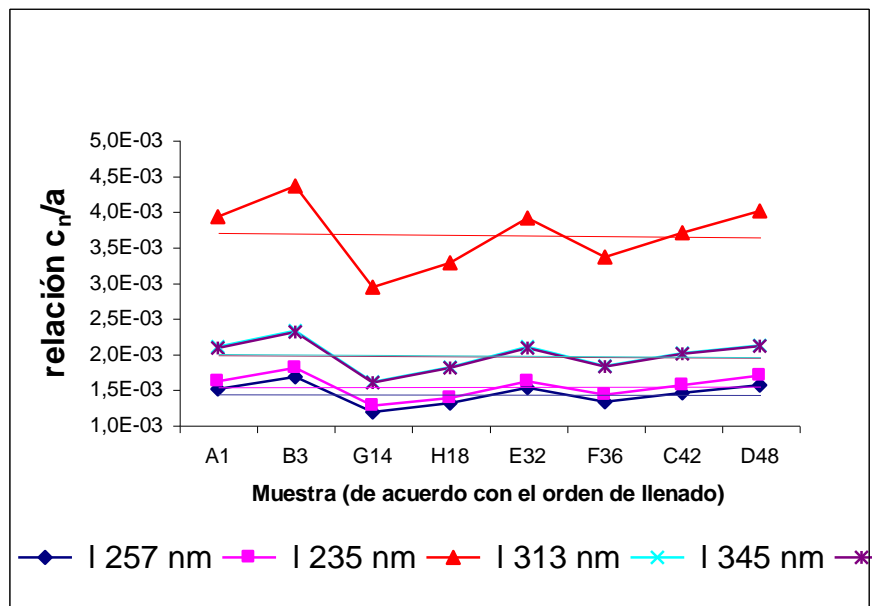


Figura N° 5: Relación entre la el orden de llenado y la propiedad certificada a cinco longitudes de onda

Cuadro I: Pendientes de las gráficas de la relación concentración / absortividad aparente versus orden de llenado		
Longitud de onda / nm	Pendiente	Incertidumbre estándar de la pendiente
235	$-8 \cdot 10^{-7}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$
257	$-1 \cdot 10^{-6}$	$2,3 \cdot 10^{-5}$
313	$-9 \cdot 10^{-6}$	$6,7 \cdot 10^{-5}$
345	$-6 \cdot 10^{-6}$	$3,3 \cdot 10^{-5}$
350	$-5 \cdot 10^{-6}$	$3,2 \cdot 10^{-5}$

Tal como puede apreciarse, para todas las longitudes de onda se presentan pendientes que no son significativamente diferentes de cero, y por tanto en términos estadísticos puede afirmarse que no existe correlación entre el orden de llenado y la propiedad certificada (absortividad aparente). Este comportamiento es de esperar en un material como el dicromato de potasio en un estado químicamente puro y finamente pulverizado desde su fabricación. Los problemas de homogeneidad se presentan regularmente en materiales naturales o en mezclas de productos (por ejemplo en alimentos).

Asignación de valor.

Los resultados de la asignación del valor certificado se muestran en el Cuadro II. Cada uno de los valores certificados posee una incertidumbre expandida ($k=2$; 95 %) de $0,050 \text{ cm}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ kg}$. En la estimación de la incertidumbre se tomó en consideración la dispersión de los resultados (repetibilidad) y la incertidumbre propia del espectrofotómetro patrón. A partir de este material, es posible preparar disoluciones patrón cuya absorbancia es conocida a un nivel de incertidumbre de $\pm 0,0028$ unidades de absorbancia. Este material, es por tanto adecuado para evaluar espectrofotómetros ultravioleta visible con tolerancias mayores o iguales a $\pm 0,0090$ unidades de absorbancia (esto de acuerdo con la regla de 1/3 utilizada para seleccionar materiales de referencia en el campo de la metrología).

Cuadro II: Valores de absorptividad aparente para el estudio de asignación del valor certificado (en $\text{cm}^{-1} \text{g}^{-1} \text{kg}$)					
$C_{\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7} / \text{g kg}^{-1}$	Longitud de onda /nm				
	235	257	313	345	350
0,060	12,157	14,623	4,369	10,143	10,291
0,080	12,271	14,494	4,417	10,078	10,227
0,100	12,339	14,417	4,446	10,039	10,188
0,120	12,385	14,366	4,465	10,013	10,162
0,140	12,417	14,329	4,479	9,994	10,144
0,160	12,441	14,301	4,489	9,980	10,130
0,180	12,460	14,280	4,497	9,969	10,119
0,200	12,476	14,263	4,503	9,960	10,111

Estudio de estabilidad.

La media obtenida para la muestra de tres unidades, medidas nueve meses después de preparar el MRC, se comparó estadísticamente con la media certificada para el material a cinco longitudes de onda y a la concentración más baja, determinándose que no ha existido diferencias en la propiedad certificada en este período. A lo largo de las últimas décadas, diferentes investigadores (entre ellos el NIST) han demostrado la estabilidad de las disoluciones acuosas (en medio ácido) del dicromato de potasio hasta por períodos de cinco años. En el Certificado elaborado se ha indicado que su estabilidad es de un periodo de 9 meses.

Trazabilidad

La cadena de trazabilidad de las mediciones realizadas con espectrofotómetros ultravioleta visible en Costa Rica y que ha sido establecida con el presente estudio es:

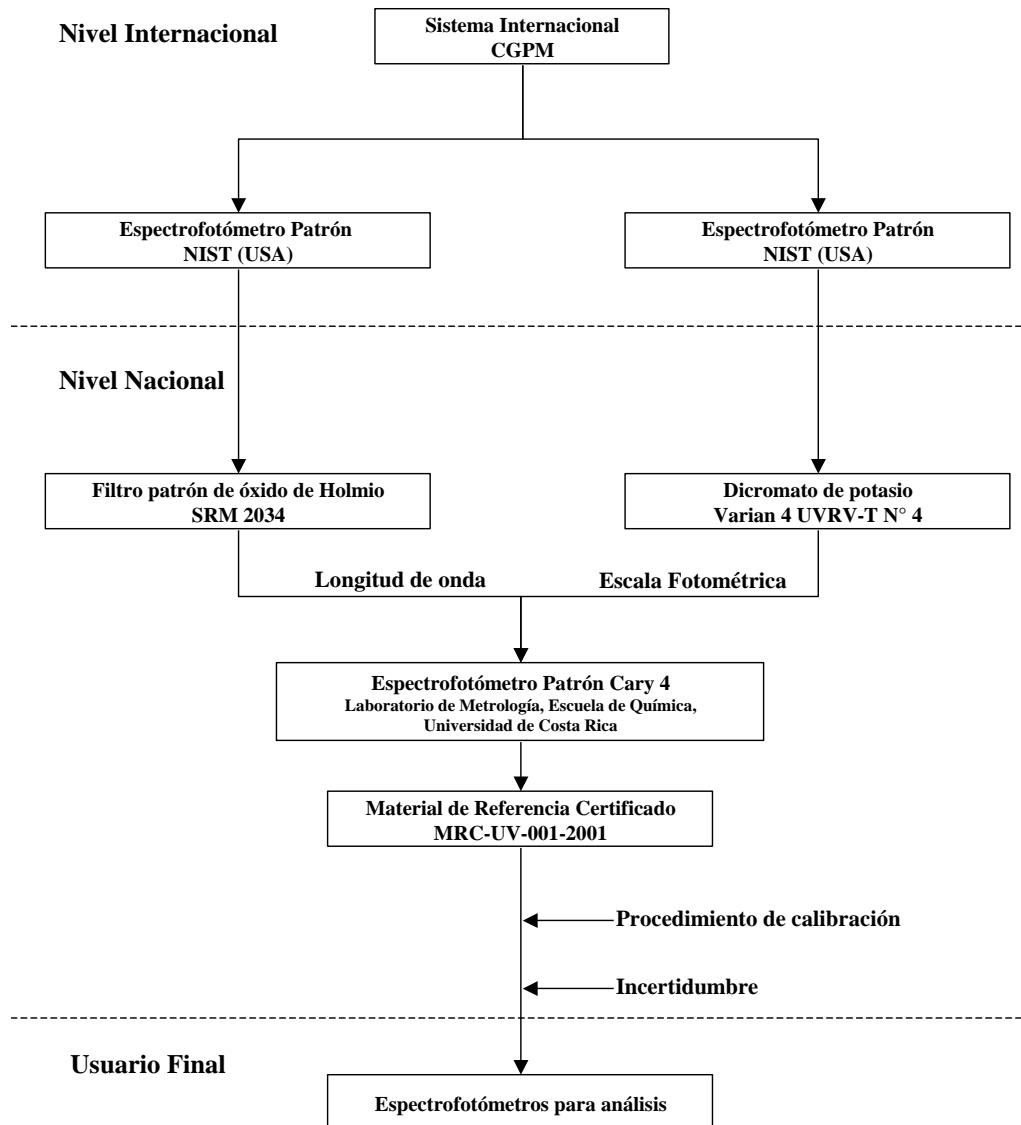


Figura 6: Cadena de trazabilidad establecida con el MRC-UV-001-2001 y los métodos de calibración desarrollados

Conclusiones:

- La propiedad certificado en el Material de Referencia MRC-UV-001-2002 es lo suficientemente homogénea para ser utilizado en la preparación de lotes de este material.
- Debido a la exactitud e incertidumbre con que se trabajó, el material de referencia MRC-UV-001-2002 ha sido obtenido con valores de absortividad adecuados para la calibración de

espectrofotómetros que poseen resoluciones en la escala fotométrica igual o mayor de 0,009 unidades de absorbancia.

- Las pruebas de estabilidad realizadas al material de referencia han demostrado que la propiedad certificada (absortividad aparente) es lo suficientemente estable para certificarla en períodos de al menos nueve meses.
- Con el presente estudio es posible dar trazabilidad a las mediciones realizadas con los espectrofotómetros ultravioleta visible en Costa Rica.
- Al realizarse la certificación del material de referencia en Costa Rica, el producto puede ser ofrecido a menor costo que los productos importados, siendo la calidad similar a la de un Laboratorio Nacional de Metrología que realiza la preparación y certificación de materiales de referencia.
- Este estudio permite además el rápido acceso a un servicio que de lo contrario debería ser contratado en el extranjero.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1)** Organización Internacional de Normalización (ISO). Guía ISO 30: Términos y definiciones usados en relación a materiales de Referencia.
- (2)** Organización Internacional de Normalización (ISO). Guía ISO 31: Contenido de los Certificados de los Materiales de Referencia.
- (3)** Organización Internacional de Normalización (ISO). Guía ISO 33: Usos de los Materiales de Referencia.
- (4)** Organización Internacional de Normalización (ISO). Guía ISO 34: Lineamientos del Sistema de Calidad para la producción de Materiales de Referencia.
- (5)** Organización Internacional de Normalización (ISO). Guía ISO 35: Certificación de los Materiales de Referencia.
- (6)** Organización Internacional de Metrología Legal. Vocabulario Internacional de Metrología Legal. 2001.

- (7)** National Institute of Standards and Technology (NIST). Principios Generales y Estadísticos para la Certificación de materiales de referencia. Handbook for SRM. Publicación 260-100.
- (8)** National Institute of Standards and Technology (NIST). Statistical Aspect of the Certification of Chemical Batch SRMs. NIST. Publicación 260-125.
- (9)** National Institute of Standards and Technology (NIST). Definitions of Terms and Modes Used at Nist for Value-Assignment of Reference Materials for Chemical Measurements. NIST. Publicación 260-136
- (10)** Ministerio de Economía, Industria y Comercio. Reglamento Técnico NCR 148. Metrología. Contenido Neto de Productos Preempacados. 1993.
- (11)** Instituto Físico Técnico de Alemania. SI Base Units. Definitions, Development, Realizations. 1994
- (12)** Instituto Nacional de Metrología de Brasil (INMETRO). *Padrones e Unidaes de Medida*. 1997.
- (13)** Rodríguez, S., Chacón, J.; Caracterización de un espectrofotómetro para usarlo para ser utilizado en la certificación de materiales de referencia. Primer Simposio Nacional "Metrología UCR 2002", Costa Rica, 2002.
- (14)** Organización Internacional de Normalización (ISO). SI Guide. 1998.
- (15)** Buró Internacional de Pesas y Medidas (BIPM). El Sistema Internacional de Unidades. 1998.
- (16)** Cooperación Internacional para la Acreditación de Laboratorios (ILAC). Guidelines for the Selection and Use of Certified Reference Materials ILAC-G9. 1996
- (17)** Centro Nacional de Metrología. (CENAM). Guía para estimar la incertidumbre de la medición. 2004.