



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES**

**CUAUTITLÁN**

**DISEÑO DE UN MÉTODO POTENCIOMÉTRICO DE  
BAJO IMPACTO AMBIENTAL, PARA LA  
DETERMINACIÓN DE YODUROS Y YODATOS  
ABSORBIDOS EN PAPA (*Solanum Tuberosum* SPP).**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERA QUÍMICA**

PRESENTA:

**ELSA NERI OLIVA**

ASESORES:

M. en C. JOSÉ DE JESÚS PÉREZ SAAVEDRA

Dra. LAURA BERTHA REYES SÁNCHEZ



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# *Agradecimientos*

## **A Dios**

Gracias Señor por haberme permitido llegar hasta aquí, dándome la capacidad física y mental para lograr todo lo que me he propuesto.

## **A mis padres**

Gracias por el amor, apoyo y confianza que me han brindado desde el día en que nací, reconozco todos los esfuerzos físicos y emocionales que hicieron para que yo pudiese llegar hasta aquí.

## **A mis hermanos**

Ivonne, Nancy, Carlos, Ángeles y Alejandra, gracias por su cariño comprensión y apoyo incondicional. Agradezco todos los días que sean mis hermanos.

## **A mis compañeros y amigos**

A toda la generación I.Q. 32, sin ustedes no hubiese sido lo mismo la universidad.

Especialmente les agradezco a ustedes, mis amigos, Carlos Cuando, Ivan Martínez, Salvador Melchor, Martín Tesillo, Monse Chávez, Jorge Camargo y Nayeli Márquez. Gracias por haber compartido conmigo sus días en la FESC y dejarme entrara en sus vidas.

Los quiero muchísimo niños y llevaré conmigo a todos mi corazón, ustedes hicieron que estos últimos 5 años fueran maravillosos e inolvidables.

## **A mis asesores**

Dra. Laura Bertha, gracias por todo el apoyo y confianza que me manifestó desde inicio hasta el fin de mi estancia en la universidad, gracias por haber pensado en mí para realizar este trabajo.

MC. Jesús le agradezco su apoyo incondicional, por las facilidades y oportunidades que me brindó, por todo el tiempo invertido en mí, por los consejos recibidos y sobre todo por su amistad.

## A César

Gracias César por todo el tiempo que estuviste en el laboratorio trabajando conmigo ó apoyándome, por estar ahí de principio a fin y gracias por muchísimas cosas más.

## A Sección de Química Analítica

Por las facilidades que me dieron para la elaboración de mi tesis, en cuanto a reactivos, material de laboratorio y servicios.

Sobre todo gracias a la jefa de sección Sonia Rincón Arce por haberme permitido laborar ahí y principalmente por su apoyo, asesoría y comprensión, así como a Erick Fierro Téllez, laboratorista de la sección.

## A La Universidad

Por ser mí segunda casa durante los últimos 8 años, por ayudarme a crecer.

## A COMECYT

Por el apoyo económico que me proporcionó para que terminara mi tesis.

## A Drauci Jiménez Celi

Por haberme elaborar material especial para realizar mi trabajo de laboratorio y haberme salvado la vida al reparar las buretas.

---

---

## *Dedicatoria*

Este trabajo lo dedico a mis padres, hermanos y amigos, es decir, a todos mis seres queridos. Ésta es una pequeña retribución a todos ustedes que confiaron en mí, por todo su cariño y apoyo... Gracias.

---

---

## *El hombre en busca de la sabiduría*

Ciertamente la plata tiene sus veneros y el oro lugar donde se forma. El hierro se saca del polvo y de la piedra es fundido el metal, de la tierra nace el pan y hay lugar cuyas piedras son zafiro y sus polvos de oro. Pero ¿dónde se hallará la sabiduría? ¿Y dónde está el lugar de la prudencia?

No conoce su valor el hombre, ni se halla en la tierra de los vivientes. El abismo dice -No está en mí- y la mar dijo -Ni conmigo-. No se dará por oro, ni su precio será a peso de plata. De coral ni de perlas no se hará mención: la sabiduría es mejor que piedras preciosas.

¿De dónde pues vendrá la sabiduría? ¿Y dónde está el lugar de la inteligencia?

Porque encubierta está á los ojos de todo viviente, y á toda ave del cielo es oculta. El infierno y la muerte dijeron - su fama hemos oído con nuestros oídos-. Dios entiende el camino de ella, y Él conoce su lugar. Porque Él mira hasta los fines de la tierra y ve debajo de todo el cielo. Él la manifestaba: la preparó y descubrió también.

Y dijo al hombre: He aquí que el temor al Señor es la sabiduría y el apartarse del mal la inteligencia.

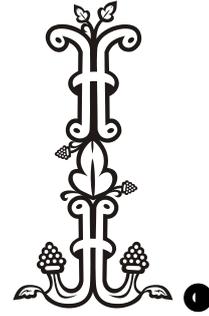
¿No clama la sabiduría, y da su voz la inteligencia?

Yo, la sabiduría, habito con la cordura, y hallo la ciencia de los consejos. Conmigo está el consejo y el buen juicio.

Yo soy la inteligencia; mío es el poder. Por mí reinan los reyes y los príncipes determinan justicia. Por mí dominan los príncipes y todos los gobernadores juzgan la tierra. Yo amo a los que me aman y me hallan los que temprano me buscan.

# Índice

<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>II. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>3</b>
II.I. El yodo y su importancia.....	3
II.I.I. Métodos de cuantificación de yodo. ....	4
II.II. Papa: Características Generales .....	6
II.III. Potenciometría.....	7
II.III.a. Electrodo indicador.....	7
II.III.b. Electrodo de referencia.....	8
II.IV. Valoración potenciométrica.....	8
II.IV.I. Valoración por precipitación de yoduros y yodatos seguida potenciométricamente. ....	8
II.V. Reducción de yoduros a yodatos .....	12
II.VI. Diagrama de Pourbaix .....	13
<b>III. HIPÓTESIS DE TRABAJO</b> .....	<b>15</b>
<b>IV. OBJETIVOS</b> .....	<b>16</b>
<b>V. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL</b> .....	<b>17</b>
V.I. Valoración de yoduros .....	18
V.I.I. Estandarización de soluciones.....	19
V.I.II. Pruebas en papa.....	20
V.II. valoración de yodatos .....	21
V.II.I. Estandarización de soluciones.....	21
V.II.Ia. Reducción.....	21
V.II.Ib. Valoración del yodato reducido.....	22
V.II.II. Pruebas en papa.....	23
<b>VI. RESULTADOS Y ANÁLISIS</b> .....	<b>24</b>
<b>VII. CONCLUSIONES</b> .....	<b>37</b>
<b>VIII. REFERENCIAS</b> .....	<b>39</b>
<b>IX. ANEXOS</b> .....	<b>41</b>



# *Introducción*

El yodo fue descubierto en Francia por el químico francés Bernard Courtois desde entonces ha tenido un sinfín de usos: en la industria farmacéutica, como biocida y desinfectante, en área de pigmentos y hasta en la electrónica; por mencionar algunos.

Pero en la década de 1960 se descubre una de sus más importantes aplicaciones, es decir, su efecto en la agricultura. Se dieron cuenta que el yodo (compuestos yodados como: sales de yoduro y yodato) puede ser aplicado a cultivos en ciertas dosis y mejorar la productividad del campo. Esto es de gran importancia, cuando se busca que los procesos que más influyen en la economía de un país, como lo es la agricultura, sean sostenibles.

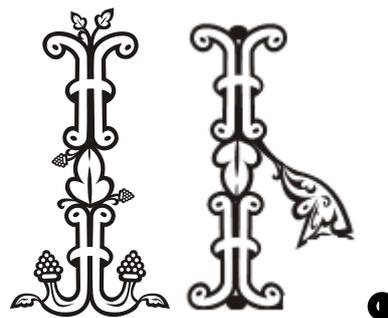
Sin embargo los trabajos que se han realizado hasta el momento han sido a nivel de plántula, por consiguiente no se cuenta con la información sobre el efecto cualitativo de estos iones en semillas, y mucho menos de tipo cuantitativo. Es esta necesidad la que lleva a la elaboración de la presente tesis.

La finalidad de este texto es proponer una metodología experimental para la cuantificación de yoduros y yodatos absorbidos en papa (*Solanum Tuberosum SPP.*). Se buscó una propuesta sencilla, económica, confiable y perdurable por razones analíticas, e igualmente que entrara en una conceptualización del equilibrio químico del medio ambiente en que se vive, por la necesidad de su conservación para preservar la vida.

Para ello la técnica analítica seleccionada fue la Potenciometría. Como se puede leer en el título del trabajo, la determinación es indirecta. La cuantificación es indirecta en dos sentidos; por un lado no se determina la cantidad de yoduros o yodatos directamente de la papa, y por otro lado no se cuantifica el yodato como tal, sino en forma de yoduros, como se podrá ver la Metodología Experimental.

Este trabajo se ha dividido en nueve capítulos además de un anexo en el cual se muestra íntegramente todos los datos y resultados, así como información complementaria.

La primera parte que compone el escrito, es un Marco Teórico el cual pretende aclarar y explicar las bases de la metodología experimental y la justificación de este trabajo. En cuanto a la experimentación, está claramente desarrollada y es apoyada con imágenes y esquemas, para un mejor entendimiento del lector; con el mismo fin los resultados están mostrados gráficamente. Además se estableció un capítulo especial para el análisis de éstos.



# Marco Teórico

## II.I. El Yodo y su Importancia

El yodo pertenece al grupo de los halógenos y tiene el número atómico 53, este elemento es esencial para la vida animal y vegetal debido a que el yoduro y el yodato, que se encuentran en los mares, entran en el ciclo metabólico de la mayor parte de la flora y la fauna de este ecosistema [10, 30], mientras que en los mamíferos superiores el yodo se concentra en la glándula tiroides.

Dicho elemento, puede encontrarse en el aire, el agua y el suelo de forma natural. En la corteza terrestre se encuentra en una concentración de 0.14 ppm, ubicándolo como el halógeno más abundante. Las fuentes más importantes de yodo son los océanos [14, 30], con una concentración de 0.052 ppm.

El yodo es usado principalmente en la industria química y farmacéutica, como medio de contraste para rayos X, para yodar sal de mesa, para fármacos, desinfectantes y biocidas; se utiliza en catálisis, fotografía, para nutrición animal y por supuesto como reactivo químico.

A inicios de la década 1960 se descubre que el yodo tiene un efecto positivo en el crecimiento de algunas plantas como son: tomate, trigo y betabel [13, 16, 31]. A finales de los 80's se sabe que el yodo puede modificar la síntesis de clorofila (pigmento responsable de capturar la energía solar), y con ello se tiene la posibilidad de cambiar positivamente el proceso de fotosíntesis de las plantas. Es importante recalcar que gracias a la función de la fotosíntesis se puede disponer de alimento y con ello sostener la vida.

Por otra parte, tiene funciones de tipo germicida y puede ser utilizada en plantas sin correr el riesgo de causar toxicidades como ha venido sucediendo cuando se aplican iodóforos, en algunos fertilizantes. Por consiguiente no tiene un impacto ambiental negativo.

### **II.I.I. Métodos de Cuantificación de Yoduro y Yodato**

Existen diferentes métodos de cuantificación de yodo yoduro y yodatos a continuación se mencionan algunos de ellos.

a) Yodometría.

Constituye una parte de los métodos de oxidación-reducción, se refiere a las valoraciones de sustancias reductoras mediante soluciones de yodo, y a las determinaciones de yodo por medio de soluciones de tiosulfato de sodio. Todos estos métodos están basados en la acción oxidante del yodo y reductora de los yoduros.

b) Espectrofotometría UV- VIS.

Espectrofotométricamente se pueden determinar pequeñas cantidades de agentes oxidantes con facilidad, aun cuando ellos mismos no absorban luz. Por ejemplo se puede cuantificar el yoduro o yodato en forma de triyoduro, ya que hay una relación directa entre la cantidad de analito y su absorbancia.

c) Cromatografía.

*c.1. Cromatografía de exclusión por tamaños (SEC), y Cromatografía en fase reversa (RPC).*

Este tipo de análisis se ha probado para la cuantificación y especiación de yodo presentes tanto en la leche como en sus derivados (suero lácteo, caseínas y nata).

*c.2. Cromatografía iónica*

Esta técnica se ha sido usada para la cuantificación de yodo, en sus diferentes formas químicas, en fluidos biológicos. En este caso se utiliza una columna especial AS11 IonPac AS11 analítica 4 X 250 mm y una precolumna IonPac AG11 guard 4 X 50 mm. Se usa como eluyente ácido nítrico 0.05 M y un detector de pulso amperométrico con electrodo de trabajo de plata y un electrodo de referencia de plata-cloruro de plata<sup>1</sup>.

d) Valoraciones Potenciométricas.

Este método es muy útil y común para la cuantificación de yoduro, para ello, se utiliza un electrodo de referencia (Calomel) sumergido en una solución saturada de nitrato de potasio, La solución problema se valora con una solución de Nitrato de Plata y se sigue potenciométricamente, en donde, el cambio de potencial indica el punto de equivalencia.

e) Otras: IAAS (Espectrometría de Absorción atómica Indirecta)

Está basada en la formación del complejo Hg(II)I, el cual es cuantificado.

---

<sup>1</sup> Este técnica se encuentra en proceso de publicación, elaborado por Delgado G, Muñoz-Torres C, Orozco-Esquivel T y Aceves C. Departamento de Neurobiología Celular y Molecular, Instituto de Neurobiología, y Departamento de Geoquímica Ambiental, Centro de Geociencias, Campus Juriquilla, Querétaro, México. Fue presentado en el Congreso Nacional de Ciencias Fisiológicas; Septiembre 9-13, 2007. Puebla, México

## II.II. Papa: Características Generales.

La selección de la papa, como primera semilla a estudiar, se da por dos razones, en primer lugar, sus características físicas como el tamaño y porosidad permite conocer con mayor facilidad su capacidad de absorber o no yoduros y yodatos, lo cual se dificultaría con semillas pequeñas. En segundo lugar, la papa es históricamente un importante alimento para el hombre y es de gran interés para la ganadería y la industria [1, 18, 23].

A continuación se muestran datos generales sobre la papa y su cultivo:

La papa es un tubérculo, cuyo nombre científico es *SolanumTuberosum*, tiene un peso específico que oscila alrededor de 1.1,  $\frac{3}{4}$  partes de su peso es agua, y de la materia seca restante  $\frac{3}{4}$  partes son fécula [8, 23]. La planta es una dicotiledónea, su cultivo se encuentra extendido por todo el mundo a excepción de los países tropicales.

Su planta requiere humedad abundante y regular, En periodo de intensa tuberización puede necesitar hasta 80 metros cúbicos de agua por día. El principal factor climático que intervenga en el crecimiento y los rendimientos es la temperatura, el crecimiento de los brotes empieza a los 2 °C y es máximo entre 20 y 25 °C [9].

Aunque es muy exigente en agua, un exceso de ésta produce disminución de su riqueza en fécula y favorece el desarrollo de enfermedades, tales como el mildiu y podredumbre. En cuanto a suelos, la papa prefiere tierras mullidas y aireadas, ricos en humus o materia orgánica; en cambio, son malos los suelos fuertes y compactos. Vegeta mejor entre valores de pH comprendidos entre 5.5 y 7, condiciones que suelen darse más en los terrenos arenosos. Es planta que tolera una fuerte acidez (pH=5).

### II.III. Potenciometría.

Es una técnica electroanalítica con la que se puede determinar la concentración de una especie electroactiva en una dilución empleando un electrodo de referencia y un electrodo de trabajo (electrodo sensible a la especie electroactiva) [2].

La Potenciometría se basa en la medida del potencial de una celda electroquímica, en condiciones estáticas, es decir, cuando no hay paso de corriente ( $i = 0$ ) ya que la composición de la celda debe permanecer constante. El potencial registrado es en realidad la suma de todos los potenciales individuales -con su signo correspondiente-, producidos por los electrodos indicador y de referencia.

Para obtener mediciones analíticas válidas en Potenciometría, uno de los electrodos deberá ser de potencial constante y no sufrir cambios entre uno y otro experimento, el electrodo que cumple estas condiciones, se conoce como **electrodo de referencia**. Debido a esa estabilidad, cualquier cambio en el potencial del sistema se deberá a la contribución del otro electrodo, llamado **electrodo indicador o de trabajo**.

La medición del potencial se determina bajo condiciones reversibles termodinámicamente, lo que implica que se debe dejar pasar el tiempo suficiente para permitir que el sistema llegue al equilibrio, extrayendo la mínima cantidad de intensidad, para no influir sobre el equilibrio que se establece entre la membrana y la disolución muestra.

#### II.III.a. Electrodo indicador

Algunos metales, por ejemplo: plata, cobre, plomo, cadmio, intercambian electrones reversiblemente con sus iones, y por lo tanto sirven de electrodos indicadores de los mismos.

### **II.III.b. Electrodo de referencia**

Es el electrodo cuyas características son:

- A. Presenta un potencial constante durante la experimentación
- B. Es insensible a la composición de la solución de estudio
- C. Es irreversible y obedece a la ecuación de Nernst
- D. Retorna a su potencial original después de haber estado sometido a pequeñas corrientes
- E. Presenta poca histéresis con los ciclos de temperatura

### **II.IV. Valoración potenciométrica**

Las valoraciones potenciométricas se utilizan en el análisis cuantitativo y sistemático de una amplia gama de reacciones redox; orgánicas e inorgánicas. Para que una sustancia pueda valorarse potenciométricamente, no es necesario que sufra cambios en su estado de oxidación, ya que en la práctica, el electrodo indicador responde a la concentración de una de las especies que se estudian en la disolución.

Es por esto que potenciométricamente pueden seguirse las valoraciones de precipitación, neutralización y las complejométricas. Una valoración Potenciométrica, requiere la elección adecuada, tanto del electrodo indicador, como del electrodo de referencia. El más utilizado para el último caso es el Electrodo de Calomel Saturado (ECS).

#### **II.IV.I. Valoración por Precipitación de yoduros y yodatos seguida Potenciométricamente**

La valoración por precipitación consiste, como su nombre lo indica, en valorar una muestra con la solución patrón de un agente precipitante. Se diferencia de otros métodos de valoración por la aparición de un precipitado en el transcurso de la valoración. Si existe relación estequiométrica entre un valorante y la muestra, es posible realizar una volumetría de este tipo; son requisitos indispensables para ello, que la reacción sea completa (esto es,

tener constante de equilibrio grande), rápida y que el precipitado no cause interferencias en las mediciones, ni interacción o reacción de alguna forma con el valorante.

La determinación del punto estequiométrico de la valoración puede llevarse a cabo con un indicador; sin embargo, la mejor forma de determinar el punto de equivalencia es, en general, mediante una técnica instrumental. Una de estas técnicas es la Potenciometría, la cual es la base de la propuesta analítica que se hace en este trabajo.

Es importante mencionar que la potenciometría nos permite trabajar con cantidades mínimas de muestras y reactivos, siempre y cuando la termodinámica de la reacción así lo permita, implicando bajos costos e impactos muy reducidos al ambiente. Lo que la acerca a una técnica analítica sostenible.

Como se mencionó anteriormente, el punto estequiométrico puede detectarse potenciométricamente en muchas reacciones de precipitación, aunque no cambien los estados de oxidación. Para ello, los electrodos selectivos a iones y otros tipos de electrodos indicadores combinados con un electrodo de referencia, proporcionan excelentes celdas de trabajo para seguir las valoraciones.

Sin embargo, se necesita de un electrodo indicador que sea selectivo al ión que se esté valorando, lo cual podría pensarse que es un problema, en virtud de no contarse con un electrodo selectivo a yoduros; esto se resolvió eligiendo como titulante al  $\text{AgNO}_3$ , con lo cual se pudo entonces utilizar un electrodo de este metal, ya que la cantidad de  $\text{Ag}^+$  en solución, va a depender de la cantidad  $\text{I}^-$  existentes en ésta, como lo muestra a continuación.

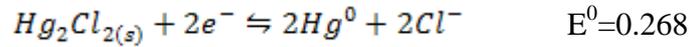
La reacción de titulación es:



La semirreacción en el electrodo indicador de plata es:



La reacción en la semicelda de referencia es



El potencial de la celda es:

$$E = E_+ - E_- \quad \text{Ec. 1}$$

Sin embargo como el término E. es un valor constante, e igual a 0.241 V, se puede entonces escribir la ecuación de Nernst de la siguiente forma:

$$E = \left( 0.799 - 0.06 \log \frac{1}{[Ag^+]} \right) - (0.241)$$

$$E = 0.558 + 0.06 \log [Ag^+] \quad \text{Ec. 2}$$

Para determinar el potencial de la celda es necesario conocer la concentración de  $Ag^+$ , pero ésta se encuentra relacionada con la concentración de  $I^-$ , el cual es el analito de interés. Si se sabe que:

$$K_{ps} = [Ag^+][I^-] \quad \text{Ec. 3}$$

Despejando  $[Ag^+]$  de la Ec. 3:

$$[Ag^+] = \frac{K_{ps}}{[I^-]}$$

Sustituyendo en Ec. 2

$$E = 0.558 + 0.06 \log \frac{K_{ps}}{[I^-]}$$

$$E = 0.558 + 0.06 \log K_{ps} - 0.06 \log [I^-]$$

$$E = 0.558 + 0.06 \log K_{ps} - 0.06 \log [I^-]$$

$$E = -0.402 - 0.06 \log [I^-] \quad \text{Ec. 4}$$

Como la concentración del ión  $I^-$  cambiará durante la valoración, el potencial de la celda cambiará también; lo que significa que después del punto de equivalencia, es decir, cuando ya los  $I^-$  no existan en solución y se produzca por lo tanto un exceso de  $AgNO_3$ , el par redox que impondrá el potencial será  $Ag^+/Ag^0$ , por lo que el potencial de la celda podrá ser calculado utilizando la Ec. 2.

El montaje de una celda típica de valoración  $Ag^+/I^-$  se muestra en la figura 2. La celda se completa con un electrodo de referencia, que en este caso es un ECS. De esta forma, conforme se añade el titulante, va cambiando el potencial de la celda y se obtiene una curva típica bi-logarítmica, que representa el cambio del potencial de la celda, respecto al volumen del valorante añadido.

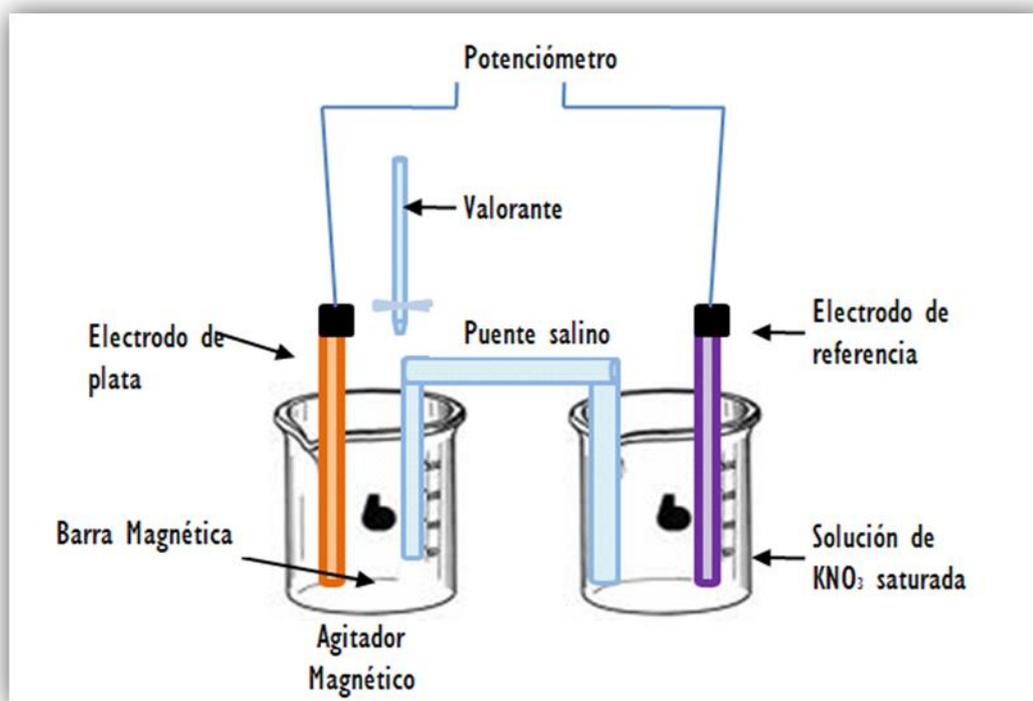
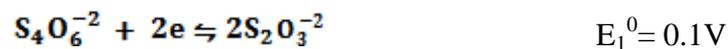


Figura 1. Celda Potenciométrica para valoraciones plata-haluros.

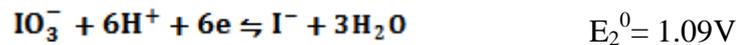
## II.V. Reducción de Yodatos a Yoduros

Para poder transformar el  $\text{IO}_3^-$  a  $\text{I}^-$  éste debe sufrir una reducción, lo cual se puede llevar a cabo sometiéndolo con una especie reductora con  $E^\circ$  menor a 1.20V, sin embargo este oxidante no pasa directamente a yoduros, sino que se forma primero el anfolito  $\text{I}_3^-$ , el cual también puede ser reducido a  $\text{I}^-$  con una especie reductora con un potencial menor al par  $\text{I}_3^-/\text{I}^-$  ( $E^\circ=0.54$ ).

Por consiguiente es importante seleccionar un agente reductor que tenga un potencial menor al par  $\text{I}_3^-/\text{I}^-$  para que se puedan llevar a cabo consecutivamente las dos reducciones. Una especie que cumple con esta cualidad es el tiosulfato de sodio ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ). El reductor seleccionado fue el tiosulfato de sodio. Cuya semirreacción es:



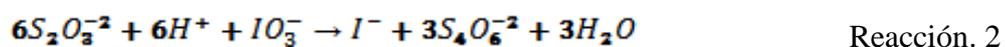
Debido a que la reducción del yodato y triyoduro serán consecutivas, se puede establecer una sola semirreacción:



La primera semirreacción es independiente del pH, sin embargo si se aplica la ecuación de Nernst al segundo sistema se tiene:

$$E = E_2^0 + \frac{0.06}{6} \log \left( \frac{[\text{IO}_3^-][\text{H}^+]^6}{[\text{I}^-]} \right) \quad \text{Ec. 5}$$

En esta expresión se puede notar que si el pH disminuye, el potencial de la solución crece, puede decirse que se vuelve más oxidante. La reacción global óxido-reducción resultante es:



La oxidación del Tiosulfato por el yodato, es una reacción que consume protones, por lo tanto, cuanto más ácido está el medio, tanto más desplazada hacia la derecha estará el

equilibrio. La reacción no se lleva a cabo en un medio poco ácido ya que los  $H^+$  catalizan el proceso. La relación molar de yodatos y yoduros es 1:1, es decir por cada molécula de yodato reducida se forma una de yoduro.

## II.VI. Diagrama de Pourbaix para el Sistema $IO_3^-/I_3^-/I^-$

En química, un diagrama de Pourbaix, también conocido como un diagrama de potencial/pH, en donde los límites de iones predominantes son representados por líneas. Como tal, un diagrama de Pourbaix se puede leer muy similar a un diagrama de existencia predominio estándar. Los diagramas tienen el nombre del ruso Marcel Pourbaix quien los inventó.

Como se pudo observar en el punto 2.5. *Reducción de yodato a yoduro*, existen especies como el yodato, en el que el potencial depende del pH en que se encuentre en solución. El Diagrama de Pourbaix trata de establecer, en función de dos variables independientes ( el potencial electroquímico y el pH), las zonas en las que son estables termodinámicamente el elementos, sus iones y los productos de reacción del propio elemento[3 y 7].

En el Diagrama de Pourbaix una línea representa un equilibrio entre dos especies del mismo sistema electroquímico; cada una de ellas se establece formulando las condiciones de equilibrio de la reacción entre dichas especie (Fig. 3). Además, la temperatura y la concentración de iones en disolución cambiarán las líneas de equilibrio de acuerdo con la ecuación de Nernst.

Estableciendo todas las reacciones posibles entre todos los agentes oxidantes y reductores que intervienen en el sistema, se podrá elaborar el diagrama y nos indicará campos de estabilidad de dicha sustancia.

Siguiendo este principio, se establecieron las reacciones posibles entre el agente oxidante y reductor y se elaboró el diagrama de Pourbaix (Anexo 1), con el cual se justifica parte de la metodología experimental. Es importante mencionar que esta herramienta da una información sobre la estabilidad puramente termodinámica de ciertos analitos o elementos, más no tiene en cuenta la cinética de una reacción.

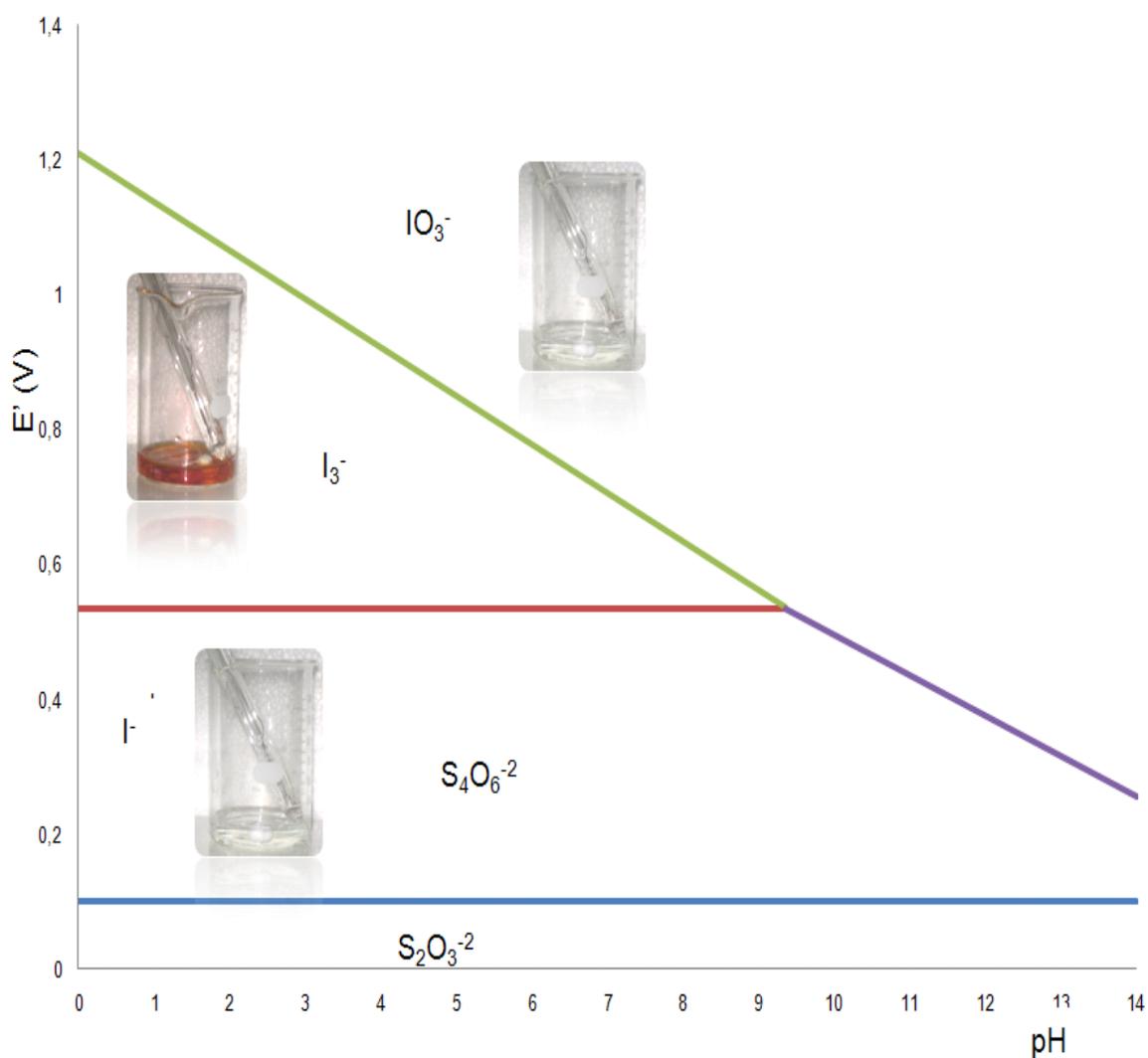
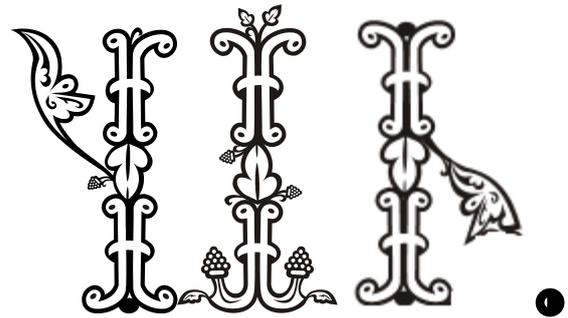
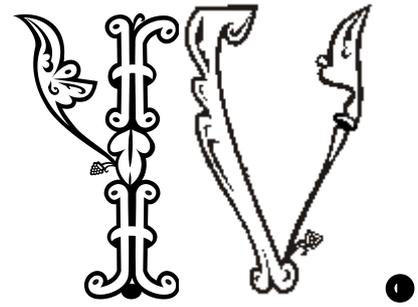


Figura 2. Diagrama de Pourbaix del sistema  $IO_3^-/I_3^-/I^-$  y  $S_4O_6^{-2}/S_2O_3^{-2}$



## *Hipótesis*

Si se hace uso de las propiedades óxido-reductoras del sistema  $\text{I}^-/\text{IO}_3^-$  como una función del pH, entonces es posible diseñar un método potenciométrico de bajo impacto ambiental, para la cuantificación de yoduros y yodatos absorbidos en papa (*Solanum Tuberosum SPP.*).



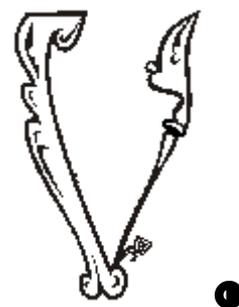
# Objetivos

## OBJETIVO GENERAL

Diseñar una metodología potenciométrica repetible, mediante el uso del Diagrama de Pourbaix, para la cuantificación de yoduros y yodatos absorbidos en papa (*Solanum Tuberosum SPP.*).

## OBJETIVOS PARTICULARES

1. Establecer una metodología analítica para la cuantificación de yodatos a baja concentración (hasta  $10^{-4}$ M), a partir de sus propiedades oxido-reductoras, que pueda ser validado en un trabajo posterior.
2. Elaborar y Aplicar el diagrama de Pourbaix para transformación de yodatos ( $pK_s=8$ ) a yoduros a efecto de cuantificarlos en concentraciones de  $10^{-2}$  y  $10^{-4}$  M.
3. Determinación indirecta de yoduros y yodatos absorbidos en papa (en concentraciones hasta  $10^{-4}$  M).
4. Hacer uso del criterio de primera y segunda derivada para la determinación de los volúmenes de punto de equivalencia.



# Metodología Experimental

Se utilizó el siguiente equipo:

- Electrodo de plata marca Instrulab
- Electrodo de platino Corning
- Electrodo de Calomel saturado Corning
- Potenciómetro Corning modelo 240
- Agitador magnético Corning PC353

Los reactivos utilizados fueron:

- Nitrato de plata Merck
- Yoduro de potasio J.T. Baker
- Yodato de potasio J.T. Baker
- Tiosulfato de sodio J.T. Baker
- Ácido clorhídrico J.T. Baker
- Solución concentrada de  $\text{KNO}_3$ , como electrolito soporte.

Material:

- Copas tequileras
  - Buretas de 5 y 10 mL.
  - Pipetas volumétricas de 1, 2, 5, 6, 10 y 20 mL
  - Vasos de precipitados de 50, 100 y 150 mL
  - Matraces volumétricos de 100 y 200 mL y 1 L.
- 
- Se utilizaron puentes de Agar en los casos necesario
  - Todas las soluciones se prepararon con agua desionizada, obtenida de un desionizador Millipore, Milli-Q™ Water System.
  - Condiciones de Trabajo: La absorción de yoduro y yodato por la papa, fue estudiada para concentraciones en el intervalo  $10^{-2}$  -  $10^{-4}$  M a tiempos de absorción de 24 y 48 horas y temperatura ambiente.

## V.I. Valoración de Yoduros

La metodología para la cuantificación de yoduros absorbidos en papa se realizó siguiendo este principio: Si se tiene una solución de yoduros de concentración conocida y se coloca una papa, después de 24 ó 48 horas el tubérculo habrá absorbido una cierta cantidad de iones; de manera que si se cuantifica la solución resultante, ésta tendrá una concentración menor.

La diferencia de concentración, pero específicamente la diferencia, entre los miligramos iniciales y finales de la solución, será la cantidad de iones que absorbió la papa. Por consiguiente la cuantificación sería de manera indirecta, ya que no se determinan los miligramos de yoduros absorbidos directamente en la papa tratada.

Siguiendo esta idea, en primer lugar se estandarizaron las soluciones, para determinar su concentración inicial y posteriormente tratar a las papas con éstas, es por eso que esta parte se dividió en dos etapas.

### V.I.I. Primera etapa: Estandarización de soluciones.

Como primer paso, se prepararon soluciones de  $\text{AgNO}_3$   $10^{-2}$  y  $10^{-3}$  M y de yoduros de concentración  $10^{-2}$  y  $10^{-4}$  M aproximadamente.

Se colocaron 5mL de la solución de KI, concentración aproximada de  $10^{-2}$  M, en una copa tequilera con una barra magnética en su interior; quedando sumergidos en la solución el electrodo de plata y el puente de agar. El electrodo de plata se conectó al potenciómetro al igual que el electrodo de Calomel saturado, el cual se mantiene sumergido en una solución de  $\text{KNO}_3$ ; la solución valorante de Nitrato de Plata  $10^{-2}$  M se adicionó por medio de una bureta de 10 mL. Durante todo el proceso se mantuvo una agitación constante (Fig. 3).

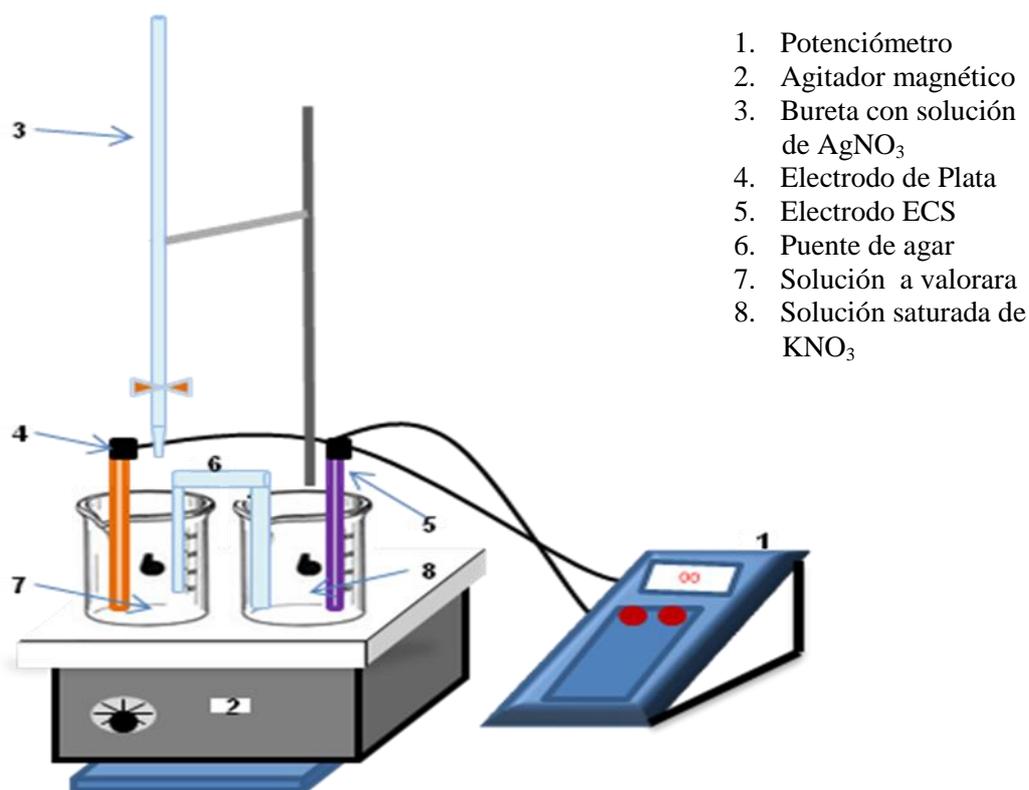


Figura 3. Esquema del montaje experimental y sus componentes.

### V.I.II. Segunda etapa: Pruebas con papa

En vasos de precipitados se colocaron 20mL de la solución de yoduro  $10^{-2}$  M y una papa Cambray blanca, las cuales se dejaron embeber por 24 y 48 horas según fuera el caso (Figuras 4).



Figura 4. Papa Cambray en una solución de yoduros.

Después de transcurrido el tiempo establecido para cada una, se sacaron y enjuagaron con agua desionizada cuidando que el agua de enjuague escurriera dentro del mismo vaso (Fig. 5).



Figura 5. Enjuague de la papa con agua desionizada.

La solución final se cuantifica con una solución de  $\text{AgNO}_3$   $10^{-2}$  M, como en V.I.I.

*Primera etapa: Estandarización de soluciones.*

Los mismos pasos se repitieron para la solución de yoduro  $10^{-4}$  M pero el titulante fue  $\text{AgNO}_3$   $10^{-3}$  M el cual se adicionó con una bureta de 5 mL.

## **V.II. Valoración de Yodatos**

La cuantificación de yodatos absorbidos en papa siguió el mismo principio que la cuantificación de yoduros, es decir, se determinará de manera indirecta. Sin embargo, no se puede determinar la cantidad de yodatos a partir de una titulación con nitrato de plata debido a su baja cuantitatividad del sistema.

Por otro lado, como se mencionó en II.V. *Reducción de yoduros a yodato*, es termodinámicamente posible reducir los  $\text{IO}_3^-$  a  $\text{I}^-$  con tiosulfato de potasio en medio ácido, como se muestra en el diagrama de Pourbaix (Fig. 2). Por consiguiente, se decidió cuantificar los yodatos en forma de yoduros y seguir la metodología establecida en V.I. *Valoración de Yoduros*, pero realizando una reducción en la primera etapa.

### **V. II. I. Primera etapa: Estandarización de soluciones**

#### **V.II.Ia. Reducción**

Al igual que en el caso anterior se prepararon las soluciones de yodato de potasio, en concentraciones  $10^{-2}$  y  $10^{-4}$  M, además de dos soluciones de Tiosulfato de Sodio de concentraciones  $10^{-1}$  y  $10^{-2}$  M aproximadamente.

Se agregaron 100 mL de la solución de  $10^{-2}$  M de  $\text{KIO}_3$  y 10 mL de HCl concentrado (6 M) en un vaso de precipitados; se introdujo una barra magnética ( para mantener una agitación constante durante todo el proceso) y el electrodo de platino que se conectó al potenciómetro.

En una bureta de 5 mL se colocó la solución de Tiosulfato  $10^{-1}$  M y se adicionó a la solución de  $\text{IO}_3^{-2}$  M. Se inicia la valoración con Tiosulfato y se detiene hasta obtener un potencial constante. Este proceso se puede seguir por medio de un potenciómetro siguiendo el montaje experimental de la figura 6. (Reacción 2).

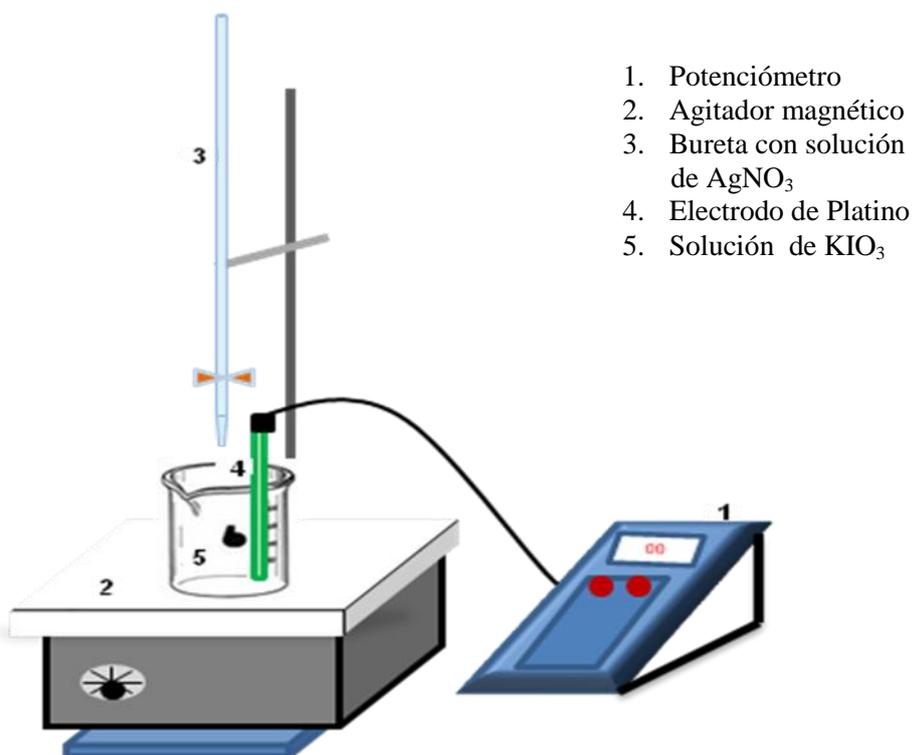


Figura 6. Esquema del montaje experimental para la reducción de Yodatos con Tiosulfato de Sodio y sus componentes.

### V.II.Ib. Valoración del yodato reducido

Una vez reducidos los  $\text{IO}_3^-$  a  $\text{I}^-$ ; se toman alícuotas de 6 mL de la solución resultante y se valoraron con la solución de nitrato de plata  $10^{-2}$  M. Para esta segunda parte se monta el equipo como antes se mostró en la figura 3, y se sigue potenciométricamente

al igual que en el punto V.I. *Valoración de Yoduros*. Es importante mantener la agitación.

### V.II.II. Segunda etapa: Pruebas con papa

En vasos de precipitado se colocaron 20 mL de la solución de yodato más concentrada y en cada uno se colocó una papa; éstas se dejaron embeber 24 y 48 horas, en cada caso.

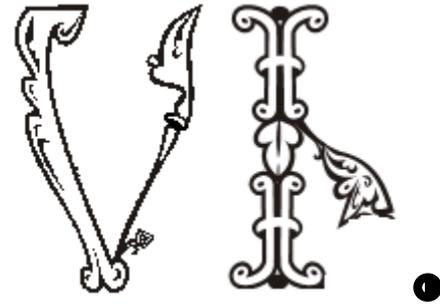


**Figura 7. Papas Cambray inmersas en soluciones con diferentes concentraciones de Yodatos.**

Después de haber transcurrido el tiempo establecido para cada papa, se sacaron y enjuagaron con agua desionizada, cuidando que el agua de enjuague escurriera dentro del mismo vaso (Fig. 5).

A la solución obtenida se le agrega 2 mL de ácido clorhídrico R. A, y en primer lugar se lleva a cabo la reducción con la solución de Tiosulfato  $10^{-1}$  M y terminado el proceso, se titula toda la solución con nitrato de plata  $10^{-2}$ M.

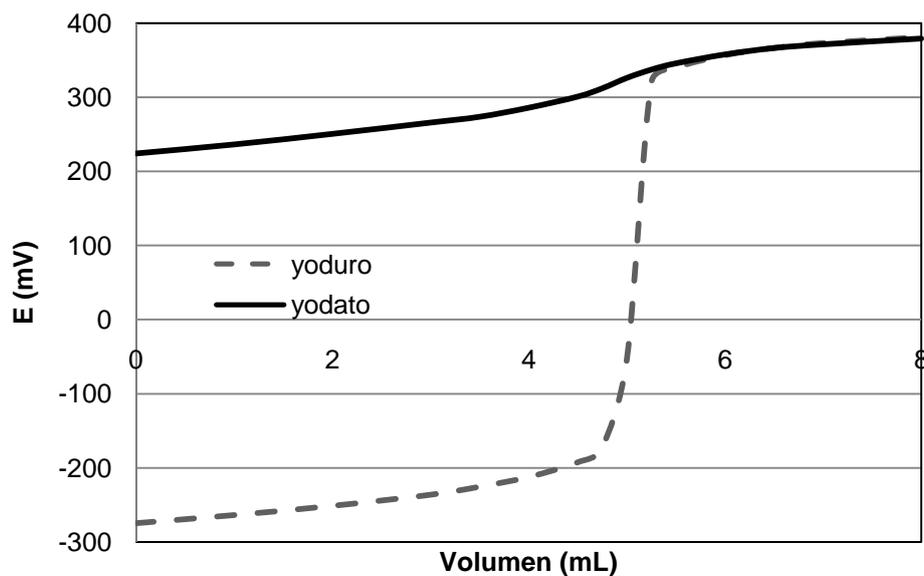
Los mismos pasos se repitieron para la soluciones de  $\text{IO}_3^-$   $10^{-4}$  M, pero ahora únicamente se adiciona la mitad del volumen de ácido clorhídrico (1 mL respectivamente) y las concentraciones de Tiosulfato  $\text{AgNO}_3$  son  $10^{-2}$  M y  $10^{-2}$  M cada una.



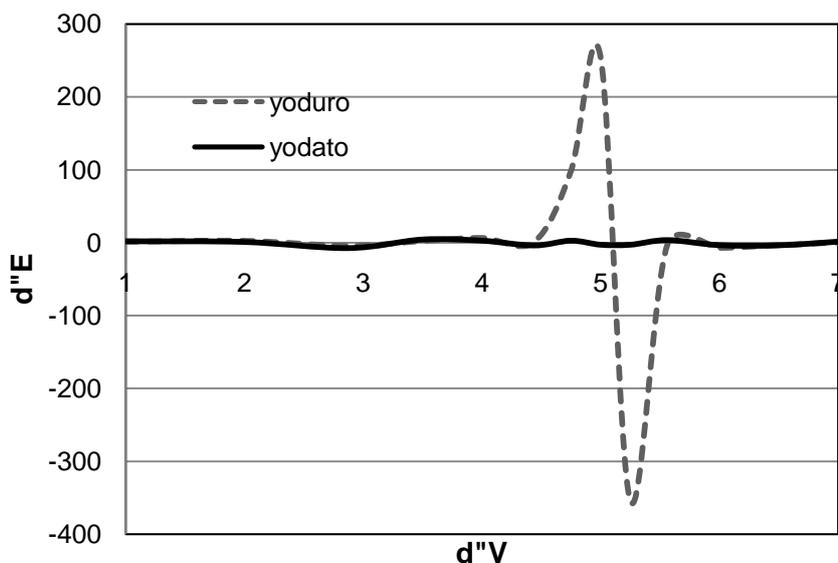
# Resultados y Análisis

Los resultados obtenidos durante el proceso de experimentación así como el análisis se muestran a continuación.

## A. Pruebas de cuantitatividad de yoduro y yodato titulados con nitrato de plata.



**Gráfica 1.** Curvas de valoración por separado de 5 mL de yoduro y yodato de potasio de concentración 0,0106 y 0,0099M respectivamente utilizando como titulante nitrato de plata 0,0140 estandarizada (Anexo 2).



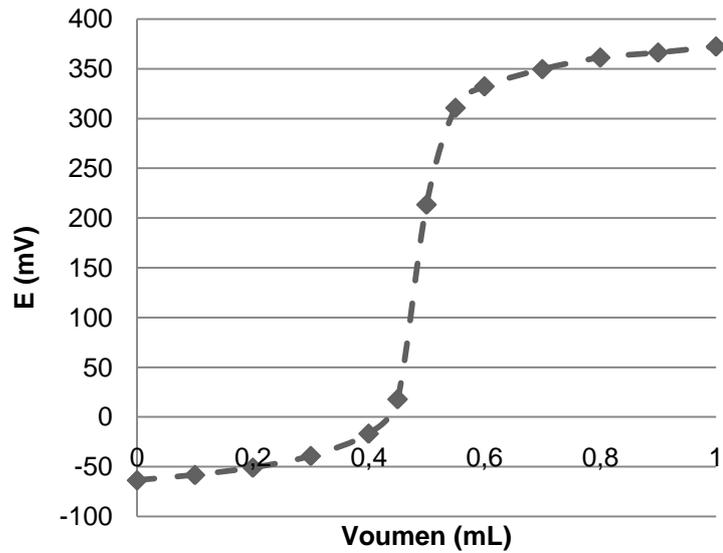
**Gráfica 2.** Segunda Derivada de los datos de la gráfica 1.

En la gráfica 1 se puede observar que no es posible cuantificar yodatos  $9.9E^{-3}M$  simplemente titulando con nitrato de plata, esto se corrobora en la gráfica 2 porque al aplicar la segunda derivada el volumen de punto de equivalencia no es detectable. Los precipitados formados  $AgI$  y  $AgIO_3$  tienen una constante de formación  $8.3 \times 10^{17}$  y  $3.1 \times 10^8$  [15] respectivamente, lo que explica este comportamiento. Es por esto que no se puede cuantificar potenciométricamente yodatos de manera directa.

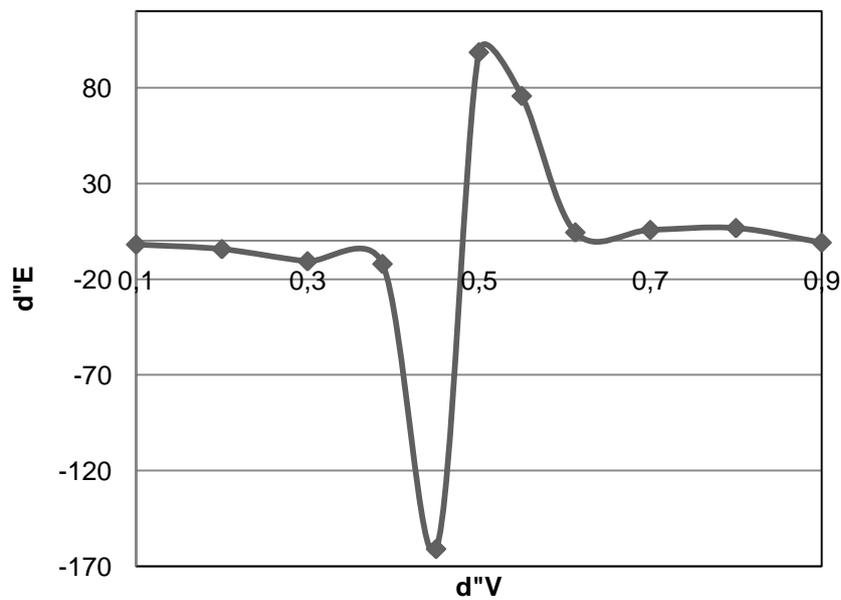
## B. Valoración de yoduros

### B.1. Curva de estandarización de yoduros

A continuación únicamente se muestra la curva de estandarización de yoduros  $10^{-4} M$ , por la gráfica en la que podrían presentarse problemas al determinar el punto de equivalencia, debido a la baja concentración. Pero se muestran las tablas de resultados obtenidos de la estandarización de las soluciones de yoduro  $10^{-2}$  y  $10^{-4} M$



**Gráfica 3.** Curva promedio de la valoración por quinto decuplicado, 5 mL de yoduro de potasio  $0,0001\text{ M}$  con nitrato de plata  $9,98\text{E}^{-4}\text{ M}$  estandarizada (Anexo 2).



**Gráfica 4.** Primera derivada de los datos de Gráfica 5.

Como se observa en las dos graficas anteriores (3 y 4), la valoración de yoduros  $0,0001\text{M}$  con nitrato de plata  $9,98\text{E}^{-4}\text{ M}$  es cuantitativa y es posible determinar el punto de equivalencia por el método de la segunda derivada.

TABLA 1. Resultados 15 valoraciones de 5 mL de yoduro de potasio 0,0106 M con nitrato de plata 0,0140 M estandarizada.

No. Valoración	1	2	3	4	5	6	7	8
Vpe (mL)	5,125	5,125	5,125	5,125	5,125	5,125	5,125	5,125
Conc. (M)	0,0107	0,0107	0,0107	0,0107	0,0107	0,0107	0,0107	0,0107
No. Valoración	9	10	11	12	13	14	15	Promedio
Vpe (mL)	5,125	5,125	4,875	5,125	4,875	5,125	5,125	5,092
Conc. (M)	0,0107	0,0107	0,0102	0,0107	0,0102	0,0107	0,0107	0,0106
Desviación estándar	Vpe (mL)		0,0880					
	Conc. (M)		0,0002					
Concentración real (M)		1,06E-02						
% Recuperación		100						

TABLA 2. Resultados de 15 valoraciones de 5 mL de yoduro de potasio 0,0001 M con nitrato de plata 9,98E-04 M estandarizada

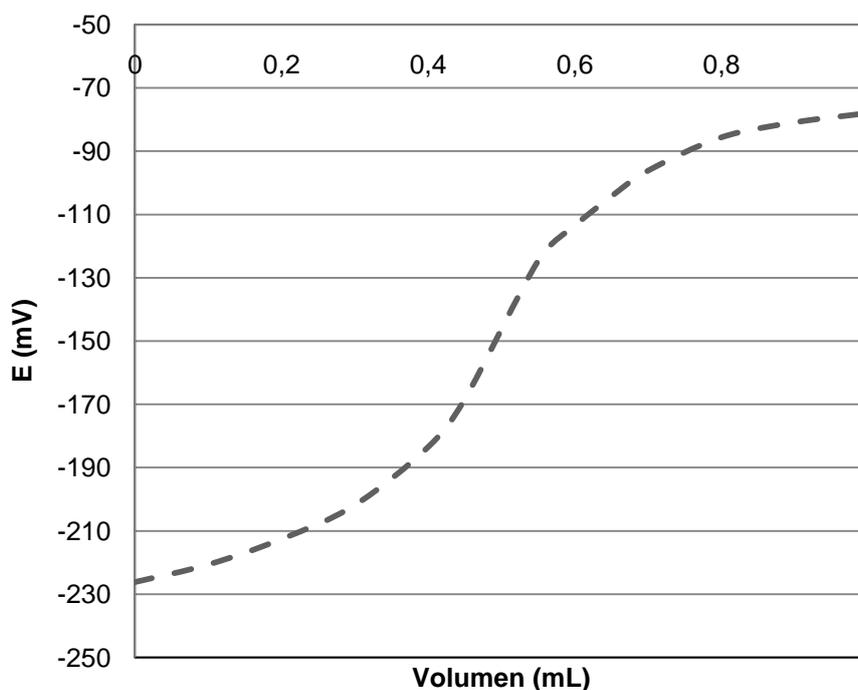
No. Valoración	1	2	3	4	5	6	7	8
Vpe (mL)	0,475	0,475	0,475	0,475	0,475	0,475	0,475	0,475
Conc. (M)	9,5E-05	9,5E-05	9,5E-05	9,5E-05	9,5E-05	9,5E-05	9,5E-05	9,5E-05
No. Valoración	9	10	11	12	13	14	15	Promedio
Vpe (mL)	0,475	0,475	0,525	0,475	0,475	0,475	0,475	0,478
Conc. (M)	9,5E-05	9,5E-05	9,5E-05	9,5E-05	9,5E-05	9,5E-05	9,5E-05	9,5E-05
Desviación estándar	Vpe (mL)		0,0129					
	Conc. (M)		0,0000					
Concentración real (M)		9,6E-05						
% Recuperación		100						

Para estandarizar soluciones con 3 repeticiones de la prueba es suficiente, en este caso se realizaron 15 pruebas para determinar si el método es repetible. En la gráfica 1 y 2 se muestra que sí lo es, ya que se tienen desviaciones en los volúmenes de punto de equivalencia de hasta 0.08. Esto es importante ya que el volumen de punto de equivalencia

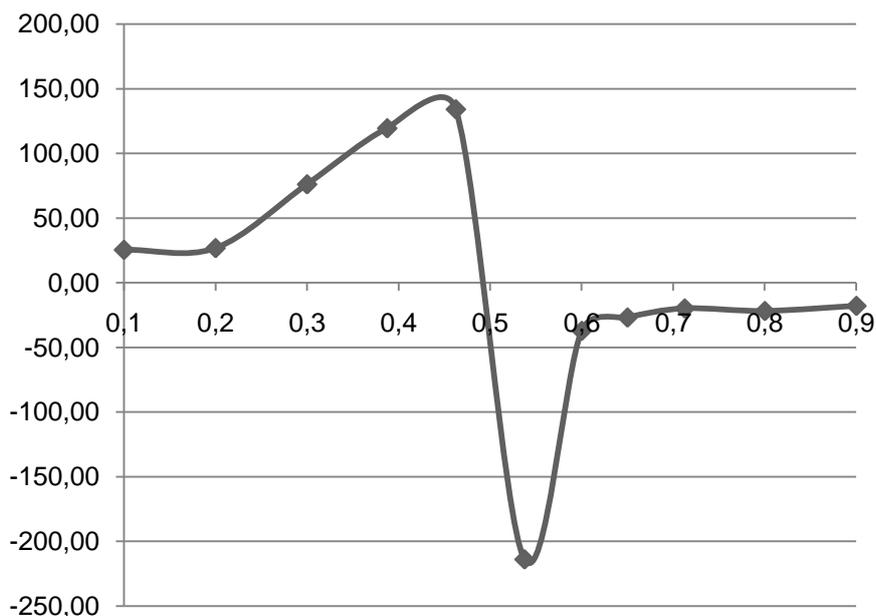
es el valor que se requiere para realizar una cuantificación y al tener un error muy bajo, la concentración obtenida de cada titulación es muy cercana a la real.

### C. Valoración de yodatos

Como se mencionó en la metodología experimental se realizó una sola reducción de la cual se tomaron alícuotas para ser tituladas con nitrato de plata, al igual que en el caso anterior, se decidió sólo mostrar la estandarización de la solución menos concentrada, es decir, de la de yodatos  $9.2 \text{ E}^{-2}\text{M}$ , por ser la solución en la que se esperarían problemas al determinar el punto de equivalencia.



**Gráfica 5.** Curva promedio de valorar, por quinto decuplicado, 6 mL de yoduros (solución resultante de reducir yodato de potasio  $9,2\text{E}^{-5} \text{ M}$  con tiosulfato de sodio  $0,0579 \text{ N}$ ) con nitrato de plata  $9,98\text{E}^{-4} \text{ M}$ .



**Gráfica 6.** Segunda derivada de los datos de Gráfica 5.

La grafica 5 muestra una curva de una forma bilogaritmica no tan definida como en el caso anterior, es importe aclarar que esta solución había sufrido una reducción en medio ácido previamente, lo que significa que se le adicionó un volumen de HCl y tiosulfato de sodio, por lo tanto las alícuotas se encontraban más diluidas y sin embargo fue posible determinar el punto de equivalencia con la segunda derivada.

TABLA 3. Resultados de 15 valoraciones de 6 mL de yoduros ( solución resultante de reducir yodato de potasio $9,2E^{-05}$ M con tiosulfato de sodio 0.5796 N) con nitrato de plata 0,0140 M								
No. Valoración	1	2	3	4	5	6	7	8
Vpe (mL)	4,625	4,625	4,625	4,625	4,625	4,625	4,625	4,625
Conc. (M)	9,9E-03	9,9E-03	9,9E-03	9,9E-03	9,9E-03	9,9E-03	9,9E-03	9,9E-03
No. Valoración	9	10	11	12	13	14	15	Promedio
Vpe (mL)	4,625	4,625	4,625	4,625	4,625	4,625	4,625	4,625
Conc. (M)	9,9E-03	9,9E-03	9,9E-03	9,9E-03	9,9E-03	9,9E-03	9,9E-03	9,9E-03
Desviación estándar	Vpe (mL)		0,0000		Conc. (M)		0,0000	
Concetración teórica (M)		6,6E-03		% Recuperación		150		

TABLA 4. Resultados de 15 valoraciones de 6 mL de yoduros ( solución resultante de reducir yodato de potasio  $9,9E^{-03}M$  con tiosulfato de sodio 0.0579 N) con nitrato de plata  $9,98E^{-4} M$

No. Valoración	1	2	3	4	5	6	7	8
Vpe (mL)	0,525	0,525	0,525	0,525	0,525	0,525	0,525	0,525
Conc. (M)	9,3E-05	9,3E-05	9,3E-05	9,3E-05	9,3E-05	9,3E-05	9,3E-05	9,3E-05
No. Valoración	9	10	11	12	13	14	15	<b>Promedio</b>
Vpe (mL)	0,525	0,525	0,475	0,525	0,525	0,525	0,525	0,522
Conc. (M)	9,3E-05	9,3E-05	8,4E-05	9,3E-05	9,3E-05	9,3E-05	9,3E-05	9,2E-05
Desviación estándar	Vpe (mL)	0,0129						
	Conc. (M)	2,3E-06						
Concentración teórica (M)		7,6E-05						
% Recuperación		120						

Con las tablas 3 y 4 podemos ver que al igual que el caso de yoduros, la desviación de los valores de volumen de punto de equivalencia es pequeño, llegando hasta 0.012 para la solución menos concentrada. Se debe tomar en cuenta que todas las alícuotas se tomaron de una misma solución, y es por esto que se tienen errores tan pequeños.

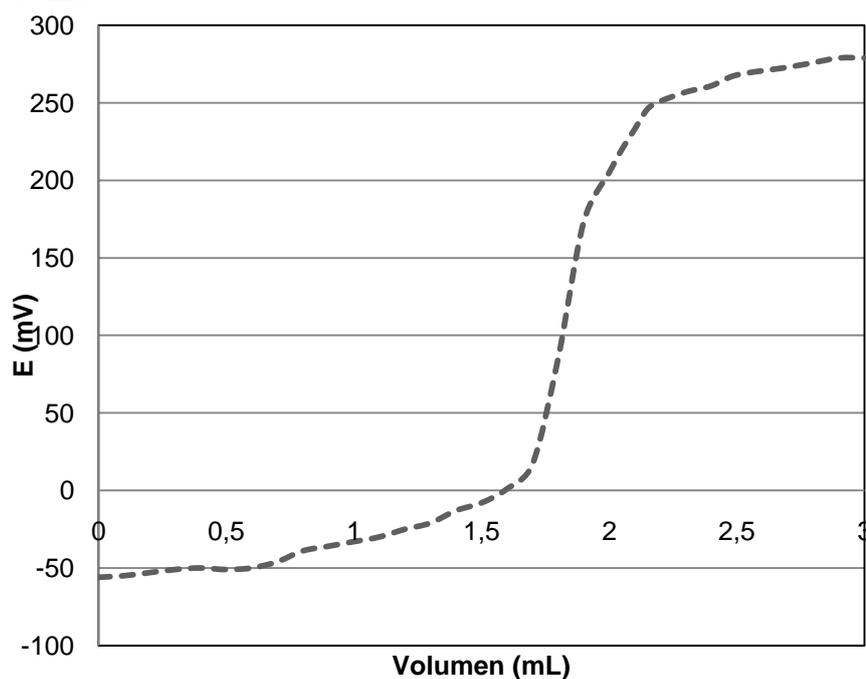
Se puede observar en estas mismas tablas, que el porcentaje de recuperación es mayor al 100%, esto se termino en base a la estandarización previa de las soluciones por un método yodométrico (Anexo 2). La concentración obtenida por el método yodométrico fue menor que la obtenida por ésta técnica, esta diferencia se puede atribuir a que la metodología yodométrica utiliza indicadores visuales y la potenciometría es una técnica instrumental.

#### D. Cuantificación Indirecta de yoduros absorbidos en papa.

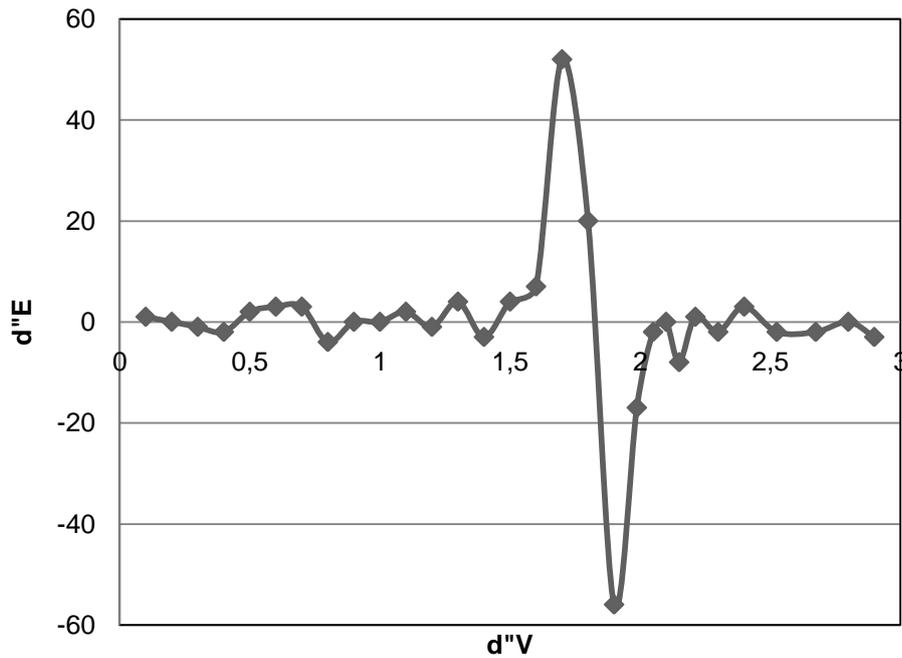
Como se estableció en la metodología experimental se sometieron papas a alícuotas de las soluciones de yoduro de  $10^{-2}$  y  $10^{-4}$  M y se dejaron reposar por 24 y 48 horas. A continuación únicamente una sola curva de valoración de la solución resultante de embeber una papa Cambray en la solución más diluida durante 48 horas.

Se seleccionó esta gráfica, porque se supuso que entre mayor tiempo de contacto habría un mayor absorción de iones y por consiguiente la solución tendría una concentración mucho menor, lo que podría provocar problemas al identificar el volumen de punto de equivalencia.

**Yoduros 48 hrs**



**Gráfica 7.** Curva valoración de la solución de yoduros (resultante de embeber una papa cambray en 20 mL de yoduro  $9,5E-05$  M durante 48 hrs), con nitrato de plata  $9,98E-4$  M



**Gráfica 8.** Segunda derivada de los datos de Gráfica 7

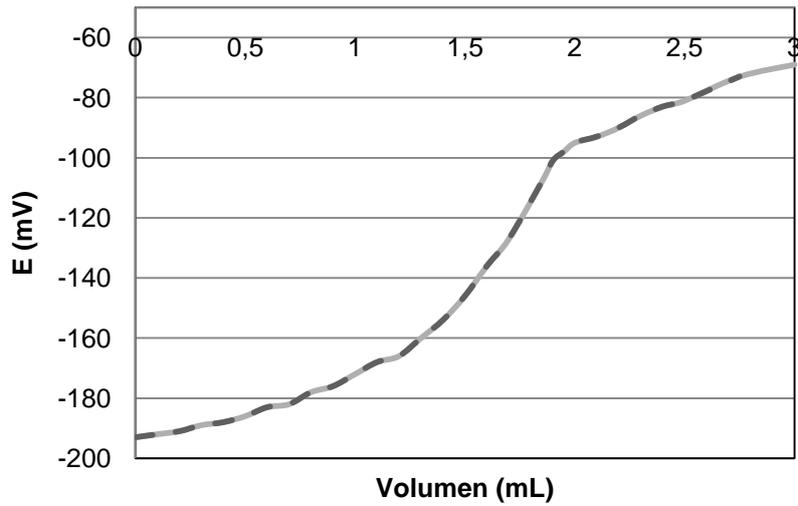
En la grafica 7 y 8 se demuestra que no existen problemas en la valoración de los yodatos que quedaron en solución.

### **E. Cuantificación Indirecta de yodatos**

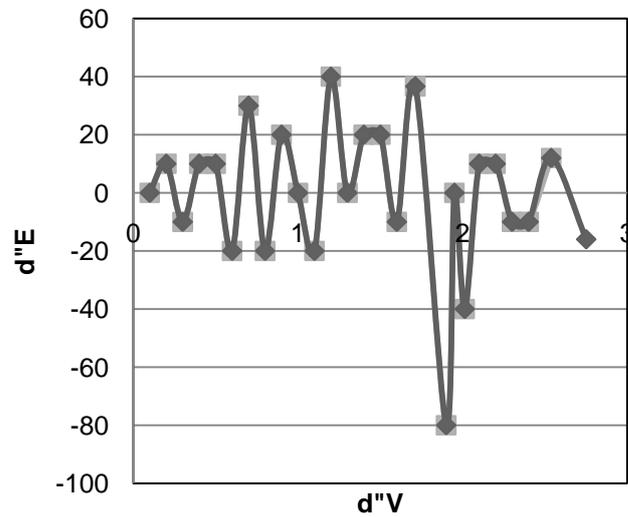
Como se estableció en la metodología experimental se sometieron papas a alícuotas de las soluciones de yodato de  $10^{-2}$  y  $10^{-4}$  M y se dejaron reposar por 24 y 48 horas. Sin embargo no se mostrarán todas las gráficas obtenidas; únicamente una sola curva de valoración de la solución resultante de embeber una papa Cambray en la solución más diluida durante 48 horas.

Se seleccionó esta gráfica, por ser la valoración en la cual se podrían presentar problemas al determinar el volumen de punto de equivalencia. En la tabla 5 se muestran todos los resultados obtenidos.

**Yodatos 48 hrs.**



**Gráfica 9.** Curva valoración de la solución de yoduros (resultante de embeber una papa cambray en 20 mL de yodatos  $9,2E-05$  M durante 48 hrs), con nitrato de plata  $9,98E-04$ .



**Gráfica 10.** Segunda derivada de los datos de Gráfica 9

En este último caso, el volumen de punto de equivalencia se obtuvo de la intersección de la curva en el eje de las “X” dada entre los puntos más distantes, es decir, donde se obtiene el mayor valor de pendiente en la grafica de la segunda derivada.

**TABLA 5. Resultados generales de la cuantificación indirecta de yoduros y yodatos absorbidos en papa a 24 y 48 hora**

Tiempo	24 HR						48 HR					
	Yoduro	Yodato	Yoduro	Yodato	Yoduro	Yodato	Yoduro	Yodato	Yoduro	Yodato	Yoduro	Yodato
<b>Solución</b>	1,06E-02	9,90E-05	9,61E-05	9,90E-03	9,24E-05	9,24E-05	1,06E-02	9,90E-05	9,61E-05	9,90E-03	9,24E-05	9,24E-05
<b>V0 (ml)</b>	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
<b>mg iniciales ( 20 mL)</b>	27,0122	0,2442	0,2442	34,6553	0,3216	0,3216	27,0122	0,2442	0,2442	34,6553	0,3216	0,3216
<b>Tipo de papa</b>	Cambrey B.						Cambrey B.					
<b>Masa de papa (gr)</b>	1	24,15	21,45	25,30	23,19	23,19	36,07	17,55	18,00	18,00	20,94	20,94
	2	29,70	26,63	39,60	20,42	20,42	35,44	35,30	22,78	22,78	27,26	27,26
	3	25,94	25,29	37,31	20,53	20,53	19,77	35,34	23,46	23,46	29,63	29,63
<b>Veql (ml de AgNO<sub>3</sub>)</b>	1	19,75**	1,875*	18,75**	1,75*	1,75*	19,125**	1,85*	18,25**	1,75*	1,75*	1,75*
	2	19,5**	1,8*	18,25**	1,825*	1,825*	18,75**	1,825*	17,25**	1,83*	1,83*	1,83*
	3	19,75**	1,8*	18,25**	1,83*	1,83*	19,5**	1,85*	17,75**	1,83*	1,83*	1,83*
<b>Concentración final (M)</b>	1	1,03E-02	9,36E-05	9,79E-03	8,73E-05	8,73E-05	9,99E-03	9,23E-05	9,53E-03	9,53E-03	8,73E-05	8,73E-05
	2	1,01E-02	8,98E-05	9,53E-03	9,24E-05	9,24E-05	9,79E-03	9,11E-05	9,01E-03	9,01E-03	9,13E-05	9,13E-05
	3	1,03E-02	8,98E-05	9,53E-03	9,24E-05	9,24E-05	1,02E-02	9,23E-05	9,27E-03	9,27E-03	9,13E-05	9,13E-05
<b>mg finales</b>	1	26,1943	0,2376	34,2669	0,3056	0,3056	25,3653	0,2345	33,3531	33,3531	0,3056	0,3056
	2	25,2120	0,2281	33,3531	0,3216	0,3216	24,8680	0,2313	31,5256	31,5256	0,3196	0,3196
	3	26,1943	0,2281	33,3531	0,3216	0,3216	25,8627	0,2345	32,4393	32,4393	0,3196	0,3196
<b>mg absorbido</b>	1	0,8179	0,0065	0,3884	0,0160	0,0160	1,6468	0,0097	1,3021	1,3021	0,0160	0,0160
	2	1,8002	0,0161	1,3021	0,0000	0,0000	2,1442	0,0129	3,1297	3,1297	0,0020	0,0020
	3	0,8179	0,0161	1,3021	0,0000	0,0000	1,1495	0,0097	2,2159	2,2159	0,0020	0,0020

\*\* [Ag+]=0,0140 M, \* [Ag+]= 9,98E-4 M

En la tabla 5 se expone un resumen general de las pruebas realizadas con papa, entre los resultados que se arrojaron son:

- La absorción de yodatos es mayor a 48 horas para las dos trabajadas, lo que resulta obvio, porque existió un mayor tiempo de contacto.
- Existe una mayor absorción de yoduros a 48 horas

Para comprobar si existe alguna relación entre la masa de la papa y los miligramos de yoduro y yodatos absorbidos se calculó los miligramos de cada especie que se deberían de haber absorbido.

Ejemplo. Si una papa de 24.15 g embebida en yoduro  $1.06E^{-2}M$  absorbió 0.8179 mg de  $I^-$ , ¿Cuántos debió de haber absorbido una papa de 25.94g?

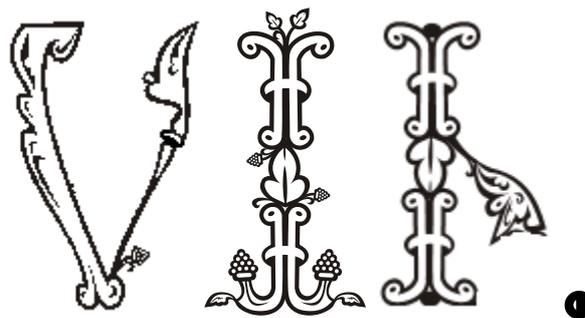
$$mg = \frac{25.94g \times 0.8179mg}{24.15g} = 0.8785mg \text{ de } I^-$$

Esto se realizó tomando como base la papa con menor masa de cada prueba. Los resultados se muestran en la tabla 6.

Tiempo		24 HR				48 HR			
Solución		Yoduro	Yoduro	Yodato	Yodato	Yoduro	Yoduro	Yodato	Yodato
Concentración Inicial(M)		$1,06E^{-02}$	$9,61E^{-05}$	$9,90E^{-03}$	$9,24E^{-05}$	$1,06E^{-02}$	$9,61E^{-05}$	$9,90E^{-03}$	$9,24E^{-05}$
Masa de papa (gr)	1	24,15	21,45	25,30	23,19	36,07	17,55	18,00	20,94
	2	29,70	26,63	39,60	20,42	35,44	35,30	22,78	27,26
	3	25,94	25,29	37,31	20,53	19,77	35,34	23,46	29,63
mg absorbido	1	0,8179	0,0065	0,3884	0,0160	2,0974	0,0097	1,3021	0,0160
	2	1,0058	0,0081	0,6079	0,0140	2,0603	0,0195	1,6479	0,0208
	3	0,8785	0,0077	0,5727	0,0141	1,1495	0,0196	1,6971	0,0226

- La absorción de yodato y yoduro tiende a ser mayor en las papas con mayor masa, pero no hay una relación exacta.

No se observa una relación lineal entre masa de la papa y miligramos absorbidos, esto se debe tal vez a que la difusión depende también de la superficie de contacto, y no todas las papas tiene la misma área y además no siempre se cumple la relación de que entre mayor se la masa mayor será el área.



# Conclusiones

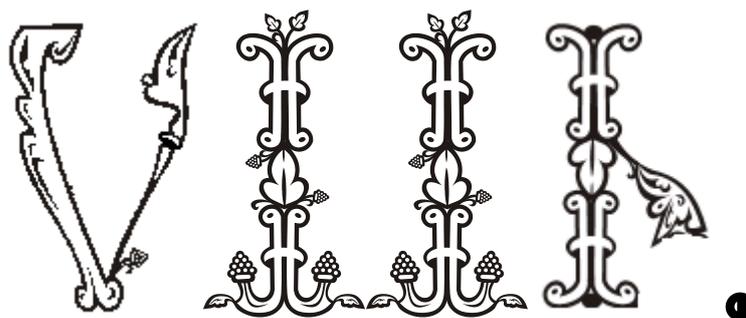
Fue posible diseñar una metodología experimenta repetible, económica y segura, haciendo uso del diagrama de Pourbaix y de una técnica de bajo impacto ambiental como lo es la Potenciometría,

La técnica es de bajo impacto ambiental ya que en métodos usuales de valoración de halogenuros o en yodometría, las cantidades a valorar son de 30 mL y se titulan con aproximadamente 40 mL, por cada titulación se generan 70 mL de residuos; en la metodología propuesta el volumen máximo de alícuota fue de 6 mL y se tituló con 10mL generando 16 mL de residuos. En conclusión, se generan 4 veces menos residuos que con una técnica convencional.

Este trabajo puede ser utilizado en docencia, ya que integra los principios de óxido reducción y precipitación, así como el manejo y construcción del diagrama de Pourbaix. La técnica propuesta fue establecida de tal manera que pueda ser implementada en casi cualquier laboratorio, para la cuantificación de yoduros y, lo más importante, de yodatos hasta  $1 \times 10^{-4}$  M, utilizando un mínimo de recursos en cuanto a reactivos, servicios y tecnología.

La desviación estándar de los valores de volumen de punto de equivalencia obtenido en las valoraciones de las soluciones más diluidas fue de 0,0129, lo que respalda la repetitividad de la técnica.

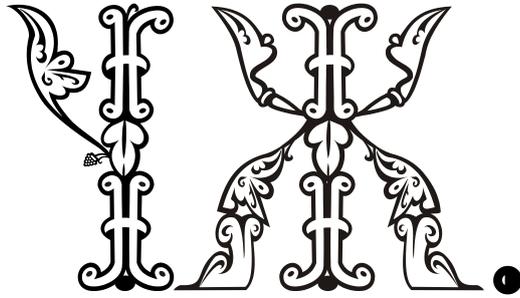
Esta tesis deja establecidas las bases para una nueva técnica de cuantificación de  $\text{IO}_3^-$  pensando en que puedan ser validado en trabajos posteriores.



# Referencias

- [1]. Arce, Fernando Alonso, “ El cultivo de la Patata”, Ediciones Mindi-Prensa, 1996.
- [2]. Atkins, P.W. *Fisicoquímica*. Addison-Wesley México-Argentina, 1991.
- [3]. Ballesteres, A. et al. “Tratado del diagrama de Pourbaix del sistema Hg-Br-H<sub>2</sub>O”, en *Revista de Metalurgia* No. 24 (Madrid, 1988) pp. 16-21.
- [4]. Baudillo Juscafresca, “Patata: Su cultivo”, Biblioteca Agrícola AEDOS, Barcelo, España.
- [5]. Bradshaw & McKay, “Potato Genetics”, Ed. CAB International, Cambridge, 1994.
- [6]. Castellan, G.W. *Fisicoquímica*. Addison-Wesley Iberoamericana, Argentina-México, 1987.
- [7]. . Charlot,Gasten, “Química Analítica General - Soluciones acuosas y no acuosas”. Tomo I y II, Toray-Masson, Barcelona, 1971.
- [8]. Dencker, Heinrich Carl et al, “Manual de Técnica Agrícola”, Ediciones Omega, S. A., Barcelona, España, 1985.
- [9]. Edmon, Senn Andrew, “Principios de Horticultura”, Tercera edición, McGraw-Hill, México, 1984.
- [10]. Emsley, John, *Nature's Building Blocks: An A-Z Guide to the Elements*, Oxford University Press , USA, 2001.
- [11]. Eolini, Francesco, Hochkoeppler, Alejandro, et al. “Polyphenol oxidase expression in potato (*Solanum tuberosum*) tubers inhibited to sprouting by treatment with iodine atmosphere”, en *Phytochemistry*, No.65 (2004), pp.2181–2187.
- [12]. Frithjof C. Ku” pper et al, “Iodide accumulation provides kelp with an inorganic antioxidant impacting atmospheric chemistry” en *PNAS*, Vol. 105, No. 19, (2008), pp. 6954–6958.
- [13]. G. W. F. H. Borst Pauwels, Iodine as a Micronutrient for Plants, en *Plant and Soil* Vol. XIV, No. 4 (1961), pp. 377.

- [14]. Greenwood, and Earnshaw, *Chemistry of the Elements*, Twice edition, Oxford, 1997.
- [15]. Harris, Daniel C. *Análisis cuantitativo*. 3ª. Edición. W. Freeman, 1991.
- [16]. J. J. Lehr, J. M. Wybenga And M. Rosanow, “Iodine as a Micronutrient for Tomatoes” en *Plant Physiology* (1956), pp. 421-427.
- [17]. L. M. del Bo. “El ABC de la Agricultura”, Edorial de Vecchi, S. A., 1979.
- [18]. Lorenzo, Fabian, “La Patata”, Editorial AEDOS, Barcelona, España.
- [19]. Levine, Y , *Fisicoquímica*, 3a. edición Mc Graw-Hill México, 1991.
- [20]. Primo, Yúfera E, *Química Orgánica*, Ed. Alhambra, España, 1987.
- [21]. P.R. Bhagat, et al, “Estimation of iodine in food, food products and salt using ENAA, en *Food Chemistry*”, Núm.115 (2009), pp. 706–710.
- [22]. P. M. Harris, “ The Potato Crop: The scientific basis for improvement.”, Primera Edición, Ed. London Chapman & Hall, Great Britain, 1978.
- [23]. P. Rousselle, Y., Robert, J. C. “La Pata” Ediciones Pundi-Prensa, México, 1999.
- [24]. Santacruz, S., Andersson, R., “Characterisation of potato leaf starch with iodine-staining” en , *Carbohydrate Polymers* No. 59 (2005), pp. 397–400.
- [25]. Schery, Robert W., *Plants for Man*, Ed. Prentice Hall, Segunda edición, USA, 1972.
- [26]. Skoog D. A. y Leary J. J., "*Análisis Instrumental*". Ed. Mc. Graw Hill. Madrid. 1994.
- [27]. Sujika, Monica, Jamroz, Jerzy, “a-Amylolysis of native potato and corn starches – SEM, AFM, nitrogen and iodine sorption investigations”, en *LWT - Food Science and Technology*, No. 42\_ (2009), pp 1219–1224.
- [28]. Truesdale, Victor W., “The biogeochemical effect of seaweeds upon close-to natural concentrations of dissolved iodate and iodide in seawater e Preliminary study with *Laminaria digitata* and *Fucus serratus*”, en *Coastal and Shelf Science*, No. 78 (2008), pp. 155-165.
- [29]. Turrent Fernández, Antonio, Moreno Dahme, Rodolfo, “Producción Sostenible de Alimentos de Origen Vegetal en el Mundo” en *Terra*, No. 16 Volumen 2 (México, 1998), pp. 93-111.
- [30]. Žic, Vesna, W., Victor, et al, “The distribution of iodide and iodate in anchialine cave waters — Evidence for sustained localised oxidation of iodide to iodate in marine water”, en *Marine Chemistry*, No. 112 (2008), pp. 168–178.
- [31]. Y.-G. Zhu\*, Y.-Z. Huang, Y. Hu, Y.-X. Liu, “Iodine uptake by spinach (*Spinacia oleracea* L.) plants grown insolution culture: effects of iodine species and solution concentrations”, en *Environment International*, No. 29 (2003), 33–37.



# *Anexos*

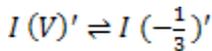
## ANEXO 1

### ELABORACIÓN DE DIAGRAMA DE POURBAIX

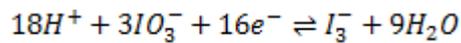
#### Diagrama de Pourbaix $IO_3^- / I_3^- / I^-$

1. Se establece la relación de todas las sustancias derivadas del elemento de origen que vayan a considerarse en el sistema (Equilibrio generalizado), y se formulan las reacciones o equilibrios representativos entre dos especies (en forma de reducción). Es conveniente ordenar los equilibrios de mayor a menor capacidad oxidante. Como se muestra a continuación:

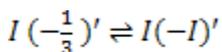
1° Equilibrio generalizado (EG)



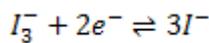
1° Equilibrio representativo



2° Equilibrio generalizado (EG)

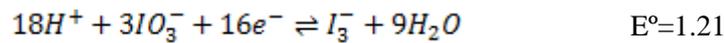


2° Equilibrio representativo



En este caso el ion yodato es mayor oxidante de las tres especies.

2. Se toma el primer equilibrio representativo así como el valor de potencial estándar del mismo.



3. Se aplica la ecuación de Nerst al sistema

$$E' = E_{IO_3^-/I_3^-}^\circ + \frac{0.06}{16} \log \left( \frac{[IO_3^-]^3 [H^+]^{18}}{[I_3^-]} \right)$$

4. Se simplifica la expresión para dejarla en forma de una ecuación de la una línea recta, siendo la variable independiente el pH y la dependiente el potencial (E'). Se traza la línea de equilibrio tendiendo como dominio de  $0 \leq \text{pH} \leq 14$ , y se colocan en la parte superior de ésta el analito más oxidante.

Si  $[IO_3^-] = [I_3^-]$  al equilibrio

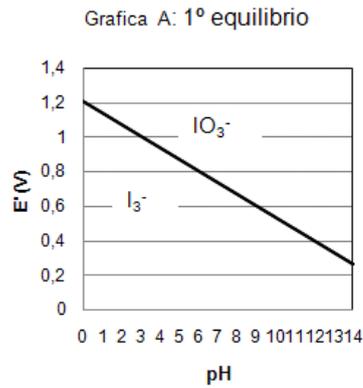
$$E' = 1.21 + \frac{0.06}{16} \log \left( \frac{[IO_3^-]^3 [H^+]^{18}}{[I_3^-]} \right)$$

$$E' = 1.21 + \frac{0.06}{16} \log([H^+]^{18})$$

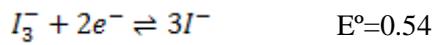
Aplicando ley de logaritmos

$$E' = 1.21 + \frac{0.06(18)}{16} \log[H^+]$$

$$E' = 1.21 - 0.0675pH \quad \text{Ec. A}$$



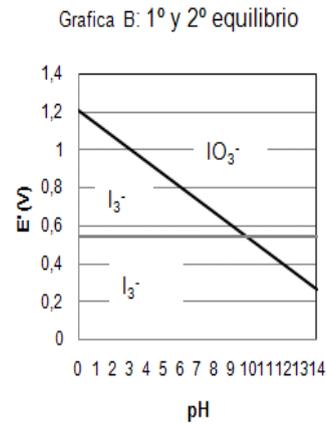
5. Se realizan los puntos 2-4 para el siguiente equilibrio



$$E' = 0.54 + \frac{0.06}{2} \log\left(\frac{[I_3^-]}{[I^-]^3}\right)$$

$$[I_3^-] = [I^-]$$

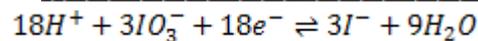
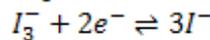
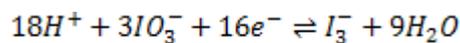
$$E' = 0.54 \quad \text{Ec. B}$$



Al ser el potencial independiente del pH, la línea de equilibrio es una recta de pendiente cero.

6. En este caso se puede observar que las líneas de los dos equilibrios se interceptan, a este fenómeno se le llama **dismutación**. Lo que significa que una especie está siendo oxidada y reducida al mismo tiempo. Dando como origen a un nuevo y único equilibrio

Ésto sólo les ocurre a los anfóteros y siendo  $I_3^-$  el único existente, es éste el que dismutará. Para conocer el nuevo equilibrio, se suman los dos que dieron origen a las rectas. Y se aplica el mismo procedimiento.



$$E' = E_{IO_3^-/I^-}^0 + \frac{0.06}{18} \log\left(\frac{[IO_3^-]^3 [H^+]^{18}}{[I^-]^3}\right)$$

$$E' = E_{IO_3^-/I^-}^0 - 0.06pH \quad \text{Ec. C}$$

Para conocer el nuevo potencial, se pueden igualar las ecuaciones A y B, se despeja el pH y se obtiene su valor.

$$1.21 - 0.0675pH = 0.54$$

$$pH=9.92$$

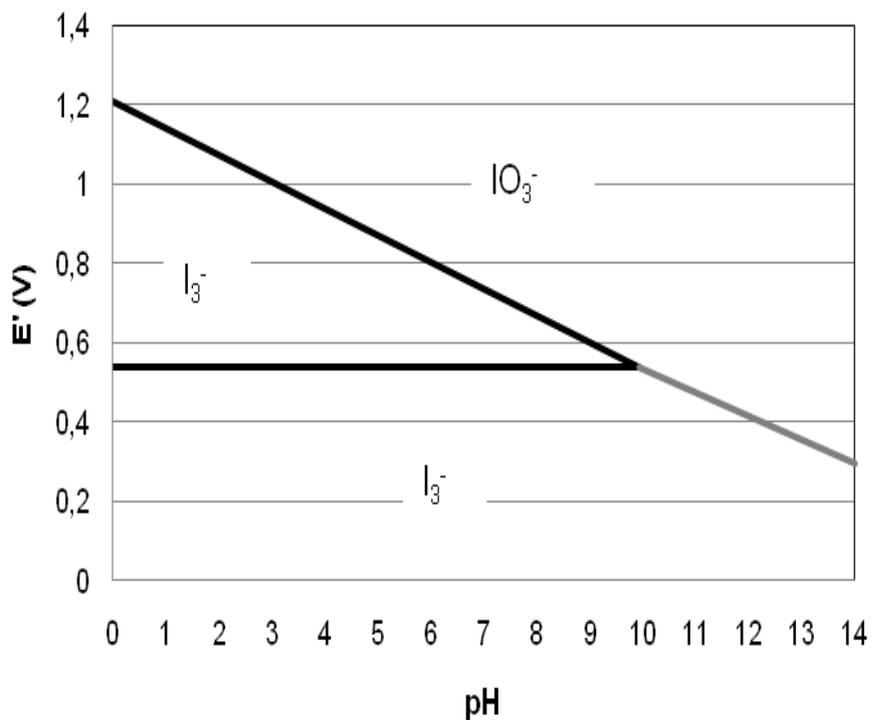
Si se sabe que el origen del tercer equilibrio comienza en éste valor de pH, y el valor del E' es 0.54, ya que es igual a la constante del 2º equilibrio. Sustituyendo estos datos en Ec 3, se puede conocer el potencial del nuevo par y formar la línea correspondiente desde pH=9.92 hasta pH=14

$$0.54 = E_{IO_3^-/I^-}^0 - 0.06(9.92)$$

$$E_{IO_3^-/I^-}^0 = 1.135 V$$

$$E' = 1.13 - 0.06pH \quad \text{Ec D}$$

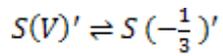
Diagrama de Pourbaix  $IO_3^- / I_3^- / I^-$



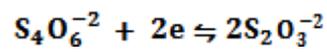
### Diagrama de Pourbaix $S_4O_6^{-2}/S_2O_3^{-2}$

1.

Equilibrio generalizado (EG)



1º Equilibrio representativo



1. .



2.

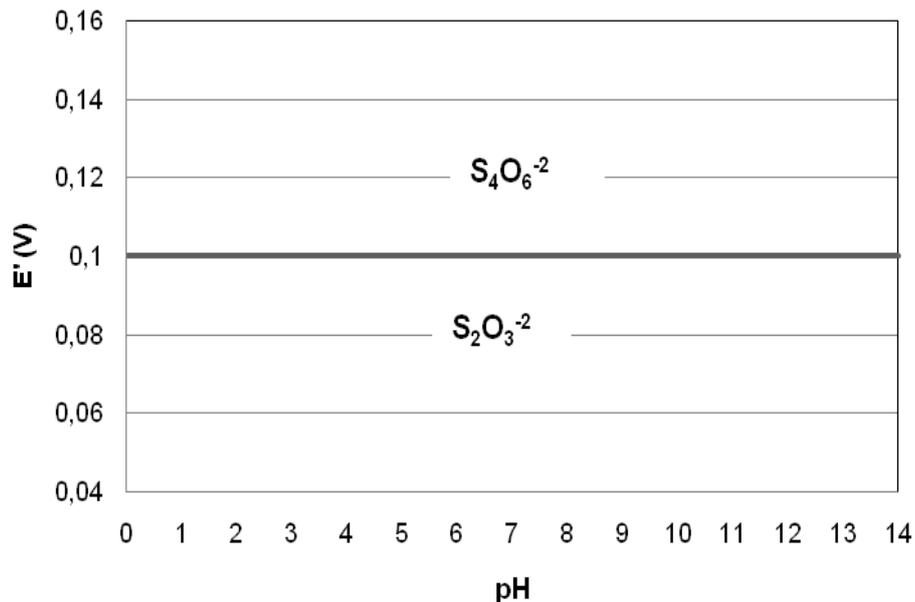
$$E' = E_{S_4O_6^{-2}/S_2O_3^{-2}}^0 + \frac{0.06}{2} \log \left( \frac{[S_4O_6^{-2}]}{[S_2O_3^{-2}]^2} \right)$$

Si  $[S_4O_6^{-2}] = [S_2O_3^{-2}]$  al equilibrio

$$E' = 0.1$$

3.

Diagrama de Pourbaix  $S_4O_6^{-2}/S_2O_3^{-2}$



## ANEXO 2

### ESTANDARIZACIÓN DE SOLUCIONES

Donde: Volumen (V) [=] mL Potencial (E) [=] milivolts

#### Nitrato de plata

Las soluciones de nitrato de plata se estandarizaron con una solución de ácido clorhídrico 0,0112 M exactamente. (previamente estandarizada)

#### Solución 1

Se tomaron 5 mL de la solución estandarizada de ácido clorhídrico y se tituló con la **solución 1** de nitrato de plata, dando los siguientes resultados:

Donde: Volumen (V) [=] mL Potencial (E) [=] milivolts

TABLA 7. Resultados de la estandarización de la <b>Solución 1</b> de nitrato de plata con HCl 0.0112M.							
Valoraciones				Primera derivada			
Vol. HCl	E1	E2	E3	dV	dE1	dE2	dE3
0	56	52	51	0,5	13	11	12
1	69	63	63	1,5	11	17	13
2	80	80	76	2,5	11	11	12
3	91	91	88	3,5	10	21	19
4	101	112	107	4,25	24	11	20
4,5	125	123	127	4,75	23	25	20
5	148	148	147	5,125	24	26	16
5,25	172	174	163	<b>5,375</b>	<b>106</b>	<b>101</b>	<b>89</b>
5,5	278	275	252	5,625	30	30	50
5,75	308	305	302	5,875	14	13	14
6	322	318	316	6,25	8	15	12
6,5	330	333	328	6,75	8	8	12
7	338	341	340	7,5	12	13	9
8	350	354	349				

Vpe promedio (Ml)	<b>5,3750</b>
Conc.promedio (M)	<b>0,0104</b>

**Solución 2**

Se tomó 1 mL de la solución estandarizada de ácido clorhídrico y se tituló con la **solución 2** de nitrato de plata, dando los siguientes resultados:

Vpe promedio (mL)	11,2500
Conc.promedio (M)	9,98E-04

TABLA 8. Resultados de la estandarización de la <b>Solución 2</b> de nitrato de plata con HCl 0.0112M.							
Valoración				Primera Derivada			
Vol HCl	E1	E2	E3	dV	dE1	dE2	dE3
0	115	104	106	0,5	8	17	20
1	123	121	126	1,5	16	12	13
2	139	133	139	2,5	9	11	9
3	148	144	148	3,5	10	9	10
4	158	153	158	4,5	9	14	8
5	167	167	166	5,5	8	7	9
6	175	174	175	6,5	10	16	9
7	185	190	184	7,5	11	2	10
8	196	192	194	8,5	12	11	13
9	208	203	207	9,25	9	10	8
9,5	217	213	215	9,75	11	8	10
10	228	221	225	10,25	14	13	14
10,5	242	234	239	10,75	24	19	21
11	266	253	260	11,25	29	47	25
11,5	295	300	285	11,75	11	17	17
12	306	317	302	12,5	15	13	19
13	321	330	321	13,5	11	7	10
14	332	337	331	14,5	6	44	6
15	338	381	337				

## Yoduro de Potasio

Las soluciones de yoduro de potasio se estandarizaron con las soluciones de nitrato de plata, siendo sus concentraciones y volúmenes de punto de equivalencia, los registrados en la tabla 1 y 2. El montaje se muestra en Metodología experimental 5.1 valoración de yoduros.

## Tiosulfato de sodio

Se siguió la metodología registrada en el “Análisis Químico Cuantitativo de Fernando Orozco, página 343, a) Con soluciones valoradas con Permanganato.

**Modo de operar.-** En un matraz erlenmeyer se disolvieron 1.2 gr de yoduro de potasio en 10 de agua destilada acidulada con 0.5 mL de ácido clorhídrico. En esta solución se ponen 5 mL de permanganato de Potasio 1 N y se deja la solución reaccionar por 10 min, al abrigo de la luz. El yodo puesto en libertad se titula con la solución de tiosulfato de sodio, usando como indicador 0.5 mL de engrudo de almidón; éste se añadirá cuando se haya titulado la mayor parte del yodo y la solución sólo presente un color amarillo.

### Solución 1

Los resultados se muestran a continuación:

Vol 1 (mL)	9,45
Vol 2 (mL)	9,60
Vol 3 (mL)	9,50
vol promedio	9,52
Normalidad del Permanganato	1,0000
Normalidad del tiosulfato	0,5254
Molaridad	0,5254

## Yodato de potasio

Se siguió la metodología registrada en el libro “Análisis Químico Cuantitativo de Fernando Orozco, página 344, c) Con yodato de potasio.

**Modo de operar.-** En un matraz erlenmeyer se colocaron 50 mL de la solución de yodatos a cuantificar, se adicionó 5 mL de ácido sulfúrico diluido (1:5), se agregaron 2 gr de KI y se titula con tiosulfato de sodio, cuando la solución adquiera un color amarillo pálido, se agregan 2 mL de solución de almidón, y se continúa la titulación, hasta que el color desaparezca.

**Solución 1**

Vol de tiosulfato 1 (mL)	3,7500
Vol de tiosulfato 2 (mL)	3,7500
Vol de tiosulfato 3 (mL)	3,7500
vol promedio (mL)	3,7500
Normalidad del tiosulfato	0,5254
Normalidad del yodato	0,0394
Molaridad de yodato	<b>0,0066</b>

**Solución 2**

Vol de tiosulfato 1 (mL)	0,04
Vol de tiosulfato 2 (mL)	0,05
Vol de tiosulfato 3 (mL)	0,04
vol promedio	0,04333333
Normalidad del tiosulfato	0,52539405
Normalidad del yodato	0,00045534
Molaridad de yodato	<b>7,59E-05</b>

## ANEXO 3

### VALORACIONES DE YODURO

Donde: Volumen (V) [=] mL Potencial (E) [=] milivolts

Tabla A. Valoración de yoduro de potasio con Nitrato de plata 0,0140 M															
V	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E15
0	-276	-274	-274	-275	-275	-278	-273	-275	-280	-275	-278	-276	-274	-275	-276
1	-265	-264	-264	-263	-263	-267	-264	-266	-262	-263	-264	-268	-263	-262	-264
2	-252	-251	-252	-251	-251	-254	-253	-254	-246	-252	-252	-256	-252	-250	-251
3	-236	-235	-241	-235	-235	-239	-238	-239	-235	-239	-237	-235	-236	-234	-235
3,5	-226	-224	-227	-225	-226	-230	-230	-230	-222	-230	-230	-231	-225	-224	-225
4	-213	-211	-215	-212	-211	-217	-217	-216	-204	-217	-217	-218	-211	-210	-212
4,5	-193	-188	-194	-194	-194	-199	-198	-196	-185	-197	-197	-197	-183	-190	-192
4,75	-176	-168	-174	-172	-170	-182	-180	-177	-176	-176	-174	-174	-148	-169	-171
5	-124	-36	-83	-54	32	-140	-138	-136	-115	44	209	-168	289	-50	-115
5,25	322	324	320	313	323	207	312	314	315	315	324	321	330	314	318
5,5	339	341	339	340	340	317	334	336	336	338	340	338	345	337	340
6	358	357	354	357	357	349	358	355	355	355	357	355	360	356	358
6,5	368	366	366	366	366	360	366	363	362	363	365	364	367	367	367
7	374	372	373	374	372	365	370	369	367	369	370	370	374	371	373
8	382	380	381	381	380	376	378	376	375	377	377	377	382	380	381

Tabla B Valoración de 5 mL yoduro de potasio con Nitrato de plata 9.98E-04 M															
V	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E15
0	-63	-69	-66	-65	-59	-63	-63	-60	-62	-66	-64	-61	-65	-62	-65
0,1	-54	-62	-55	-61	-53	-63	-61	-55	-61	-63	-58	-56	-56	-55	-60
0,2	-44	-52	-52	-52	-48	-57	-53	-46	-63	-56	-48	-47	-48	-47	-50
0,3	-35	-39	-37	-42	-38	-41	-43	-43	-55	-40	-36	-33	-33	-36	-36
0,4	-13	-13	-18	-18	-18	-16	-23	-19	-33	-18	-17	-12	-6	-15	-11
0,45	22	21	13	13	3	14	12	11	8	3	7	24	82	7	29
0,50	187	187	193	224	196	235	206	227	224	182	90	278	276	225	273
0,55	313	311	315	311	306	303	301	302	300	308	289	334	325	316	327
0,6	338	333	334	332	331	331	327	323	323	330	321	340	334	339	349
0,7	355	350	353	346	349	353	347	346	340	343	344	357	357	347	357
0,8	362	362	362	356	358	360	357	360	362	355	355	369	367	366	368
0,9	369	366	367	363	366	365	360	366	368	360	360	372	372	369	372
1	376	372	373	370	373	368	368	372	376	368	367	377	376	374	376

## ANEXO 4

### VALORACIONES DE YODATO

Donde: Volumen (V) [=] mL Potencial (E) [=] milivolts

REDUCCIÓN				CUANTIFICACIÓN															
V	E	V	E	V	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E15
0	1029	8,5	431	0	-362	-365	-368	-367	-369	-369	-371	-369	-370	-370	-369	-370	-370	-370	-370
0,5	963	9	421	1	-349	-352	-356	-355	-356	-355	-356	-356	-355	-356	-356	-355	-355	-355	-355
1	940	9,5	409	2	-335	-340	-340	-340	-342	-341	-342	-341	-340	-341	-341	-340	-341	-340	-340
2	844	10	381	3	-316	-322	-323	-322	-323	-325	-323	-324	-322	-323	-323	-321	-323	-323	-322
2,5	831	10,5	257	3,5	-304	-310	-310	-311	-311	-312	-310	-312	-310	-310	-310	-309	-312	-312	-314
3	831	11	241	4	-283	-288	-291	-293	-293	-303	-294	-292	-294	-293	-293	-292	-296	-294	-308
3,5	726	11,5	233	4,25	-260	-278	-278	-278	-278	-290	-281	-282	-278	-275	-282	-275	-279	-280	-275
4	653	12	230	4,5	-217	-255	-251	-247	-247	-266	-252	-255	-246	-243	-255	-252	-254	-255	-250
4,5	545	13	225	4,75	-135	-149	-144	-145	-145	-134	-134	-136	-126	-125	-136	-112	-127	-127	-121
5	511			5	-103	-108	-102	-93	-93	-98	-88	-92	-90	-88	-91	-87	-88	-87	-88
5,5	495			5,25	-91	-91	-87	-84	-84	-87	-84	-85	-84	-85	-85	-84	-84	-84	-84
6	481			5,5	-92	-90	-84	-82	-82	-84	-83	-84	-84	-83	-83	-83	-82	-84	-83
6,5	469			6	-91	-88	-84	-82	-82	-82	-82	-82	-82	-83	-82	-82	-80	-81	-81
7	458			6,5	-88	-85	-85	-81	-81	-82	-81	-80	-80	-82	-80	-80	-79	-79	-79
7,5	449			7	-88	-84	-84	-80	-80	-80	-80	-78	-78	-79	-78	-78	-78	-78	-77
8	440			8	-84	-83	-82	-76	-76	-77	-76	-75	-74	-77	-74	-75	-75	-75	-74

REDUCCIÓN				CUANTIFICACIÓN															
V	E	V	E	V	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E15
0	669	0,7	415	0	-221	-221	-224	-227	-229	-226	-231	-229	-229	-228	-227	-226	-225	-226	-224
0,05	705	0,75	394	0,1	-214	-217	-219	-220	-223	-221	-224	-224	-224	-222	-223	-220	-221	-219	-219
0,1	716	0,8	378	0,2	-208	-209	-212	-212	-216	-213	-217	-215	-214	-213	-213	-212	-214	-210	-211
0,15	727	0,85	367	0,3	-198	-197	-200	-200	-207	-202	-206	-204	-203	-202	-201	-205	-205	-197	-201
0,2	726	0,9	360	0,4	-182	-179	-182	-181	-191	-184	-188	-188	-184	-183	-182	-184	-188	-176	-181
0,25	727	0,95	355	0,45	-168	-164	-168	-168	-178	-166	-175	-174	-166	-164	-163	-174	-174	-157	-167
0,3	720	1	343	0,5	-145	-146	-148	-148	-163	-152	-158	-155	-146	-139	-134	-155	-156	-138	-145
0,35	693	1,1	339	0,55	-120	-124	-125	-123	-137	-126	-130	-129	-123	-119	-114	-133	-132	-118	-118
0,4	653	1,2	335	0,6	-112	-111	-114	-110	-122	-116	-117	-118	-118	-107	-106	-112	-118	-114	-109
0,45	563	1,3	331	0,65	-104	-102	-104	-102	-112	-106	-105	-107	-107	-100	-98	-108	-105	-105	-100
0,5	536	1,4	328	0,7	-98	-93	-97	-97	-99	-96	-98	-97	-99	-92	-92	-96	-98	-98	-93
0,55	519	1,5	326	0,8	-89	-84	-85	-86	-85	-87	-87	-84	-83	-82	-84	-88	-84	-91	-86
0,6	498			0,9	-84	-80	-79	-82	-81	-81	-82	-80	-78	-77	-80	-83	-80	-87	-80
0,65	431			1	-81	-77	-76	-79	-77	-78	-78	-77	-76	-75	-78	-79	-76	-85	-78

## ANEXO 5

### VALORACIONES DE SOLUCIONES DE YODURO RESULTANTES DE EMBEBER PAPAS CAMBRAY.

YODUROS											
24 HRS											
1,00E-02 M						1,00E-04 M					
papa 1		papa 2		papa 3		papa 1		papa 2		papa 3	
V	E	V	E	V	E	V	E	V	E	V	E
0	-238	0	-245	0	-265	0	-75	0	-71	0	-80
1	-236	1	-245	1	-262	0,1	-75	0,1	-65	0,1	-77
2	-234	2	-244	2	-259	0,2	-75	0,2	-63	0,2	-75
3	-233	3	-242	3	-256	0,65	-64	0,3	-57	0,3	-72
4	-231	4	-241	4	-253	0,75	-62	0,4	-49	0,4	-69
5	-228	5	-239	5	-249	0,85	-59	0,5	-46	0,5	-66
6	-226	6	-236	6	-247	1	-51	0,6	-42	0,6	-63
7	-224	7	-235	7	-244	1,1	-48	0,7	-39	0,7	-61
8	-222	8	-232	8	-240	1,2	-40	0,8	-36	0,8	-58
9	-219	9	-229	9	-236	1,3	-29	0,9	-33	0,9	-55
10	-216	10	-227	10	-232	1,4	-16	1	-29	1	-53
11	-212	11	-223	11	-228	1,5	-8	1,1	-27	1,1	-49
12	-209	12	-220	12	-224	1,6	8	1,2	-24	1,2	-47
13	-204	13	-218	13	-219	1,7	30	1,3	-20	1,3	-43
14	-200	14	-212	14	-214	1,75	51	1,4	-14	1,4	-39
15	-194	15	-206	15	-209	1,8	70	1,5	-7	1,5	-33
16	-188	16	-199	16	-202	1,85	94	1,6	-1	1,6	-27
17	-180	17	-191	17	-191	1,9	127	1,7	11	1,7	-19
17,5	-176	18	-177	18	-179	1,95	154	1,8	31	1,8	-7
18	-165	18,5	-154	19	-156	2	172	1,9	88	1,85	61
18,5	-144	19	-128	19,5	-127	2,05	183	1,95	117	1,9	85
19	-122	19,5	136	20	252	2,15	199	2,05	163	1,95	130
19,5	25	20	253	20,5	310	2,2	221	2,1	178	2	188
20	321	20,5	283	21	325	2,3	232	2,2	203	2,05	217
20,5	334	21	311	21,5	332	2,4	242	2,3	213	2,1	229
21	345	21,5	325	22	343	2,5	250	2,5	233	2,2	247
21,5	350	22	334	23	350	2,6	253	2,5	248	2,3	256
22	355	23	343	24	355	2,7	261	2,75	253	2,4	263
23	358	24	351	25	361	2,8	267	3	268	2,5	267
24	360	25	358			2,9	269			2,75	274
25	362					3	272			3	280



## ANEXO 6

### VALORACIONES DE SOLUCIONES DE YODATO RESULTANTES DE EMBEBER PAPAS CAMBRAY.

<b>YODATOS 24 HRS</b>											
<b>1,00E-02 M</b>											
PAPA 1				PAPA 2				PAPA 3			
Reducción		Valoración		Reducción		Valoración		Reducción		Valoración	
V	E	V	E	V	E	V	E	V	E	V	E
0	1035	0	-340	0	1032	0	-342	0	1012	0	-345
0,1	970	1	-337	0,1	951	1	-340	0,1	919	1	-343
0,2	920	2	-336	0,2	909	2	-337	0,2	883	2	-341
0,3	870	3	-335	0,3	875	3	-335	0,3	864	3	-338
0,4	848	4	-331	0,4	841	4	-332	0,4	832	4	-335
0,5	819	5	-328	0,5	815	5	-329	0,5	819	5	-331
0,6	700	6	-324	0,6	815	6	-324	0,6	808	6	-328
0,7	618	7	-320	0,7	723	7	-320	0,65	750	7	-324
0,75	542	8	-316	0,75	691	8	-316	0,7	725	8	-321
0,8	521	9	-312	0,8	664	9	-312	0,75	570	9	-317
0,9	513	10	-308	0,9	520	10	-307	0,8	535	10	-313
0,95	499	11	-304	0,95	507	11	-302	0,85	519	11	-307
1	493	12	-300	1	496	12	-296	0,9	496	12	-304
1,1	484	13	-296	1,1	484	13	-290	1	485	13	-299
1,2	465	14	-290	1,2	471	14	-282	1,1	472	14	-292
1,3	453	15	-276	1,3	460	15	-273	1,2	461	15	-280
1,4	448	16	-263	1,4	451	16	-253	1,3	451	16	-267
1,5	422	17	-235	1,5	441	17	-206	1,4	441	17	-245
1,6	334	17,5	-213	1,6	432	17,5	-148	1,5	429	17,5	-218
1,7	304	18	-168	1,7	420	18	-124	1,6	413	18	-154
1,8	300	18,5	-107	1,8	401	18,5	-107	1,65	398	18,5	-119
1,85	294	19	-100	1,85	365	19	-94	1,7	300	19	-100
1,9	290	20	-96	1,9	290	20	-85	1,75	279	20	-84
1,95	280	21	-92	1,95	277	21	-82	1,8	271	21	-79
2	269	22	-87	2	269	22	-81	1,9	264	22	-78
2,1	246	23	-82	2,1	255	23	-81	2	258	23	-79
2,3	235	24	-81	2,3	230	24	-81	2,1	253	24	-79
2,5	230	25	-80	2,5	220	25	-80	2,3	248	25	-79
								2,5	244		

<b>YODATOS 24 HRS</b>											
<b>1,00E-04 M</b>											
PAPA 1				PAPA 2				PAPA 3			
Reducción		Valoración		Reducción		Valoración		Reducción		Valoración	
V	E	V	E	V	E	V	E	V	E	V	E
0	653	0	-210	0	682	0	-207	0	661	0	-214
0,02	706	0,1	-209	0,02	694	0,1	-207	0,02	713	0,1	-213
0,04	704	0,2	-208	0,04	700	0,2	-206	0,04	705	0,2	-211
0,06	573	0,3	-208	0,06	690	0,3	-205	0,06	600	0,3	-209
0,08	528	0,4	-206	0,08	573	0,4	-203	0,08	524	0,4	-208
0,1	382	0,5	-204	0,1	523	0,5	-201	0,1	489	0,5	-205
0,12	362	0,6	-202	0,12	319	0,6	-200	0,12	380	0,6	-202
0,14	350	0,7	-199	0,14	212	0,7	-198	0,14	360	0,7	-200
0,16	344	0,8	-196	0,16	186	0,8	-196	0,16	350	0,8	-197
0,18	340	0,9	-194	0,18	162	0,9	-194	0,18	325	0,9	-194
0,2	333	1	-192	0,2	145	1	-193	0,2	320	1	-191
0,22	325	1,1	-189	0,25	144	1,1	-190	0,22	325	1,1	-188
0,24	320	1,2	-186	0,3	159	1,2	-187	0,24	324	1,2	-183
0,26	318	1,3	-183			1,3	-183	0,26	322	1,3	-179
0,28	316	1,4	-178			1,4	-178	0,28	322	1,4	-174
0,3	315	1,5	-174			1,5	-173	0,3	320	1,5	-169
		1,6	-168			1,6	-163			1,6	-164
		1,7	-159			1,7	-156			1,7	-154
		1,8	-143			1,8	-150			1,8	-144
		1,9	-134			1,9	-134			1,9	-132
		2	-123			2	-123			2	-122
		2,1	-118			2,1	-119			2,1	-112
		2,2	-111			2,2	-112			2,2	-104
		2,3	-105			2,3	-105			2,3	-99
		2,4	-98			2,4	-100			2,4	-94
		2,5	-96			2,5	-96			2,5	-91
		2,75	-90			2,75	-85			2,75	-84
		3	-87			3	-82			3	-79

<b>YODATOS 48 HRS</b>											
<b>1,00E-02 M</b>											
PAPA 1				PAPA 2				PAPA 3			
Reducción		Valoración		Reducción		Valoración		Reducción		Valoración	
V	E	V	E	V	E	V	E	V	E	V	E
0	703	0	-344	0	703	0	-344	0	758	0	-339
0,1	750	1	-340	0,1	750	1	-340	0,1	790	1	-339
0,2	785	2	-337	0,2	785	2	-337	0,2	797	2	-336
0,3	792	3	-334	0,3	792	3	-334	0,3	799	3	-333
0,4	797	4	-331	0,4	797	4	-331	0,4	805	4	-330
0,5	806	5	-328	0,5	806	5	-328	0,5	806	5	-326
0,6	809	6	-326	0,6	809	6	-326	0,6	804	6	-323
0,65	759	7	-322	0,65	759	7	-322	0,7	741	7	-320
0,7	734	8	-318	0,7	734	8	-318	0,75	716	8	-317
0,75	705	9	-315	0,75	705	9	-315	0,8	657	9	-313
0,8	583	10	-310	0,8	583	10	-310	0,85	552	10	-309
0,85	543	11	-307	0,85	543	11	-307	0,9	533	11	-305
0,9	527	12	-304	0,9	527	12	-304	1	508	12	-299
1	505	13	-298	1	505	13	-298	1,1	494	13	-293
1,1	489	14	-293	1,1	489	14	-293	1,2	481	14	-289
1,2	478	15	-285	1,2	478	15	-285	1,3	472	15	-281
1,3	468	16	-275	1,3	468	16	-275	1,4	462	16	-272
1,4	457	17	-262	1,4	457	17	-262	1,5	452	17	-257
1,5	447	17,5	-250	1,5	447	17,5	-250	1,6	445	17,5	-247
1,6	439	18	-237	1,6	439	18	-237	1,7	434	18	-229
1,7	429	18,5	-183	1,7	429	18,5	-183	1,8	422	18,5	-170
1,8	418	19	-135	1,8	418	19	-135	1,9	404	19	-137
1,9	395	19,5	-109	1,9	395	19,5	-109	1,95	378	19,5	-110
1,95	306	20	-92	1,95	306	20	-92	2	273	20	-93
2	287	20,5	-84	2	287	20,5	-84	2,1	251	20,5	-82
2,1	270	21	-81	2,1	270	21	-81	2,1	242	21	-75
2,1	257	22	-78	2,1	257	22	-78	2,3	234	22	-72
2,3	250	23	-77	2,3	250	23	-77	2,5	230	23	-71
2,5	249	24	-77	2,5	249	24	-77			24	-71
		25	-76			25	-76			25	-72

