



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**EVALUACIÓN DE UNA TÉCNICA COLORIMÉTRICA ALTERNATIVA PARA LA
CUANTIFICACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN AGREGADOS FINOS PARA CONCRETO,
BASADA EN LA NORMA COGUANOR NTG-41010 H4 (ASTM C40-04)**

Emilia Virginia Pontacq Alfonso

Asesorado por el Ing. César Alfonso García Guerra y
coasesorado por la Licda. Ingrid Lorena Benítez Pacheco

Guatemala, septiembre de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE UNA TÉCNICA COLORIMÉTRICA ALTERNATIVA PARA LA
CUANTIFICACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN AGREGADOS FINOS PARA CONCRETO,
BASADA EN LA NORMA COGUANOR NTG-41010 H4 (ASTM C40-04)**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

EMILIA VIRGINIA PONTACQ ALFONSO

ASESORADO POR EL ING. CÉSAR ALFONSO GARCÍA GUERRA Y
COASESORADO POR LA LICDA. INGRID LORENA BENÍTEZ PACHECO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
EXAMINADORA	Inga. Dina Lissette Estrada Moreira
EXAMINADOR	Ing. Jorge Mario Estrada Asturias
SECRETARIO	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez (a. i.)

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**EVALUACIÓN DE UNA TÉCNICA COLORIMÉTRICA ALTERNATIVA PARA LA
CUANTIFICACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN AGREGADOS FINOS PARA CONCRETO,
BASADA EN LA NORMA COGUANOR NTG-41010 H4 (ASTM C40-04)**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 26 de abril de 2014.

Emilia Virginia Pontacq Alfonso

Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

Guatemala, 31 de Agosto de 2016

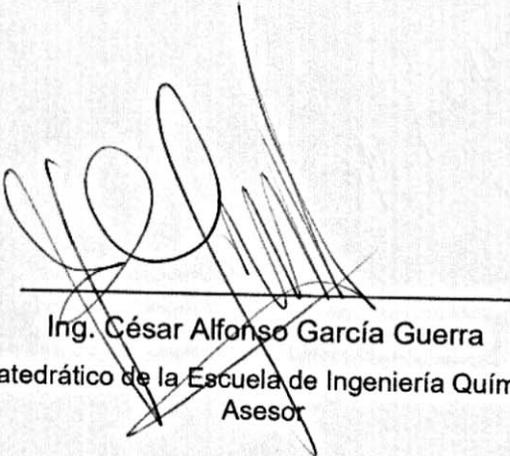
Ingeniero
Carlos Salvador Wong Davi
Director de Escuela de Ingeniería Química

Estimado Ing. Carlos Wong

Le deseo muchos éxitos en sus actividades diarias y en cada uno de los aspectos laborales en los cuales desempeña.

Por medio de la presente hago de su conocimiento que el informe final de Trabajo de Graduación titulado: **EVALUACIÓN DE UNA TÉCNICA COLORIMÉTRICA ALTERNATIVA PARA LA CUANTIFICACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN AGREGADOS FINOS PARA CONCRETO, BASADA EN LA NORMA COGUANOR NTG-41010 H4 (ASTM C40-04)**, de la estudiante de Ingeniería Química **Emilia Virginia Pontacq Alfonso**, identificada con el número de carné **201114623**, ha sido revisado y aprobado por mi persona bajo los criterios que considero adecuados para el informe final de Trabajo de Graduación según los requerimientos de la Escuela de Ingeniería Química.

Atentamente


Ing. César Alfonso García Guerra
Catedrático de la Escuela de Ingeniería Química
Asesor

César Alfonso García Guerra
INGENIERO QUÍMICO
COLEGIADO No. 145



Guatemala, 19 de septiembre 2016.
Ref. EIQ.TG-IF.050.2016.

Ingeniero
Carlos Salvador Wong Davi
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Wong:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **098-2014** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Solicitado por la estudiante universitaria: **Emilia Virginia Pontacq Alfonso**.
Identificada con número de carné: **2011-14623**
Previo a optar al título de **INGENIERA QUÍMICA**.

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

EVALUACIÓN DE UNA TÉCNICA COLORIMÉTRICA ALTERNATIVA PARA LA CUANTIFICACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN AGREGADOS FINOS PARA CONCRETO, BASADA EN LA NORMA COGUANOR NTG-41010 H4 (ASTM C40-04)

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Químico: **César Alfonso García Guerra**.

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


Inga. Adela María Marroquín González
COORDINADORA DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo



Ref.EIQ.TG.050.2016

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación de la estudiante, **EMILIA VIRGINIA PONTACQ ALFONSO** titulado: **"EVALUACIÓN DE UNA TÉCNICA COLORIMÉTRICA ALTERNATIVA PARA LA CUANTIFICACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN AGREGADOS FINOS PARA CONCRETO, BASADA EN LA NORMA COGUANOR NTG-41010 H4 (ASTM C40-04)"**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Carlos Salvador Wong Dav
Director
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, septiembre 2016

Cc: Archivo
CSWD/ale

Universidad de San Carlos
de Guatemala

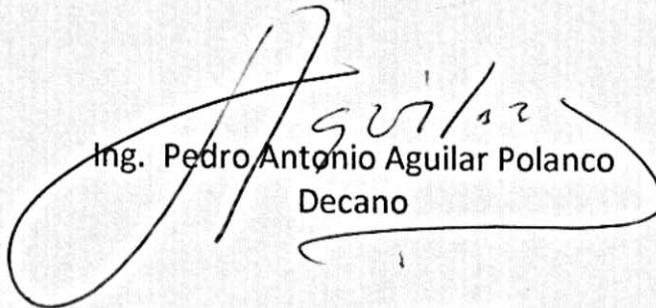


Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 434.2016

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **EVALUACIÓN DE UNA TÉCNICA COLORIMÉTRICA ALTERNATIVA PARA LA CUANTIFICACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN AGREGADOS FINOS PARA CONCRETO, BASADA EN LA NORMA COGUANOR NTG-41010 H4 (ASTM C40-04)**, presentado por la estudiante universitaria: **Emilia Virginia Pontacq Alfonso**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, septiembre de 2016

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser la fuente de iluminación, sabiduría y protección en mi vida y mi carrera.
Mi madre	María Emilia Alfonso, por ser mi ejemplo como madre y mujer profesional, por su infinito apoyo y amor.
Mi padre	Eugenio José Pontacq, por ser mi guía y fiel amigo, por su amor paternal incondicional.
Mi abuela	Gloria Bolaños (q. e. p. d.), por ser mi ángel protector desde que no se encuentra entre nosotros.
Mi abuela	Carlota Mayén, por ser mi segunda madre, amorosa y protectora, un ejemplo de mujer y por estar conmigo en todos los momentos de mi vida.
Mis hermanos	Sara María, José Eugenio y Karla Jimena Pontacq Alfonso, porque sin su apoyo, sus ánimos y su existencia, mi vida no sería la misma.
Jorge Pablo Obregón	Por nunca dejarme sola y haber recorrido este camino juntos.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por permitirme la oportunidad de formarme como una profesional en esta prestigiosa casa de estudios y por ser una esperanza académica para todo el pueblo guatemalteco.

Facultad de Ingeniería

Por brindarme todas las herramientas académicas necesarias para mi formación como ingeniera.

**Centro de
Investigaciones
de Ingeniería**

Por abrirme sus puertas y permitirme dar mis primeros pasos laborales.

**Laboratorio de
Fisicoquímica, ESIQ**

Por aumentar mis conocimientos y enseñarme a ser un apoyo para los estudiantes sancarlistas.

Mis asesores

Ing. César García y Licda. Ingrid Benítez, por guiarme a través de los últimos años de mi carrera y darme la oportunidad de realizar este proyecto.

Mi familia

Por jamás dejar de creer en mí y por demostrarme su apoyo en cada etapa de mi vida académica.

Mis amigas

Ana Lucía Durini, Zonia González, Maribel Ovalle y Lilian Hernández, por demostrarme que a pesar de la distancia, una verdadera amistad puede ser eterna.

Mis amigos

Juan Francisco Chajón, Mario Sosa, Pablo Aldana, Daniel Vallejo, Ronald Mendizabal, Obed Orozco, Jorge Mejía y Carlos Mendoza, Nicolás de León, porque sin su presencia, su amistad y tantos momentos de alegría, la vida universitaria no habría sido la misma y esta meta hubiera sido más difícil de alcanzar.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XXIII
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Especificaciones estándar para agregado fino para concreto.....	3
2.1.1. Especificación de impurezas orgánicas en agregado fino.....	3
2.2. Elementos contaminantes del agregado.....	3
2.2.1. Impurezas orgánicas	4
2.3. Composición química de la materia orgánica	5
2.3.1. Influencia de la lignina y los carbohidratos en las sustancias húmicas	7
2.3.2. Clasificación por composición química del humus....	8
2.3.2.1. Ácidos húmicos y fúlvicos.....	9
2.4. Extracción sólido-líquido.....	12
2.5. Espectrofotometría	13
2.5.1. Ley de Beer-Lambert-Bouguer	13
2.5.2. Aplicación de la Ley de Beer-Lambert-Bouguer	16

3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	17
3.1.	Variables	17
3.2.	Delimitación de campo de estudio	18
3.3.	Recursos humanos disponibles	18
3.4.	Recursos materiales disponibles.....	18
3.4.1.	Equipos auxiliares	18
3.4.2.	Instrumentos de medición	19
3.4.3.	Cristalería	19
3.4.4.	Software de medición y cálculos	19
3.4.5.	Reactivos.....	20
3.5.	Técnica cualitativa o cuantitativa.....	20
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información	20
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	29
3.8.	Análisis estadístico.....	34
3.8.1.	Media aritmética	34
3.8.2.	Desviación estándar	35
3.8.3.	Análisis de varianza	35
4.	RESULTADOS.....	37
4.1.	Evaluación de la solución estándar de $K_2Cr_2O_7/H_2SO_4$ según el inciso 5.2 de la Norma NTG-41010 h4, utilizando el espectrofotómetro Genesys 10S UV-VIS	37
4.2.	Evaluación del desarrollo del color estable de los ácidos fúlvicos mediante soluciones extractoras alcalinas en muestras de agregado fino con base en el tiempo de extracción de la materia orgánica	41

4.3.	Comparación de las técnicas de evaluación cualitativa de la Norma ASTM C 40-04 y la técnica colorimétrica propuesta	47
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	51
	CONCLUSIONES	59
	RECOMENDACIONES	61
	BIBLIOGRAFÍA.....	63
	APÉNDICES	65
	ANEXOS	115

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Componentes orgánicos del suelo	5
2.	Estructura del ácido húmico	8
3.	Clasificación de las sustancias húmicas según solubilidad en diferentes soluciones.....	10
4.	Barrido de longitudes de onda	22
5.	Curva de calibración.....	24
6.	Determinación del tiempo óptimo de extracción de materia orgánica como ácidos húmicos.....	26
7.	Determinación de la concentración de materia orgánica como ácidos húmicos	28
8.	Diagrama de flujo del cálculo de la curva de calibración.....	33
9.	Absorbancia de la solución estándar con base en el barrido de longitud de onda para un intervalo de tiempo de desarrollo de color estable	37
10.	Determinación de la absorbancia máxima para la longitud de onda óptima de 420 nm en función del intervalo de tiempo de desarrollo del color estable para la solución estándar	38
11.	Absorbancia para diferentes concentraciones menores de la solución estándar, para el desarrollo de color estable en función de un tiempo de lectura de 90 minutos y a una longitud de onda de 420 nm	39
12.	Absorbancia para diferentes concentraciones menores de la solución estándar, para el desarrollo de color estable en función de	

	un tiempo de lectura de 90 minutos y a una longitud de onda de 420 nm	40
13.	Comportamiento de la absorbancia a la longitud de onda seleccionada de 420 nm de soluciones alcalinas de extracción de tres muestras de agregado fino, en función del tiempo de extracción estática	42
14.	Comportamiento de la absorbancia a la longitud de onda seleccionada de 420 nm de soluciones alcalinas de extracción de tres muestras de agregado fino, en función del tiempo de extracción por percolación	43
15.	Comportamiento de la absorbancia a la longitud de onda seleccionada de 420 nm de soluciones alcalinas de extracción de cinco muestras de agregado fino, en función del tiempo de extracción dinámica (1).....	44
16.	Comportamiento de la absorbancia a la longitud de onda seleccionada de 420 nm de soluciones alcalinas de extracción de cinco muestras de agregado fino en función del tiempo de extracción dinámica (2).....	45
17.	Comparación de la absorbancia según el tiempo de desarrollo de color estable ($\lambda = 420$ nm), para extractos alcalinos de cinco muestras de agregado fino en función de cuatro operaciones de extracción sólido-líquido	46
18.	Concentración de materia orgánica equivalente, con base en las muestras analizadas de diferentes bancos de arena en Guatemala, utilizando el método colorimétrico alternativo	49

TABLAS

I.	Propiedades químicas relevantes de los distintos componentes del humus	11
II.	Descripción de variables dependientes e independientes.....	17
III.	Formato de recolección de datos para el tiempo de estabilidad de color de la solución de color estándar	30
IV.	Formato de recolección de datos de la curva de calibración de la solución de color estándar	30
V.	Formato de recolección de datos del tiempo óptimo de extracción estática sólido-líquido de los ácidos húmicos con hidróxido de sodio..	31
VI.	Formato de recolección de datos del tiempo óptimo de extracción sólido-líquido con agitación de los ácidos húmicos con hidróxido de sodio.....	31
VII.	Formato de recolección de datos de la absorbancia de la materia orgánica y comparación de colores de vidrios Gardner, cumplidas las 24 horas establecidas en la norma ASTM C40	32
VIII.	Absorbancia máxima de la solución estándar para un intervalo de tiempo de desarrollo de color estable, para la determinación de la longitud de onda óptima	38
IX.	Evaluación de la incertidumbre en la determinación de la absorbancia para la calibración del método en función del rango de concentraciones seleccionadas	39
X.	Evaluación de la incertidumbre en la determinación de la absorbancia para la calibración del método, en función del rango de concentraciones seleccionadas	41
XI.	Descripción de la figura 13.....	42
XII.	Descripción de la figura 14.....	43
XIII.	Descripción de la figura 15.....	44

XIV.	Descripción de la figura 16	45
XV.	Lecturas de absorbancia para cinco muestras de agregado fino utilizando cuatro diferentes operaciones de extracción sólido-líquido ..	46
XVI.	Resultados de la evaluación cualitativa de materia orgánica en siete muestras de agregados finos para concreto en base al inciso 10.1, Norma Coguanor NTG-41010 h4	47
XVII.	Resultados de la evaluación cuantitativa de concentración equivalente de materia orgánica en siete muestras de agregados finos para concreto con base en el inciso 10.1, Norma Coguanor NTG-41010 h4	48

LISTA DE SÍMBOLOS

Simbolo	Significado
A	Absorbancia
cP	Centipoise
C	Concentración
C_{SE}	Concentración de solución de color estándar
C_{NaOH}	Concentración de solución de hidróxido de sodio
%p/p	Concentración en porcentaje peso/peso
g	Gramos
h	Horas
L	Litros
λ	Longitud de onda
λ_{op}	Longitud de onda óptima
m	Masa de muestra de agregado
mg	Miligramos
min	Minutos
mL	Mililitros
nm	Nanómetros
rpm	Revoluciones por minuto
t_{SE}	Tiempo de desarrollo de color estable de la solución estándar
t_x	Tiempo de extracción sólido-líquido
V_{NaOH}	Volumen de solución de hidróxido de sodio

GLOSARIO

Absorbancia	Medida de la atenuación de una radiación al atravesar una sustancia, se expresa como el logaritmo de la relación entre la intensidad saliente y la entrante.
Ácidos húmicos	Unos de los principales componentes de las sustancias húmicas, las cuales son los constituyentes principales del humus, materia orgánica del suelo.
Ácidos fúlvicos	Parte más activa del humus, es soluble en medio ácido, neutro y alcalino, a diferencia del ácido húmico que no es soluble en pH ácido.
Agregados finos	Arenas naturales o manufacturadas con tamaños de partícula que pueden llegar hasta 10 mm.
ASTM	American Society for Testing and Materials.
CII-USAC	Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala
Coguanor	Comisión Guatemalteca de Normas.

Colorimetría	Ciencia que estudia la medida de los colores y que desarrolla métodos para la cuantificación del color, es decir, la obtención de valores numéricos del color.
CTN Concreto	Comité Técnico de Normalización de Concreto.
Durabilidad	Capacidad para resistir la acción de la meteorización, los ataques químicos, la abrasión o cualquier otro proceso de deterioro.
Edafología	Rama de la ciencia que estudia la composición y naturaleza del suelo en su relación con las plantas y el entorno que le rodea.
Espectrofotometría	Medición de la cantidad de energía radiante que absorbe un sistema químico en función de la longitud de onda de la radiación.
Humificación	Proceso de transformación de la materia orgánica del suelo en humus.
LAFIQ-QI	Laboratorio de Análisis Fisicoquímicos, Sección de Química Industrial
Materia orgánica	Componentes orgánicos originados de la descomposición de elementos vegetales, en forma de margas orgánicas.

M.O.	Materia orgánica.
NTG	Norma Técnica Guatemalteca .
Percolación	Procedimiento extractivo sólido-líquido en el que la fase sólida permanece inmóvil.
Robustez	Medida de la capacidad de un método analítico para permanecer inafectado por pequeñas variaciones deliberadas en el método, la cual provee un indicio de su veracidad durante su uso normal.
UV-VIS	Ultravioleta - visible

RESUMEN

El presente trabajo de investigación propone los resultados de la evaluación de una técnica colorimétrica alternativa para la cuantificación de materia orgánica en agregados finos para concreto, empleando un análisis espectrofotométrico, la cual está basada en la comparación del método según Norma Coguanor NTG-41040 h4, que es homologado de la Norma ASTM C40-04.

La técnica desarrollada para este proyecto de investigación consistió en la evaluación de sensibilidad espectrofotométrica para muestras de agregado fino que reaccionan con una solución alcalina de hidróxido de sodio y desarrollan un color equivalente a una solución de dicromato de potasio. Dicha evaluación puede realizarse a través de la curva de calibración absorbancia-concentración originada por una serie de diluciones de una solución de dicromato de potasio en ácido sulfúrico de concentración crítica, para propósitos de contenido de materia orgánica deletérea para el concreto.

La curva absorbancia-concentración de la solución estándar presenta un coeficiente de correlación lineal de 0,99956, con un error residual de 0,0080, cuya tendencia cumple la Ley Beer-Lambert. Los valores de absorbancia de dicha ecuación lineal fueron medidos con un espectrofotómetro Genesys 10S UV-VIS y correlacionados por regresión lineal utilizando el software VISIONlite, el cual es parte del equipo instrumental del Laboratorio de Análisis Físicoquímicos del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, LAFIQ-CII-USAC.

Asimismo, se evaluaron tres métodos de extracción de la materia orgánica sólido-líquido, para determinar el tiempo óptimo de extracción a agotamiento y mejorar el procedimiento analítico. Se determinó el tiempo óptimo de extracción a agotamiento y, como consecuencia, la absorbancia máxima a una longitud de onda de 420 nm seleccionada, mejorado el tiempo extractivo estático que establece la norma a un tiempo extractivo dinámico menor.

Se evaluaron siete muestras de bancos de arena de distintos ríos de Guatemala. Al analizar la materia orgánica, el método alternativo propuesto permite una cuantificación para estimar el contenido crítico de calificación de materia orgánica presente, equivalente al color de la solución de dicromato de potasio.

OBJETIVOS

General

Evaluar una técnica colorimétrica para la cuantificación de materia orgánica en agregados finos para concreto, basada en la alternativa de la sección 9 de la Norma Coguanor NTG-41010 h4 (ASTM C40-04).

Específicos

1. Evaluar una serie de barridos de la absorbancia en función de las longitudes de onda en el rango visible comprendido entre 400 y 700 nm, para soluciones de color estándar según el inciso 5.2 de la Norma NTG-41010 h4, para un tiempo del desarrollo de color estable del estándar.
2. Desarrollar la técnica colorimétrica para la cuantificación de materia orgánica en agregados finos a través del estudio de una serie de estándares de concentración de $K_2Cr_2O_7/H_2SO_4$ según el inciso 5.2 de la Norma NTG-41010 h4, para la determinación de sus absorbancias respectivas.
3. Evaluar el desarrollo del color estable en soluciones alcalinas de la extracción de materia orgánica según el inciso 8,0 de la Norma NTG-41010 h4, en función del tiempo de extracción sólido-líquido mediante técnica estática, semidinámica y dinámica.

4. Realizar una comparación de los resultados de contenido de materia orgánica en solución alcalina de muestras de bancos de arena de río, con base en el método propuesto en el inciso 9.2 en la Norma NTG-41010 h4.
5. Evaluar la robustez del método analítico alternativo para materia orgánica en siete bancos de agregado fino potencialmente contaminados con desechos orgánicos.

Hipótesis

- Hipótesis de trabajo

Es posible realizar la medición cuantitativa de materia orgánica, en forma de ácidos húmicos y ácidos fúlvicos, con relación al color desarrollado por soluciones ácidas de dicromato de potasio, mediante una técnica colorimétrica y utilizando un espectrofotómetro Genesys 10S UV-VIS.

- Hipótesis de investigación, H_{i1}

Existe diferencia significativa de la absorbancia máxima a una longitud de onda óptima seleccionada respecto al tiempo de desarrollo de color estable.

$$\mu_i \neq \mu_j$$

Donde

μ_i = valor medio de absorbancia respecto a 15 minutos de tiempo de desarrollo de color estable.

μ_j = valor medio de absorbancia respecto a 180 minutos de tiempo de desarrollo de color estable.

- Hipótesis nula, H_{o1}

No existe diferencia significativa de la absorbancia máxima a una longitud de onda óptima seleccionada respecto al tiempo de desarrollo de color estable.

$$\mu_i = \mu_j$$

Donde

μ_i = valor medio de absorbancia respecto a 15 minutos de tiempo de desarrollo de color estable.

μ_j = valor medio de absorbancia respecto a 180 minutos de tiempo de desarrollo de color estable.

- Hipótesis de investigación, H_{i2}

Existe diferencia significativa de la absorbancia de la muestra de agregado fino con hidróxido de sodio respecto al tiempo de extracción estática sólido-líquido.

$$\mu_i \neq \mu_j$$

Donde

μ_i = valor medio de absorbancia respecto a 4 horas de extracción estática sólido-líquido.

μ_j = valor medio de absorbancia respecto a 24 horas de extracción estática sólido-líquido.

- Hipótesis nula, H_{o2}

No existe diferencia significativa de la absorbancia de la muestra de agregado fino con hidróxido de sodio respecto al tiempo de extracción estática sólido-líquido.

$$\mu_i = \mu_j$$

Donde

μ_i = valor medio de absorbancia respecto a 4 horas de extracción estática sólido-líquido.

μ_j = valor medio de absorbancia respecto a 24 horas de extracción estática sólido-líquido.

- Hipótesis de investigación, H_{i3}

Existe diferencia significativa de la absorbancia de la muestra de agregado fino con hidróxido de sodio respecto al tiempo de extracciones sólido-líquido estática, semidinámica y dinámica.

$$\mu_i \neq \mu_j$$

Donde

μ_i = valor medio de absorbancia respecto a 4 horas de extracción estática sólido-líquido.

μ_j = valor medio de absorbancia respecto a 4 horas de extracción dinámica sólido-líquido.

- Hipótesis nula, H_{03}

No existe diferencia significativa de la absorbancia de la muestra de agregado fino con hidróxido de sodio respecto al tiempo de extracciones sólido-líquido estática, semi-dinámica y dinámica.

$$\mu_i = \mu_j$$

Donde

μ_i = valor medio de absorbancia respecto a 4 horas de extracción estática sólido-líquido.

μ_j = valor medio de absorbancia respecto a 4 horas de extracción dinámica sólido-líquido.

INTRODUCCIÓN

La colorimetría es una técnica instrumental que tiene por objeto determinar la absorción de luz visible por una muestra, la cual puede ser una sustancia pura o bien una mezcla o disolución, suministrando información tanto cualitativa como cuantitativa sobre dichas sustancias. Los resultados cualitativos se rigen por la observación del ojo humano y pueden llegar a ser subjetivos, puesto que no toda persona percibe los colores de la misma manera. Los resultados cuantitativos son obtenidos mediante técnicas de análisis instrumental, sobre todo mediante la utilización de un espectrofotómetro.

La determinación de la presencia de materia orgánica en agregados finos empleados para concreto es posible mediante el seguimiento de la Norma ASTM C40, la cual provee un método que proporciona una aproximación cualitativa. Dicha norma emplea una técnica colorimétrica en la que se hace reaccionar la materia orgánica presente en una muestra de agregado en forma de ácidos húmicos con una solución de hidróxido de sodio, provocando un cambio en el color de la solución. La coloración de dicha sustancia es comparada con el color de una solución estándar de dicromato de potasio en ácido sulfúrico, basándose en que el agregado fino es inocuo si en la prueba presenta una coloración menos intensa en el tono amarillo al del estándar de dicromato de potasio o a la solución Gardner núm. 11.

Dicha técnica colorimétrica puede ser igualmente empleada para determinar cuantitativamente, en forma equivalente, la materia orgánica presente en una muestra de agregados, mediante la aplicación de análisis instrumental, específicamente espectrofotometría. Esto puede realizarse

adecuadamente a través de la generación de una curva de calibración absorbancia-concentración de una solución de color estándar de dicromato de potasio en ácido sulfúrico, comparando entonces la absorción de luz que conlleva una solución que contiene materia orgánica, teniendo como límite permisible la absorbancia de la solución estándar de concentración 0,250 g de dicromato de potasio en 100 ml de ácido sulfúrico.

Los resultados proporcionados por una técnica espectrofotométrica son más confiables, pues se obtiene un valor numérico de la presencia de materia orgánica en agregados finos para concreto y no solamente un criterio aproximado de la ausencia o presencia de la misma.

1. ANTECEDENTES

La Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales, ASTM International por sus siglas en inglés American Society for Testing Materials, proporciona la Norma ASTM C40, la cual cubre dos procedimientos para la determinación aproximada de la presencia de impurezas orgánicas perjudiciales en agregados finos que son usados en morteros de cemento hidráulico o en concreto; un procedimiento utiliza una solución de color estándar y el otro utiliza colores estándar en vidrio.

La Comisión Guatemalteca de Normas, Coguanor, hace esencialmente la equivalencia de la Norma ASTM C40 a la Norma Técnica Guatemalteca NTG-41010 h4 para la determinación de materia orgánica en agregados finos para concreto, la cual fue revisada con el conocimiento y experiencia de los integrantes del CTN de Concreto.

Este método de ensayo se utiliza para hacer una determinación preliminar de la aceptabilidad de los agregados finos, con respecto a los requisitos de la especificación NTG 41007 (C 33/C 33 M) relacionados con la materia orgánica.

El principal valor de este ensayo es proporcionar un aviso de que pueden estar presentes cantidades perjudiciales de materia orgánica. Cuando una muestra sometida a este ensayo produce un color más oscuro que el color estándar, es recomendable realizar el ensayo para determinar los efectos de la materia orgánica sobre la resistencia del mortero, de acuerdo con el método de ensayo (ASTM C 87).

Actualmente, la sección de Agregados, Concretos y Morteros del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, aplica la Norma Coguanor NTG-41010 h4 para la determinación de materia orgánica en agregados finos, obteniendo resultados cualitativos y aproximados de la presencia de esta en una muestra.

En el Laboratorio de Análisis Físicoquímicos de la sección de Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería, se realizan ensayos a agregados, como reactividad potencial según la Norma ASTM C-289, la cual emplea una técnica espectrofotométrica para medir la transmisión de la luz a una longitud de onda constante de aproximadamente 410 nm para la determinación cristaloidal (no coloidal) de sílice disuelto, proporcionando datos cuantitativos de la concentración de este compuesto.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Especificaciones estándar para agregado fino para concreto

El agregado fino es un material que puede consistir en arena natural, arena manufacturada o una combinación de ambas, cuyo tamaño de partícula se encuentra entre 9,5 mm y 150 μm .

La Norma ASTM C33 define las especificaciones para la clasificación y la calidad de agregado fino y grueso, para su uso en el concreto para obra civil. La cantidad de sustancias perjudiciales permitida en agregado fino se encuentra especificada en la tabla 1 de dicha norma (ver anexo 3).

2.1.1. Especificación de impurezas orgánicas en agregado fino

La Norma Coguanor NTG-41007, equivalente a la norma ASTM C33-08 con algunas modificaciones para su adaptación a Guatemala, cita las especificaciones para el contenido permisible de impurezas orgánicas en agregado fino para concreto en el inciso 7.2 (ver anexo 4).

2.2. Elementos contaminantes del agregado

La contaminación de los agregados se manifiesta en el concreto reduciendo su resistencia, afectando directamente la durabilidad de los elementos y perjudicando su apariencia externa. En la construcción, altera el

proceso de mezclado, al incrementarse la demanda de agua para la mezcla y retardándose el proceso de fraguado.

De acuerdo al tipo de acción, se pueden clasificar los contaminantes como de carácter físico o químico. Los físicos actúan exteriormente en el agregado, como es el caso de los finos y de las partículas adheridas, o de manera externa, como los elementos con exceso de poros o partículas de diferente expansión térmica.

Los contaminantes químicos se diferencian según actúen directamente sobre el cemento, como las impurezas orgánicas, o independientes del aglomerante, como los materiales solubles. Frecuentemente, los agregados presentan algún grado de contaminación y el porcentaje máximo permisible se determina mediante la Norma ASTM C40. Los elementos perjudiciales que generalmente se encuentran en los agregados son: los muy finos que exigen exceso de agua, los recubrimientos que afectan la adherencia, las partículas débiles, inestables o impurezas que actúan sobre la hidratación.

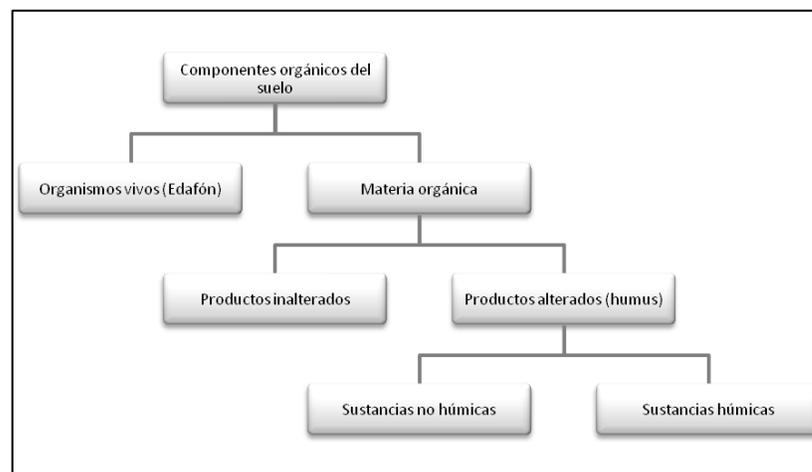
2.2.1. Impurezas orgánicas

En muchos casos los agregados para el concreto pueden estar contaminados con materias orgánicas, originadas por la descomposición de elementos vegetales, en forma de margas orgánicas. Estas impurezas pueden afectar las reacciones de hidratación, modificando el fraguado o reduciendo la resistencia. El control inicial del agregado se realiza de manera cualitativa, mediante una prueba colorimétrica, aplicable especialmente a las arenas, que corresponde a la Norma ASTM C40. El valor de este ensayo es indicar la presencia potencial de compuestos orgánicos nocivos, permitiendo así la realización de ensayos adicionales de mayor precisión.

2.3. Composición química de la materia orgánica

Esta es muy heterogénea, pues la cantidad de compuestos químicos es muy amplia. Los restos vegetales y animales son polímeros de compuestos orgánicos que durante el proceso de su transformación son degradados y despolimerizados hasta sus constituyentes básicos, como en este proceso se produce la formación de componentes inorgánicos (nitrógeno, fósforo, azufre) se le da el nombre de mineralización, y los productos orgánicos resultantes constituyen la fracción de materia orgánica no alterada. A través del proceso de humificación subsiguiente y por medio de síntesis microbiológicas, se producen nuevos componentes, generalmente de coloración oscura y con alto grado de polimerización. Estos son los que constituyen la fracción denominada edáfica, por ser propia de los procesos de reorganización ocurridos en el suelo. La materia orgánica en el suelo se podría dividir de la siguiente forma:

Figura 1. Componentes orgánicos del suelo



Fuente: PAYERAS, Antoni. *Ácidos húmicos y ácidos fúlvicos*.

<http://www.bonsaimenorca.com/articulos/articulostecnicos/acidos-humicos-y-acidos-fulvicos/>.

Consulta: octubre de 2014.

Los componentes orgánicos del suelo son los organismos vivos y sus restos sin descomponer, parcialmente descompuestos y descompuestos completamente, así como productos de su transformación.

- Organismos vivos: insectos, bacterias, algas, hongos, entre otros, junto con las raíces.
- Materia orgánica: componentes no vivos que forman una mezcla heterogénea compuesta, en gran parte, por los productos resultantes de las transformaciones microbianas y químicas de residuos orgánicos.
- Productos inalterados: productos frescos y no modificados de residuos antiguos (principalmente celulosas y ligninas).
- Productos alterados: son productos que no mantienen similitudes físicas o químicas con los materiales de los que proceden. Estos productos transformados se conocen como productos procedentes de la humificación.
 - Sustancias no húmicas: compuestos pertenecientes a productos bioquímicos como aminoácidos, lípidos, carbohidratos.
 - Sustancias húmicas: una serie de sustancias de peso molecular relativamente alto y de color marrón a negro, formadas por reacciones de síntesis secundarias. El término se usa como un nombre genérico para describir el material oscuro o sus fracciones obtenidas sobre la base de características de solubilidad: ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, huminas.

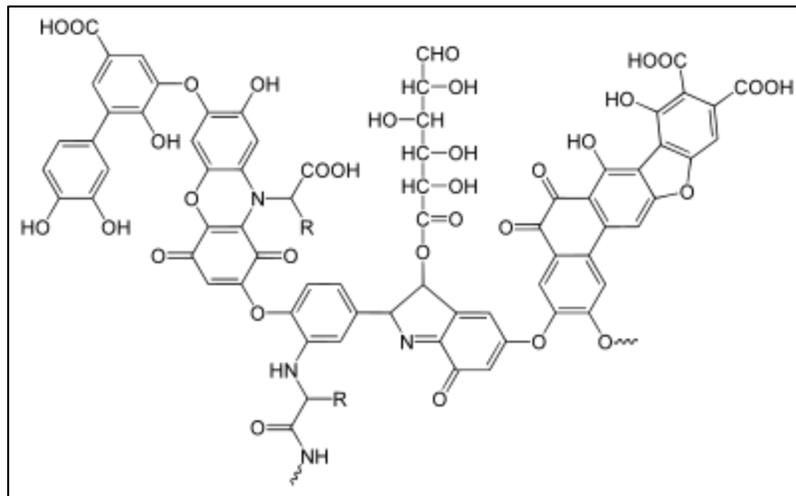
2.3.1. Influencia de la lignina y los carbohidratos en las sustancias húmicas

Los principales componentes de la materia orgánica vegetal son los carbohidratos (por ejemplo la celulosa), las proteínas, los lípidos (o grasas) y la lignina, y tienen un papel muy importante en las características de las sustancias húmicas.

La lignina y sus productos de degradación son considerados como los principales precursores de la fracción orgánica que forma las sustancias húmicas. Durante el compostaje, la lignina no es totalmente mineralizada debido a que es muy resistente por su estructura aromática y la complejidad de su estructura química. A pesar de esto, se conocen algunas enzimas presentes en algunos microorganismos (hongos, actinomicetos y bacterias) capaces de degradarla durante el compostaje, como la fenoloxidasa y la peroxidasa dependiente de manganeso.

Por el otro lado, polisacáridos como la celulosa y la hemicelulosa son degradados de forma más rápida por la acción microbiana (tanto de bacterias como hongos). Este hecho se ha constatado durante el compostaje, ya que algunos grupos funcionales característicos de los polisacáridos se reducen al mismo tiempo que se enriquecen en estructuras aromáticas, más complejas químicamente. De hecho, se ha demostrado que algunos polisacáridos oxidados y ácidos grasos son la fuente de los grupos carboxílicos presentes en las sustancias húmicas, mientras que los polisacáridos no cíclicos son los que aportan los grupos aldehídos.

Figura 2. Estructura del ácido húmico



Fuente: PAYERAS, Antoni. *Ácidos húmicos y ácidos fúlvicos*.

<<http://www.bonsaimenorca.com/articulos/articulostecnicos/acidos-humicos-y-acidos-fulvicos/>>.

Consulta: octubre de 2014.

En definitiva, la lignina aportaría la estructura resistente (más recalcitrante) y los polisacáridos aportarían los grupos funcionales (más reactivos) a las sustancias húmicas, o, lo que es lo mismo, los ácidos húmicos consisten en una fracción poco modificada de polisacáridos, lignina aromatizada y unas largas cadenas de fracciones alquílicas, procedentes de la fracción lignocelulósica que dependerá de la naturaleza del material vegetal usado para elaborar el compost.

2.3.2. Clasificación por composición química del humus

El vocablo humus proviene del latín, de igual nombre, que significa tierra, suelo, y se refiere al conjunto de productos orgánicos estables y finales del proceso de transformación de los compuestos vegetales y animales que llegan

al suelo (proceso de humificación). La denominación de humus se aplica una vez que se ha perdido la estructura orgánica microscópica original y se hace amorfo.

Su existencia es inherente a todos los suelos, y su cantidad y calidad depende de los factores edáficos. Su presencia influye notablemente en la fertilidad y en los procesos edafogénicos del suelo.

El humus es un material orgánico de alto peso molecular, el cual está constituido por un núcleo central, generalmente de compuestos aromáticos (en primer término fenoles), cadenas laterales de carbohidratos y cadenas alifáticas donde se sitúan los grupos funcionales que determinan su actividad.

Según el tamaño del núcleo y las cadenas laterales, el humus puede ser:

- Ácido fúlvico: núcleo pequeño y cadena larga
- Ácido húmico núcleo pequeño y cadenas más cortas
- Huminas: núcleo grande y cadenas cortas

2.3.2.1. Ácidos húmicos y fúlvicos

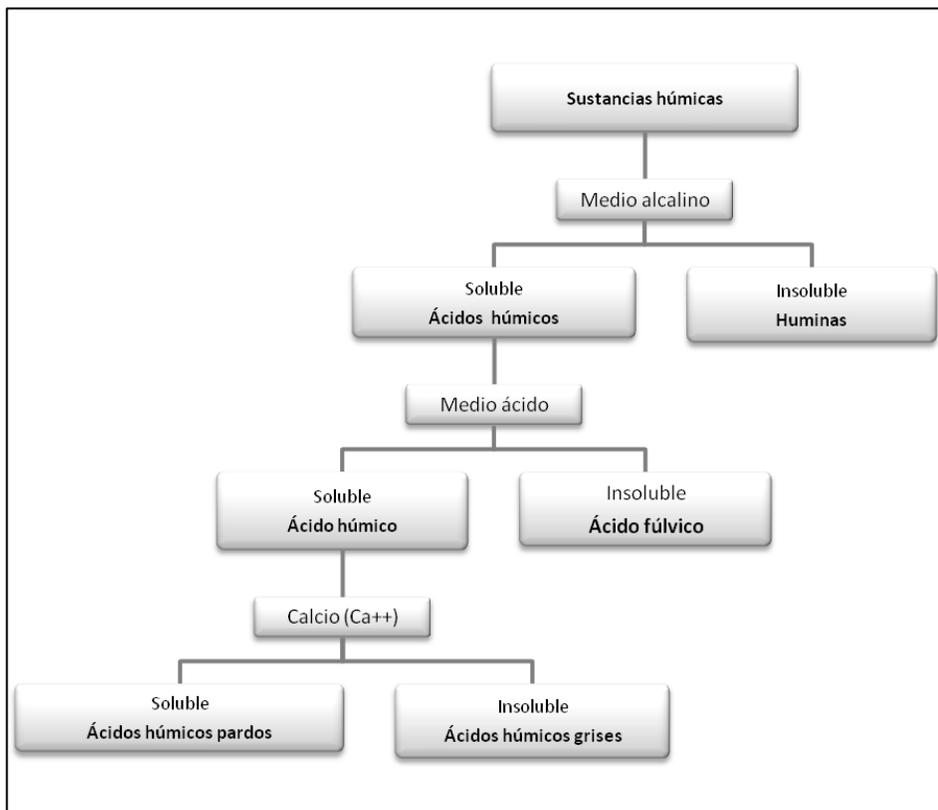
Son complejas agrupaciones macromoleculares en las que las unidades fundamentales son compuestos aromáticos de carácter fenólico procedentes de la descomposición de la materia orgánica y compuestos nitrogenados, tanto cíclicos como alifáticos, sintetizados por ciertos microorganismos presentes en suelo.

Los ácidos húmicos, fúlvicos y las huminas son parte de un sistema supramolecular extremadamente heterogéneo y las diferencias entre estas

subdivisiones son debidas a variaciones en la acidez, grado de hidrofobicidad (contenido de restos aromáticos y alquílicos de cadena larga) y la autoasociación de moléculas por efectos del azar.

Las sustancias húmicas se clasifican según solubilidad en diferentes soluciones ácidas y alcalinas.

Figura 3. **Clasificación de las sustancias húmicas según solubilidad en diferentes soluciones**



Fuente: PAYERAS, Antoni. *Ácidos húmicos y ácidos fúlvicos*.

<<http://www.bonsaimenorca.com/articulos/articulostecnicos/acidos-humicos-y-acidos-fulvicos/>>.

Consulta: octubre de 2014.

Los ácidos fúlvicos representan la fracción de humus extraíble por álcalis, que es no precipitable por ácidos y que tiene color amarillento. Generalmente son compuestos fenólicos de pequeño peso molecular. Las huminas representan la fracción que solamente es soluble en hidróxido de sodio (NaOH) caliente.

Los ácidos húmicos se extraen con soda y pueden ser precipitados en ese extracto por ácidos como el clorhídrico, presentándose como sólidos amorfos de color marrón oscuro. Generalmente son polímeros de alto grado que se presentan entrelazados formando coloides esferoidales. Su carácter ácido, es decir, su capacidad de intercambio catiónico, se basa principalmente en la presencia de radicales carbonilo (COOH) e hidróxido (OH). La fracción de los ácidos húmicos soluble en alcohol se denomina ácido himatomelánico y es de color marrón rojizo.

La tabla I presenta las características químicas más relevantes de los tres componentes principales del humus.

Tabla I. Propiedades químicas relevantes de los distintos componentes del humus

Propiedad	Ácidos fúlvicos	Ácidos húmicos	Humina
M/g mol ⁻¹	1000-5000	10000 – 100000	> 100 000
%C	40 – 45	50 – 60	> 60
%O	45 – 50	30 – 35	< 30
%N	2 – 4	3 – 5	> 5
Acidez total / moles H ⁺ kg ⁻¹	10 – 12	5	< 5
Acidez de grupos carboxilo / moles H ⁺ kg ⁻¹	8 – 9	1,5 – 3	-
Acidez de grupos hidroxilo / moles H ⁺ kg ⁻¹	2 – 3	2 – 3	-

Fuente: FASSBENDER, Hans W. *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina*. p. 125.

Como se puede observar, tanto el peso molecular como el contenido de carbono en el polímero decrecen en el sentido: humina > ácido húmico > ácido fúlvico. Esto es un indicativo de la solubilidad, la cual actúa en sentido contrario, es decir, los ácidos fúlvicos son más solubles que los húmicos y estos más solubles que la humina.

En resumen, el método clásico de fraccionamiento del humus está basado en la extracción de la materia orgánica con soda (NaOH), en la diferenciación del extracto por precipitación parcial con ácido clorhídrico (HCl) y solubilización parcial en alcohol.

2.4. Extracción sólido-líquido

La separación de una mezcla de compuestos sólidos se puede llevar a cabo aprovechando diferencias de solubilidad de los mismos en un determinado disolvente. En el caso favorable de una mezcla de sólidos en la cual uno de los compuestos es soluble en un determinado disolvente (normalmente un disolvente orgánico), mientras que los otros son insolubles, se puede hacer una extracción consistente en añadir este disolvente a la mezcla contenida en un vaso de precipitados, un matraz o una cápsula de porcelana, en frío o en caliente, agitar o triturar con ayuda de una varilla de vidrio y separar por filtración la disolución que contiene el producto extraído y la fracción insoluble que contiene las impurezas. Si, al contrario, lo que se pretende es disolver las impurezas de la mezcla sólida, dejando el producto deseado como fracción insoluble, el proceso, en lugar de extracción, se denomina lavado.

El proceso de extracción sólido-líquido en medio alcalino favorece la neutralización de las sustancias ácidas que contiene un sólido, en este caso, los ácidos húmicos y fúlvicos que se encuentran presentes en el humus de la

materia orgánica contenida en una muestra de agregado fino. Al llevarse a cabo la neutralización se produce una sal asociada al ácido, que es más soluble en una solución acuosa por su capacidad iónica. Dicha extracción favorece la separación de estos componentes para producir la coloración respectiva del material, entre anaranjado y amarillo, relacionado al contenido de materia orgánica, el cual es necesario para el análisis colorimétrico que se pretende llevar a cabo mediante técnicas espectrofotométricas.

2.5. Espectrofotometría

Es el conjunto de técnicas que utilizan la luz para medir concentraciones químicas y es el método de análisis óptico más usado en las investigaciones biológicas. El espectrofotómetro es un instrumento que permite comparar la radiación absorbida o transmitida por una solución que contiene una cantidad desconocida de soluto y una que contiene una cantidad conocida de la misma sustancia.

Puesto que el color presentado se encuentra en el rango colorimétrico entre 600 y 650 nm (color amarillo a naranja), se puede suponer que su mayor absorción se dará en el rango cercano al UV, entre 400 y 500 nm, pues un objeto absorbe con mayor intensidad en el rango de su color complementario, en este caso el azul y el violeta.

2.5.1. Ley de Beer-Lambert-Bouguer

Beer, Lambert y Bouguer establecieron relaciones de la variación de la intensidad de luz transmitida por una muestra con el espesor de ella o con la concentración de la sustancia para materiales translúcidos. Estas relaciones se conocen como la Ley de Beer-Lambert-Bouguer, o Ley general de la

espectrofotometría, que permite hallar la concentración de una especie química a partir de la medida de la intensidad de luz absorbida por la muestra.

Esta ley se puede expresar en términos de potencia de luz o de intensidad de luz, asumiendo luz monocromática, como:

$$I_t/I_0 = 10^{-\epsilon bc}$$

Donde I_t es la intensidad de luz transmitida por la muestra, I_0 la intensidad de luz que incide sobre la muestra y que proviene de la fuente, ϵ el coeficiente de absortividad molar en unidades de metros recíprocos y centímetros recíprocos, b es la longitud de la trayectoria del haz de luz a través de la muestra o el espesor de la celda en centímetros o lo que se conoce como paso óptico y c es la concentración del absorbente en el medio.

La relación I_t/I_0 se conoce como transmitancia, T , y es la medida primaria que se realiza en los instrumentos para medir la absorción de luz por parte de una muestra. Si la relación se expresa en forma porcentual, entonces se llama porcentaje de transmitancia:

$$\%T = 100 (I_t/I_0)$$

La luz absorbida sería $I_0 - I_t$, es decir, la diferencia entre la intensidad de la luz incidente y la intensidad transmitida después de pasar a través de la muestra.

Cuando se toma el logaritmo decimal negativo de la relación I_t/I_0 , entonces:

$$-\log \frac{I_t}{I_0} = -\log T$$

Esta relación representa la cantidad de luz absorbida por la muestra, que recibe el nombre de absorbancia (A).

La Ley de Beer-Lambert-Bouguer se puede entonces escribir de las siguientes formas:

$$\frac{I_t}{I_0} = 10^{-\epsilon b C} \equiv -\log T = \epsilon b C \equiv A = \epsilon b C$$

Siendo C la concentración del soluto en moles/litro de solución, ϵ una constante denominada coeficiente de absorptividad molar cuyas unidades son: $\text{cm}^{-1} \text{L/mol}$ y b centímetros, se demuestra que la absorbancia es adimensional.

El coeficiente de absorptividad molar ϵ es función de la longitud de onda, del índice de refracción de la solución y es característico de cada sistema soluto-solvente. Es una propiedad intensiva, que no depende de la concentración de la sustancia y representa la absorción de luz por parte de un mol de soluto para una longitud de onda dada.

El registro de la variación del coeficiente de absorptividad molar ϵ , o de la absorbancia A , en función de la longitud de onda da origen a lo que se denomina espectro o curva espectral de una sustancia química, e indica las características de absorción de dicha sustancia con relación a la longitud de onda. En muchas ocasiones, la curva espectral se presenta como absorbancia contra longitud de onda y el espectro se denomina espectro de absorción, o en función de la transmitancia, denominándose el espectro espectro de transmisión.

2.5.2. Aplicación de la Ley de Beer-Lambert-Bouguer

La aplicación práctica de la Ley de Beer es que, conociendo la absorbancia de una sustancia, se puede averiguar su concentración y esto se puede lograr mediante una curva de calibración.

La curva de calibración es la representación gráfica en un eje de coordenadas de la absorbancia (eje de ordenadas) frente a la concentración (eje de abscisas). Se ensayan varias soluciones de concentración conocida y se determinan sus absorbancias, construyéndose la curva de calibrado, que es una recta. Una vez ensayadas las soluciones problema, su concentración se averigua por interpolación de las absorbancias de las soluciones problema en la curva de calibración.

Se debe tomar en cuenta la linealidad de la curva de calibración, que es el intervalo de concentraciones del cromógeno entre las cuales existe una relación lineal entre absorbancia y concentración. Cuando la concentración del cromógeno sobrepasa los límites de linealidad, se deja de cumplir la Ley de Beer, convirtiéndose la recta en una curva. La lectura de la absorbancia fuera de los límites de linealidad se traduce en una concentración falsamente baja de cromógeno. En esta situación, se debe diluir la muestra para que su concentración entre en los límites de la linealidad.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

Las variables manipuladas y trabajadas durante la experimentación fueron las siguientes:

Tabla II. Descripción de variables dependientes e independientes

Variable	Unidades	Constante	Variable	Controlable (C) / no controlable (NC)	Dependiente (D) / independiente (I)
Masa de muestra de agregado, m	g	X		C	I
Absorbancia, A	-		X	NC	D
Concentración de solución de color estándar, C_{SE}	mg/L		X	C	I
Tiempo de desarrollo de color estable de solución estándar, t_{SE}	min		X	C	I
Tiempo de extracción sólido-líquido, t_X	h		X	C	I
Longitud de onda óptima, λ_{op}	nm	X		C	D
Concentración de solución de hidróxido de sodio, C_{NaOH}	%p/p	X		C	I
Volumen de solución de hidróxido de sodio, V_{NaOH}	ml	X		C	D

Fuente: elaboración propia.

3.2. Delimitación de campo de estudio

- Fundamento del conocimiento: química analítica, química orgánica, química de suelos, extracción sólido-líquido, espectrofotometría.
- Aplicación de procedimiento experimental: espectrofotometría y transferencia de masa sólido-líquido.
- Ubicación: área de espectrofotometría del Laboratorio de Análisis Fisicoquímicos del Centro de Investigaciones de Ingeniería.
- Equipo: espectrofotómetro Genesys 10S UV-VIS.
- Espacio temporal: primer semestre del 2016.

3.3. Recursos humanos disponibles

La experimentación y el tratamiento matemático de datos estuvieron a cargo de la investigadora Emilia Virginia Pontacq Alfonso. La interpretación de los datos estuvo bajo la tutoría del asesor, ingeniero químico César Alfonso García Guerra. La licenciada en química Ingrid Lorena Benítez Pacheco colaboró en la interpretación de datos y en el uso correcto de los equipos empleados para la realización de la parte experimental.

3.4. Recursos materiales disponibles

Los recursos materiales con los que se trabajó en el Laboratorio de Análisis Fisicoquímicos para realizar este trabajo fueron los siguientes:

3.4.1. Equipos auxiliares

- Campana de extracción, marca Serproma.
- Plancha de Calefacción con Agitación (agitador magnético) Isotemp

- Agitador magnético de 25 mm
- Rotador multiuso Thermo Scientific Barnstead Lab-line modelo 2314
- Agitador Labquake Barnstead/Thermolyne
- Centrifugadora Champion S-50D

3.4.2. Instrumentos de medición

- Espectrofotómetro Genesys 10S UV-VIS
- Balanza analítica, marca Radwag, modelo WPS 750C/1
- Cronómetro

3.4.3. Cristalería

- Balón aforado de 100 mL
- Balones aforados de 25 mL
- Pipetas volumétricas de 5, 10 y 20 mL
- Pipeta serológica de 3 mL
- Probetas de 100 mL
- Frascos de vidrio Boeco de 250 mL
- Vidrios Gardner de color estándar
- Celdas espectrofotométricas de 10 mm

3.4.4. Software de medición y cálculos

- VISIONlite para espectrofotómetros UV/VIS y visible marca Thermo Scientific (instalado en el computador acoplado al espectrofotómetro).
- Microsoft Excel versión 2013.
- QtiPlot versión 0.9.8.3.

3.4.5. Reactivos

- Solución de color estándar de dicromato de potasio reactivo en ácido sulfúrico a una tasa de 0,250 g/100 mL de ácido, según inciso 5.2 de la Norma ASTM C40 – 04.
- Solución de hidróxido de sodio 3 %, según inciso 5.1 de la Norma ASTM C40 – 04.

3.5. Técnica cualitativa o cuantitativa

Los resultados obtenidos de concentración de materia orgánica en una muestra de agregado fino para concreto mediante el método espectrofotométrico son de carácter cuantitativo, los cuales se compararon cualitativamente con los resultados del ensayo propuesto por la Norma ASTM C40 – 04.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

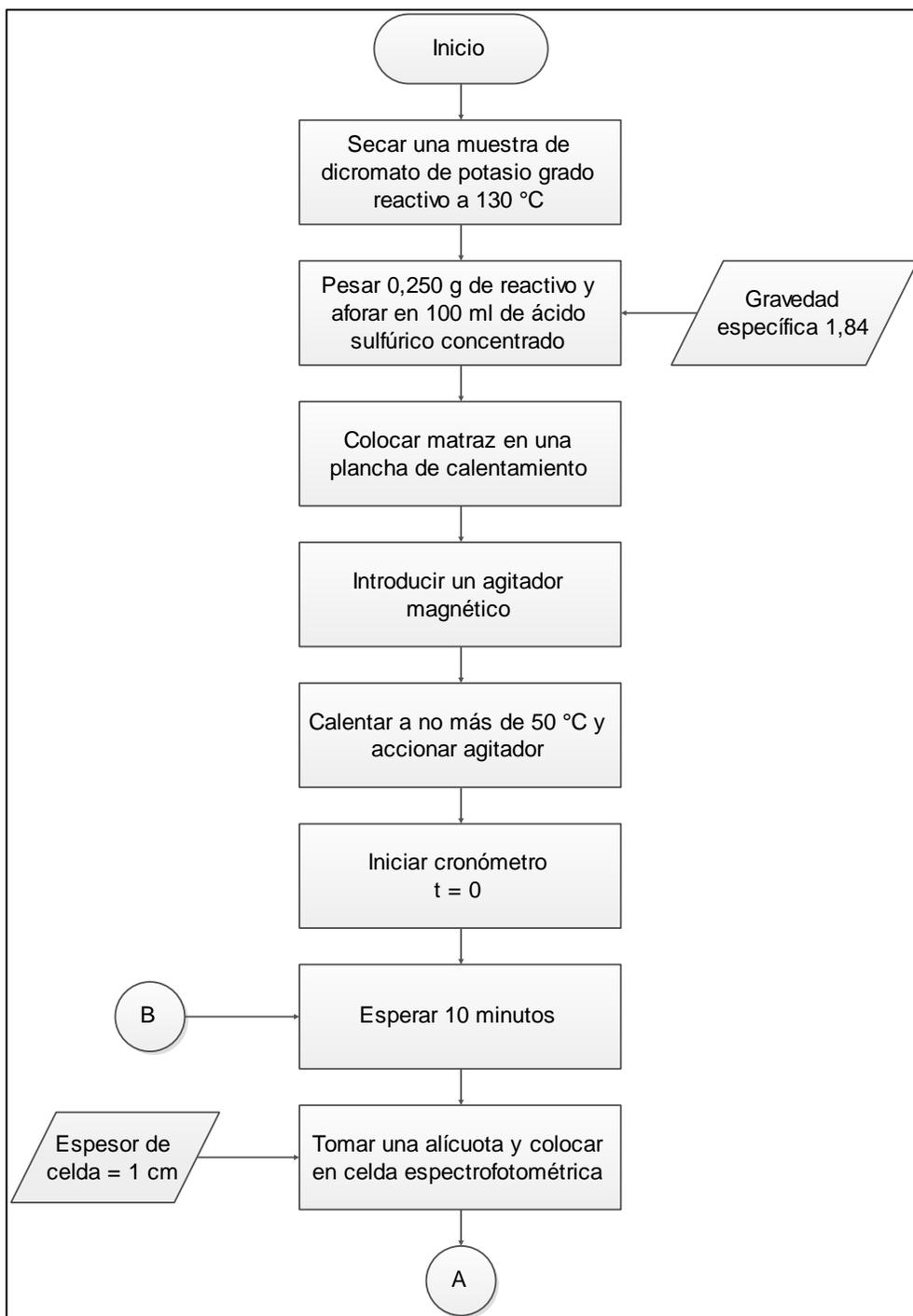
Para la recolección de la información necesaria se propusieron los siguientes procedimientos:

- Realizar un barrido de longitudes de onda a la solución estándar en intervalos de quince minutos durante un período de tres horas.
- Realizar una curva de calibración con soluciones de dicromato de potasio en ácido sulfúrico.
- Preparar las muestras de agregado fino de acuerdo a la norma NTG-41010 h4.

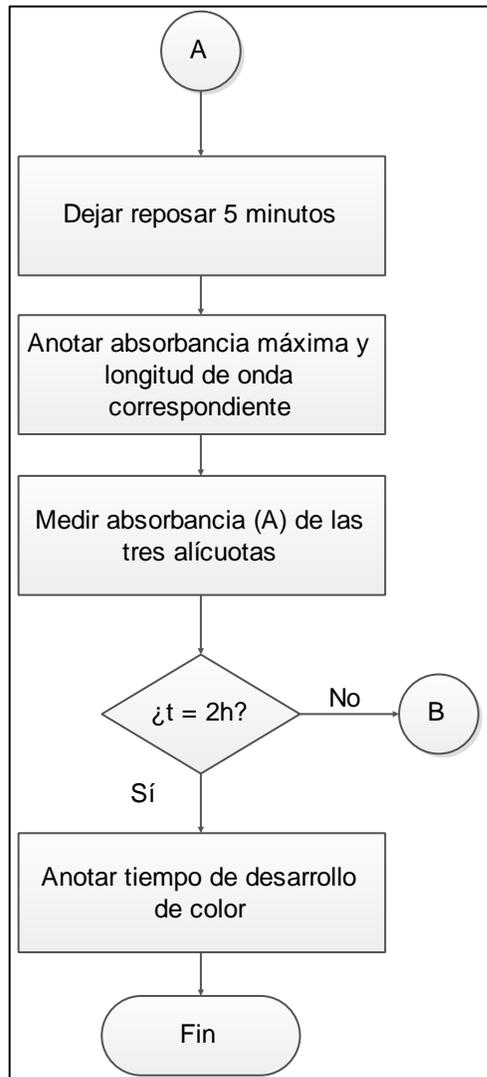
- Realizar la técnica colorimétrica para la muestra de agregado fino con hidróxido de sodio 3 %, evaluando la absorbancia del extracto en un intervalo de cuatro horas en un período de veinticuatro horas, utilizando el espectrofotómetro Genesys 10S UV-VIS.
- Realizar la técnica colorimétrica para la muestra de agregado fino con hidróxido de sodio 3 %, evaluando la absorbancia del extracto en un intervalo de dos horas con el espectrofotómetro Genesys 10S UV-VIS, aplicando agitación constante durante un período de ocho horas, con un agitador rotatorio y un agitador magnético.

A continuación se presentan los diagramas de flujo de los procedimientos descritos.

Figura 4. **Barrido de longitudes de onda**

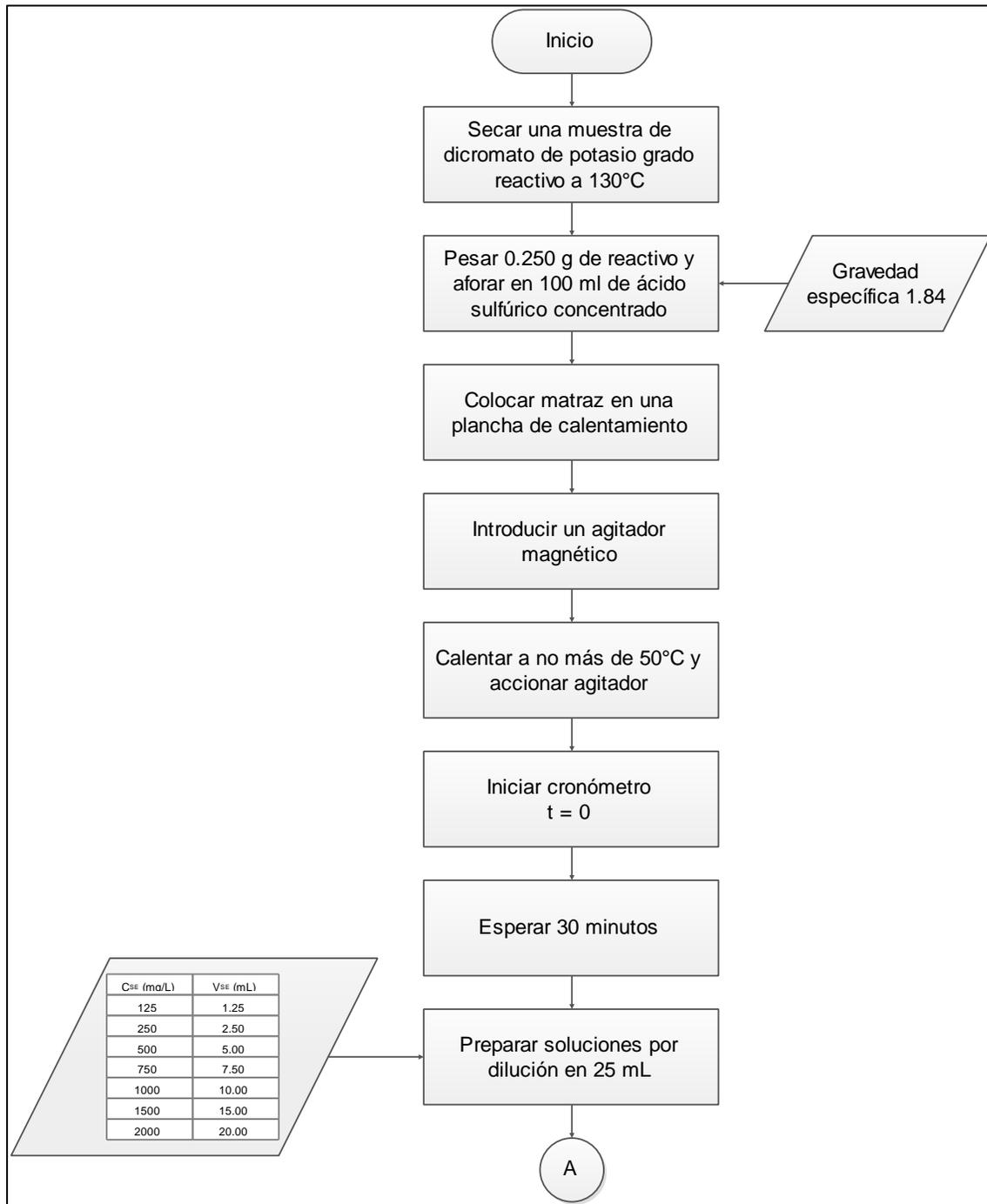


Continuación de la figura 4.

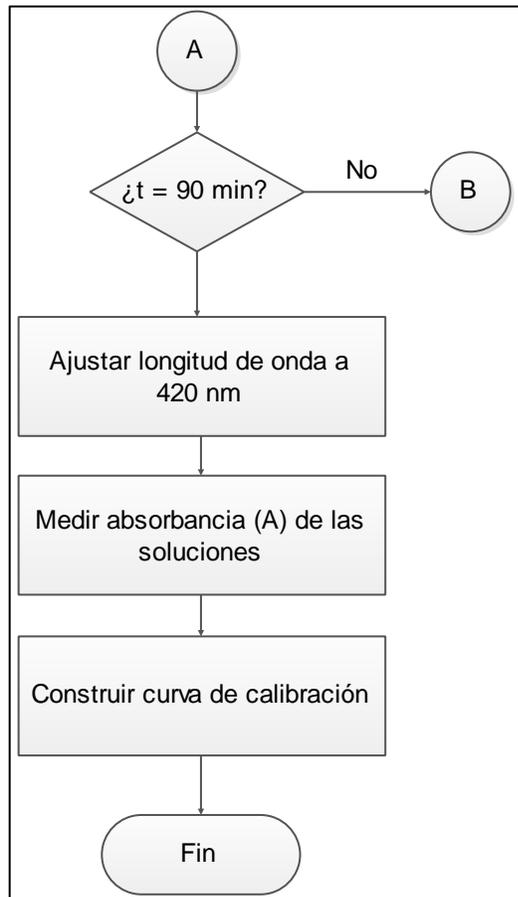


Fuente: elaboración propia.

Figura 5. Curva de calibración

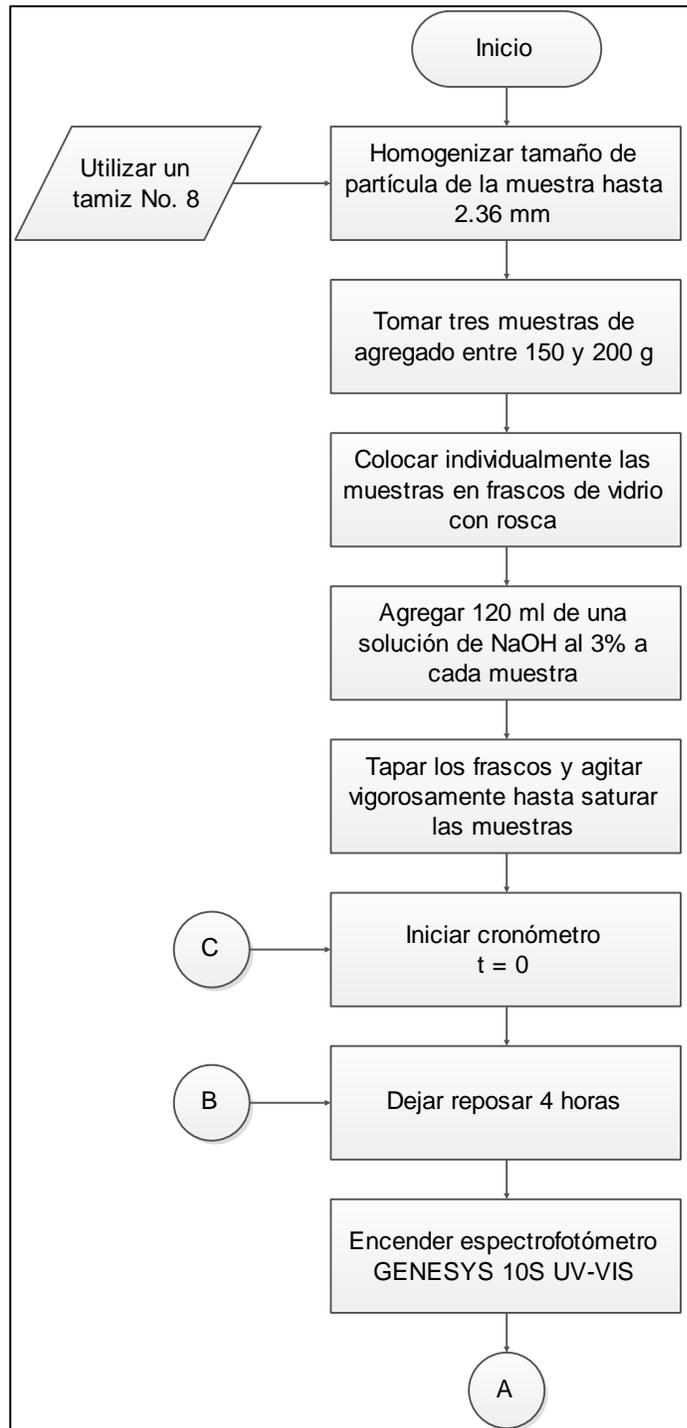


Continuación de la figura 5.

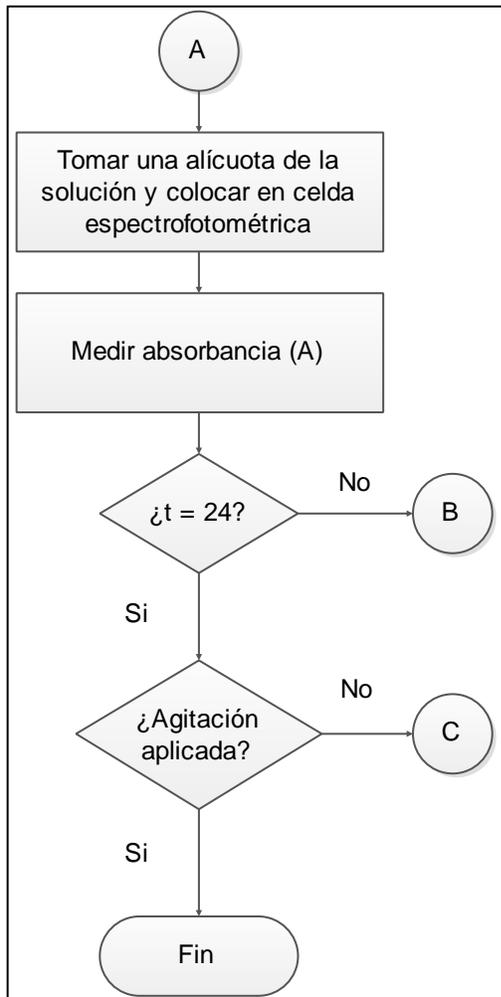


Fuente: elaboración propia.

Figura 6. **Determinación del tiempo óptimo de extracción de materia orgánica como ácidos húmicos**



Continuación de la figura 6.



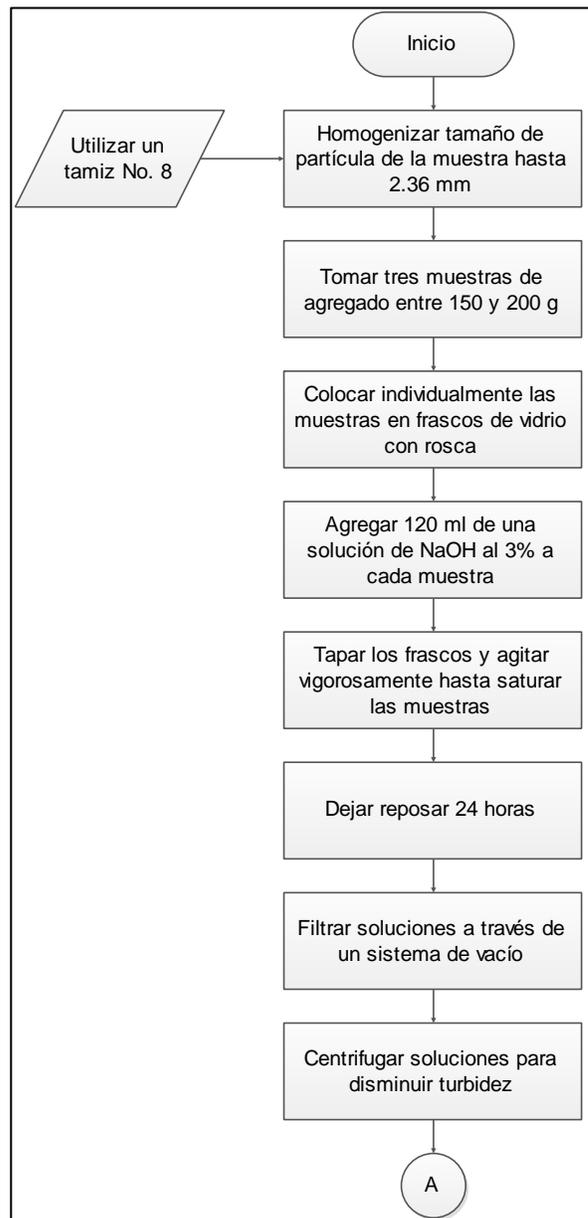
Fuente: elaboración propia.

El procedimiento anterior se efectuó a siete muestras de agregado fino provenientes de distintos puntos del país.

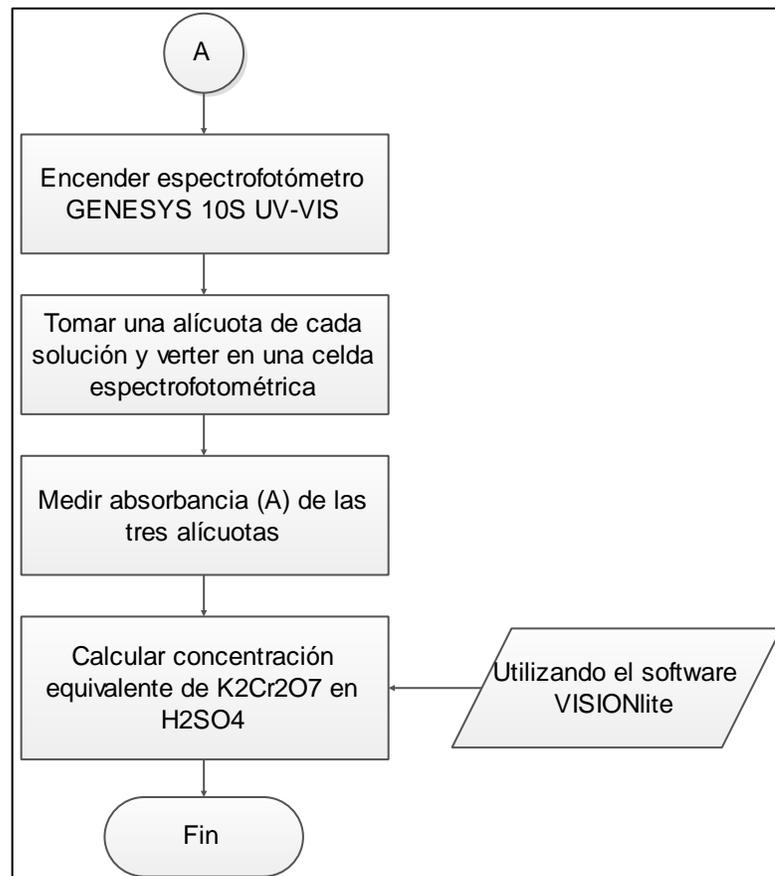
Para la preparación de la muestra, se hizo una variación con respecto a la Norma ASTM C40, puesto que las cantidades de muestra de agregado y de

solución de hidróxido de sodio añadidas no son constantes, ni están establecidas.

Figura 7. **Determinación de la concentración de materia orgánica como ácidos húmicos**



Continuación de la figura 7.



Fuente: elaboración propia.

El procedimiento anterior fue definido bajo las condiciones en las que se obtenían resultados óptimos de absorbancia y fue efectuado para siete muestras de agregado fino provenientes de distintos puntos del país.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

A continuación se presenta el formato de las tablas que fueron utilizadas para recolectar la información obtenida en los experimentos de la investigación.

Tabla III. **Formato de recolección de datos para el tiempo de estabilidad de color de la solución de color estándar**

Tiempo (min)	Corrida 1		Corrida 2		Corrida 3	
	A_{\max}	λ_{op} (nm)	A_{\max}	λ_{op} (nm)	A_{\max}	λ_{op} (nm)
15						
30						
45						
60						
75						
90						
105						
120						
135						
150						
165						
180						

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Formato de recolección de datos de la curva de calibración de la solución de color estándar**

Punto de la curva	C (g/100mL)	Absorbancia		
		Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
1	Blanco (H_2SO_4)			
2	0,0125			
3	0,025			
4	0,050			
5	0,075			
6	0,100			
7	0,150			
8	0,200			
9	0,250			

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Formato de recolección de datos del tiempo óptimo de extracción estática sólido-líquido de los ácidos húmicos con hidróxido de sodio**

			Tiempo (h)					
Absorbancia		Muestra	4	8	12	16	20	24
	A ₁							
	A ₂							
	A ₃							
	A ₁							
	A ₂							
	A ₃							
	A ₁							
	A ₂							
	A ₃							

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Formato de recolección de datos del tiempo óptimo de extracción sólido-líquido con agitación de los ácidos húmicos con hidróxido de sodio**

			Tiempo (h)			
Absorbancia		Muestra	2	4	6	8
	A ₁					
	A ₂					
	A ₃					
	A ₁					
	A ₂					
	A ₃					
	A ₁					
	A ₂					
	A ₃					

Fuente: elaboración propia.

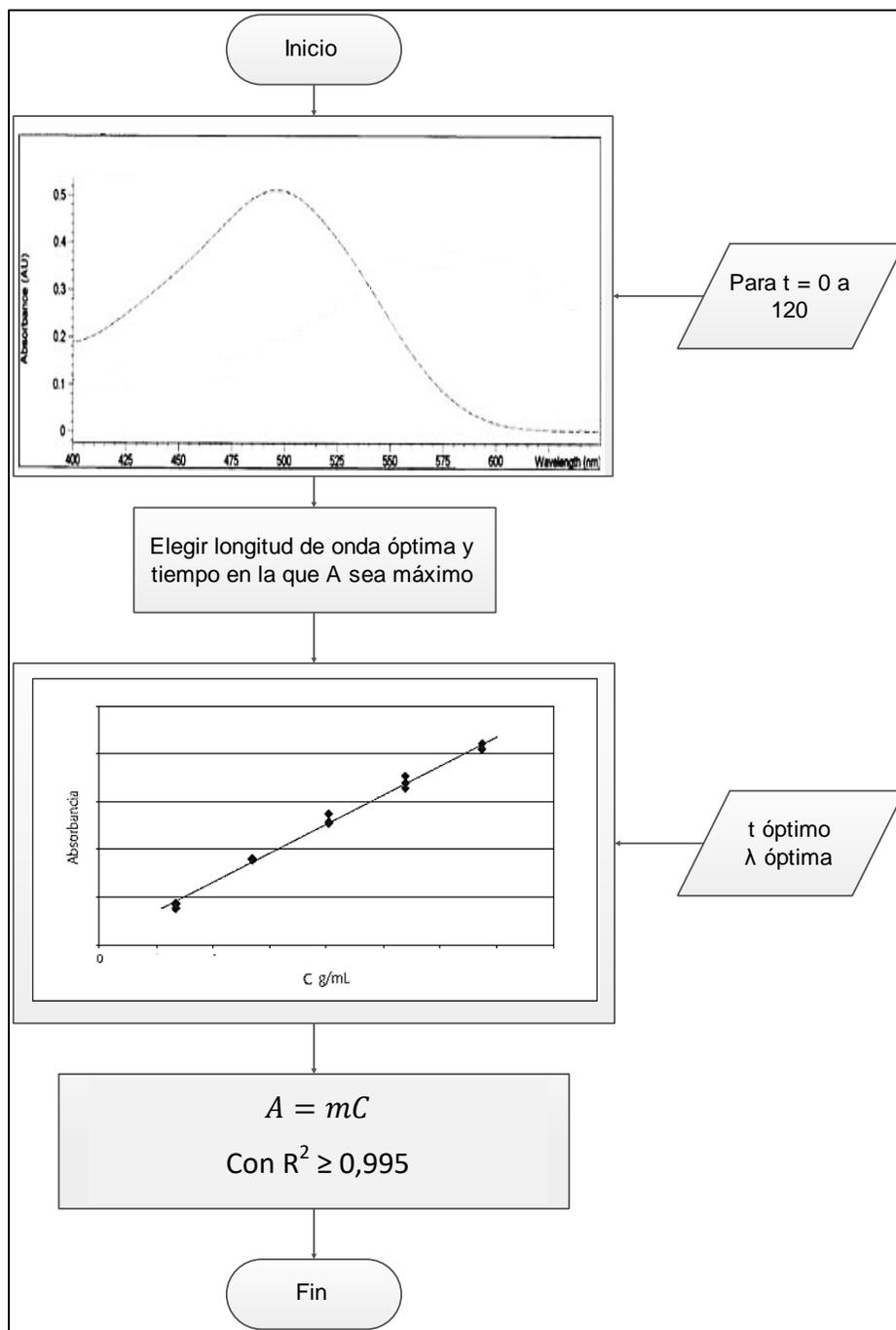
Tabla VII. **Formato de recolección de datos de la absorbancia de la materia orgánica y comparación de colores de vidrios Gardner, cumplidas las 24 horas establecidas en la norma ASTM C40**

Muestra	Absorbancia			Número de placa de vidrio correspondiente	Comparación de color con solución estándar de $K_2Cr_2O_7/H_2SO_4$
	A ₁	A ₂	A ₃		
1					
2					
3					

Fuente: elaboración propia

El procedimiento de cálculo llevado a cabo para la generación de los resultados concernientes a la curva de calibración de la solución de color estándar, se detalla a continuación en un diagrama de flujo.

Figura 8. Diagrama de flujo del cálculo de la curva de calibración



Fuente: elaboración propia.

A partir de la curva de calibración generada anteriormente, se procede a calcular las concentraciones para las muestras que contienen materia orgánica y que han reaccionado con el hidróxido de sodio en un tiempo óptimo de extracción, el cual se escoge a partir del punto en el que la absorbancia es máxima para las muestras de prueba.

3.8. Análisis estadístico

Puesto que no existen precedentes ni valores teóricos de una investigación similar y ya que la Norma ASTM C 40 – 04 no provee resultados cuantitativos, el análisis estadístico se realizó para determinar la validez y confiabilidad de los resultados a través de la repetición del experimento bajo las mismas condiciones de trabajo

Se utilizó la estadística descriptiva como herramienta para validar los resultados obtenidos. Se presentan a continuación los parámetros empleados:

3.8.1. Media aritmética

Dado que se realizaron varias repeticiones del experimento, se tomó un valor promedio de los valores de absorbancia obtenidos. La ecuación utilizada es la siguiente:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i$$

3.8.2. Desviación estándar

Este parámetro estadístico se utilizó para evaluar el nivel de coincidencia entre los resultados obtenidos de las diferentes repeticiones del experimento. La ecuación empleada es la siguiente:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

3.8.3. Análisis de varianza

El análisis estadístico para la primera hipótesis se hizo mediante el uso del análisis de varianza, este evalúa la variable independiente en función de las variaciones de la variable dependiente. El análisis de varianza requiere el uso de repeticiones y de tratamientos, donde estos refieren las variaciones de la variable dependiente, en este caso, el tiempo de desarrollo y la concentración de la solución ácida de dicromato de potasio.

Se evaluó mediante el análisis de varianza si la longitud de onda difiere significativamente respecto al tiempo de desarrollo y la concentración de la solución ácida de dicromato de potasio.

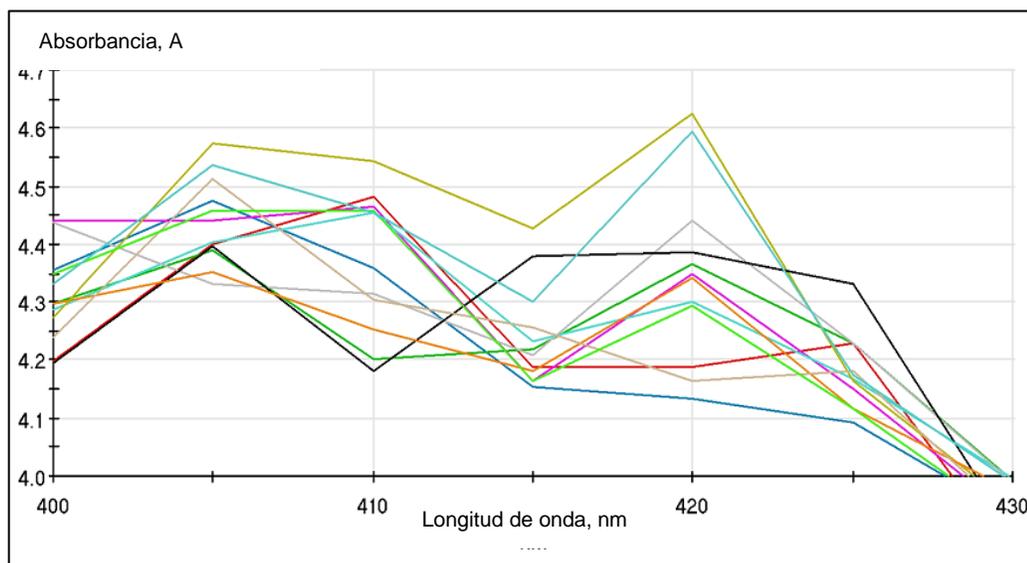
La aceptación o rechazo de las hipótesis estadísticas se basará en el criterio de la F de Fisher y el de la probabilidad para un porcentaje de confiabilidad de 95 %.

4. RESULTADOS

4.1. Evaluación de la solución estándar¹ de $K_2Cr_2O_7/H_2SO_4$ según el inciso 5.2 de la Norma NTG-41010 h4, utilizando el espectrofotómetro Genesis 10S UV-VIS

A continuación se describe la evolución de la solución estándar de $K_2Cr_2O_7/H_2SO_4$ utilizando el espectrofotómetro Genesis 10S UV-VIS.

Figura 9. **Absorbancia de la solución estándar con base en el barrido de longitud de onda para un intervalo de tiempo de desarrollo² de color estable**



Fuente: elaboración propia, con base en el apéndice 5 y empleando VISIONlite Scan.

¹ $[K_2Cr_2O_7/H_2SO_4] = 0,250g/100 mL (2\ 500\ ppm)$.

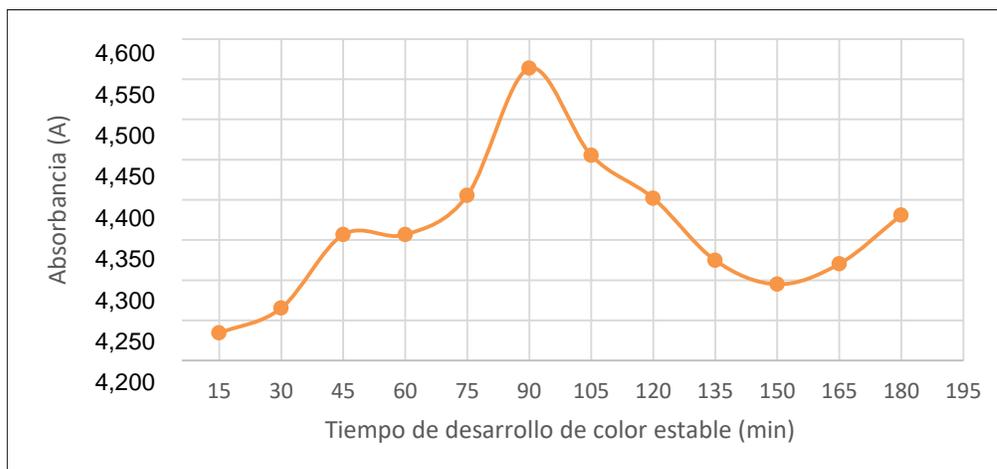
² Agitación constante a 125 rpm y temperatura constante de 25 °C.

Tabla VIII. **Absorbancia máxima de la solución estándar para un intervalo de tiempo de desarrollo de color estable, para la determinación de la longitud de onda óptima**

Color	Tiempo de desarrollo (min)	Absorbancia máxima	λ_{op} (nm)
	15	4,234	420
	30	4,265	
	45	4,357	
	60	4,357	
	75	4,405	
	90	4,564	
	105	4,455	
	120	4,402	
	135	4,325	
	150	4,295	
	165	4,320	
	180	4,381	

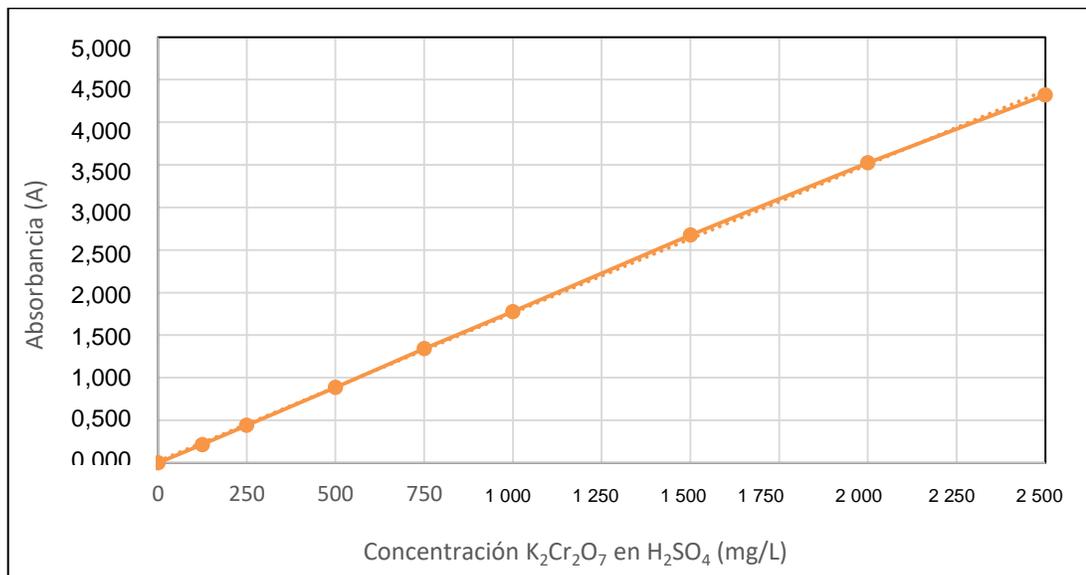
Fuente: elaboración propia, con base en la figura 4 y el apéndice 6.

Figura 10. **Determinación de la absorbancia máxima para la longitud de onda óptima de 420 nm en función del intervalo de tiempo de desarrollo del color estable para la solución estándar**



Fuente: elaboración propia, con base en la tabla VIII.

Figura 11. **Absorbancia³ para diferentes concentraciones menores de la solución estándar, para el desarrollo de color estable en función de un tiempo de lectura de 90 minutos y a una longitud de onda de 420 nm**



Fuente: elaboración propia, con base en el apéndice 9.

Tabla IX. **Evaluación de la incertidumbre en la determinación de la absorbancia para la calibración del método en función del rango de concentraciones seleccionadas⁴**

Ecuación lineal	$A = 1,752964E-03 C$
Rango de linealidad	0 – 2 500 mg/L
Coefficiente de correlación	0,99956
Error residual	0,0080

³ Utilizando el espectrofotómetro Genesys 10S UV-VIS y la opción “Entrada de factor” del software VISIONlite.

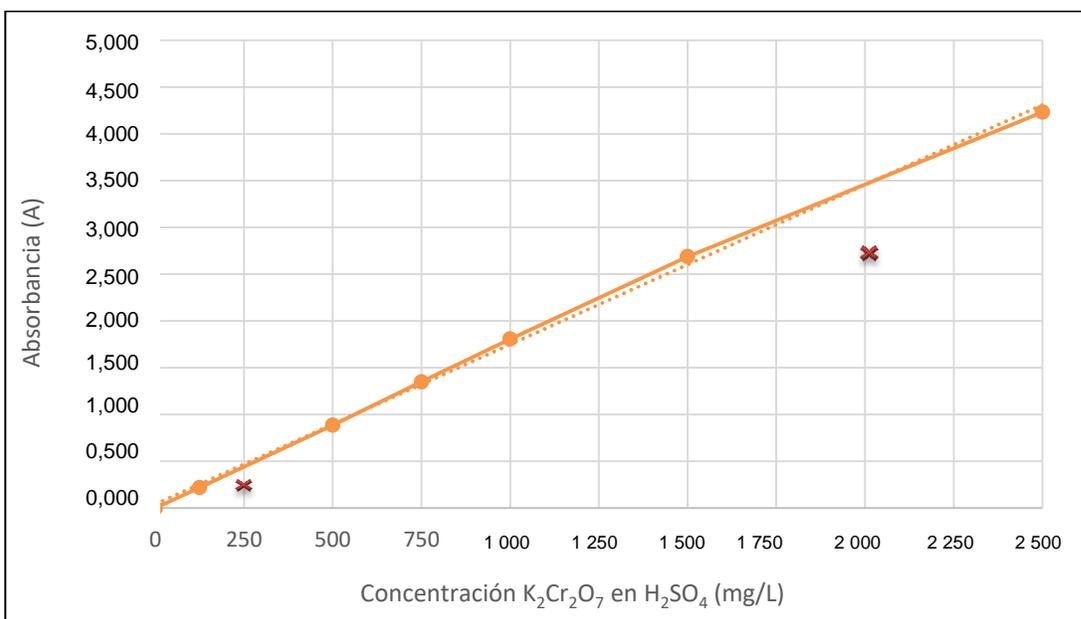
⁴ Concentraciones menores a la concentración de la solución estándar, según inciso 5.2 de la Norma NTG-41010 h4.

Continuación de la tabla IX.

Incerteza máxima de variable independiente	18 mg/L
Incerteza máxima de variable dependiente	0,001 A
Incertidumbre de la pendiente	8,3858743E-06

Fuente: elaboración propia, con base en la figura 11.

Figura 12. **Absorbancia⁵ para diferentes concentraciones menores de la solución estándar, para el desarrollo de color estable en función de un tiempo de lectura de 90 minutos y a una longitud de onda de 420 nm**



Fuente: elaboración propia, empleando el software VISIONlite Quant.

⁵ Utilizando el espectrofotómetro Genesys 10S UV-VIS y el método lineal a través del cero del software VISIONlite.

Tabla X. **Evaluación de la incertidumbre en la determinación de la absorbancia para la calibración del método, en función del rango de concentraciones seleccionadas⁶**

Ecuación lineal	$A = 1,732985E-03 C$
Rango de linealidad	0 – 2 500 mg/L
Coefficiente de correlación	0,99901
Error residual	0,0660
Incerteza máxima de variable independiente	18 mg/L
Incerteza máxima de variable dependiente	0,001 A
Incertidumbre de la pendiente	2,051049E-05

Fuente: elaboración propia, con base en la figura 12.

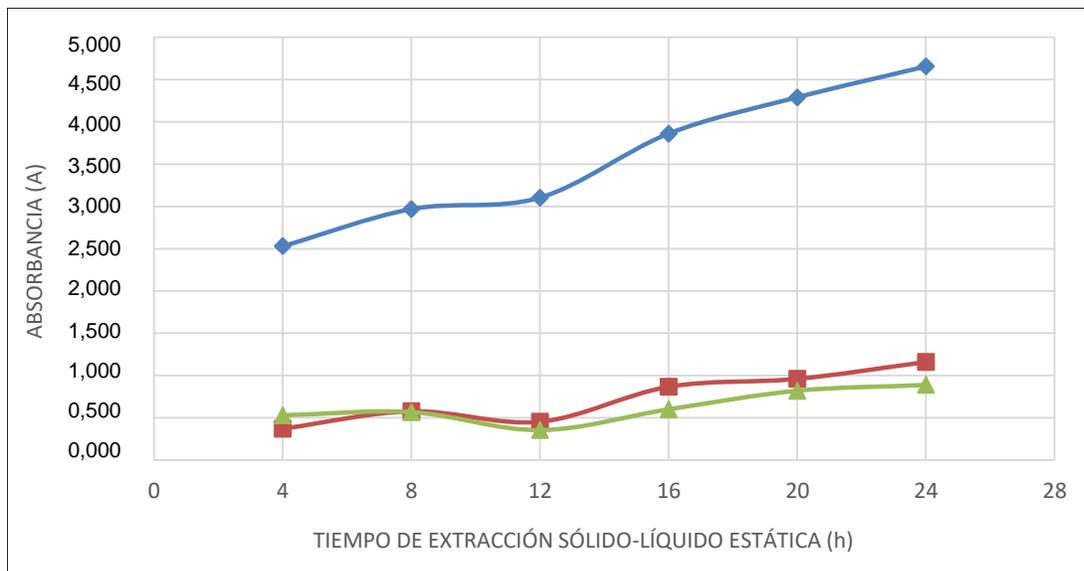
4.2. Evaluación del desarrollo del color estable de los ácidos fúlvicos mediante soluciones extractoras alcalinas⁷ en muestras de agregado fino con base en el tiempo de extracción de la materia orgánica

Se presentan los resultados de la extracción de los ácidos fúlvicos en el agregado fino con una solución alcalina, mediante cuatro métodos extractores para la determinación del tiempo óptimo de extracción.

⁶ Concentraciones menores a la concentración de la solución estándar, según inciso 5.2 de la Norma NTG-41010 h4.

⁷ NaOH grado reactivo al 3 % (p/p) según inciso 5.1 de la Norma NTG-41010 h4.

Figura 13. **Comportamiento de la absorbancia a la longitud de onda seleccionada de 420 nm de soluciones alcalinas de extracción de tres muestras de agregado fino, en función del tiempo de extracción estática⁸**



Fuente: elaboración propia, con base en el apéndice 15.

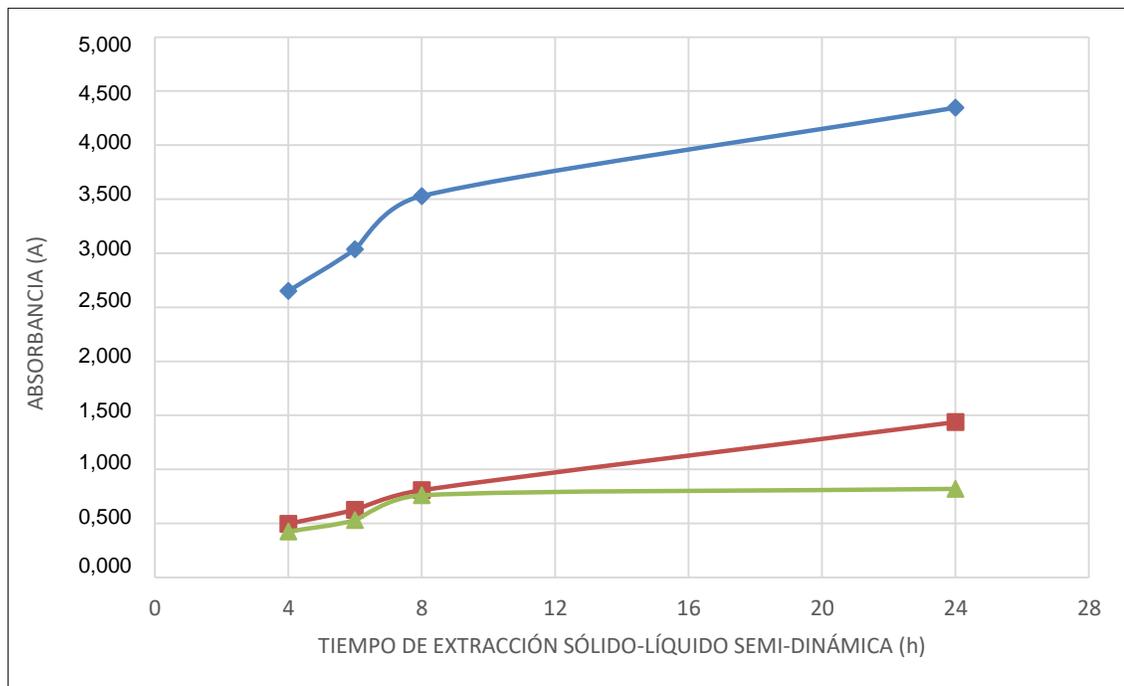
Tabla XI. **Descripción de la figura 13**

Color	Muestra	Tiempo óptimo de extracción (h)
Blue	Río Michatoya, Amatlán, Escuintla	24
Red	Río Cahabón, San Pedro Carchá, Alta Verapaz	24
Green	Río Samalá, Retalhuleu	24

Fuente: elaboración propia, con base en la figura 13.

⁸ Tiempo máximo de extracción, según inciso 8.3 de la Norma NTG-41010 h4: 24 horas.

Figura 14. **Comportamiento de la absorbancia a la longitud de onda seleccionada de 420 nm de soluciones alcalinas de extracción de tres muestras de agregado fino, en función del tiempo de extracción por percolación⁹**



Fuente: elaboración propia, con base en el apéndice 16.

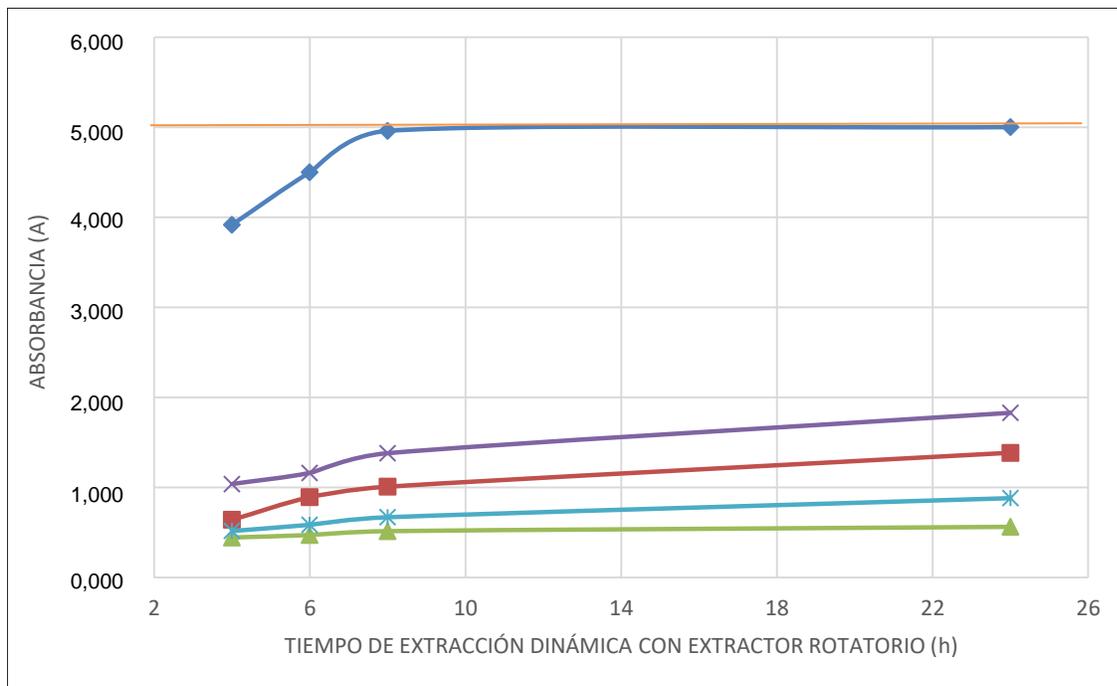
Tabla XII. **Descripción de la figura 14**

Color	Muestra	Tiempo óptimo de extracción (h)
Blue	Río Michatoya, Amatlán, Escuintla	24
Red	Río Cahabón, San Pedro Carchá, Alta Verapaz	24
Green	Río Samalá, Retalhuleu	24

Fuente: elaboración propia, con base en la figura 14.

⁹ Rotador multipropósitos a 160 rpm y 20 °C, rango máximo de tiempo 4 horas.

Figura 15. **Comportamiento de la absorbancia a la longitud de onda seleccionada de 420 nm de soluciones alcalinas de extracción de cinco muestras de agregado fino, en función del tiempo de extracción dinámica (1)¹⁰**



Fuente: elaboración propia, con base en el apéndice 17.

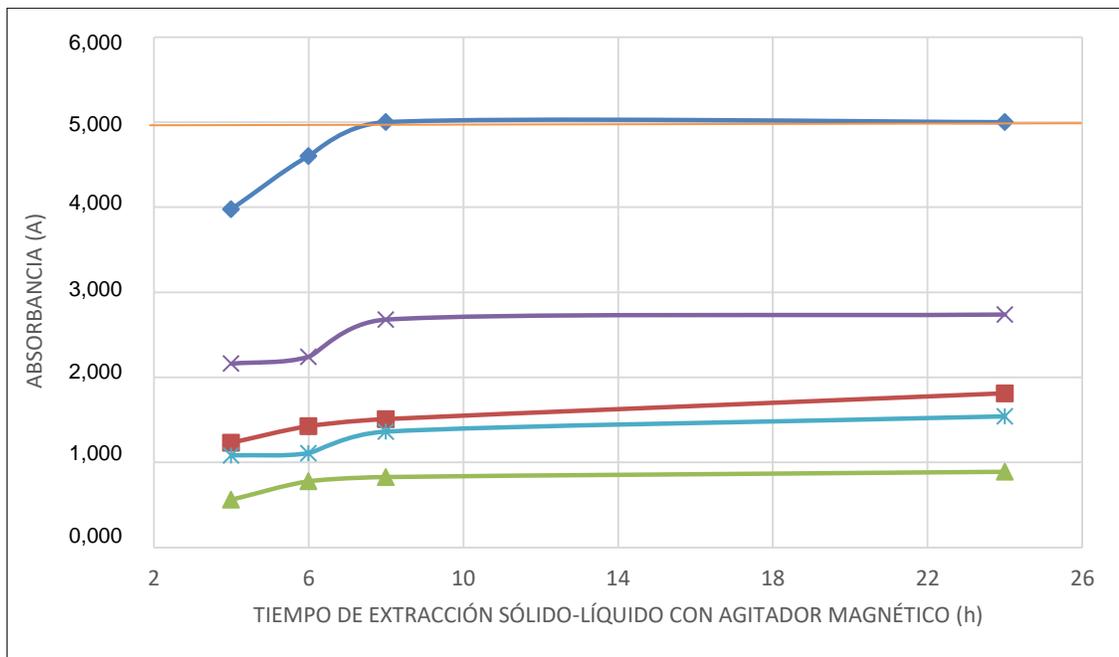
Tabla XIII. **Descripción de la figura 15**

Color	Muestra	Tiempo óptimo de extracción (h)
Blue	Río Michatoya, Amatitlán, Escuintla	8
Red	Río Cahabón, San Pedro Carchá, Alta Verapaz	24
Green	Río Samalá, Retalhuleu	8
Purple	Ferretería El Arenal, Ciudad de Guatemala	24
Cyan	Río Platanitos, Villa Canales, Guatemala	24

Fuente: elaboración propia, con base en la figura 15.

¹⁰ Extractor rotatorio utilizado a 8,5 rpm y 20 °C, rango máximo de tiempo 8 horas.

Figura 16. **Comportamiento de la absorbancia a la longitud de onda seleccionada de 420 nm de soluciones alcalinas de extracción de cinco muestras de agregado fino, en función del tiempo de extracción dinámica (2)¹¹**



Fuente: elaboración propia, con base en el apéndice 18.

Tabla XIV. **Descripción de la figura 16**

Color	Muestra	Tiempo óptimo de extracción (h)
Blue	Río Michatoya, Amatitlán, Escuintla	8
Red	Río Cahabón, San Pedro Carchá, Alta Verapaz	24
Green	Río Samalá, Retalhuleu	8
Purple	Ferretería El Arenal, Ciudad de Guatemala	8
Cyan	Río Platanitos, Villa Canales, Guatemala	24

Fuente: elaboración propia, con base en la figura 10.

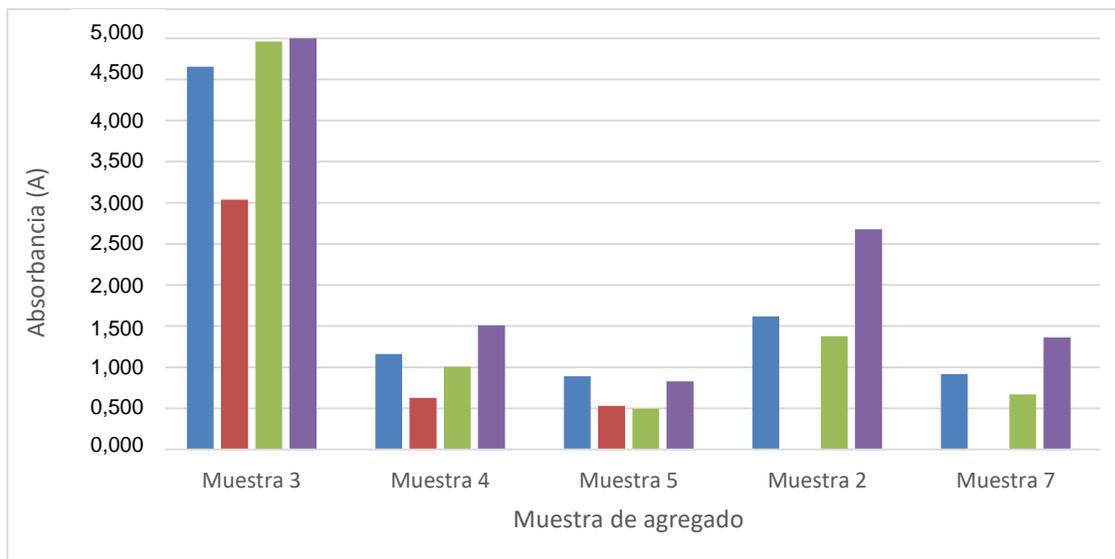
¹¹ Agitador magnético de cm utilizado con una velocidad de agitación de 700 rpm, en un Erlenmeyer de 250 ml y una proporción extractora a cantidad de agregado 1:1 y 20 °C, rango máximo de tiempo 8 horas.

Tabla XV. **Lecturas de absorbancia para cinco muestras de agregado fino utilizando cuatro diferentes operaciones de extracción sólido-líquido**

ID	Tipo de extracción sólido-líquido (Horas de extracción)	Lectura de absorbancia (A) a 420 nm ¹²				
		Muestras de agregado fino				
		M2	M3	M4	M5	M7
	Estática (24 horas)	1,619	4,653	1,160	0,889	0,919
	Percolación (8 horas)	-	3,038	0,626	0,531	-
	Dinámica con rotador (8 horas)	1,379	4,959	1,008	0,497	0,668
	Dinámica con agitador (8 horas)	2,679	> 5	1,509	0,828	1,362

Fuente: elaboración propia, con base en las figuras 13, 14, 15 y 16.

Figura 17. **Comparación de la absorbancia según el tiempo de desarrollo de color estable ($\lambda = 420 \text{ nm}$), para extractos alcalinos de cinco muestras de agregado fino en función de cuatro operaciones de extracción sólido-líquido**



Fuente: elaboración propia, con base en la tabla XV.

¹² Temperatura de 20 °C.

4.3. Comparación de las técnicas de evaluación cualitativa de la Norma ASTM C 40-04 y la técnica colorimétrica propuesta

Se presentan los resultados de las técnicas cualitativas y cuantitativas, haciendo una comparación de los métodos.

Tabla XVI. **Resultados de la evaluación cualitativa de materia orgánica en siete muestras de agregados finos para concreto en base al inciso 10.1, Norma Coguanor NTG-41010 h4 ¹³**

M	Muestra de agregado fino	Resultados cualitativos		
		Comparación de color con la solución estándar	Núm. placa orgánica	Interpretación según inciso 10.1
1	Agreca, Palín, Escuintla	Incoloro	Ninguno	Aceptable
2	Ferretería El Arenal, Ciudad de Guatemala, Guatemala	Igual	3	Aceptable
3	Río Michatoya, Amatitlán, Escuintla	Más oscuro	5	Posiblemente contiene materia orgánica perjudicial
4	Río Cahabón, San Pedro Carchá, Alta Verapaz	Igual	3	Aceptable
5	Río Samalá, San Felipe, Retalhuleu	Más claro	2	Aceptable
6	Río Samalá, Cantel, Quetzaltenango	Más oscuro	4	Posiblemente contiene materia orgánica perjudicial
7	Río Platanitos, Villa Nueva y Petapa, Guatemala	Más claro	2	Aceptable

Fuente: elaboración propia, con base en el apéndice 13.

¹³ Tiempo de extracción estática sólido-líquido: 24 horas.

Tabla XVII. **Resultados de la evaluación cuantitativa de concentración equivalente de materia orgánica en siete muestras de agregados finos para concreto con base en el inciso 10.1, Norma Coguanor NTG-41010 h4¹⁴**

M	Muestra de agregado fino	Resultados cuantitativos Concentración equivalente. ¹⁵ g/100 mL		Criterio de aceptación: [] < 0.250 g/100 mL
		Método "Lineal a través del cero" ¹⁶	Método "Entrada de factor"	
1	Agreca, Palín, Escuintla	0,005	0,005	Aceptable
2	Ferretería El Arenal, Ciudad de Guatemala, Guatemala	0,093	0,092	Aceptable
3	Río Michatoya, Amatitlán, Escuintla	0,288	0,285	Potencialmente perjudicial
4	Río Cahabón, San Pedro Carchá, Alta Verapaz	0,071	0,070	Aceptable
5	Río Samalá, San Felipe, Retalhuleu	0,050	0,049	Aceptable
6	Río Samalá, Cantel, Quetzaltenango	0,275	0,272	Potencialmente perjudicial
7	Río Platanitos, Villa Nueva y Petapa, Guatemala	0,053	0,052	Aceptable

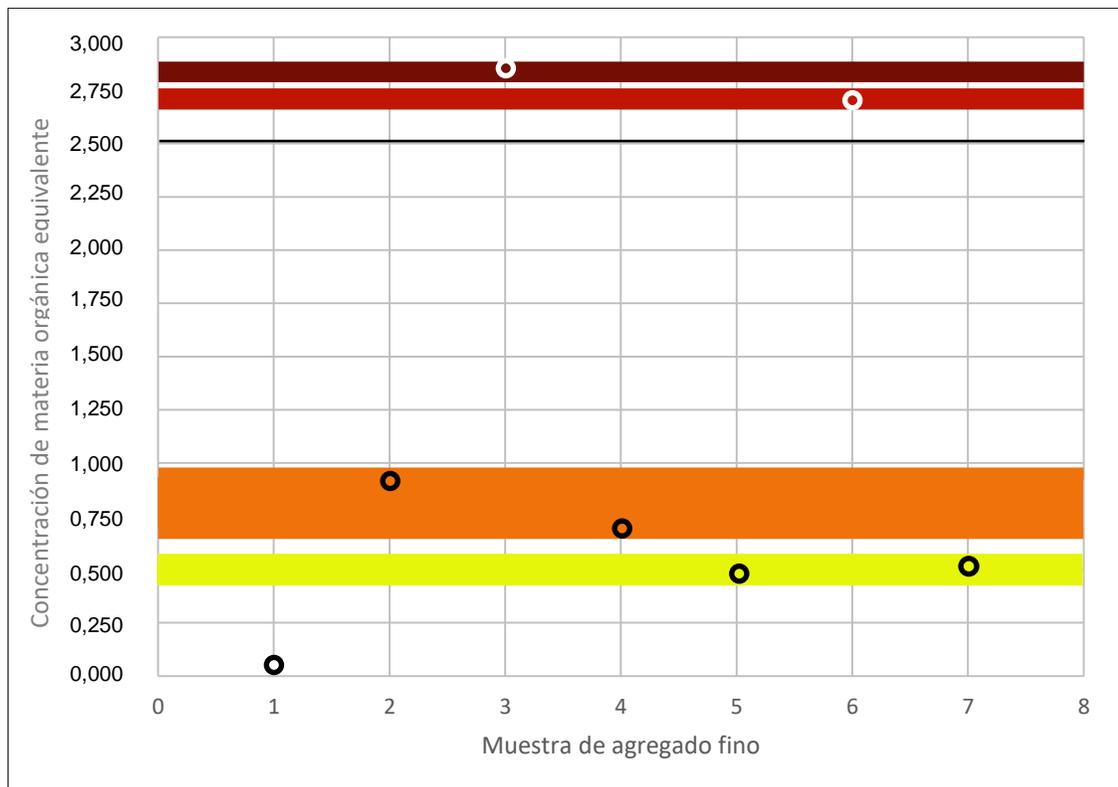
Fuente: elaboración propia, con base en el apéndice 14.

¹⁴ Tiempo de extracción sólido-líquido estática: 24 horas.

¹⁵ Concentración de referencia: 0,250 g/100 ml de K₂Cr₂O₇/H₂SO₄.

¹⁶ Curva generada con el software VISIONlite.

Figura 18. **Concentración de materia orgánica equivalente¹⁷, con base en las muestras analizadas de diferentes bancos de arena en Guatemala, utilizando el método colorimétrico alternativo¹⁸**



Fuente: elaboración propia, con base en las tablas XVI y XVII.

¹⁷ Materia orgánica equivalente a dicromato de potasio en ácido sulfúrico.

¹⁸ Espectrofotómetro Genesys 10S UV-VIS.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

La técnica colorimétrica puede emplearse alternativamente para la determinación cuantitativa de materia orgánica en agregados finos para concreto en sustitución del método propuesto según la Norma Coguanor NTG-41010 h4 (ASTM C40), mediante un procedimiento analítico espectrofotométrico, técnica instrumental perteneciente a los métodos que utilizan la energía radiante.

Con base en el objetivo general, se diseñó un procedimiento cuantitativo de medición de la absorbancia en función de la concentración mediante una serie de diluciones de la solución de color estándar de concentración 0,250 g $K_2Cr_2O_7$ en 100 ml de H_2SO_4 . Esta solución es preparada bajo indicación del inciso 5.2 de la Norma Coguanor NTG-41010 h4. El instrumento de medición de la absorbancia utilizado fue un espectrofotómetro Genesys 10S UV-VIS de la marca Thermo Scientific y el programa computacional utilizado para el procesamiento de datos fue VISIONlite (ver apéndice 3).

Dicho programa computacional permite generar la curva de sensibilidad óptima de absorbancia, seleccionada del barrido de absorbancia en función de la longitud de onda en el rango visible de 400 – 700 nm. El mejor rango de resolución de absorbancia máxima estuvo comprendido entre 400 y 430 nm (ver apéndice 6). La curva de sensibilidad obtenida permitió identificar la máxima absorbancia dentro de dicho rango a una longitud de 420 nm, la cual se muestra en la figura 8.

Las distintas series colorimétricas mostradas en la figura 8 representan el tiempo de desarrollo de color, comprendido entre 15 a 180 minutos (ver apéndice 5). Así se pudo evaluar la absorbancia máxima de la solución estándar en función del tiempo de desarrollo de color óptimo. Este procedimiento se realizó con el objetivo de establecer el período de estabilidad del color de la solución estándar, en vista que en el inciso 9.1 de la norma NTG-41010 h4 se indica que la solución estándar utilizada para la comparación visual no debe haber sido preparada con más de dos horas previas a la evaluación cualitativa de color.

Simultáneamente, se monitorearon las absorbancias para el rango de tiempo de desarrollo de color óptimo y se logró establecer que la lectura máxima de absorbancia se dio para el tiempo de desarrollo de color estable de 90 minutos, la cual se puede observar en la figura 9. Por lo tanto, se estableció así un período de tiempo para la lectura de las soluciones entre 45 a 135 minutos desde que se inicia su preparación.

La tendencia parabólica observada en la figura 9 se interpreta con base en el equilibrio de disociación entre el conjugado básico aprótico (ion cromato) y la especie libre, el ácido diprótico (ácido crómico). Debido a la acidez elevada, la especie prevaleciente es la especie libre, que establece un equilibrio de las dos formas químicas del ion Cr^{+6} entre el ion dicromato ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{-2}$) y el ácido crómico (H_2CrO_4). Al alcanzarse el equilibrio favorable al ion dicromato se obtiene el valor de absorbancia máxima, dado a los 90 minutos de la preparación de la solución, como puede ser interpretada en la tabla y figura respectiva del apéndice 7.

Para el alcance del objetivo general de evaluar un método alternativo espectrofotométrico, se realizó una serie de lecturas de absorbancia a un grupo de soluciones diluidas decrecientemente de la solución de color estándar. Para ello se utilizó un espectrofotómetro Genesys 10S UV-VIS, enlazado a una computadora HP con tres programas computacionales auxiliares para el análisis de los datos generados: VISIONlite, Microsoft Excel 2013 y QtiPlot V.0.9.8.3 (ver apéndices 8 y 9).

El programa computacional VISIONlite provee ocho funciones de procesamiento para la correlación de los resultados de absorbancia medidos por el espectrofotómetro Genesys 10S UV-VIS. De manera que se seleccionó, en función de la respuesta lineal para esta investigación, la función denominada “Entrada de factor”, la cual se basa específicamente en la ley Lambert-Beer y requiere únicamente el valor de un factor de proporcionalidad. Además, se utilizó otra función denominada “Lineal a través del cero”, con la cual, después de medir la absorbancia de todas las soluciones estándar e inclusive el blanco (ácido sulfúrico concentrado), el programa VISIONlite realiza las operaciones matemáticas de regresión lineal de mínimos cuadrados y reporta la función lineal de calibración resultante, como se observa en la figura 11.

La figura 10 muestra la tendencia de los valores de absorbancia determinados por el equipo Genesys 10S UV-VIS en función de la concentración. La correlación de mínimos cuadrados se procesó utilizando el programa QtiPlot, el cual es un programa informático multiplataforma para la representación gráfica interactiva científica y el análisis de datos. La característica especial del programa VISIONlite al utilizar la opción denominada “Entrada de factor” requiere únicamente el valor del factor de calibración, representado por la relación $\text{concentración}_{\text{estándar}}/\text{absorbancia}_{\text{estándar}}$. Es así que la pendiente de la ecuación lineal obtenida mediante la interpolación gráfica de

los datos de absorbancia de los estándares cumple la proporcionalidad que establece la ley de Lambert-Beer. La pendiente de la ecuación lineal obtenida concentración en función de la absorbancia establece un valor de $m = 570,46 \text{ mg}/(\text{L}\cdot\text{A})$. La tabla IX presenta las especificaciones de la curva, reportando el programa QtiPlot un error residual de 0,0080 y coeficiente de correlación lineal de 0,99956.

La figura 11 representa la tendencia absorbancia – concentración calculada utilizando el programa VISIONlite mediante la función denominada “Lineal a través del cero”. Este programa requiere los datos de medición de absorbancia de un set de soluciones de concentración conocida a la longitud de onda de 420 nm. De igual manera, mediante un algoritmo de regresión lineal de mínimos cuadrados, dicho programa adapta los datos a una función lineal con intersección en el cero (considerando la lectura del blanco). El programa VISIONlite rechaza dos lecturas de absorbancia correspondientes a las concentraciones de 250 y 2 000 mg/L, representadas en la Figura 7 con una equis roja. Debido a que en el programa VISIONlite la resolución no es lo suficientemente sensible para diferenciar a concentraciones muy bajas o muy altas, el rango confiable para utilizar la ecuación lineal sería de 500 a 1 500 mg/L de solución estándar diluida de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ en H_2SO_4 .

La evaluación del método alternativo colorimétrico se llevó a cabo utilizando siete muestras de arena de río obtenida de diferentes bancos de arena en ríos del país, cuya descripción y origen se presentan en el apéndice 8. Estas muestras fueron tamizadas a un tamaño de partícula menor de 2,3 mm, que corresponde a la partícula que pasa en el tamiz núm. 8, según nomenclatura ASTM E-11, para seleccionar el tamaño de partícula correspondiente a un agregado fino.

Para llevar a cabo la evaluación se utilizaron cuatro métodos de extracción sólido-líquido, denominados así extracción estática, extracción por percolación con una plataforma agitadora, extracción dinámica con un agitador rotatorio y extracción dinámica con un agitador magnético; descritas en el apéndice 19. Estas variaciones se seleccionaron con el objetivo de obtener un tiempo óptimo de extracción menor que el referido en el inciso 8 de la Norma NTG-41010 h4.

En la figura 12 se observa el comportamiento para el desarrollo del color estable de las soluciones alcalinas mediante extracción estática de la materia orgánica contenida en tres muestras de agregado fino identificadas como M3, M4 y M5, en función del tiempo de extracción que indica el procedimiento del inciso 8 la Norma Coguanor.

En la figura 13 se observa el comportamiento para el desarrollo del color estable de las soluciones alcalinas mediante extracción por percolación de la materia orgánica para las mismas muestras. En este caso, el tiempo utilizado para la extracción fue de 4 horas. Los resultados también se midieron dejando las muestras 4 horas más en extracción estática, observándose que el total de 8 horas de extracción combinado no es suficiente para alcanzar la absorbancia máxima, según el procedimiento del inciso 8 de la Norma Coguanor.

Las figuras 14 y 15 representan el desarrollo del color estable de las soluciones alcalinas mediante extracción dinámica de la materia orgánica para las mismas muestras y dos muestras adicionales identificadas como M2 y M7. Este procedimiento con los dos equipos de agitación dinámica mostró un aumento en el valor de la absorbancia comparado a las absorbancias con las técnicas extractivas estática y por percolación. De manera que la extracción más adecuada para reducir el tiempo y obtener la máxima absorbancia para cada muestra se observa en la figura 15. Estos procedimientos extractivos

dinámicos permitieron reducir el tiempo de extracción de la materia orgánica a 8 horas.

La comparación entre las técnicas de extracción sólido-líquido se puede apreciar en la figura 16, la cual permite observar que la extracción dinámica utilizando un agitador magnético por 8 horas es igual de efectiva a la extracción estática por 24 horas recomendada en el inciso 8 de la Norma NTG-41010 h4 (ver tabla XV). La interpretación de este resultado se explica debido a que durante la extracción estática la difusión de las partículas de materia orgánica adsorbidas en el agregado fino y que son extraídas con la solución alcalina no es lo suficientemente rápida para alcanzar un valor óptimo en menos de 24 horas. Se debe mencionar que el área de transferencia de masa a la solución alcalina corresponde al diámetro de los recipientes utilizados (6,35 cm) en donde se realiza la extracción. Es por ello que al realizar la extracción mediante rotación del envase o mediante agitación y mezcla de la solución alcalina-arena de río utilizando un agitador magnético de 2,5 cm, se mejora la transferencia de masa orgánica, debido a que ambas fases están en movimiento.

Finalmente, se presentan los resultados de las evaluaciones cualitativa y cuantitativa, con el procedimiento indicado en el inciso 9 de la Norma Coguanor y el método alternativo propuesto en las tablas XVI y XVII, respectivamente (ver apéndice 13). El inciso 10 de la Norma indica textualmente “Cuando una muestra sometida a este procedimiento da un color más oscuro que el color de la solución estándar o la placa orgánica núm. 3 (estándar de color Gardner núm. 11) debe considerarse que el agregado fino bajo ensayo posiblemente contiene suficiente materia orgánica perjudicial”. Por lo tanto, la comparación de colores bajo inspección ocular sería el indicador de la posible presencia de materia orgánica perjudicial, limitada a las capacidades de percepción visual del color observado por el analista.

El método alternativo propuesto tiene mejorada la sensibilidad hasta valores superiores a la concentración del estándar de 0,250 g/100 mL de $K_2Cr_2O_7$ en H_2SO_4 , los cuales se calcularon con las curvas generadas en el espectrofotómetro Genesys 10S UV-VIS y procesadas las ecuaciones de regresión lineal utilizando los programas computacionales respectivos.

De las siete muestras evaluadas con el método alternativo colorimétrico y el método normalizado Coguanor, se logra establecer diferenciaciones por la medida de materia orgánica en medio alcalino equivalente a concentraciones de dicromato de potasio en medio ácido, con igual absorbancia. De esta manera, las muestras identificadas M3 y M6 superaron el valor absorbancia de la solución estándar según la Norma Coguanor. La absorbancia de las muestras identificadas M2 y M4 se ubicó muy cercana al valor equivalente de absorbancia de la solución estándar según la Norma Coguanor. Finalmente, las muestras M1, M5 y M7 resultaron con concentraciones menores a la concentración estándar según la Norma Coguanor.

La comparación con el método colorimétrico propuesto y el método normado puede visualizarse de una manera combinada como se muestra en la figura 17, en la que se representan las zonas equivalentes de muestras con el color de la placa orgánica equivalente. De manera que se observan resultados cuantificados de concentración de materia orgánica equivalentes a las concentraciones de dicromato de potasio en ácido sulfúrico.

Se observa en la figura 17 que la zona comprendida entre la línea negra que define la concentración límite aceptable de solución estándar no coincide con la concentración menor determinada para las soluciones de materia orgánica en medio alcalino, la cual equivale a un rango de 0,071 y 0,093 gramos de dicromato de potasio en 100 ml de ácido sulfúrico. De igual manera,

las muestras M5 y M7 con el método alternativo desarrollaban un color equivalente a concentraciones entre un rango de 0,050 y 0,053 g $K_2Cr_2O_7$ en 100 mL de H_2SO_4 , lo que se interpreta como un contenido muy bajo en materia orgánica.

En relación a las muestras M3 y M6, que generaron un color superior al de la solución estándar de dicromato de potasio según la Norma Coguanor, estos colores se sitúan arriba de la línea de referencia de 0,250 g $K_2Cr_2O_7$ en 100 mL de H_2SO_4 , lo que muestra la adecuada resolución que tiene el método alternativo colorimétrico.

De manera que los anteriores resultados discutidos ratifican la pertinencia de utilizar un método alternativo colorimétrico medido con un espectrofotómetro como el Genesys 10S UV-VIS y que permite determinar la materia orgánica para diagnosticar de manera presuntiva perjudicial o no.

Además, se ratifica la posibilidad de mejorar el procedimiento extractivo en forma más eficiente, reduciéndose el tiempo de extracción sólido-líquido de la materia orgánica. Inclusive, el método alternativo permitió el utilizar cantidades medidas de agregado fino y volúmenes de solución alcalina, en proporción 1:1,5 (peso:volumen), con lo que se mejora la exactitud del contenido de materia orgánica en los agregados finos de “arena de río”.

CONCLUSIONES

1. Fue posible desarrollar una técnica colorimétrica alternativa para la determinación cuantitativa de materia orgánica en agregados finos para concreto, con base en la Norma Coguanor NTG-41010 h4 (ASTM C40-04), presentada en el inciso 3.6.1 del diseño metodológico.
2. La longitud de onda seleccionada mediante un barrido de absorbancia para una solución de $K_2Cr_2O_7$ en H_2SO_4 , según el inciso 5.2 de la Norma Coguanor NTG-41010 h4 fue de 420 nm, para un rango de tiempo de desarrollo de color estable entre 45 y 135 minutos.
3. La ecuación lineal para la detección espectrofotométrica de la cantidad de materia orgánica en agregados finos desarrollada experimentalmente fue $A(A) = 1,733 \times 10^{-03} \times C \left(\frac{mg_{M.O.}}{L} \right)$ con una incertidumbre en la pendiente de $\pm 2,05 \times 10^{-05} \left(\frac{A \cdot L}{mg_{M.O.}} \right)$ y un coeficiente de correlación R^2 de 0,99956.
4. La reducción del tiempo óptimo de extracción de materia orgánica en una muestra de agregado fino con solución alcalina de NaOH se logró mediante extracción dinámica para un tiempo efectivo de 8 horas.
5. Fue efectiva la técnica colorimétrica alternativa desarrollada en la determinación cuantitativa de materia orgánica en seis muestras de agregado fino de bancos de arena de diferentes ríos de Guatemala.

6. La robustez de la técnica colorimétrica alternativa en la determinación cuantitativa de materia orgánica fue efectiva con base en la sensibilidad del método para valores de materia orgánica mayores de 0,250 g de $K_2Cr_2O_7$ en 100 mL de H_2SO_4 equivalentes y valores menores a dicha concentración de referencia.

RECOMENDACIONES

1. Continuar la mejora de la técnica de extracción dinámica para la implementación del ensayo de materia orgánica en agregados finos en tiempos menores a 8 horas en el LAFIQ-CII-USAC.
2. Implementar la curva generada para la determinación de materia orgánica en agregados finos con la opción de “Entrada de factor” del software VISIONlite, debido a que su coeficiente de correlación es mayor y, por tanto, el error residual es menor.
3. Realizar la validación del procedimiento alternativo para la determinación de materia orgánica en agregados finos y lograr su implementación como método acreditable en el LAFIQ-CII-USAC, según el inciso 5.4.5 de la Norma ISO 17025.
4. Continuar la evaluación de materia orgánica en agregados finos con la técnica colorimétrica alternativa en otros bancos de arena provenientes de ríos de Guatemala, tanto para fines de su uso como agregado fino o bien como evaluación del impacto ambiental por la presencia de materia orgánica en estos.
5. Implementar el método colorimétrico alternativo como una práctica de laboratorio en el curso de Análisis Instrumental (código 366) en la unidad II “Espectroscopía de absorción UV-VIS” de la Escuela de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería, según el instructivo proporcionado.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALVAREZ MURALLES, Luis Mariano, *Evaluación de la escoria de ferroníquel como agregado fino para concret*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2009, 113 p.
2. American Society for Testing and Materials, *ASTM C33-03: Standard Specification for Concrete Aggregates*. EE.UU.: ASTM International, 2003. 187 p.
3. _____. *ASTM C40-04: Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete*. EE.UU.: ASTM International, 2004. 267 p.
4. Comisión Guatemalteca de Normas, *Norma Técnica Guatemalteca COGUANOR NTG-41010 h4: Método de ensayo. Determinación de materia orgánica en los agregados finos para concreto*. Guatemala: Coguanor, 2004. 312 p.
5. DOMÈNECH, Xavier. *Química ambiental de sistemas terrestres*. [en línea]. <<http://goo.gl/tPv1Uf>>. [Consulta: octubre de 2014].
6. FASSBENDER, Hans W. *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina*. [en línea] <<http://goo.gl/tPv1Uf>>. [Consulta: octubre de 2014].

7. HARRIS, Daniel C. *Análisis químico cuantitativo*. [en línea] <<http://goo.gl/7jikHL>>. [Consulta: octubre de 2014].
8. LÓPEZ CÓRDOVA, Sergio Iván. *Determinación de las características: físicas, mecánicas, químicas y petrográficas de agregados, extraídos del río Samalá, del municipio de San Sebastián, Retalhuleu y del río San Miguel Panán, del municipio de San Miguel Panán, Suchitepequez, para su uso en la industria del concreto*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2009. 69 p.
9. MONTENEGRO, Julio. *Elementos contaminantes del agregado*. [en línea]. <<http://civilgeeks.com/2011/09/24/elementoscontaminantes-del-agregado/>>. [Consulta: septiembre de 2014].
10. PAYERAS, Antoni. *Ácidos húmicos y ácidos fúlvicos*. [en línea]. <<http://www.bonsaimenorca.com/articulos/articulostecnicos/acidos-humicos-y-acidos-fulvicos/>>. [Consulta: octubre de 2014].

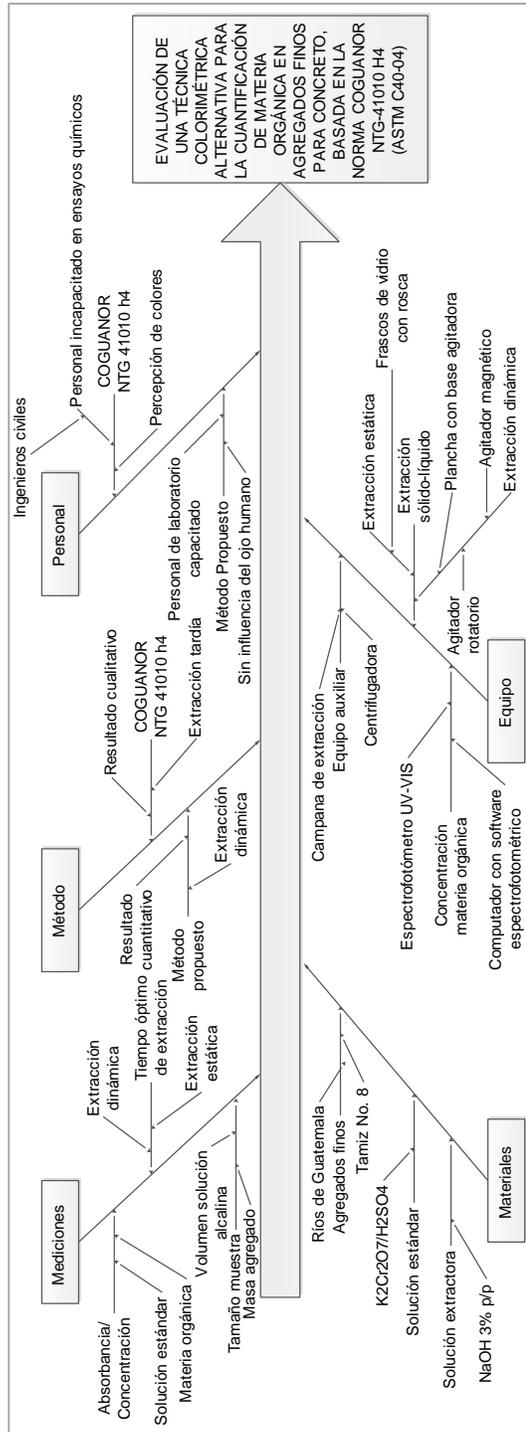
APÉNDICES

Apéndice 1. **Tabla de requerimientos académicos**

Paso 1. Carrera	Paso 2. Área	Paso 3. Tema Genérico	Paso 4. Tema Específico	Paso 5. Especificación	Paso 6. Problemas n	Paso 7 Hipótesis	Paso 8. Temario Tentativo
Licenciatura en Ingeniería Química	Química	Química Inorgánica	Química 3	Estequiometría	Para evaluar la cuantificación de ácidos húmicos y ácidos fúlvicos presentes como materia orgánica perjudicial en agregados finos para concreto se realizarán tratamientos en donde la variable de respuesta será la absorbancia (reportada en concentración equivalente de dicromato de potasio en ácido sulfúrico) de una solución extractora alcalina, la cual se verá afectada en función del tiempo de extracción sólido-líquido aplicado y del origen de las muestras de arena de río que contienen materia orgánica originada por la descomposición de materia vegetal en suelos. Dicha medición se hará a través de un espectrofotómetro GENESYS 10S UV-VIS.	Es posible realizar la medición cuantitativa de materia orgánica en forma de ácidos húmicos y ácidos fúlvicos en relación al color desarrollado por soluciones ácidas de dicromato de potasio mediante una técnica colorimétrica, utilizando un espectrofotómetro GENESYS 10S UV-VIS	EVALUACIÓN DE UNA TÉCNICA COLORIMÉTRICA ALTERNATIVA PARA LA CUANTIFICACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN AGREGADOS FINOS PARA CONCRETO, BASADA EN LA NORMA COGUANOR NTG-41010 h4 (ASTM C40-04)
				Reacciones químicas			
			Química 4	Expresión de concentraciones			
				Reacciones óxido-reducción			
			Análisis Cualitativo	Análisis cualitativos			
		Química orgánica	Análisis Cuantitativo	Medios ácidos-alcalinos			
			Química Orgánica 2	Solubilidad			
				Grupos carboxilos e hidroxilos			
			Bioquímica	Humificación			
				Aminoácidos			
	Análisis Instrumental	Espectrofotometría	Espectros de Absorción				
		Ecología	Materia muerta	Transformación biológica			
			Humus				
	Química Ambiental		Composición química de sustancias húmicas				
	Operaciones Unitarias	Transferencia de masa (IQ4)	Contacto Interfacial Sólido-Líquido	Lixiviación			
				Extracción			
	Ciencias básicas y complementarias	Matemática	Matemática Básica 1	Ecuaciones lineales			
				Estadística			
			Estadística 2				

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Equipo de medición espectrofotométrico Genesys 10S UV-VIS y software VISIONlite de Thermo Scientific**



Fuente: LAFIQ-USAC.

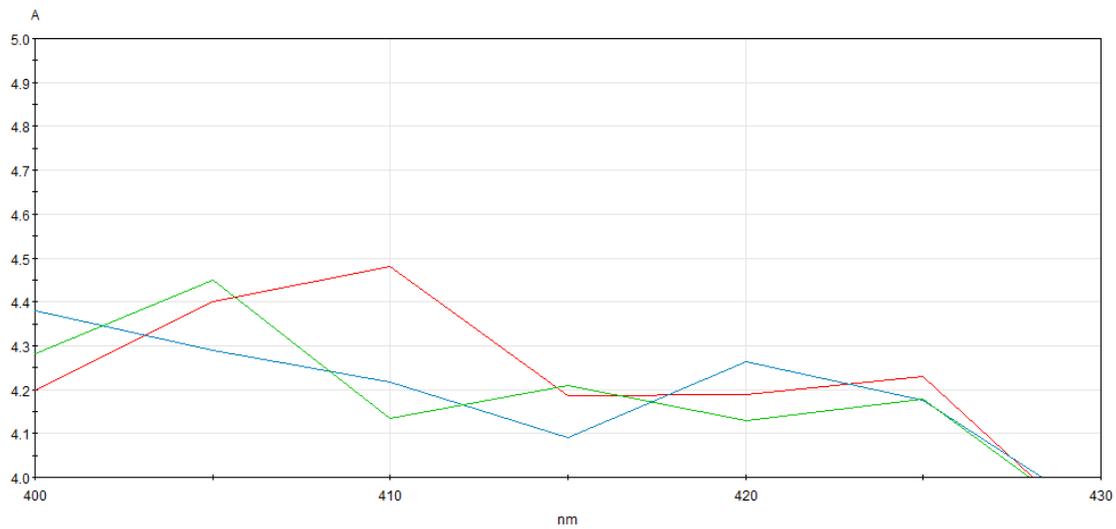
Apéndice 4. **Solución estándar de $K_2Cr_2O_7/H_2SO_4$**



Fuente: LAFIQ-USAC.

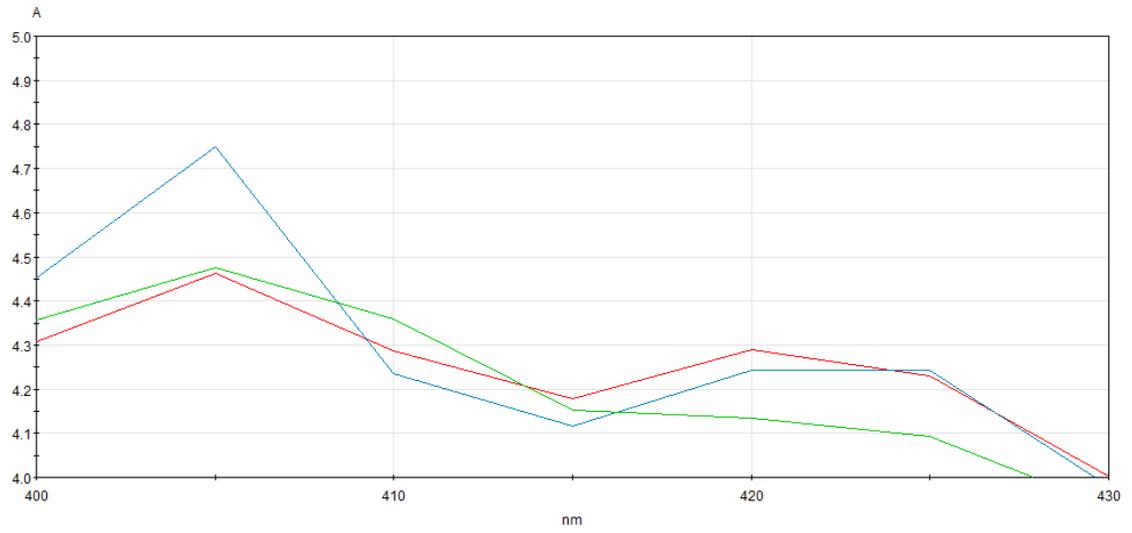
Apéndice 5. **Barridos de longitudes de onda de la solución estándar para un intervalo de desarrollo del color estable de 180 minutos**

- Tiempo de desarrollo de color estable: 15 minutos

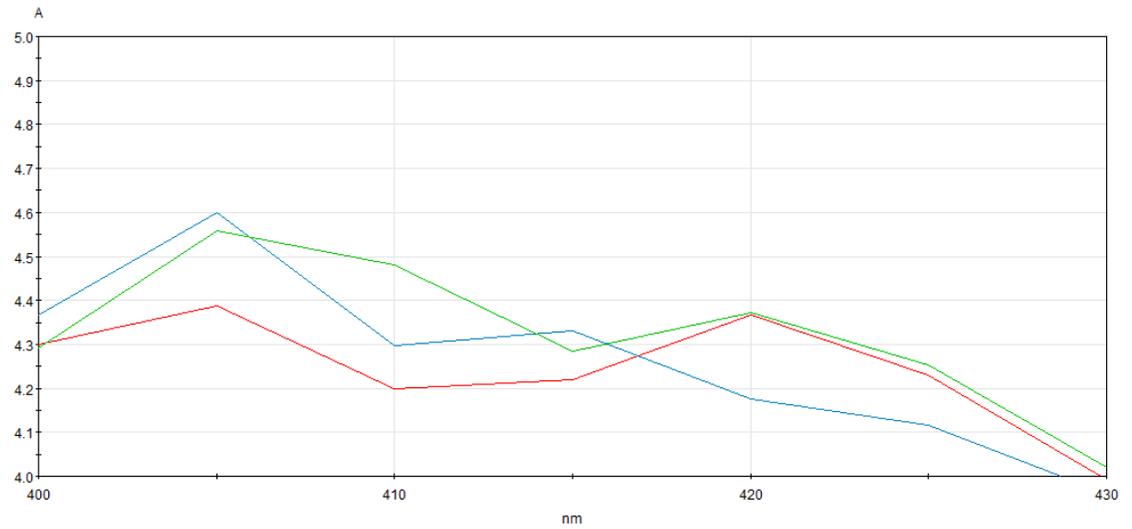


Continuación del apéndice 5.

- Tiempo de desarrollo de color estable: 30 minutos

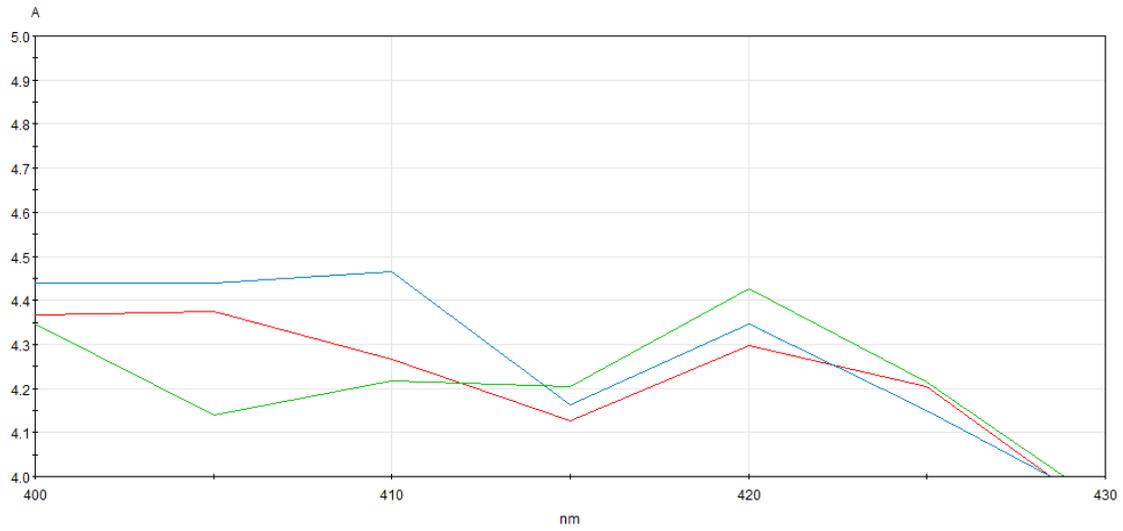


- Tiempo de desarrollo de color estable: 45 minutos

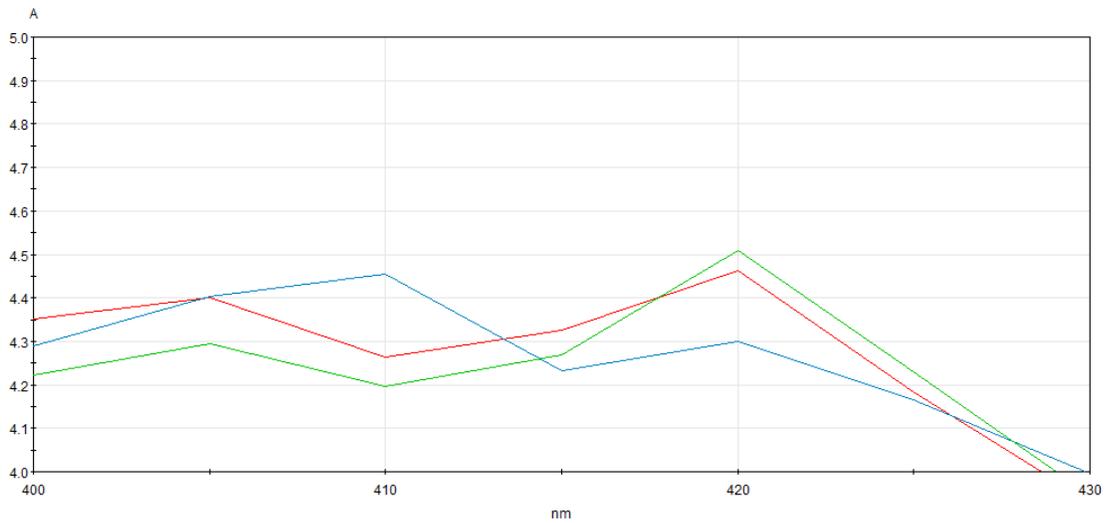


Continuación del apendice 5.

- Tiempo de desarrollo de color estable: 60 minutos

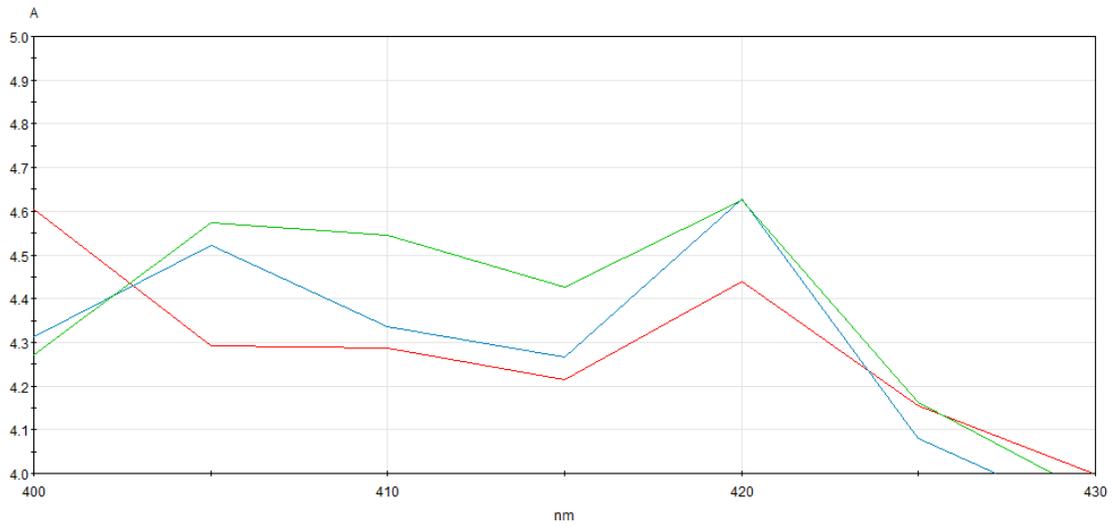


- Tiempo de desarrollo de color estable: 75 minutos

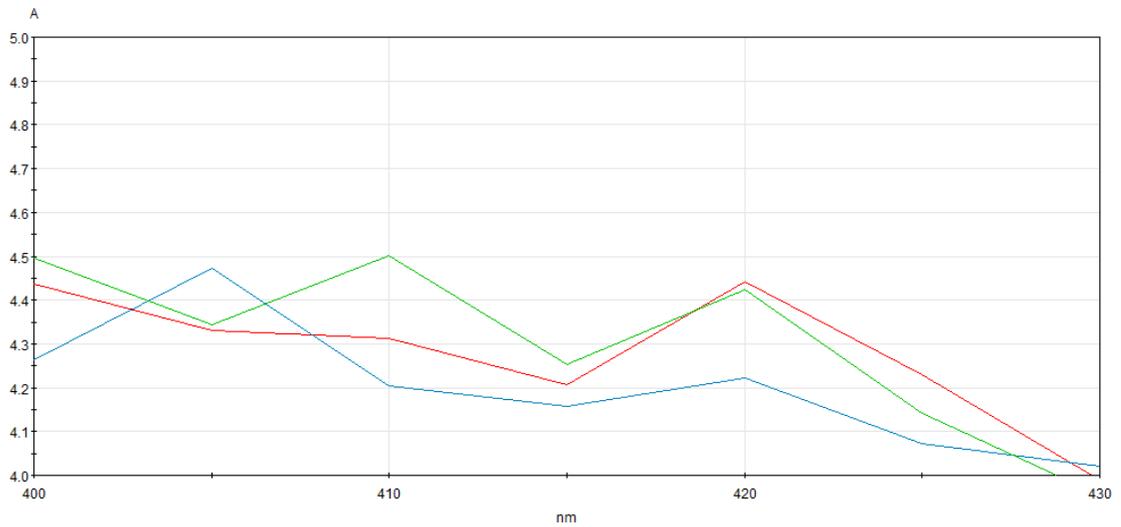


Continuación del apendice 5.

- Tiempo de desarrollo de color estable: 90 minutos

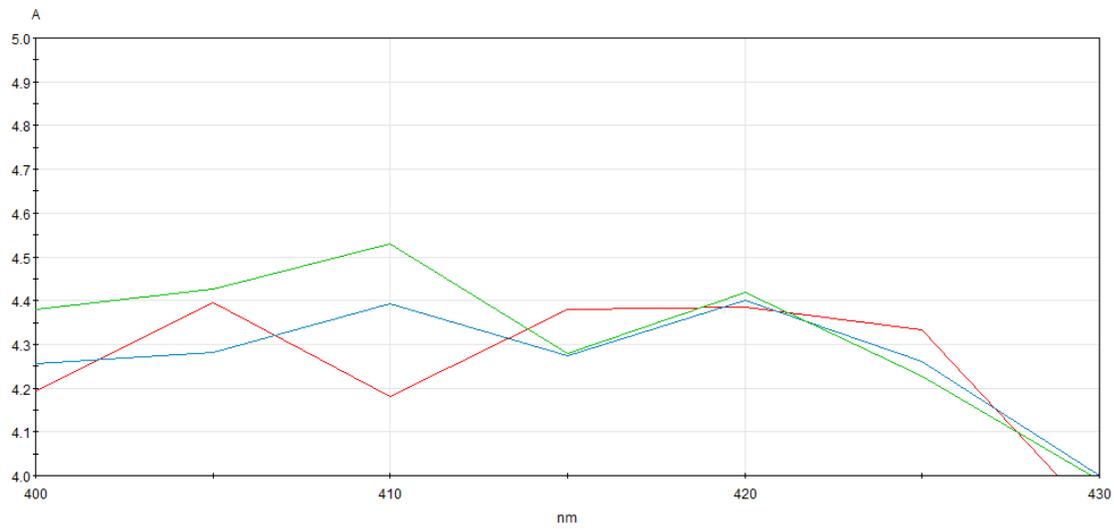


- Tiempo de desarrollo de color estable: 105 minutos

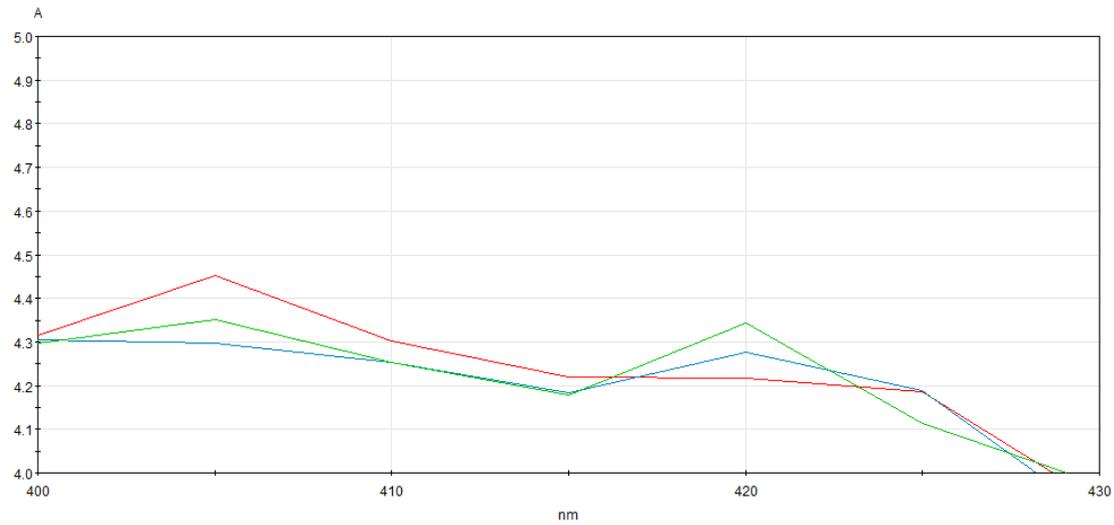


Continuación del apéndice 5.

- Tiempo de desarrollo de color estable: 120 minutos

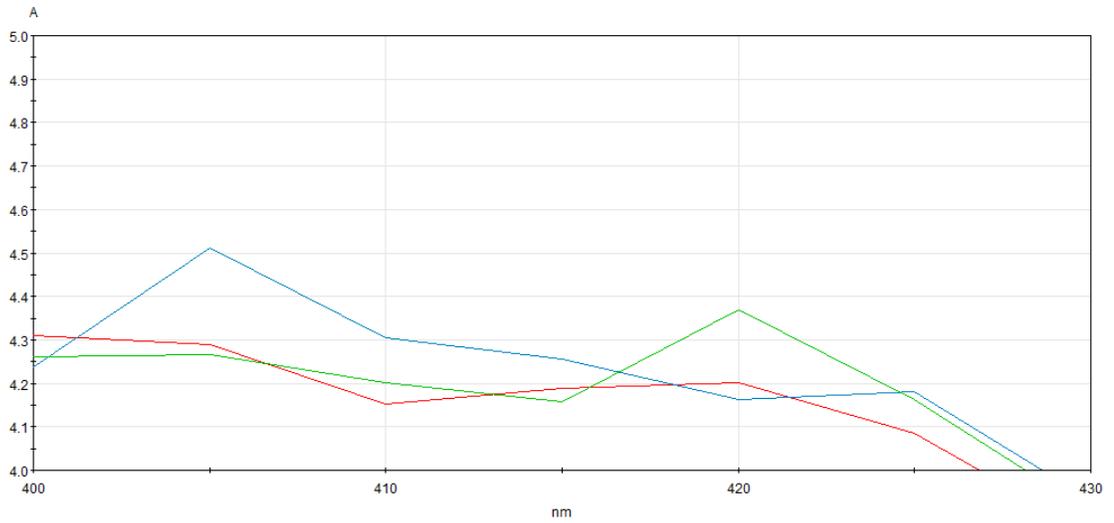


- Tiempo de desarrollo de color estable: 135 minutos

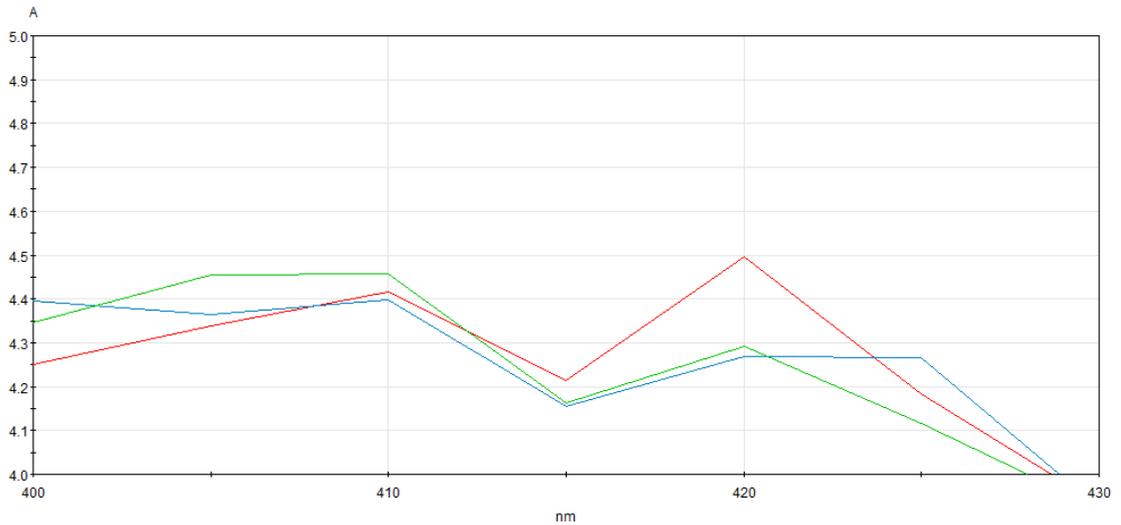


Continuación del apéndice 5.

- Tiempo de desarrollo de color estable: 150 minutos

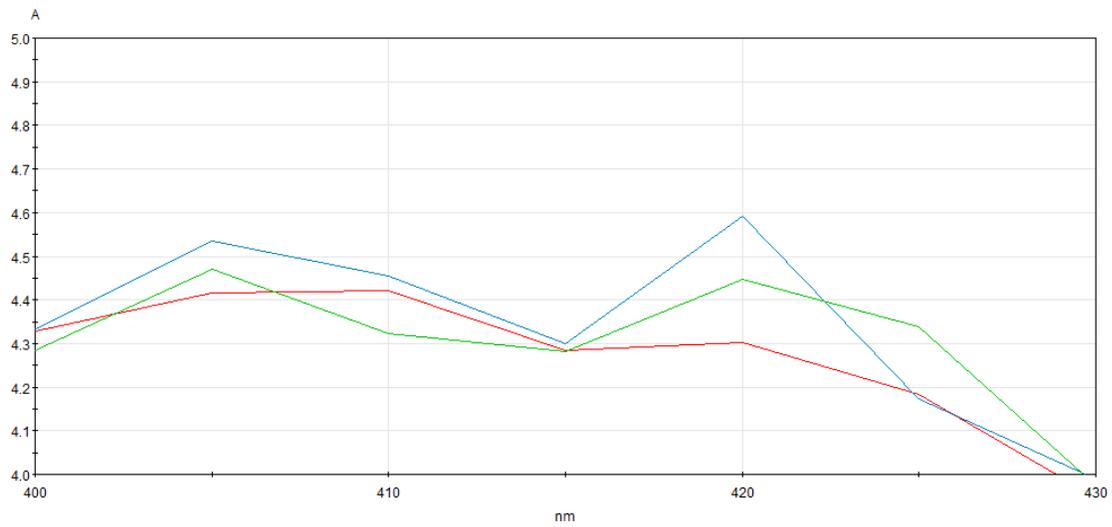


- Tiempo de desarrollo de color estable: 165 minutos



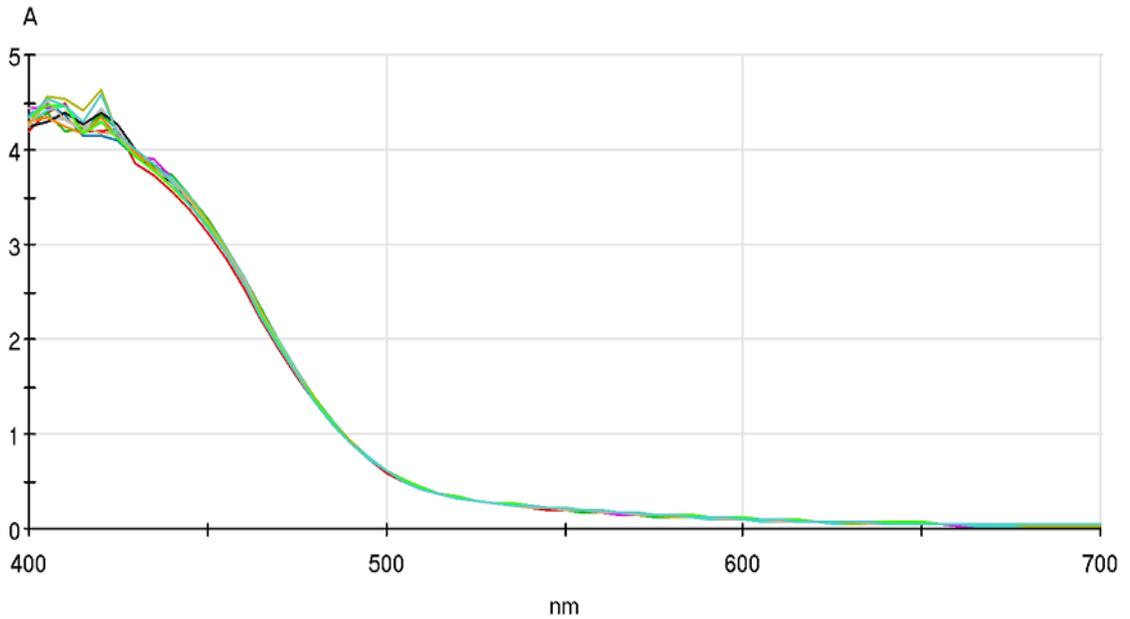
Continuación del apéndice 5.

- Tiempo de desarrollo de color estable: 180 minutos



Fuente: elaboración propia, empleando software VISIONlite y espectrofotómetro Genesys 10S UV-VIS.

Apéndice 6. **Absorbancia promedio de la solución estándar en función de la longitud de onda, para diversos tiempos de desarrollo estable**

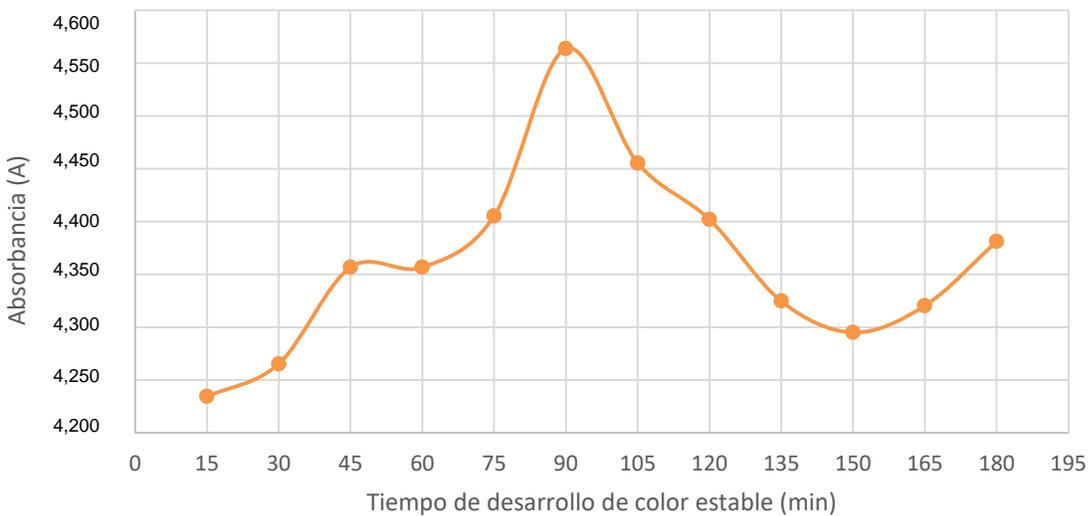


Color	Tiempo de Desarrollo (min)	Absorbancia máxima	λ_{op} (nm)
Red	15	4,234	410
Dark Blue	30	4,265	405
Green	45	4,357	405
Magenta	60	4,357	420
Cyan	75	4,405	420
Yellow	90	4,564	420
Grey	105	4,455	420
Black	120	4,402	410
Orange	135	4,325	405
Olive	150	4,295	405
Light Green	165	4,320	420
Teal	180	4,381	420

Fuente: elaboración propia, empleando software VISIONlite y espectrofotómetro Genesys 10S UV-VIS.

Apéndice 7. **Absorbancia máxima de la solución estándar en función del tiempo de desarrollo del color estable, para una longitud de onda óptima establecida de 420 nm**

	Tiempo de desarrollo de color estable (min)											
	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
Absorbancia	4,230	4,289	4,366	4,297	4,463	4,438	4,441	4,385	4,278	4,201	4,399	4,303
	4,263	4,243	4,332	4,347	4,454	4,628	4,502	4,401	4,353	4,313	4,270	4,393
	4,210	4,264	4,372	4,426	4,299	4,625	4,423	4,420	4,343	4,371	4,292	4,447
Promedio	4,234	4,265	4,357	4,357	4,405	4,564	4,455	4,402	4,325	4,295	4,320	4,381



Fuente: elaboración propia, empleando software VISIONlite.

Apéndice 8. **Diluciones de solución estándar de $K_2Cr_2O_7/H_2SO_4$ empleadas en la curva de calibración**



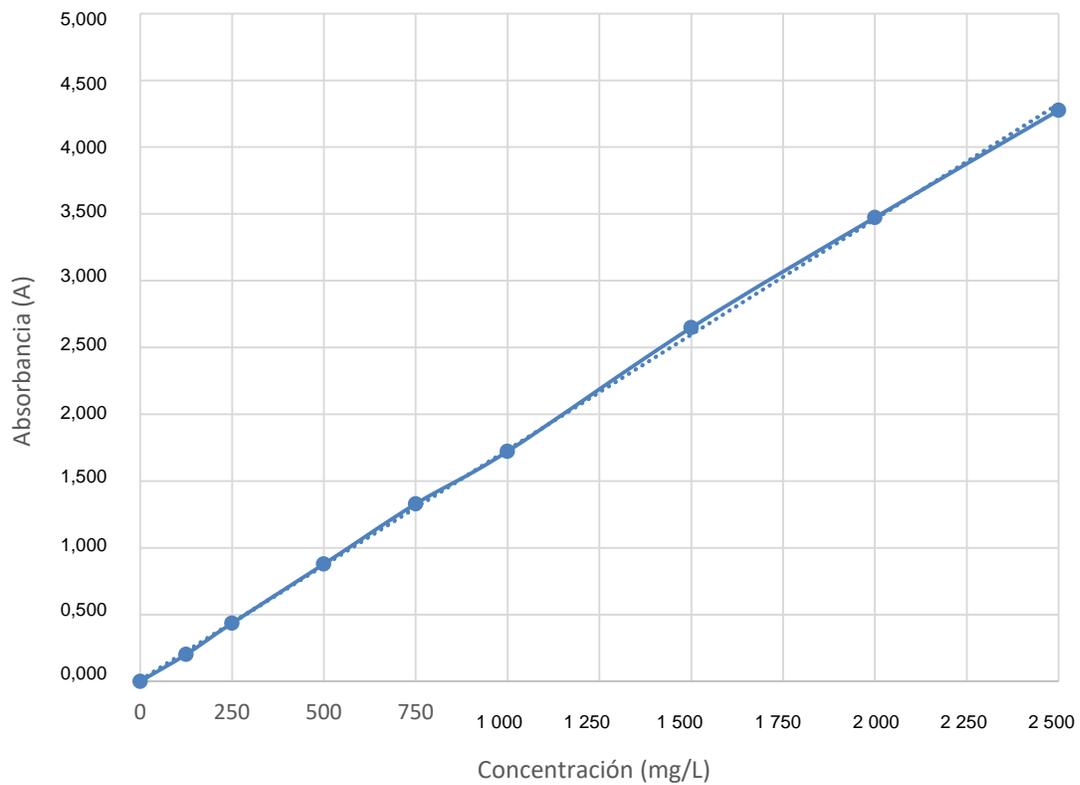
Fuente: LAFIQ-USAC.

Apéndice 9. **Absorbancia de la solución estándar en función de la concentración de $K_2Cr_2O_7/H_2SO_4$ para el desarrollo de color estable a un tiempo de 90 minutos y para una longitud de onda seleccionada de 420 nm, con el método “Entrada de factor” del software VISIONlite**

Concentración $K_2Cr_2O_7/H_2SO_4$ (g/100mL)	Concentración $K_2Cr_2O_7/H_2SO_4$ (mg/L)	Absorbancia (A)			\bar{A}
0,000	0	0,000	0,000	0,000	0,000
0,013	125	0,202	0,228	0,218	0,216
0,025	250	0,436	0,453	0,437	0,442
0,050	500	0,878	0,894	0,886	0,886
0,075	750	1,329	1,351	1,349	1,343
0,100	1 000	1,722	1,802	1,806	1,777
0,150	1 500	2,648	2,693	2,688	2,676
0,200	2 000	3,473	3,541	3,56	3,525
0,250	2 500	4,275	4,35	4,332	4,319

Continuación del apéndice 9.

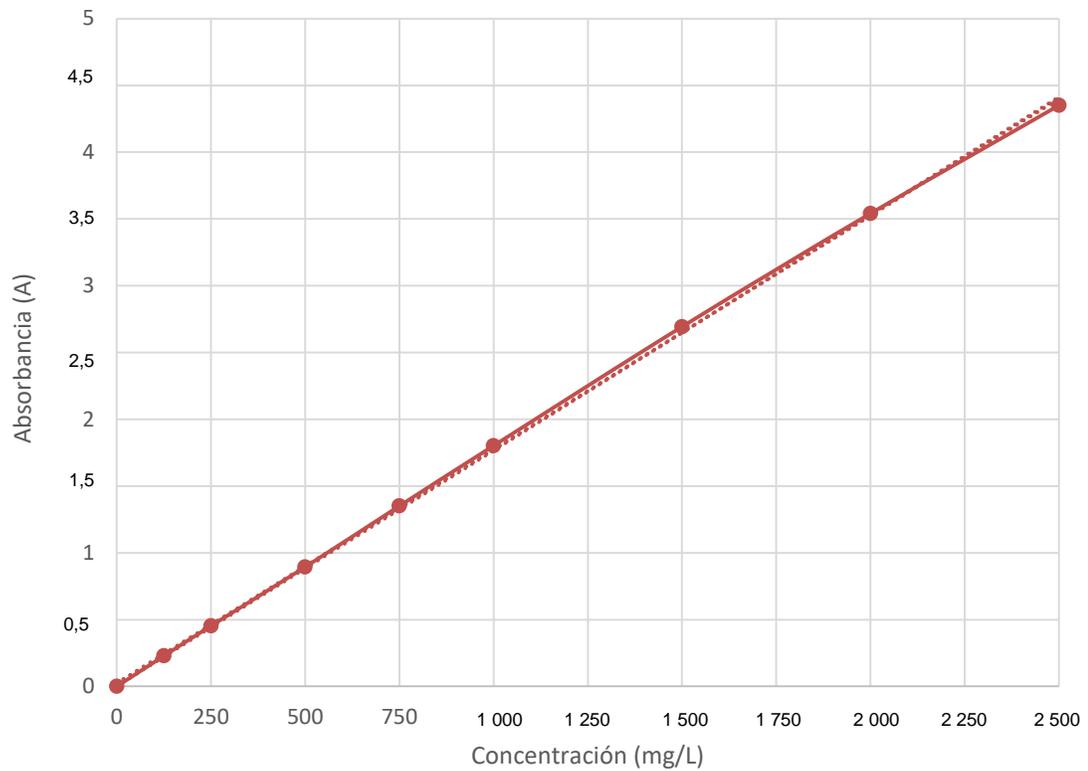
- Repetición núm. 1



Ecuación de la curva	$A = 1,730119E-03 C$
Rango de linealidad	0 – 2 500 mg/L
Coefficiente de correlación	0,99961
Error residual	0,0069
Incerteza máxima de variable independiente	18 mg/L
Incerteza máxima de variable dependiente	0,001 A

Continuación del apéndice 9.

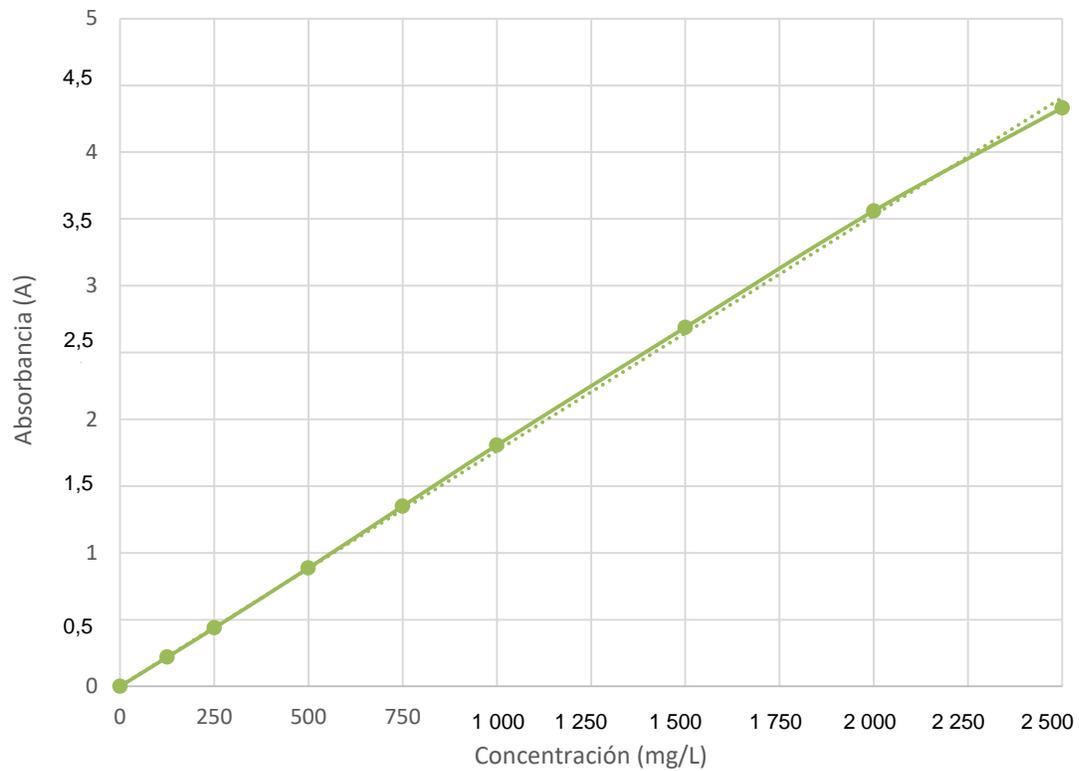
- Repetición núm. 2



Ecuación de la curva	$A = 1,765073E-03 C$
Rango de linealidad	0 – 2 500 mg/L
Coefficiente de correlación	0,99948
Error residual	0,0085
Incerteza máxima de variable independiente	18 mg/L
Incerteza máxima de variable dependiente	0,001 A

Continuación del apéndice 9.

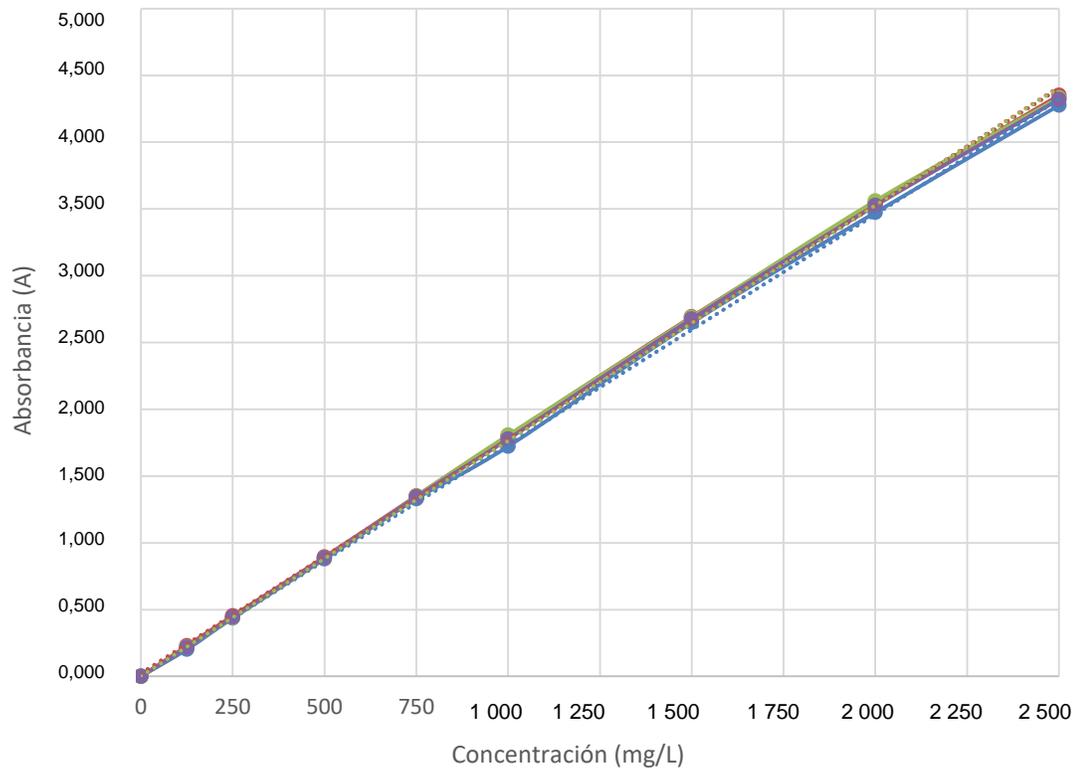
- Repetición núm. 3



Ecuación de la curva	$A = 1,763596E-03 C$
Rango de linealidad	0 – 2 500 mg/L
Coefficiente de correlación	0,99940
Error residual	0,0113
Incerteza máxima de variable independiente	18 mg/L
Incerteza máxima de variable dependiente	0,001 A

Continuación del apéndice 9.

- Repeticiones y curva promedio



Ecuación de la curva promedio	$A = 1,752964E-03 C$
Rango de linealidad	0 – 2 500 mg/L
Coefficiente de correlación	0,99956
Error residual	0,0080
Incerteza máxima de variable independiente	18 mg/L
Incerteza máxima de variable dependiente	0,001 A

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 10. **Descripción de las muestras de agregados finos evaluadas durante la experimentación**

Identificación Muestra	Origen	Observaciones
Muestra 1	Agreca, Palín, Escuintla	Arena manufacturada, roca triturada, arena negra, proporcionada por Agregados y Concretos
Muestra 2	Ferretería El Arenal, ciudad de Guatemala, Guatemala	Proporcionada por Agregados y Concretos
Muestra 3	Río Michatoya, Amatitlán, Escuintla	Proporcionada por Agregados y Concretos, desagüe del lago Amatitlán
Muestra 4	Río Cahabón, San Pedro Carchá, Alta Verapaz	Proporcionada por Agregados y Concretos
Muestra 5	Río Samalá, San Felipe, Retalhuleu	Proporcionada por la Central Hidroeléctrica "El Recreo II"
Muestra 6	Río Samalá, Cantel, Quetzaltenango	Proporcionada por obra de construcción Farmacia Cruz Verde, Las Américas
Muestra 7	Río Platanitos, Villa Nueva y Petapa, Guatemala	Proporcionada por Ingetec

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 11. **Desarrollo de color estable de las soluciones de muestras de agregados finos con una solución alcalina de NaOH 3 % en un intervalo de 24 horas**

- Muestra 2 (0, 2, 4, 8 horas)



Continuación del apéndice 11.

- Muestra 2, 24 horas



- Muestra 3 (0, 2, 4, 8 horas)



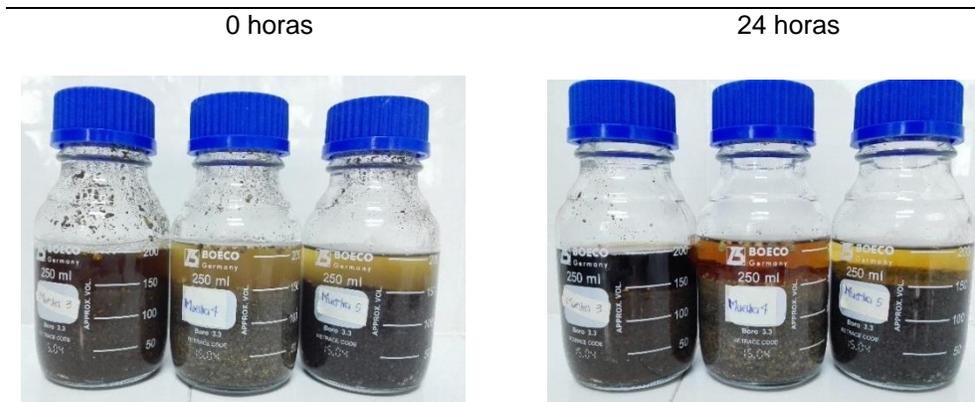
- Muestra 3, 24 horas



Continuación del apéndice 11.

- Muestras 3, 4 y 5

Tiempo de extracción



Fuente: LAFIQ-CII-USAC.

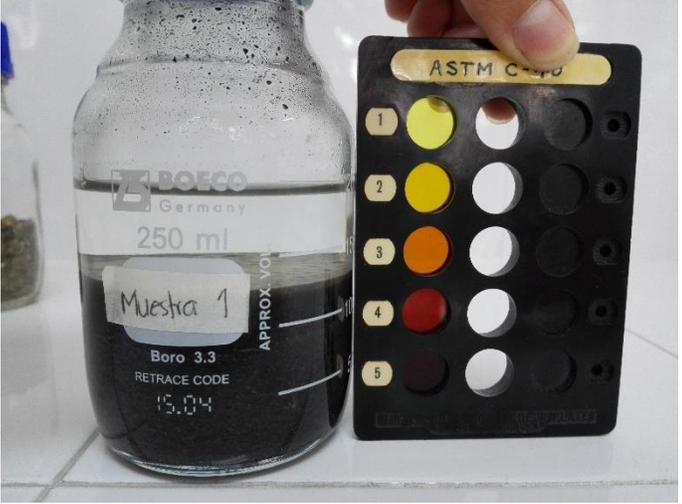
Apéndice 12. Vidrios de color estándar

Núm. de color de estándar Gardner	Núm. placa orgánica
5	1
8	2
11	3 (Máx. permisible)
14	4
16	5



Fuente: LAFIQ-USAC.

Apéndice 13. **Determinación del valor del color de la solución extractora alcalina de materia orgánica mediante el procedimiento de los vidrios de color estándar, según inciso 9.2 de la Norma Coguanor NTG-41010 H4**

Muestra	Valor del color
<p data-bbox="412 835 613 905">Agreca, Palín, Escuintla</p>	
<p data-bbox="370 1310 657 1451">Ferretería El Arenal, ciudad de Guatemala, Guatemala</p>	

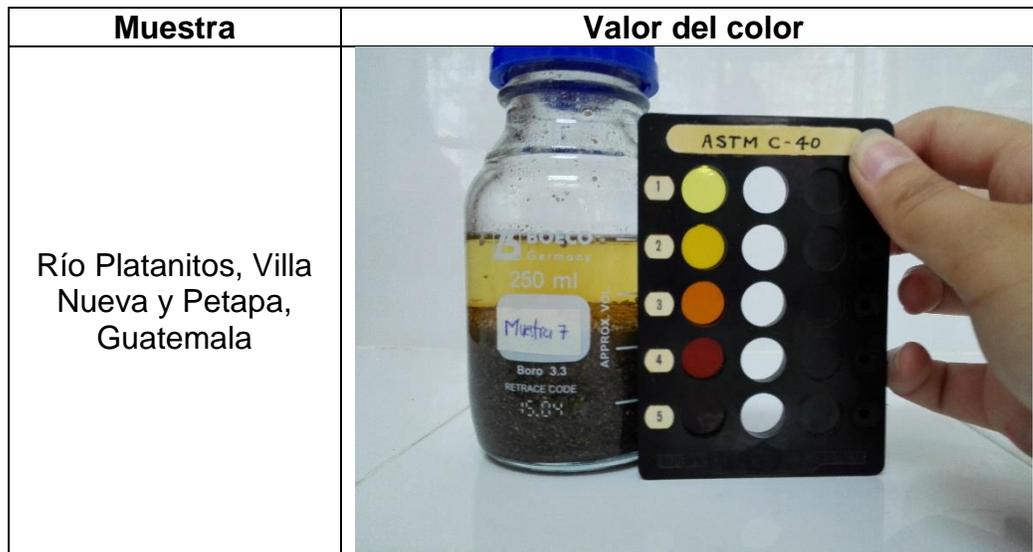
Continuación del apéndice 13.

Muestra	Valor del color
Río Michatoya, Amatitlán, Escuintla	
Río Cahabón, San Pedro Carchá, Alta Verapaz	

Continuación del apéndice 13.

Muestra	Valor del color
Río Samalá, San Felipe, Retalhuleu	
Río Samalá, Cantel, Quetzaltenango	

Continuación del apéndice 13.



Fuente: LAFIQ-CII-USAC.

Apéndice 14. **Evaluación del contenido de materia orgánica en muestras de agregado fino, empleando las técnicas cualitativa (Norma NTG-41010 H4) y cuantitativa (método colorimétrico) para un tiempo de extracción estática de 24 horas**

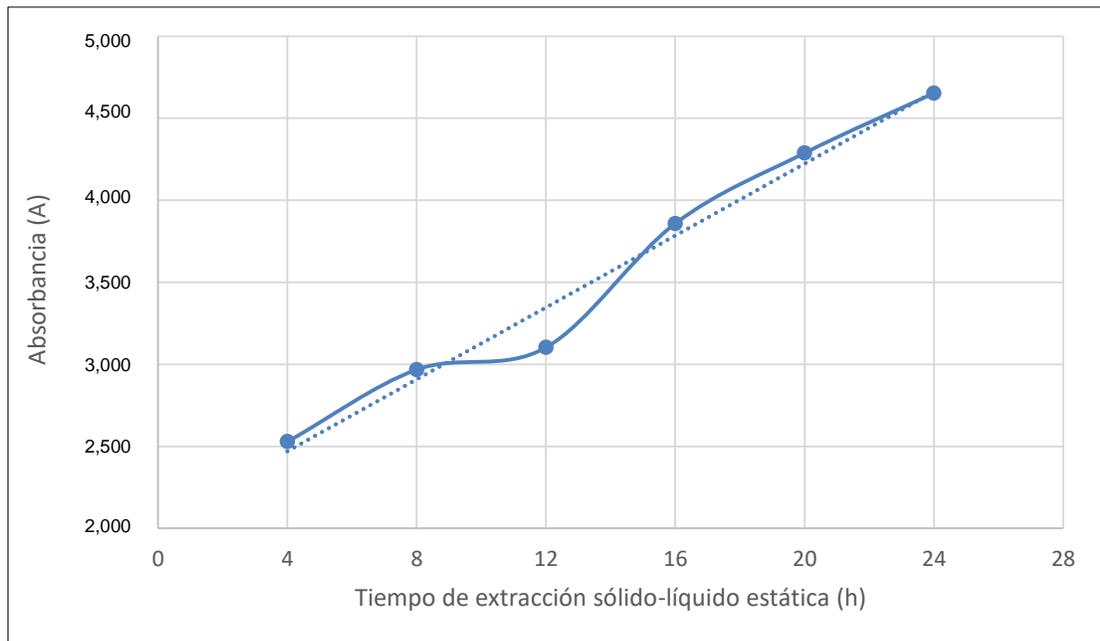
M	A	Concentración equivalente de $K_2Cr_2O_7/H_2SO_4$ (g/100mL)		Resultado cualitativo	
		Curva equipo	Curva calculada	Comparación de color de la solución estándar	Núm. plata orgánica equivalente a color estándar Gardner
1	0,085	0,005	0,005	Incoloro	Ninguno
2	1,619	0,092	0,092	Igual color	3
3	4,762	0,272	0,272	Más oscuro	5
4	1,231	0,070	0,070	Igual color	3
5	0,858	0,049	0,049	Más claro	2
6	4,991	0,285	0,285	Más oscuro	4
7	0,919	0,052	0,052	Más claro	2

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 15. **Evaluación del desarrollo del color estable de soluciones de agregado fino con la solución de hidróxido de sodio en función del tiempo de extracción estática sólido-líquido a una longitud de onda seleccionada de 420 nm**

- Extracción estática sólido-líquido muestra 3

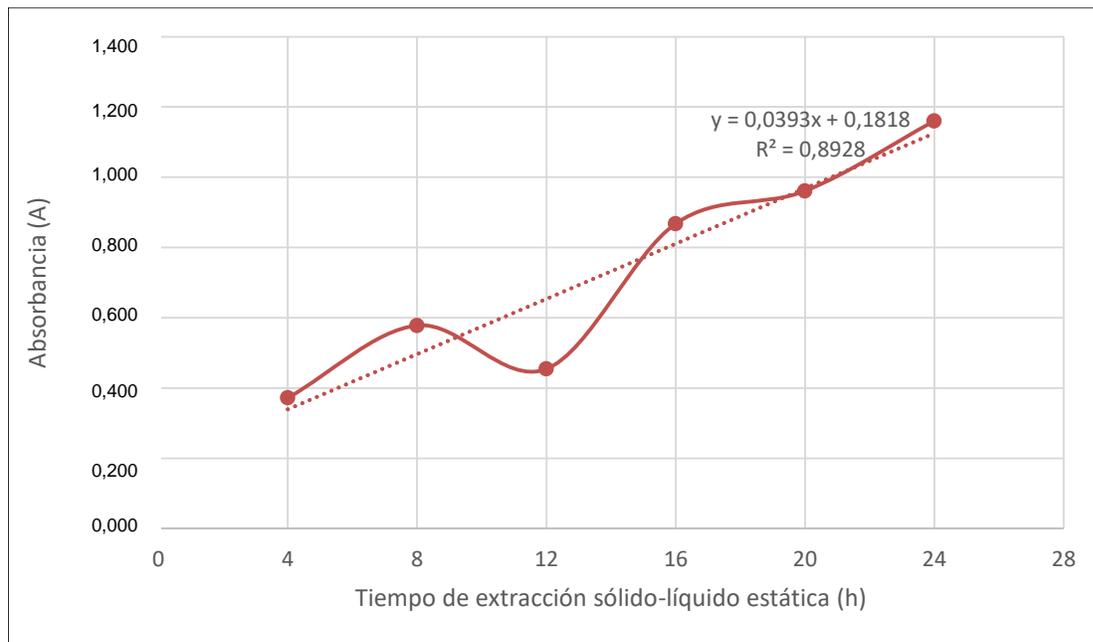
	Tiempo de extracción sólido-líquido estática (h)					
	4	8	12	16	20	24
Absorbancia	2,356	2,871	3,093	3,796	4,196	4,562
	2,680	2,876	3,045	4,062	4,234	4,755
	2,549	3,156	3,170	3,718	4,434	4,642
\bar{A}	2,528	2,968	3,103	3,859	4,288	4,653



Continuación del apéndice 15.

- Extracción estática sólido-líquido muestra 4

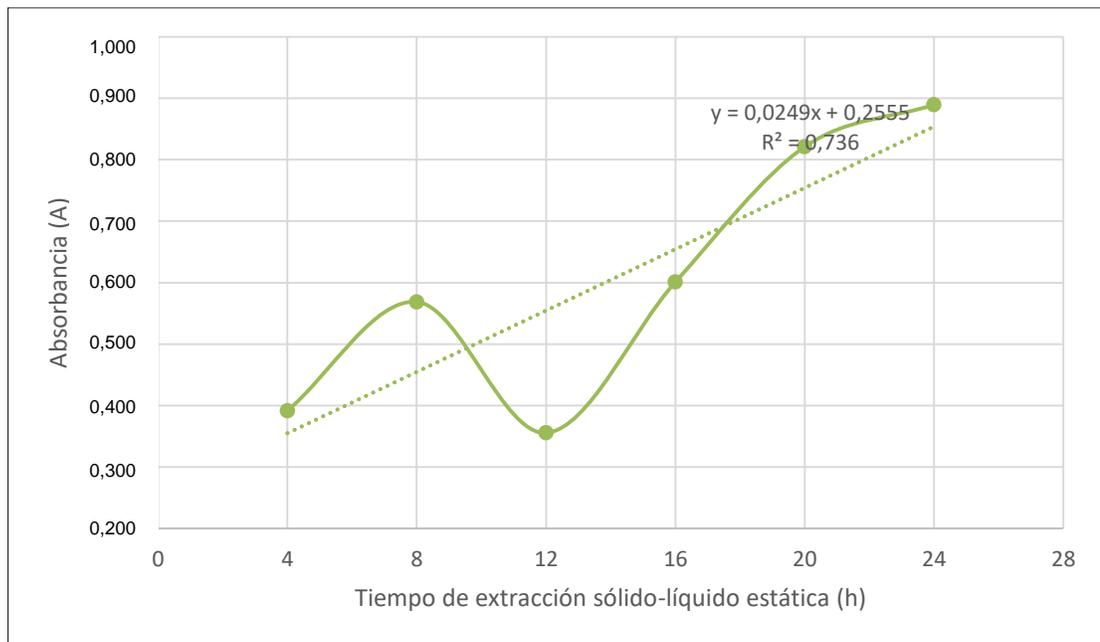
		Tiempo de extracción sólido-líquido estática (h)					
		4	8	12	16	20	24
Absorbancia		0,353	0,549	0,452	0,889	0,978	1,160
		0,356	0,579	0,479	0,878	0,961	1,170
		0,407	0,606	0,432	0,837	0,944	1,151
\bar{A}		0,372	0,578	0,454	0,868	0,961	1,160



Continuación del apéndice 15.

- Extracción estática sólido-líquido muestra 5

		Tiempo de extracción sólido-líquido estática (h)					
		4	8	12	16	20	24
Absorbancia		0,400	0,647	0,335	0,618	0,765	0,887
		0,380	0,499	0,384	0,595	0,850	0,883
		0,395	0,560	0,348	0,590	0,848	0,898
\bar{A}		0,392	0,569	0,356	0,601	0,821	0,889

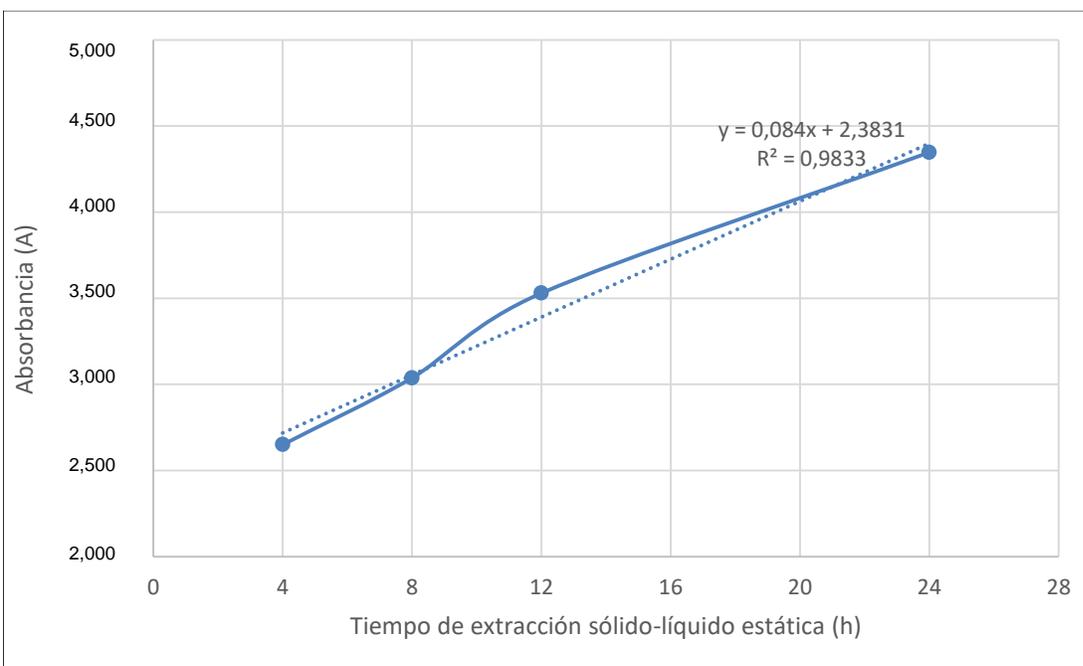


Fuente: elaboración propia.

Apéndice 16. **Evaluación del desarrollo del color estable de soluciones de agregado fino con la solución de hidróxido de sodio en función del tiempo de extracción sólido-líquido por percolación, con agitación inicial de 3 horas a una velocidad de 160 rpm y una longitud de onda seleccionada de 420 nm**

- Extracción sólido-líquido por percolación, muestra 3

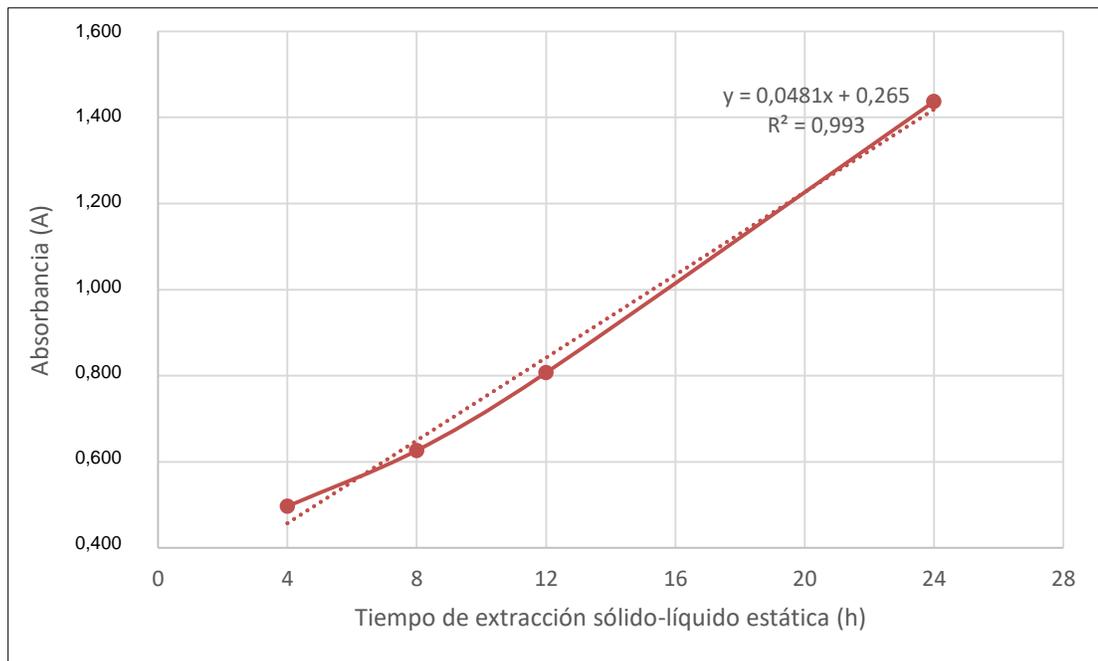
	Tiempo de extracción sólido-líquido semidinámica (h)			
	4	8	12	24
Absorbancia	2,685	3,075	3,538	4,338
	2,575	2,952	3,500	4,357
	2,690	3,086	3,550	4,346
\bar{A}	2,650	3,038	3,529	4,437



Continuación del apéndice 16.

- Extracción sólido-líquido por percolación, muestra 4

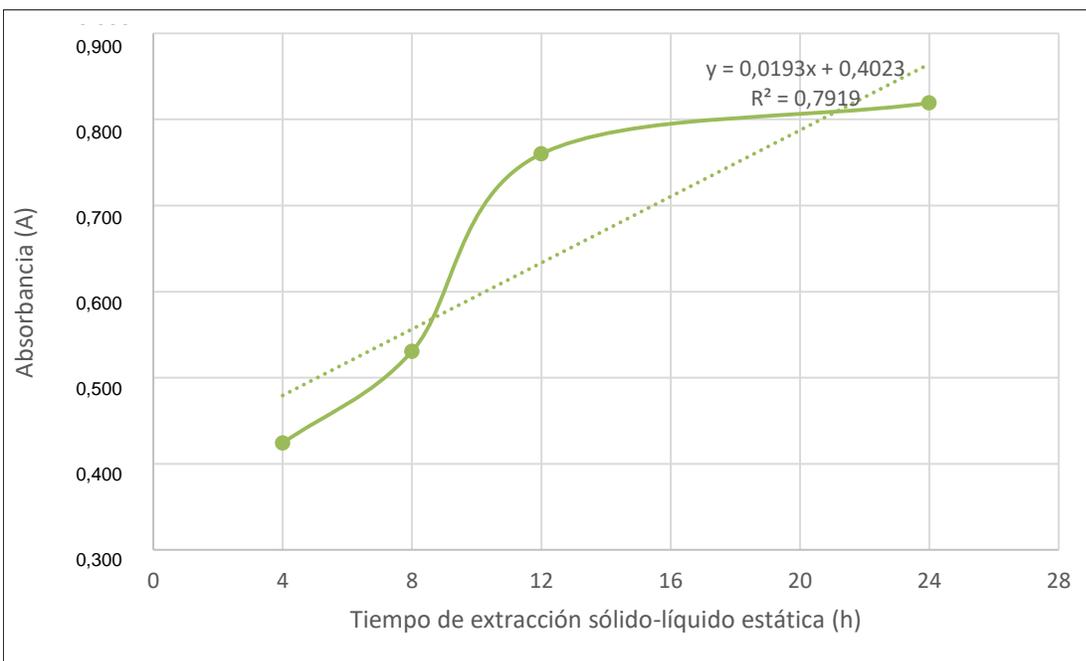
		Tiempo de extracción sólido-líquido semidinámica (h)			
		4	8	12	24
Absorbancia		0,500	0,627	0,808	1,455
		0,480	0,620	0,813	1,420
		0,510	0,632	0,800	1,436
\bar{A}		0,497	0,626	0,760	1,437



Continuación del apéndice 16.

- Extracción sólido-líquido por percolación, muestra 5

		Tiempo de extracción sólido-líquido semidinámica (h)			
		4	8	12	24
Absorbancia		0,424	0,454	0,756	0,818
		0,428	0,513	0,760	0,802
		0,420	0,625	0,764	0,837
\bar{A}		0,424	0,531	0,760	0,819

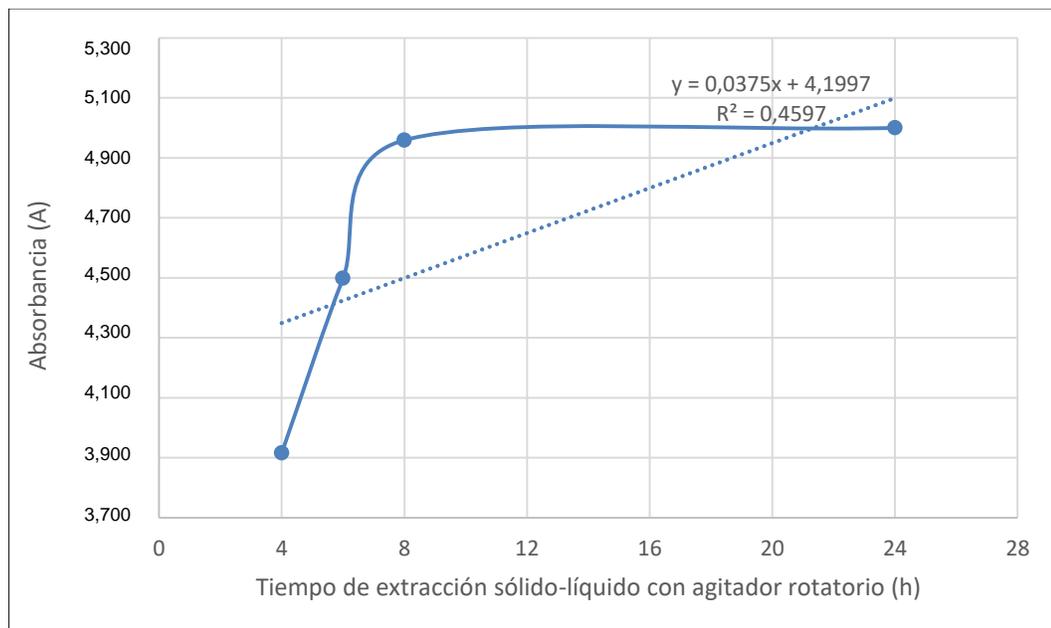


Fuente: elaboración propia.

Apéndice 17. **Evaluación del desarrollo del color estable de soluciones de agregado fino con la solución de hidróxido de sodio en función del tiempo de extracción sólido-líquido dinámica con agitación rotacional continua, a una velocidad de 8,5 rpm y una longitud de onda seleccionada de 420 nm**

- Extracción dinámica rotatoria sólido-líquido muestra 3

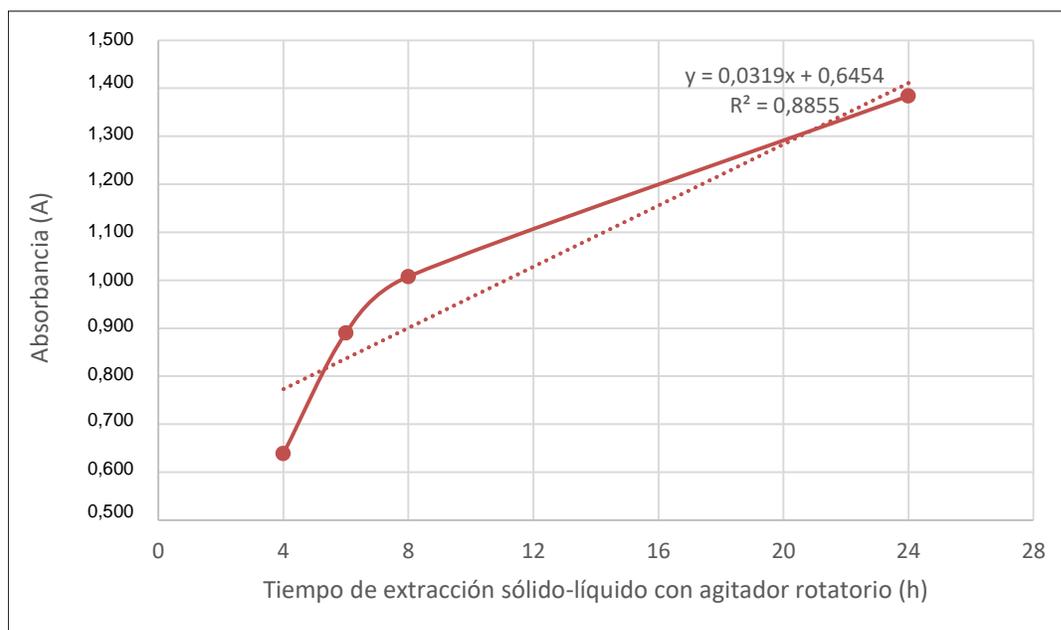
	Tiempo de extracción sólido-líquido dinámica (h)			
	4	6	8	24
Absorbancia	3,892	4,485	4,956	5,000
	3,912	4,511	4,947	5,000
	3,944	4,498	4,974	5,000
\bar{A}	3,916	4,498	4,959	5,000



Continuación del apéndice 17.

- Extracción dinámica rotatoria sólido-líquido muestra 4

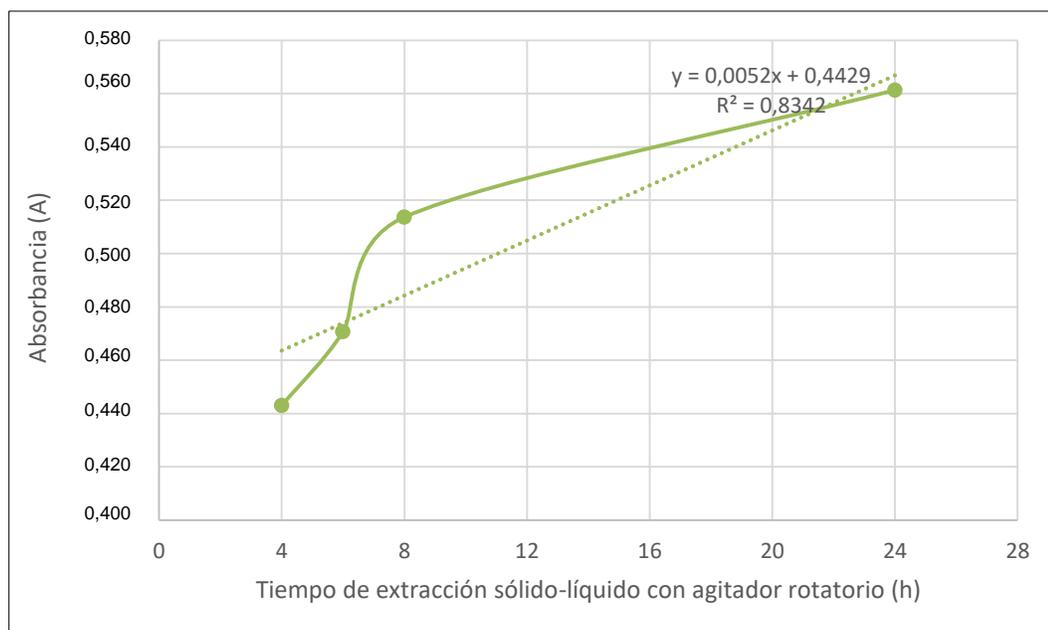
		Tiempo de extracción sólido-líquido dinámica (h)			
		4	6	8	24
Absorbancia		0,644	0,852	0,952	1,399
		0,630	0,919	1,099	1,375
		0,643	0,900	0,972	1,378
\bar{A}		0,639	0,890	1,008	1,384



Continuación del apéndice 17.

- Extracción dinámica rotatoria sólido-líquido muestra 5

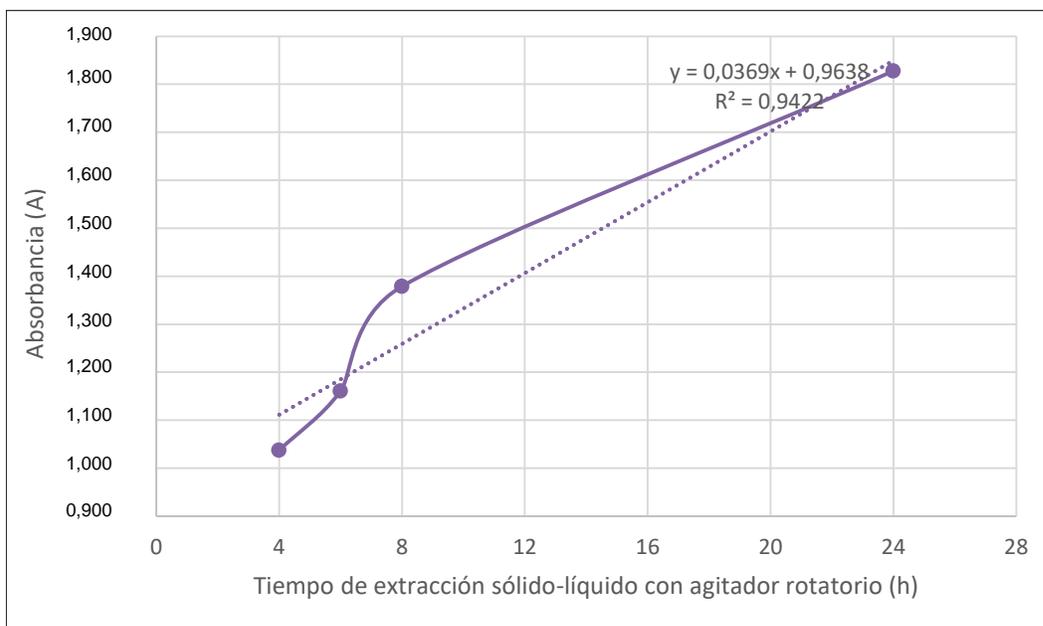
		Tiempo de extracción sólido-líquido dinámica (h)			
		4	6	8	24
Absorbancia		0,434	0,461	0,490	0,558
		0,446	0,472	0,493	0,562
		0,449	0,479	0,558	0,564
\bar{A}		0,443	0,471	0,514	0,561



Continuación del apéndice 17.

- Extracción dinámica rotatoria sólido-líquido muestra 2

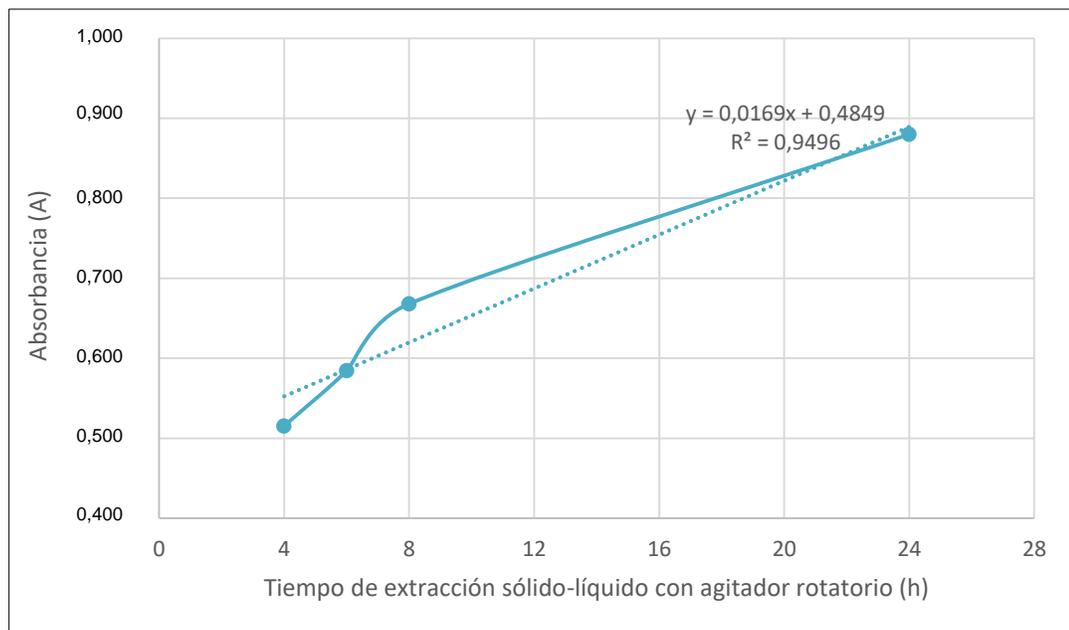
		Tiempo de extracción sólido-líquido dinámica (h)			
		4	6	8	24
Absorbancia		1,034	1,160	1,356	1,812
		1,046	1,174	1,381	1,851
		1,032	1,148	1,400	1,820
\bar{A}		1,037	1,161	1,379	1,828



Continuación del apéndice 17.

- Extracción dinámica rotatoria sólido-líquido muestra 7

		Tiempo de extracción sólido-líquido dinámica (h)			
		4	6	8	24
Absorbancia		0,519	0,579	0,671	0,860
		0,523	0,588	0,660	0,874
		0,579	0,586	0,673	0,906
\bar{A}		0,515	0,584	0,668	0,880

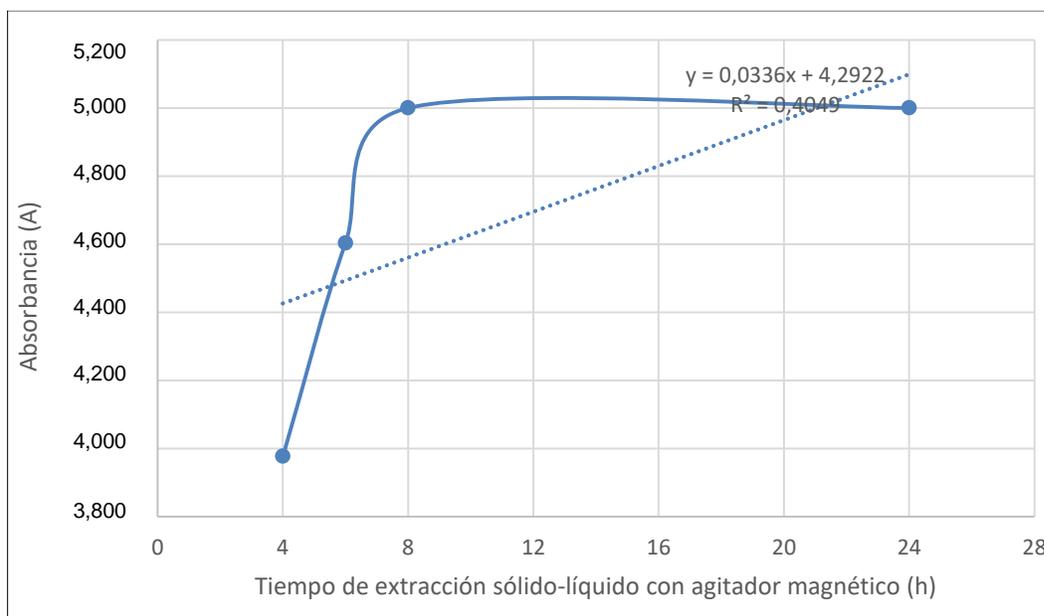


Fuente: elaboración propia.

Apéndice 18. **Evaluación del desarrollo del color estable de soluciones de agregado fino con la solución de hidróxido de sodio en función del tiempo de extracción sólido-líquido dinámica, con agitación magnética continua (agitador de 25 mm) a una velocidad de 700 rpm y una longitud de onda seleccionada de 420 nm**

- Extracción dinámica rotatoria sólido-líquido muestra 3

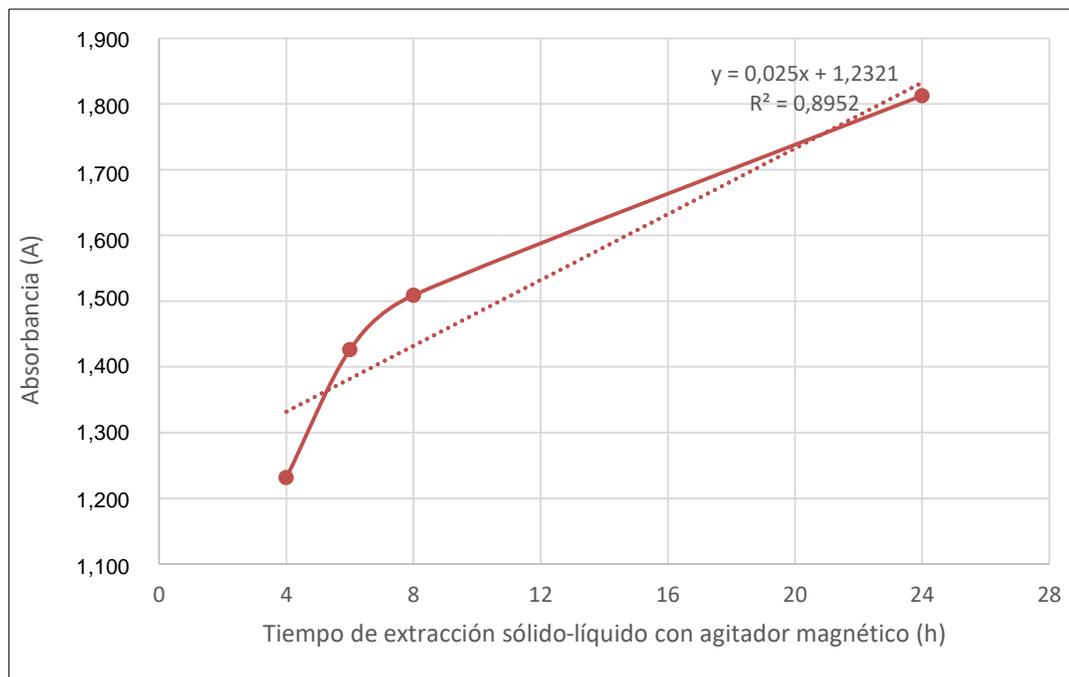
	Tiempo de extracción sólido-líquido dinámica (h)			
	4	6	8	24
Absorbancia	3,942	4,490	5,000	5,000
	3,979	4,690	5,000	5,000
	4,010	5,000	5,000	5,000
\bar{A}	3,977	4,603	5,000	5,000



Continuación del apéndice 18.

- Extracción dinámica rotatoria sólido-líquido muestra 4

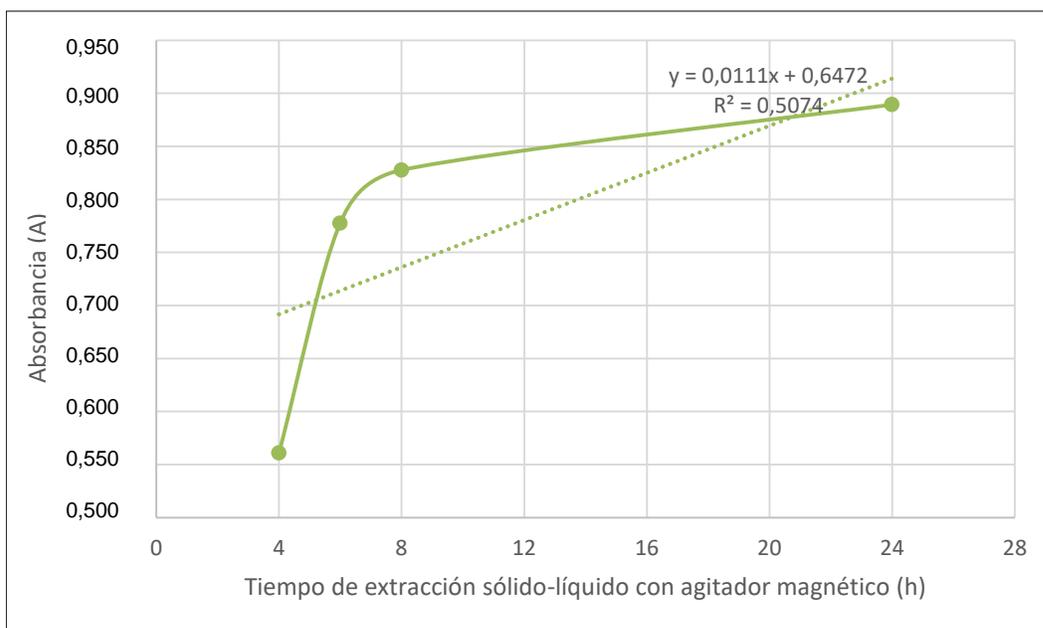
		Tiempo de extracción sólido-líquido dinámica (h)			
		4	6	8	24
Absorbancia		1,223	1,414	1,495	1,802
		1,232	1,434	1,500	1,814
		1,239	1,430	1,532	1,822
\bar{A}		1,231	1,426	1,509	1,813



Continuación del apéndice 18.

- Extracción dinámica rotatoria sólido-líquido muestra 5

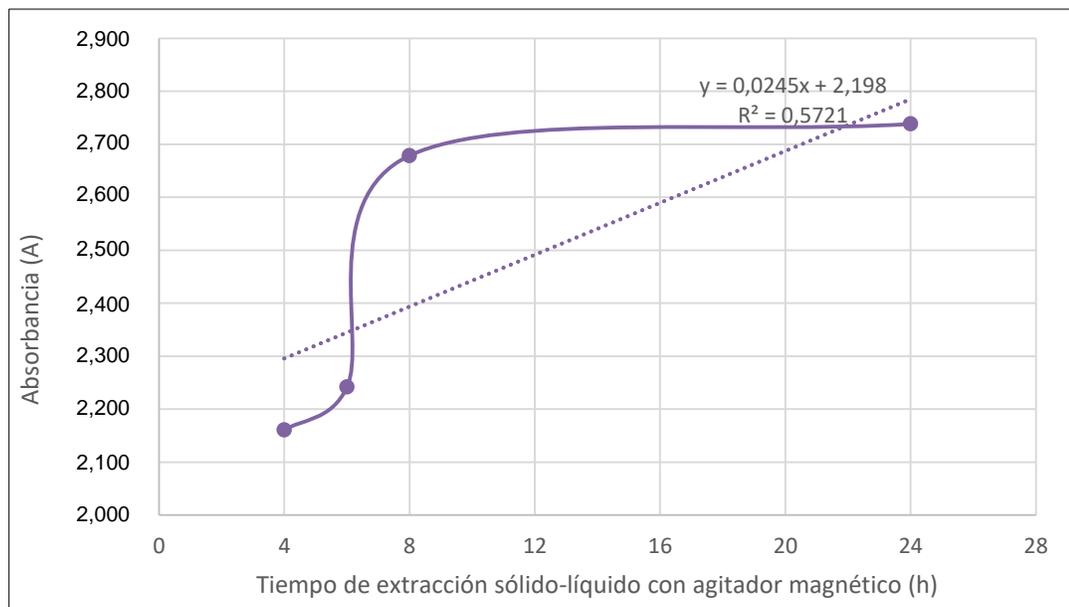
		Tiempo de extracción sólido-líquido dinámica (h)			
		4	6	8	24
Absorbancia		0,564	0,766	0,819	0,887
		0,558	0,787	0,826	0,883
		0,561	0,780	0,838	0,898
\bar{A}		0,561	0,778	0,828	0,889



Continuación del apéndice 18.

- Extracción dinámica rotatoria sólido-líquido muestra 2

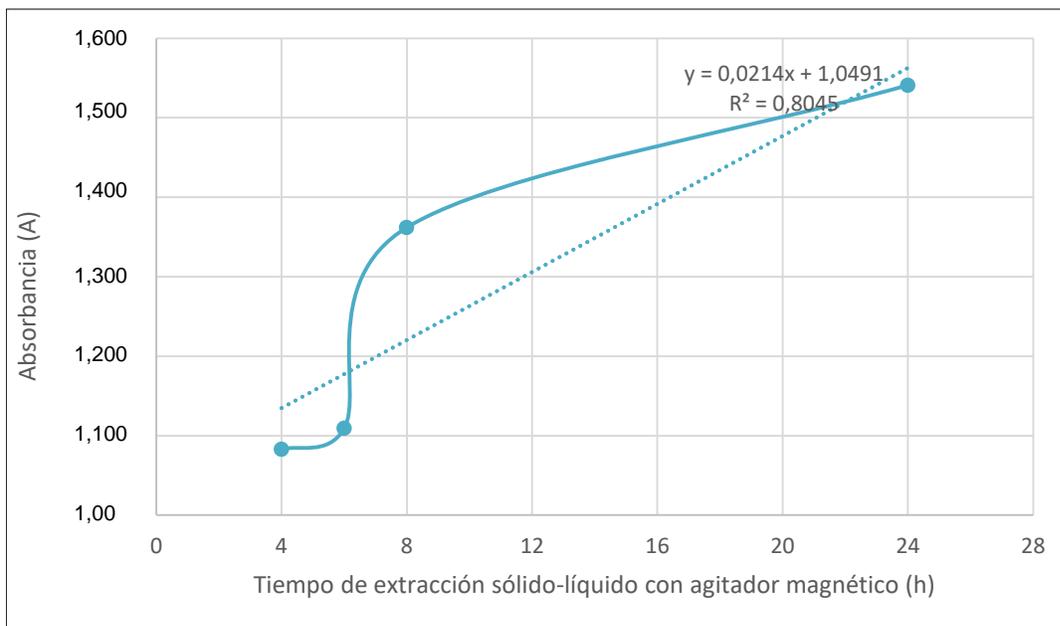
		Tiempo de extracción sólido-líquido dinámica (h)			
		4	6	8	24
Absorbancia		2,120	2,238	2,674	2,943
		2,147	2,235	2,681	2,275
		2,215	2,252	2,681	2,997
\bar{A}		2,161	2,242	2,679	2,738



Continuación del apéndice 18.

- Extracción dinámica rotatoria sólido-líquido muestra 7

		Tiempo de extracción sólido-líquido dinámica (h)			
		4	6	8	24
Absorbancia		1,083	1,098	1,359	1,492
		1,067	1,111	1,377	1,551
		1,098	1,119	1,350	1,580
\bar{A}		1,083	1,109	1,362	1,541



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 19. **Equipo utilizado durante la extracción dinámica**

Extracción	Equipo
Semidinámica: percolación	<p>Rotador multiuso Thermo Scientific Barnstead Lab-line modelo 2314</p>  <p>A photograph of the Thermo Scientific Barnstead Lab-line Multi-Purpose Rotator. The device is a rectangular box with a white top surface and a blue front panel. The front panel features two large white rotary knobs. The left knob is labeled 'TIMER' and has markings for 0, 10, 20, 30, 40, 50, and 60. The right knob is labeled 'SPEED' and has markings for 0, 10, 20, 30, 40, 50, and 60. The text 'Multi-Purpose Rotator' is printed on the left side of the front panel, and 'Thermo Scientific Lab-Line' is printed on the right side. A power cord is visible on the left side of the device.</p>
	 <p>A photograph showing three glass bottles with blue caps placed on the white top surface of the rotator. The bottles contain a dark brown liquid. The front panel of the rotator is visible at the bottom of the image, showing the 'TIMER' and 'SPEED' knobs. The text 'Multi-Purpose Rotator' and 'Thermo Scientific Lab-Line' are visible on the front panel.</p>

Continuación del apéndice 19.

Extracción	Equipo
<p data-bbox="261 1136 542 1205">Dinámica con agitación rotatoria</p>	<p data-bbox="605 455 1235 489">Agitador LABQUAKE Barnstead/Thermolyne</p> 
	
	

Continuación del apéndice 19.

Extracción	Equipo
<p data-bbox="407 1079 618 1188">Dinámica con agitación magnética</p>	<p data-bbox="703 457 1369 558">Plancha de calefacción con agitación (agitador magnético) Isotemp y barra magnética de 25 mm</p>   

Fuente: LAFIQ-CII-USAC.

Apéndice 20. Análisis de error

El análisis estadístico se realizó mediante el uso del análisis de varianzas. El análisis de varianzas evalúa la variación de una variable independiente en función de las variaciones de la variable dependiente.

Se determinó existe una diferencia significativa entre las medias de las magnitudes de la absorbancia máxima de una solución estándar de dicromato de potasio en ácido sulfúrico en función del tiempo de desarrollo de color estable, con base en un barrido de longitudes de onda. Debido a que la Norma NTG C40 establece que se debe realizar la comparación de colores con el líquido sobrenadante resultante de la extracción sólido-líquido después de 24 horas, en un período de no más de 2 horas de preparación de la solución estándar. Empleando los criterios de la F de Fischer y el de probabilidad, en donde ambos indican el mismo resultado, se obtuvieron los siguientes resultados, teniendo las medidas de absorbancia como los bloques del análisis (filas) y los intervalos de tiempo de desarrollo de color estable como los tratamientos (columnas).

T _{DCE} (min)	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
15	3	12,703	4,23433333	0,00071633
30	3	12,796	4,26533333	0,00053033
45	3	13,07	4,35666667	0,00046533
60	3	13,07	4,35666667	0,00423033
75	3	13,216	4,40533333	0,00850033
90	3	13,691	4,56366667	0,01184633
105	3	13,366	4,45533333	0,00171433
120	3	13,206	4,402	0,000307
135	3	12,974	4,32466667	0,00165833
150	3	12,885	4,295	0,007468
165	3	12,961	4,32033333	0,00476233
180	3	13,143	4,381	0,005292

Continuación del apéndice 20.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,25954831	11	0,0235953	5,9620	0,000130	2,2163
Dentro de los grupos	0,094982	24	0,00395758			
Total	0,35453031	35				

Dado que el valor de la F de Fisher es mayor que el valor crítico de F ($F > F_C$), se rechaza la hipótesis nula. Esto indica que existe una diferencia significativa de la medida de la absorbancia máxima a una longitud de onda óptima seleccionada respecto al tiempo de desarrollo de color estable.

Asimismo, se determinó mediante el análisis de varianza, si existe diferencia significativa entre las medidas de absorbancia de la solución de una muestra de agregado fino en medio alcalino, en función del tiempo de extracción estática de materia orgánica en un rango de 24 horas, con base en la metodología indicada en el inciso 8 de la norma NTG-41010 H4. Se emplearon los mismos criterios de la F de Fischer y de probabilidad, y ordenando los intervalos de tiempo de extracción como tratamientos (filas) y las absorbancias medidas como bloques (columnas), se obtuvieron los siguientes resultados para tres muestras diferentes de agregado fino.

- Muestra 3: Río Michatoya, Escuintla

T _{EX} (h)	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
4	3	7,585	2,52833333	0,02656433
8	3	8,903	2,96766667	0,02660833
12	3	9,308	3,10266667	0,00397633
16	3	11,576	3,85866667	0,03252933
20	3	12,864	4,288	0,016348
24	3	13,959	4,653	0,009403

Continuación del apéndice 20.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	10,3138156	5	2,06276312	107,221	1,5695E-09	3,1058
Dentro de los grupos	0,23085867	12	0,01923822			
Total	10,5446743	17				

- Muestra 4: Río Cahabón, Alta Verapaz

T _{EX} (h)	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
4	3	1,116	0,372	0,000921
8	3	1,734	0,578	0,000813
12	3	1,363	0,45433333	0,00055633
16	3	2,604	0,868	0,000751
20	3	2,883	0,961	0,000289
24	3	3,481	1,16033333	9,0333E-05

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	1,4544622	5	0,2908925	510,238	1,5646E-13	3,1058
Dentro de los grupos	0,0068413	12	0,0005701			
Total	1,4613036	17				

- Muestra 5: Río Samalá, Retalhuleu

TEX (h)	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
4	3	1,592	0,53066667	0,00754433
8	3	1,706	0,56866667	0,00553233
12	3	1,067	0,35566667	0,00064433
16	3	1,803	0,601	0,000223
20	3	2,463	0,821	0,002353
24	3	2,668	0,88933333	6,0333E-05

Continuación del apéndice 20.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0,580297	5	0,116059	42,5715	3,1577E-07	3,1058
Dentro de los grupos	0,032715	12	0,002726			
Total	0,613012	17				

Dado que el valor de la F de Fisher para las tres muestras es mayor que el valor crítico de F ($F > F_C$), se rechaza la hipótesis nula. Esto quiere decir que existe diferencia significativa de la absorbancia de una muestra de agregado fino con hidróxido de sodio respecto al tiempo de extracción sólido-líquido estática.

Por último, se evaluó si existe diferencia significativa entre las medidas de absorbancia de la solución de una muestra de agregado fino en medio alcalino en función del tiempo de extracción estática, semidinámica y dinámica. Para esta evaluación se empleó un análisis de varianza de un factor por cada muestra, calculando la absorbancia de las soluciones en un período de extracción de 4 horas, siendo los tratamientos la técnica de extracción (columnas) y las absorbancias los bloques (filas). A continuación se presentan los resultados para las tres muestras empleadas.

- Muestra 3: Río Michatoya, Escuintla

Método de extracción	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Estacionaria	3	7,585	2,528	0,027
Semidinámica	3	7,950	2,650	0,004
Dinámica	3	13,416	4,472	9,10E-05

Continuación del apéndice 20.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	7,112	2	3,556	345,48	6,380E-07	5,143
Dentro de los grupos	0,062	6	0,010			
Total	7,174	8				

- Muestra 4: Río Cahabón, Alta Verapaz

Método de extracción	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Estacionaria	3	1,116	0,372	0,000921
Semidinámica	3	1,490	0,497	0,00023333
Dinámica	3	1,978	0,659	0,00021433

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,1245	2	0,0623	136,52	9,9426E-06	5,143
Dentro de los grupos	0,0027	6	0,0005			
Total	0,1273	8				

- Muestra 5: Río Samalá, Retalhuleu

Método de extracción	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Estacionaria	3	1,175	0,392	0,00010833
Semidinámica	3	1,592	0,531	0,00754433
Dinámica	3	1,641	0,547	6,1E-05

Continuación del apéndice 20.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,0437	2	0,0219	8,501	0,01775	5.143
Dentro de los grupos	0,0154	6	0,0026			
Total	0,0591	8				

Puesto que el valor de la F de Fisher para las tres muestras es mayor que el valor crítico de F ($F > F_C$), se rechaza la hipótesis nula. Esto quiere decir que existe diferencia significativa de la absorbancia de una muestra de agregado fino con hidróxido de sodio respecto a la técnica de extracción sólido-líquido, para un tiempo definido de desarrollo de color.

Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Anexo 1. **Extracto de la Norma Técnica Guatemalteca Coguanor NTG-41007, inciso 5: Características generales**

5.1 El agregado fino puede ser arena natural, arena manufacturada, o una combinación de ambas.

Fuente: Norma Técnica Guatemalteca Coguanor NTG-41007. p. 172.

Anexo 2. **Extracto de la Norma Técnica Guatemalteca Coguanor NTG-41007, inciso 6: Granulometría**

6.1 Análisis Granulométrico—El agregado fino, excepto como se establece en 6.2 y 6.3 debe ser graduado dentro de los siguientes límites:

Tamiz (Esp. ASTM E11)	Porcentaje que Pasa	
	Arena Natural	Arena manufacturada
9.5 mm (3/8")	100	100
4.75 mm (N°4)	95 a 100	95 a 100
2.36 mm (N°8)	80 a 100	80 a 95
1.18 mm (N°16)	50 a 85	45 a 95
600 µm (N°30)	25 a 60	25 a 75
300 µm (N°50)	5 a 30	10 a 35
150 µm (N°100)	0 a 10	8 a 20

Fuente: Norma Técnica Guatemalteca Coguanor NTG-41007. p. 187.

Anexo 3. **Extracto de la Norma Técnica Guatemalteca Coguanor NTG-41007, inciso 7.1: Sustancias perjudiciales**

7.1 La cantidad de sustancias perjudiciales en agregado fino no debe exceder los límites indicados en la Tabla 1

TABLA 1-Límites para sustancias perjudiciales en agregado fino para concreto.

Ítem	Porcentaje en más de la muestra total, máx	
	Arena Natural	Arena (manufacturada)
Terrones de arcilla y partículas Friables de arcilla	3,0	3,0
Material más fino que el tamiz 75µm (N°200)		
-Concreto sujeto a abrasión	3,0 ^A	5,0 ^B
-Cualquier otro concreto	5,0 ^A	7,0 ^B
Material de baja densidad (densidad relativa menor de 2,0)	c	c

^A Estos límites podrán elevarse a 5 y 7 % respectivamente, siempre que el valor de azul de metileno (AASHTO TP 57) sea igual o inferior a 6 mg de azul por cada g de finos. (75 µm [No. 200]).

^B Estos límites pueden elevarse a 8 y 15 % respectivamente, siempre que el valor de azul de metileno (AASHTO TP 57) sea igual o inferior a 6 mg de azul por cada g de finos. (< 75µm [No. 200]) y la estructura no esté sometida a abrasión severa.

^C En Guatemala, el material de baja densidad en forma de pómez y otros materiales piroclásticos es abundante en los agregados de origen volcánico. Para estos casos, el límite máximo aceptable debe establecerse por acuerdo entre comprador y proveedor, con base en la experiencia local. Cuando el material de baja densidad sea carbón, lignito, mica, horsteno u otro material liviano no piroclástico, el límite máximo permitido ser es 0,5 donde la apariencia del concreto es importante y de 1,0 para cualquier otro concreto.

Fuente: Norma Técnica Guatemalteca Coguanor NTG-41007. p. 191.

Anexo 4. **Extracto de la Norma Técnica Guatemalteca Coguanor NTG-41007, inciso 7.2: Impurezas orgánicas**

7.2.1 El agregado fino debe estar libre de cantidades perjudiciales de impurezas orgánicas. Excepto como aquí se especifica, los agregados sujetos al ensayo de impurezas orgánicas y que producen un color más oscuro que el estándar deben ser rechazados.

7.2.2 El agregado fino que no pase la prueba indicada, puede ser usado, siempre que la coloración producida sea debida principalmente a la presencia de pequeñas cantidades de carbón, lignito o partículas similares.

7.2.3 El agregado fino que no pase dicha prueba, podrá ser usado siempre que, cuando se ensaye para determinar el efecto de las impurezas orgánicas en la resistencia del mortero, la resistencia relativa a los 7 días, calculada de acuerdo con el método de ensayo ASTM C87, no sea menor de 95%, de la resistencia de referencia.

Fuente: Norma Técnica Guatemalteca Coguanor NTG-41007. p. 197.

Anexo 5. **Extracto de la Norma Técnica Guatemalteca Coguanor NTG-41010 h4, inciso 5: Solución reactiva y de color estándar**

5.1. Hidróxido de sodio reactivo (3 %). Disolver 3 partes de hidróxido de sodio de grado reactivo (NaOH) en 97 partes de agua.

5.2 Solución estándar de color. Disolver dictomato de potasio de grado reactivo ($K_2Cr_2O_7$) en ácido sulfúrico concentrado (Grav. Esp. de 1.84) a una tasa de 0.250 g/100mL del ácido, la solución debe ser recién hecha para la comparación de color. Puede usarse calentamiento suave si fuera necesario para lograr la solución.

Fuente: Norma Técnica Guatemalteca Coguanor NTG-41007. p. 177.

Anexo 6. **Extracto de la Norma Técnica Guatemalteca Coguanor NTG-41010 h4, inciso 8: Procedimiento**

8.1 Llenar una botella de vidrio hasta el nivel de aproximadamente 130 mL (4 ½ Onzas fluidas) (US) con la muestra del agregado fino a ser ensayado (Ver terminología NTG 41006 (C 125).

8.2 Agregar la solución de hidróxido de sodio hasta que el volumen del agregado fino y el líquido indicados después de su agitación, sea de aproximadamente 200 mL (7 Onzas fluidas) (US).

8.3 Taponar la botella, agitar vigorosamente hasta saturar la muestra de material y luego dejarla reposar por 24 horas.

Fuente: Norma Técnica Guatemalteca Coguanor NTG-41007. p. 198.

Anexo 7. **Extracto de la Norma Técnica Guatemalteca Coguanor NTG-41010 h4, inciso 9: Determinación del valor del color mediante los vidrios Gardner**

9.2 Procedimiento de los vidrios de color estándar. Para definir con mayor precisión el color del líquido sobrenadante de la muestra de ensayo, se deben usar cinco vidrios de colores estándar con los siguientes colores:

No. de color estándar Gardner	No. Placa Orgánica
5	1
8	2
11	3 (Max. Permissible)
14	4
16	5

Se debe usar la comparación como se describe en 9.1 excepto que se informa el color de placa orgánica más parecida al color del líquido sobrenadante sobre la muestra de ensayo. Al utilizar este procedimiento, no es necesario preparar la solución de color estándar.

Fuente: Norma Técnica Guatemalteca Coguanor NTG-41007. p. 205.

Anexo 8. **Extracto de la Norma Técnica Guatemalteca Coguanor NTG-41010 h4, inciso 10: Interpretación**

10.1 Cuando una muestra sometida a este procedimiento da un color más oscuro que el color estándar o la placa orgánica No. 3 (Gardner, estándar de color No. 11) debe considerarse que el agregado fino bajo ensayo posiblemente contiene materia orgánica perjudicial. Es recomendable someterlo a otros ensayos antes de aprobar el agregado fino para su uso en concreto.

Fuente: Norma Técnica Guatemalteca Coguanor NTG-41007. p. 207.

Anexo 9.

Formato del registro de datos del método colorimétrico, implementado en el Laboratorio de Análisis Físicoquímicos de la sección de Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos

	CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA			
ENSAYO:	Determinación de materia orgánica en agregados finos para concreto, Método Colorimétrico	NORMA:	Basado en ASTM C40-04	
INFORMACIÓN				
CLIENTE:		O.T.:		
ID. MUESTRA:		CÓDIGO:		
ORDEN TIPO	COBRABLE:		NO COBRABLE:	
ELABORACIÓN (I)				
FECHA		HORA***		
ANALISTA				
Muestra	Masa (g)	Δ Masa (g)	NaOH (mL)** 3% p/V	Δ NaOH (mL)
Blanco	0.000	0.001	120.0	0.25
1		0.001	120.0	0.25
2		0.001	120.0	0.25
3		0.001	120.0	0.25
<p>*Pesar una muestra entre 150 y 200 g en la balanza analítica de la muestra previamente tamizada en plato No. 8. ** Agregar 120.0 mL de NaOH 3% a cada uno de los frascos de vidrio con rosca con la muestra (incluyendo el blanco). ***Agitar vigorosamente los frascos de vidrio debidamente sellados por 24 ± 1/4 h (anotar hora inicial).</p>				
ELABORACIÓN (II)				
FECHA		HORA***		
ANALISTA				
<p>Comparar el color de luz transmitida a través del líquido sobrenadante en el frasco con el color de placa orgánica más parecida. Anotar el número de placa correspondiente.</p>				
Muestra	No. De Placa Orgánica			
1				
2				
3				
<p>Filtrar el contenido líquido dentro del frasco (anotar tiempo). Descontinuar la succión y transferir los sólidos restantes en el contenedor al filtro Gutch, empacando el contenido con la ayuda de una espátula. Continuar la filtración hasta observar la caída de 1 gota cada 10 s; anote el tiempo total en el que el vacío es aplicado.</p>				
Muestra	Tiempo de Filtrado (")*			
1				
2				
3				
Blanco**				
<p>**Filtrar el blanco por el tiempo promedio de las muestras.</p>				
Registro para la realización de los ensayos (Métodos a ensayar)		USAC-CII-QUINDLAFIQ-RG-363		
Toda copia impresa de este documento es considerada como copia no controlada		Versión 01		

Continuación del anexo 9.

	CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA	
MÉTODO FOTOMÉTRICO		
FECHA _____ ANALISTA _____		
Centrifugar el filtrado para disminuir la turbidez a una velocidad de 1800 rpm por 10 minutos.		
Absorbancia [A]* Concentración		
Muestra	A	C _{st} [mg/L]
Blanco		
1		
2		
3		
REALIZACIÓN:	FECHA:	FIRMA:
REVISIÓN:	FECHA:	FIRMA:
Registro para la realización de los ensayos (Métodos a ensayar)		USAC-CII-QUINDLAFIQ-RG-363
Toda copia impresa de este documento es considerada como copia no controlada		Versión 01

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. USAC.

Anexo 10. **Instructivo de la práctica implementada para el Laboratorio de Análisis Instrumental de la Escuela de Ingeniería Química impartido en LAFIQ**

LABORATORIO DE ANÁLISIS INSTRUMENTAL

Práctica 1 

**INTRODUCCIÓN A LA VALIDACIÓN DE MÉTODOS ANALÍTICOS: MÉTODO CIEGO
IMPLEMENTADO AL ENSAYO DE DETERMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN
AGREGADOS FINOS PARA CONCRETO, MÉTODO COLORIMÉTRICO**

A. OBJETIVOS

- i. Evaluar los parámetros de validación del ensayo de Determinación de materia orgánica en agregados finos para concreto, método colorimétrico, a través del método ciego.
- ii. Evaluar los parámetros de desempeño del método implementado.

B. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

- i. LEY DE BEER-LAMBERT

La ley de Beer-Lambert establece que la absorbancia de una solución es directamente proporcional a la concentración de la solución. Por tanto, la espectrometría UV/VIS puede usarse para determinar la concentración de una solución, usando la Ley de Beer-Lambert:

$$A = -\log_{(10)} \frac{I_1}{I_0}$$
$$A = \alpha l c$$

donde A es la absorbancia medida, I_0 es la intensidad de la luz incidente a una determinada longitud de onda, I_1 es la intensidad de transmisión, L la longitud de trayectoria a través de la muestra y c la concentración de las especies absorbentes. Para cada especie y longitud de onda, ϵ es una constante conocida como absorptividad molar. Esta constante es una propiedad fundamental molecular en un solvente dado, a una temperatura y presión particular.

1



ii. ESPECIFICACIONES ESTÁNDAR PARA AGREGADO FINO PARA CONCRETO

El agregado fino es un material que puede consistir en arena natural, arena manufacturada, o una combinación de ambas, cuyo tamaño de partícula se encuentra entre 9.5 mm y 150 μm .

La norma ASTM C33 define las especificaciones para la clasificación y la calidad de agregado fino y grueso, para su uso en el concreto para obra civil. La cantidad de sustancias deletéreas permitida en agregado fino se encuentra especificada en la Tabla 1 de dicha norma; dentro de dichas sustancias se hallan las impurezas orgánicas.

La norma COGUANOR NTG-41007, equivalente a la norma ASTM C33-08 con algunas modificaciones para su adaptación a Guatemala, cita la siguiente especificación para el contenido permisible de impurezas orgánicas en agregado fino para concreto: *El agregado fino debe estar libre de cantidades perjudiciales de impurezas orgánicas. Excepto como aquí se especifica, los agregados sujetos al ensayo de impurezas orgánicas y que producen un color más oscuro que el estándar deben ser rechazados.*

C. METODOLOGÍA GENERAL

- i. Con base en la curva de calibración implementada para el espectrofotómetro GENESYS 10S UV-VIS, cuantificar los parámetros de validación del método:
 - Límite de detección
 - Límite de cuantificación
 - Linealidad y rango lineal
 - Sensibilidad
 - Precisión
- ii. Determinar el desempeño del método, midiendo concentraciones de soluciones de agregados finos con hidróxido de sodio al 3%:
 - Precisión:
 - Repetibilidad
 - Reproducibilidad

Continuación del anexo 10.

LABORATORIO DE ANÁLISIS INSTRUMENTAL

Práctica 1



D. PROCEDIMIENTO

Primera parte: Preparación de las muestras

Tomar tres muestras de 25 g de agregado fino previamente tamizado (utilice un tamiz No. 8) y colocarlas en y agrague 20 mL de una solución acuosa de NaOH al 3% (disuelva tres partes de hidróxido de sodio grado reactivo en 97 partes de agua).

Evalúe los parámetros de validación que se presentan a continuación con base en la curva del método "Tesis Materia Orgánica Agregados Concreto":

- Límite de detección
- Límite de cuantificación
- Linealidad y Rango de linealidad
- Sensibilidad
- Precisión

Segunda parte:

Evalúe los siguientes parámetros de desempeño del método (anotar el nombre de los analistas que vayan a trabajar):

- Precisión
 - o Repetibilidad
 - o Reproducibilidad