



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/).

Vea una copia de esta licencia en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN – TARAPOTO

FACULTAD DE ECOLOGÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA



**Coagulación con almidón de maíz amiláceo, para la remoción de hierro,
turbidez y color en el acuífero confinado de Yantaló**

Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Sanitario

AUTOR:

Delmester Chuquimbalqui Marina

ASESOR:

Ing. Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza

CO-ASESOR:

Lic. Dr. Fabián Centurión Tapia

Código N° 6056318

Moyobamba – Perú

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN – TARAPOTO

FACULTAD DE ECOLOGÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA



**Coagulación con almidón de maíz amiláceo, para la remoción de hierro,
turbidez y color en el acuífero confinado de Yantaló**

AUTOR:

Delmester Chuquimbalqui Marina

Sustentada y aprobada el día 26 de setiembre del 2019, por los siguientes jurados:

.....
Blgo. M. Sc. Alfredo Iban Díaz Visitación

Presidente

.....
Ing. M. Sc. Marcos Aquiles Ayala Díaz

Secretario

.....
Ing. Juan José Pinedo Canta

Miembro

.....
Ing. Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza

Asesor

Declaratoria de autenticidad

Delmester Chuquimbalqui Marina, con DNI N° 72774910, bachiller de la Facultad de Ecología, Escuela profesional de Ingeniería Sanitaria de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, con la tesis titulada: **Coagulación con almidón de maíz amiláceo, para la remoción de hierro, turbidez y color en el acuífero confinado de Yantaló.**

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. La redacción fue realizada respetando las citas y referencias de las fuentes bibliográficas consultadas.
3. Toda la información que contiene la tesis no ha sido auto plagiada;
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido alterados ni copiados, por tanto, la información de esta investigación debe considerarse como aporte a la realidad investigada.

Por lo antes mencionado, asumo bajo responsabilidad las consecuencias que deriven de mi accionar, sometiéndome a las leyes de nuestro país y normas vigentes de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Tarapoto, 26 de setiembre del 2019.



Bach. Delmester Chuquimbalqui Marina

DNI N° 72774910

Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis.

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres: Chugujimbalqui Marina Delmester	
Código de alumno : 72774910	Teléfono: 930316842
Correo electrónico : delmester50@gmail.com	DNI: 72774910

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

Facultad de: Ecología
Escuela Profesional de: Ingeniería Sanitaria

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis	(X)	Trabajo de investigación	()
Trabajo de suficiencia profesional	()		

4. Datos del Trabajo de investigación

Título: Coagulación con almidón de maíz amiláceo, para la remoción de hierro, turbidez y color en el acuífero confinado de Yantalo.
Año de publicación: 2019

5. Tipo de Acceso al documento

Acceso público *	(X)	Embargo	()
Acceso restringido **	()		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

6. Originalidad del archivo digital.

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI **“Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA”.**

.....
Firma del Autor

8. Para ser llenado en la Oficina de Repositorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM – T.

Fecha de recepción del documento:

18 / 11 / 2019



.....
Firma del Responsable de Repositorio
Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso
Abierto de la UNSM – T.

***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

** **Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

Dedicatoria

A mis padres:

Delmester Chuquimbalqui Díaz y Silvia Marina Huanci, por ser los principales promotores de mis metas y sueños, por los valores y principios que me han inculcado para ser una persona de bien.

A mis hermanos:

Toño Johan, Iván y Moisés, por ser las personas con quienes he compartido todo en la vida, por su apoyo constante.

A mi abuela y tía:

Hilda Díaz Alvarado y Santos Díaz Alvarado, por ser las personas que estuvieron conmigo desde el día de mi nacimiento, brindándome su protección y amor incondicional.

Agradecimiento

A Dios:

Por haberme permitido llegar exitosamente hasta este punto de mi vida, por darme las fortalezas necesarias para afrontar cada desafío y por mantenerme con salud.

A mis padres:

Por el apoyo incondicional y por el aliento constante que me brindaron en todo el proceso de mi formación profesional, por apoyar y comprender cada decisión que tomé, y por ser partícipes en el desarrollo de esta investigación. Eternamente agradecido con ellos.

A mi asesor Ing. Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza:

Por su tiempo, dedicación y valioso aporte desde el inicio de la planificación de esta investigación.

A mi co – asesor Lic. Dr. Fabián Centurión Tapia:

Por el apoyo, orientación y tiempo brindado en el desarrollo de esta investigación.

El autor

Índice general

Dedicatoria.....	vi
Agradecimiento	vii
Índice general	viii
Índice de tablas	x
Índice de figuras	xiii
Índice de fotografías	xvi
Resumen	xvii
Abstract.....	xviii
Introducción.....	1
CAPÍTULO I: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
1.1. Antecedentes de la investigación.....	3
1.2. Bases teóricas.....	6
1.2.1. Calidad de agua subterránea.....	6
1.2.2. Parámetros que influyen en las características físicas de aguas subterráneas..	6
1.2.3. Proceso de coagulación, floculación y sedimentación.	7
1.2.4. Factores que influyen en el proceso coagulación – floculación.....	9
1.2.5. Coagulantes utilizados en el tratamiento de aguas.	11
1.2.6. Maíz amiláceo	11
1.2.7. Almidón.....	12
1.2.8. Marco legal.....	15
1.3. Definición de términos básicos.....	17
CAPÍTULO II: MATERIAL Y MÉTODOS.....	18
2.1. Materiales de investigación	18
2.2. Métodos y técnicas.....	18
2.2.1. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	22

CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
3.1. Resultados	23
3.1.1. Parámetros iniciales de la calidad de agua del acuífero	23
3.1.2. Concentraciones de los parámetro obtenidos después de la aplicación de almidón de “maíz amiláceo”, mediante el proceso coagulación, floculación y sedimentación (Ensayos prueba de jarras).	27
3.1.3. Dosis optima del coagulante natural.	57
3.1.4. Propuesta del diseño de un sistema de dosificación.	58
3.2. Contrastación de la hipótesis	60
3.2.1. Pruebas estadísticas para la contrastación de la hipótesis de investigación. ..	60
3.2.2. Pruebas estadísticas para la determinación de la concentración de almidón de “maíz amiláceo” más eficiente (tratamiento).	67
3.3. Discusión de resultados	71
CONCLUSIONES	74
RECOMENDACIONES	76
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
ANEXOS	80
PANEL FOTOGRÁFICO	111

Índice de tablas

Tabla 1: Especificaciones técnicas del “maíz amiláceo”	12
Tabla 2: Equipos de medición.....	21
Tabla 3: Concentración de los parámetros finales.....	57
Tabla 4: Prueba T pareada para Hierro inicial - Hierro final con 0,5% de almidón de “maíz amiláceo”	60
Tabla 5: Prueba T pareada para Hierro inicial - Hierro final con 1 % de almidón de “maíz amiláceo”	61
Tabla 6: Prueba T pareada para Hierro inicial - Hierro final con 2% de almidón de “maíz amiláceo”	62
Tabla 7: Prueba T pareada para Turbidez inicial - Turbidez final con 0,5% de almidón de “maíz amiláceo”	62
Tabla 8: Prueba T pareada para Turbidez inicial - Turbidez final con 1% de almidón de “maíz amiláceo”	63
Tabla 9: Prueba T pareada para Turbidez inicial - Turbidez final con 2% de almidón de “maíz amiláceo”	64
Tabla 10: Prueba T pareada para Color inicial - Color final con 0,5% de almidón de “maíz amiláceo”	64
Tabla 11: Prueba T pareada para Color inicial - Color final con 1% de almidón de “maíz amiláceo”	65
Tabla 12: Prueba T pareada para Color inicial - Color final con 2% de almidón de “maíz amiláceo”	66
Tabla 13: Pruebas de efectos inter – concentraciones de almidón de “maíz amiláceo”, variable dependiente remoción de hierro.	67
Tabla 14: Pruebas de efectos inter – concentraciones de almidón de “maíz amiláceo”, variable dependiente remoción de turbidez.	67
Tabla 15: Pruebas de efectos inter – concentraciones de almidón de “maíz amiláceo”, variable dependiente remoción de color.	68
Tabla 16: Prueba de Duncan para el parámetro hierro.	68
Tabla 17: Prueba de Duncan para el parámetro turbidez.	69

Tabla 18: Prueba de Duncan para el parámetro color.	69
Tabla 19: Distribución de resultados para la evaluación de los tratamientos.....	70
Tabla 20: Comparación de las concentraciones de los parámetros de las muestras 1, 2 y 3 con los ECAs.....	81
Tabla 21: Promedio de las concentraciones de las muestras 1, 2 y 3 comparado con los ECAs.	81
Tabla 22: Ensayos con almidón de “maíz amiláceo” al 0,5%.	82
Tabla 23: Concentraciones finales de hierro (mg/L) después de usar almidón de “maíz amiláceo” al 0,5%.....	83
Tabla 24: Concentraciones finales de turbidez (UNT) después de usar almidón de “maíz amiláceo“ al 0,5%.....	83
Tabla 25: Concentraciones finales de color (UPC) después de usar almidón de “maíz amiláceo” al 0,5%.	83
Tabla 26: Ensayos con almidón de “maíz amiláceo” al 1%.	84
Tabla 27: Concentraciones finales de hierro (mg/L) después de usar almidón de “maíz amiláceo” al 1%.	85
Tabla 28: Concentraciones finales de turbidez (UNT) después de usar almidón de “maíz amiláceo” al 1%.....	85
Tabla 29: Concentraciones finales de color (UPC) después de usar almidón de “maíz amiláceo” al 1%.....	85
Tabla 30: Ensayos con almidón de “maíz amiláceo” al 2%.	86
Tabla 31: Concentraciones finales de hierro (mg/L) después de usar almidón de “maíz amiláceo” al 2%.....	87
Tabla 32: Concentraciones finales de turbidez (UNT) después de usar almidón de “maíz amiláceo” al 2%.....	87
Tabla 33: Concentraciones finales de color (UPC) después de usar almidón de “maíz amiláceo” al 2%.	87
Tabla 34: Comparación de las mejores concentraciones finales de hierro (mg/L).	88
Tabla 35: Comparación de las mejores concentraciones finales de turbidez (UNT).	88
Tabla 36: Comparación de las mejores concentraciones finales de color (UPC).....	88

Tabla 37: Comparación de las concentraciones óptimas de los parámetros con los LMPs.....	89
Tabla 38: Ensayo único al 1% de sulfato de aluminio a 250 rpm (1,5')/ 63 rpm (15')/ 10'.....	90
Tabla 39: Comparación de las concentraciones de los parámetros finales entre la aplicación de almidón de “maíz amiláceo” y sulfato de aluminio bajo las mismas condiciones.	90

Índice de figuras

Figura 1: Proceso de coagulación.....	8
Figura 2: Proceso de floculación.....	9
Figura 3: Estructura química de la molécula de amilosa.	13
Figura 4: Estructura química de la molécula de amilopectina.	13
Figura 5: Fórmula para la obtención de soluciones patrones.	20
Figura 6: Concentración inicial de los parámetros del muestreo 1 comparado con los ECAs.....	23
Figura 7: Concentración inicial de los parámetros del muestreo 2 comparado con los ECAs.....	24
Figura 8: Concentración inicial de los parámetros del muestreo 3 comparado con los ECAs.....	25
Figura 9: Promedio de las concentraciones iniciales de los muestreos 1, 2 y 3 comparado con los ECAs.....	26
Figura 10: Primer ensayo al 0,5% de almidón de “maíz amiláceo” a 300 rpm (1,5')/ 75 rpm (15')/ 10'.	27
Figura 11: Segundo ensayo al 0,5% de almidón de “maíz amiláceo” a 250 rpm (1,5')/ 63 rpm (15')/ 10'.	28
Figura 12: Tercer ensayo al 0,5% de almidón de “maíz amiláceo” a 200 rpm (1,5')/ 50 rpm (15')/ 10'.	29
Figura 13: Cuarto ensayo al 0,5% de almidón de “maíz amiláceo” a 150 rpm (1,5')/ 38 rpm (15')/ 10'.	30
Figura 14: Quinto ensayo al 0,5% de almidón de “maíz amiláceo” a 100 rpm (1,5')/ 25 rpm (15')/ 10'.	31
Figura 15: Concentraciones finales de hierro (mg/L) después de usar almidón de “maíz amiláceo” al 0,5%.....	32
Figura 16: Concentraciones finales de turbidez (UNT) después de usar almidón de “maíz amiláceo” al 0,5%.....	33
Figura 17: Concentraciones finales de color (UPC) después de usar almidón de “maíz amiláceo” al 0,5%.	34

Figura 18: Primer ensayo al 1% de almidón de “maíz amiláceo” a 300 rpm (1,5')/ 75 rpm (15')/ 10'	35
Figura 19: Segundo ensayo al 1% de almidón de “maíz amiláceo” a 250 rpm (1,5')/ 63 rpm (15')/ 10'	36
Figura 20: Tercer ensayo al 1% de almidón de “maíz amiláceo” a 200 rpm (1,5')/ 50 rpm (15')/ 10'	37
Figura 21: Cuarto ensayo al 1% de almidón de “maíz amiláceo” a 150 rpm (1,5')/ 38 rpm (15')/ 10'	38
Figura 22: Quinto ensayo al 1% de almidón de “maíz amiláceo” a 100 rpm (1,5')/ 25 rpm (15')/ 10'	39
Figura 23: Concentraciones finales de hierro (mg/L) después de usar almidón de “maíz amiláceo” al 1%.....	40
Figura 24: Concentraciones finales de turbidez (UNT) después de usar almidón de “maíz amiláceo” al 1%.....	41
Figura 25: Concentraciones finales de color (UPC) después de usar almidón de “maíz amiláceo” al 1%.	42
Figura 26: Primer ensayo al 2% de almidón de “maíz amiláceo” a 300 rpm (1,5')/ 75 rpm (15')/ 10'.....	43
Figura 27: Segundo ensayo al 2% de almidón de “maíz amiláceo” a 250 rpm (1,5')/ 63 rpm (15')/ 10'	44
Figura 28: Tercer ensayo al 2% de almidón de “maíz amiláceo” a 200 rpm (1,5')/ 50 rpm (15')/ 10'	45
Figura 29: Cuarto ensayo al 2% de almidón de “maíz amiláceo” a 150 rpm (1,5')/ 38 rpm (15')/ 10'	46
Figura 30: Quinto ensayo al 2% de almidón de “maíz amiláceo” a 100 rpm (1,5')/ 25 rpm (15')/ 10'	47
Figura 31: Concentraciones finales de hierro (mg/L) después de usar almidón de “maíz amiláceo” al 2%.....	48
Figura 32: Concentraciones finales de turbidez (UNT) después de usar almidón de “maíz amiláceo” al 2%.....	49

Figura 33: Concentraciones finales de color (UPC) después de usar almidón de “maíz amiláceo” al 2%.	50
Figura 34: Comparación de las mejores concentraciones finales de hierro.	51
Figura 35: Comparación de las mejores concentraciones finales de turbidez.....	52
Figura 36: Comparación de las mejores concentraciones finales de color.	53
Figura 37: Concentración final óptima de los parámetros comparado con los LMPs.	54
Figura 38: Ensayo único al 1% de almidón de maíz a 250 rpm (1,5')/ 63 rpm (15')/ 10'.	55
Figura 39: Comparación de las concentraciones finales de los parámetros, después de usar almidón de “maíz amiláceo” y sulfato de aluminio al 1% y a 250 rpm (1,5')/ 63 rpm (15')/ 10'.....	56
Figura 40: Propuesta del diseño de un sistema de dosificación en campo.....	58

Índice de fotografías

Fotografía 1: Granos de maíz amiláceo de la variedad blanco del Cusco.	112
Fotografía 2: Preparación del almidón de maíz amiláceo.....	112
Fotografía 3: Secado final del almidón de maíz amiláceo.	113
Fotografía 4: Extracción de agua de pozo del acuífero confinado para las pruebas de jarras correspondiente.	113
Fotografía 5: Ensayo prueba de jarras en marcha.	114
Fotografía 6: Formación de flóculos (proceso de floculación).	114
Fotografía 7: Proceso de sedimentación.	115
Fotografía 8: Sustancia de calibración para el equipo Multiparámetro DR 900.....	115
Fotografía 9: Sustancia de calibración para el equipo Turbiquant 1100 IR.....	116
Fotografía 10: Medición y lectura de las concentraciones finales de los parámetros.....	116
Fotografía 11: Medición preliminar de pH de las aguas del acuífero.	117
Fotografía 12: Medición de la concentraciones finales de hierro de las aguas del acuífero después de los ensayos.....	117
Fotografía 13: Medición preliminar de la concentración inicial de turbidez de las aguas del acuífero.....	118
Fotografía 14: Calibración del equipo Colorímetro DR 900 para las mediciones de concentraciones de color.....	118

Resumen

El proceso de coagulación en el tratamiento del agua para el consumo humano, es el método convencional para la remoción principalmente de parámetros físicos, que estos a su vez dan una apariencia sucia, estética indeseable y con presencia de posibles sustancias perjudiciales para la salud; por efecto al proceso de coagulación le siguen dos más (floculación y sedimentación) que se llevan a cabo de manera consecuyente; en la presente investigación, se evaluó el efecto que ejerce la velocidad, dosis aplicada y concentración de almidón de maíz amiláceo en la remoción de parámetros (hierro, turbidez y color) presente en aguas subterráneas. Para la obtención de los datos experimentales, se utilizó un equipo de “Prueba de Jarras”, realizando pruebas a 06 niveles de dosis aplicada (1, 2, 3, 4, 5 y 6 mL) y a 05 niveles de velocidad de agitación (100, 150, 200, 250 y 300 rpm.) con tiempos definidos de mezcla (1.5 minutos para mezcla rápida, 15 minutos para mezcla lenta y 10 minutos para sedimentación), todo esto previa preparación de almidón a 03 concentraciones (0.5%, 1% y 2%). Los resultados reportan que las mejores condiciones, con almidón de “maíz amiláceo”, se lograron con una dosis de 50 mg/L y a una velocidad de 250 r.p.m. de mezcla rápida y 63 r.p.m. de mezcla lenta, todo esto a una concentración de 1% de almidón; disminuyendo el valor de hierro inicial de 2.75 hasta 0.55 mg/L, una turbidez inicial de 44.22 hasta 4.94 UNT y una concentración de color inicial de 153.33 hasta 55 UPC. Además, se aplicó sulfato de aluminio a la misma muestra, bajo las mismas condiciones de dosis, velocidad y concentración del almidón de “maíz amiláceo”, lo cual ha permitido reducir el valor de hierro hasta 0.12 mg/L, la turbidez hasta 0.00 UNT y la concentración de color hasta 4 UPC. La prueba estadística demuestra que si existe diferencia significativa entre los valores pre y post tratamiento.

Palabras clave: coagulación, remoción, almidón, acúfero, prueba de jarras.

Abstract

The coagulation process in the treatment of water for human consumption is the conventional method for the removal mainly of physical parameters, which in turn give a dirty appearance, undesirable aesthetics and the presence of possible substances harmful to health; due to the coagulation process, two more are followed (flocculation and sedimentation) that are carried out in a consistent manner; In the present investigation, the effect of the speed, applied dose and concentration of starchy corn starch in the removal of parameters (iron, turbidity and color) present in groundwater was evaluated. To obtain the experimental data, a “Jug Test” equipment was used, performing tests at 06 levels of applied dose (1, 2, 3, 4, 5 and 6 mL) and at 05 levels of stirring speed (100, 150, 200, 250 and 300 rpm.) With defined mixing times (1.5 minutes for rapid mixing, 15 minutes for slow mixing and 10 minutes for sedimentation), all this prior preparation of starch at 03 concentrations (0.5%, 1% and 2%). The results report that the best conditions, with starchy corn starch, were achieved with a dose of 50 mg/L and at a speed of 250 r.p.m. fast mix and 63 r.p.m. slow mixing, all this at a concentration of 1% starch; decreasing the initial iron value from 2.75 to 0.55 mg/ L, an initial turbidity of 44.22 to 4.94 UNT and an initial color concentration of 153.33 to 55 UPC. In addition, aluminum sulfate was applied to the same sample, under the same conditions of dose, speed and concentration of starchy corn starch, which has allowed reducing the iron value to 0.12 mg/ L, turbidity to 0.00 UNT and color concentration up to 4 UPC. The statistical test shows that there is a significant difference between the pre and post treatment values.

Keywords: coagulation, removal, starch, aquifer, jug test.



Introducción

La calidad del agua depende directamente de la fuente en el que esta se encuentre, y de los factores naturales o antrópicos que puedan impactar en ella. En el mundo 2.000 millones de personas dependen del agua de las napas freáticas (agua subterránea más cercana a la superficie) y en el Perú 7,4 millones de personas todavía no cuentan con agua potable en sus hogares. (ETRAS-OPS, 2013, “Calidad de agua y salud pública”, párr. 5). Actualmente potabilizar el agua significa hacer uso de técnicas convencionales de ingeniería, esto a su vez significa utilizar insumos (coagulantes inorgánicos) que garanticen eficiencia en el tratamiento, desvalorizando los riesgos que pueden ocasionar al ambiente y a la salud de quienes consumen estas aguas, se puede considerar que dichas sustancias pueden ser sustituidos por coagulantes orgánicos, como por ejemplo almidón de vegetales. La importancia del almidón radica principalmente en el uso industrial y agroindustrial, pero muy poco se ha estudiado como una alternativa de coagulante natural en la potabilización de aguas; el almidón se puede extraer de distintos productos vegetales, como, por ejemplo: semillas, tubérculos, cereales etc. El maíz es una fuente importante para la obtención de almidón; si se desea usar almidón como coagulante, hace falta seguir metodologías para su obtención para luego realizar pruebas de laboratorio, mediante ensayos con equipos prueba de jarras, de esa manera se determina condiciones óptimas de remoción, así como la dosis óptima del coagulante.

En el distrito de Yantaló los pobladores se abastecen de agua proveniente del morro de Calzada, la cual es escasa todo el año, generalmente el servicio es continuo durante 2 horas cada 4 horas (aproximadamente), es decir, estas personas no tienen acceso al servicio de agua potable gran parte del día, razón por la cual se ven en la necesidad de extraer agua de los pozos más cercanos a sus viviendas; tal es el caso de los pobladores del barrio Miramayo que acuden a un solo pozo para obtener el agua que del subsuelo emerge, para de esta manera satisfacer sus necesidades y continuar con sus actividades del día, sin tener conocimiento alguno de las características físicas, químicas y biológicas que estas aguas presentan y de los riesgos a la salud que puede ocasionar su consumo directo, en tal sentido se realizó análisis preliminares para identificar algunas características físicas y químicas de dichas aguas, enfocándose principalmente en tres parámetros (hierro, turbidez y color); estos resultados evidenciaron que dichas aguas no cumplen con los requisitos para ser consumidos directamente. En esta investigación se evaluó el proceso de coagulación con almidón de

“maíz amiláceo” (variedad: maíz blanco del Cusco), para la remoción de parámetros físicos y químicos de aguas subterráneas destinados al consumo humano, específicamente en las aguas del acuífero confinado del barrio Miramayo – Yantaló, esta problemática nos permitió formularnos la siguiente interrogante: ¿Se removerá la concentración de hierro, turbidez y color en el acuífero confinado de Yantaló mediante el proceso de coagulación con almidón de “maíz amiláceo”?

El objetivo principal de esta investigación fue: Evaluar el proceso de coagulación con almidón de “maíz amiláceo” para la remoción de la concentración de hierro, turbidez y color en el acuífero confinado de Yantaló; mientras que los objetivos específicos fueron: Determinar los niveles de los parámetros de hierro, turbidez y color de las aguas del acuífero confinado, pre y post tratamiento, Determinar la dosis óptima del almidón de “maíz amiláceo”, velocidad de agitación y tiempo de mezcla; mediante el proceso de clarificación, usando el equipo Prueba de Jarras y Proponer el diseño de un sistema de dosificación, para el tratamiento del agua del acuífero confinado, con la dosis optima del almidón de “maíz amiláceo”; así mismo se planteó la siguiente hipótesis: El proceso de coagulación con almidón de “maíz amiláceo” removerá la concentración de hierro, turbidez y color en el acuífero confinado, la cual fue contrastada mediante pruebas estadísticas.

El presente informe de investigación consta de tres capítulos, cada uno de ellos contiene lo siguiente:

Capítulo I: Antecedentes internacionales, nacionales, locales y las bases teóricas de la investigación.

Capítulo II: Materiales y métodos empleados en la ejecución de la investigación.

Capítulo III: Resultados obtenidos en el desarrollo de la ejecución de la investigación, interpretación y análisis de los resultados, contrastación de la hipótesis mediante pruebas estadísticas y la discusión de los resultados.

Para finalizar, se presentan las conclusiones de la investigación, recomendaciones, referencias bibliográficas y los anexos. En esta última parte también se puede encontrar con un panel fotográfico en donde se evidencian las actividades más importantes realizadas durante el desarrollo de la presente investigación.

CAPÍTULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. Antecedentes de la investigación

Antecedentes internacionales

Jiménez y Vladimir (2015). La finalidad de esta investigación fue el de estudiar y evaluar al almidón de “maíz” como alternativa natural en el proceso de coagulación para el tratamiento del agua, la cual concluyeron que con el empleo del almidón de maíz como coagulante natural, a una concentración patrón de 20000 mg/l (2%), aplicando la dosis optima de 6 mg/l y velocidades de 300 rpm (mezcla rápida)/ 24 rpm (mezcla lenta) se logró una remoción de turbidez del 86,77% (3,88 NTU), y de color (color aparente) del 52,76 % (43,82 UPC); partiendo de un valor de color inicial de la fuente de estudio de 95 ± 5 UPC, y de turbidez de 30 ± 5 NTU. Resultados que indicaron una deficiencia de este coagulante en la remoción de color; por lo tanto, se hizo necesario implementar un proceso de filtración eficiente, que garantice la remoción de este parámetro. Una aproximación de esta etapa en el laboratorio, empleando papel filtro, muestra una disminución de turbidez del 97,92%, que equivale a 0,61 NTU y de color (color verdadero) del 91,01%, que equivale a 8,33 UPC; valores que dan cumplimiento con las normas de calidad del agua para consumo humano (Decreto 1575 de 2007). Cabe mencionar, que esta eficiencia no fue representativa la de un filtro convencional.

Castañeda (2015). Esta investigación está orientada a determinar la eficiencia del tratamiento de agua subterránea rica en hierro con almidón de “maíz” y alumbre, después de haberse realizado los análisis se muestran los resultados de los ensayos físico- químicos del agua cruda. Se observa que el agua cruda tiene una concentración de hierro de 6,2 a 8 mg/L, lo cual excede la norma colombiana para agua potable (resolución 2115 de 2007) que establece como valor máximo aceptable 0,3 mg/L- Fe; lo cual indica que para cumplir con la norma colombiana se debe remover mínimo el 95,2%.

Después de realizar los ensayos prueba de jarra se determinó que la mejor dosis de almidón de “maíz” es de 100 mg/L, con tiempo de mezcla rápida de 30 segundos en

100 rpm, tiempo de mezcla lenta de 15 minutos en 40 rpm y tiempo de sedimentación de 15 minutos.

En relación con el hierro, los métodos con mejores tratamientos que se obtuvieron son alumbre – cal, almidón – cal – alumbre, y cloruro férrico – cal, los cuales permitieron obtener una remoción de hierro del 100%. El almidón de maíz independientemente removió el 83% de hierro, partiendo de 8,02 mg/L como parámetro de hierro inicial y obteniendo 1,37 mg/L de hierro final.

En los ensayos para remover la turbidez, los tratamientos que presentaron mejores resultados fueron: almidón - cal – alumbre y Almidón – cloruro férrico con una remoción de turbiedad del 99%. El almidón de “maíz” independientemente removió el 86% de turbidez, partiendo de 221 UNT como parámetro de turbidez inicial y obteniendo 30,7 UNT de turbidez final.

En los ensayos para remover el color, los tratamientos que presentaron mejor resultado son: almidón – cal – alumbre y cloruro férrico – cal que obtuvieron remociones de color del 90%. El almidón de maíz independientemente removió el 87% de color, partiendo de 75 UPC como parámetro de color inicial y obteniendo 10 UPC de color final.

Antecedentes nacionales

Moreno (2016). La finalidad de esta investigación fue el de determinar la disminución de la turbidez del agua del río Criznejas que consume la población de Chuquibamba-Cajabamba utilizando extractos de *Opuntia ficus indica*, *Aloe vera* y *Caesalpinia spinosa*, llegando a concluir que la disminución de la turbidez del agua que consume la población de Chuquibamba-Cajabamba, se realizó de manera favorable, logrando reducir la turbidez en un 61,09% al usar *Opuntia ficus indica*, en un 48,47% al usar *Caesalpinia spinosa* y en un 42,48% en el caso del uso de *Aloe vera*, siendo *Opuntia ficus indica* la más efectiva.

Con respecto a la cantidad del recurso vegetal usado la variación de la turbidez fue mínima; sin embargo, se pudo observar que la mejor cantidad a usar es la de 6 g,

demostrando mayor eficiencia en la reducción de la turbidez; sin embargo, en el caso de los tratamientos *Caesalpinia spinosa* y *Aloe vera* las cantidades de coagulante-floculante vegetal influyen de manera muy mínima ya sea para cantidades de 6 g y 9 g, no se denota mucha diferencia. La reducción de la turbidez del agua con respecto al tiempo, tres diferentes tiempos no influye en el proceso de reducción de la turbidez, debido a que hay similitudes en los resultados en los tres tiempos.

La reducción de la turbidez del agua al utilizar dos velocidades influye de manera significativa, siendo la velocidad más eficaz la de 100 rpm, dando resultados favorables en el proceso de reducción de la turbidez; sin embargo, se denota que en el tratamiento *Caesalpinia spinosa* la influencia de la velocidad de agitación es mínima.

Antecedentes locales

Maldonado (2017). En su investigación planteó como objetivo general determinar en qué medida el clarificante de origen natural (almidón de “yuca”) remueve la turbidez y color, en aguas de consumo humano, quebrada Juninguillo, por lo que después de la ejecución llegó a concluir que el clarificante natural hecho a base de almidón de “yuca”, ha removido en 48% del color inicial al ser aplicada al agua de la quebrada Juninguillo y en un 50% la turbidez del agua en las pruebas óptimas, realizada en la prueba de jarras, como clarificante natural, sin ninguna adición de químicos este demuestra no afectar en turbidez y color al agua de la quebrada a ninguna concentración, ni mucho menos en la variación de las velocidades.

La velocidad óptima encontrada, con la utilización del clarificante natural a base de almidón de “yuca”, para la turbidez es de 150 rpm y para el color fue de 200 rpm, en la concentración del 1% de almidón de “yuca”, en el cual se ha obtenido los mejores resultados en este parámetro; pero no llegó a cumplir con los Límites Máximos Permisibles, en ninguno de los mencionados.

Los valores alcanzados con la utilización del clarificante natural como coagulante ha obtenido valores en turbidez y color, no se encuentran dentro de lo que establece el LMPs, puesto que tiene de 8 a 15 unidades aún mayores a las estipuladas para color 15 UPC y para turbidez 5 UNT. En comparación con la utilización del agente químico más usado en las plantas de tratamiento (sulfato de aluminio), este ha

demostrado como coagulante ser efectivo por su poder de remoción de un 85% del color y 90% turbidez, llegando este a alcanzar con los límites reglamentados por la ley peruana.

1.2. Bases teóricas

1.2.1. Calidad de agua subterránea

La calidad del agua subterránea como fuente de abasto se compara favorablemente, con las aguas superficiales, debido al menor número de procesos necesarios para su potabilización. El agua subterránea se ve influenciada por la geología del suelo, el clima, las actividades humanas, el hierro, manganeso, fosfatos, sabor, olor, alcalinidad, pesticidas, gas carbónico, otros. El hierro y el manganeso son una de las mayores causas de problemas en los sistemas de suministro de agua para consumo humano de fuentes subterráneas. Los tratamientos aplicados para remover hierro y manganeso son variados y dependen del estado en que se encuentre el mineral (Corbitt, 2003).

1.2.2. Parámetros que influyen en las características físicas de aguas subterráneas

- **Hierro**

Es un elemento que abunda en la corteza terrestre, pero, por lo general, se da en pequeña concentración en los sistemas de aguas naturales. La forma y solubilidad del hierro en las aguas naturales depende en gran medida del pH y potencial redox del agua. El hierro se presenta en estado de oxidación +2 y +3. Su selección es para definir que su presencia en las aguas naturales se debe al aporte de su propia naturaleza del lugar. (ANA, 2018, p. 12).

- **Turbidez**

Es la característica que hace aparecer el agua como sucia o barrosa. La turbiedad es causada por partículas suspendidas y coloidales que limitan el paso de la luz a través del agua. Estas partículas pueden ser minerales u orgánicas (arcilla, compuestos de zinc, etc). El grado de turbiedad depende de la concentración de partículas, de su tamaño, dispersión de las mismas y las propiedades de absorción de la luz que posea la suspensión. La turbiedad no

tiene efectos sobre la salud, pero afecta la calidad estética del agua. Un alto grado de turbiedad puede proteger a los microorganismos de los efectos de la desinfección y estimular el crecimiento de bacterias. (Cortés, 2002, p. 18).

- **Color**

El color en el agua potable puede deberse a la presencia de materia orgánica de color, por ejemplo, sustancias húmicas, metales como el hierro y el manganeso, o residuos industriales fuertemente coloreados. La experiencia ha demostrado que los consumidores pueden acudir a fuentes alternativas, quizás inseguras, cuando su agua muestra a la vista niveles de color desagradables. Por lo tanto, se recomienda que el agua potable sea incolora. El valor guía es de 15 unidades de color verdadero (UCV). Los niveles de color por encima de las 15 UCV pueden ser detectados en un vaso con agua por la mayoría de las personas. (OPS, 1988, p. 5).

- **Coloides**

Son suspensiones estables, por lo que es imposible su sedimentación natural, son sustancias responsables de la turbiedad y del color del agua. Los sistemas coloidales presentan una superficie de contacto inmensa entre la fase sólida y la fase líquida, por ejemplo 1 cubo de 1 cm³, tiene una superficie total de 6 cm²; si está dividido en pequeños cubos elementales, la superficie total de todos aquellos es mucho más grande. (Andia, 2000, “Los coloides”, párr. 1 y 2).

1.2.3. Proceso de coagulación, floculación y sedimentación.

El método más común utilizado para remover las partículas y una porción de materia orgánica disuelta es la combinación de coagulación y floculación seguida por la sedimentación o la filtración. (Maldonado, 2017, p. 11).

- **Coagulación**

Es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, por medio de la adición de los coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado. (Andia, 2000, “Que es la coagulación”, párr. 1).

La coagulación es el tratamiento más eficaz pero también es el que representa un gasto elevado cuando no está bien realizado. Es igualmente el método universal porque elimina una gran cantidad de sustancias de diversas naturalezas y de peso de materia que son eliminados al menor costo, en comparación con otros métodos. (Andia, 2000, “Que es la coagulación”, párr. 3).

La desestabilización se puede obtener por los mecanismos fisicoquímicos siguientes:

- ✓ Compresión de la doble capa.
- ✓ Adsorción y neutralización de cargas.
- ✓ Atrapamiento de partículas en un precipitado.
- ✓ Adsorción y puente.

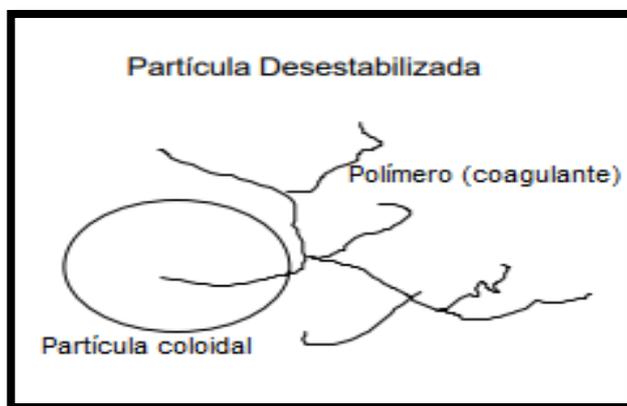


Figura 1: Proceso de coagulación. (Andia, 2000).

• Floculación

Normalmente, la floculación se analiza como un proceso causado por la colisión entre partículas. En ella intervienen, en forma secuencial, tres mecanismos de transporte:

- ✓ Floculación pericinética o browniana. Se debe a la energía térmica del fluido.
- ✓ Floculación ortocinética o gradiente de velocidad. Se produce en la masa del fluido en movimiento.
- ✓ Sedimentación diferencial. Se debe a las partículas grandes, que, al precipitarse, colisionan con las más pequeñas, que van descendiendo lentamente, y ambas se aglomeran.

Al dispersarse el coagulante en la masa de agua y desestabilizarse las partículas, se precisa de la floculación pericinética para que las partículas coloidales de tamaño menor de un micrómetro empiecen a aglutinarse. El movimiento browniano actúa dentro de este rango de tamaño de partículas y forma el microfloculo inicial (Maldonado, 2017, p. 14).

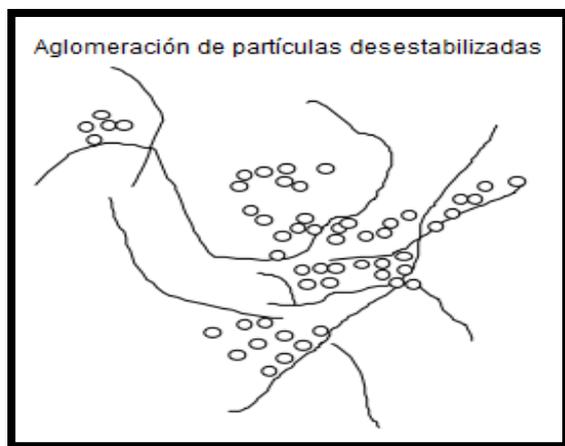


Figura 2: Proceso de floculación. (Andia, 2000).

- **Sedimentación**

la sedimentación está basada en la ley de Stokes que menciona que las partículas de mayor diámetro y/o mayor peso específico que el líquido son más fáciles de sedimentar, así también una menor viscosidad del líquido logra una mejor sedimentación. (Trigoso y Tejada, 2017, p. 142).

1.2.4. Factores que influyen en el proceso coagulación – floculación

1.2.4.1. Factores que influyen en el proceso coagulación

- ✓ **Valencia:** Entre mayor sea la valencia del ion, más efectivo resulta como coagulante. (Restrepo, 2009, p. 8).
- ✓ **Capacidad de cambio:** Es una medida de la tendencia a reemplazar cationes de baja valencia por otros de mayor valencia, provocando la desestabilización y aglomeración de partículas en forma muy rápida. (Restrepo, 2009, p. 8).
- ✓ **Tamaño de las partículas:** Las partículas deben poseer el diámetro inferior a una micra. Las partículas con diámetro entre una y cinco micras, sirven como núcleos de floc, en cambio de diámetro superior a cinco

micras, son demasiado grandes para ser incorporadas en el floc. (Restrepo, 2009, p. 9).

- ✓ **Temperatura:** La temperatura cambia el tiempo de formación del floc, entre más fría el agua, la reacción es más lenta y el tiempo de formación del floc es mayor. (Restrepo, 2009, p. 9).
- ✓ **Concentración de iones H^+ o pH:** Para cada coagulante hay por lo menos una zona de pH óptima, en la cual una buena floculación ocurre en el tiempo más corto y con la misma dosis de coagulante. (Restrepo, 2009, p. 9).
- ✓ **Relación cantidad-tiempo:** La cantidad de coagulante es inversamente proporcional al tiempo de formación del floc. (Restrepo, 2009, p. 9).
- ✓ **Alcalinidad:** La alcalinidad guarda la relación con el pH y por lo tanto el contenido de alcalinidad del agua es uno de los factores por considerar en la coagulación. (Restrepo, 2009, p. 9).

1.2.4.2. Factores que influyen en el proceso floculación

- ✓ **Concentración y naturaleza de las partículas:** La velocidad de formación del floc es proporcional a la concentración de partículas en el agua y del tamaño inicial de estas. (Restrepo, 2009, p. 11).
- ✓ **Tiempo de detención:** La velocidad de aglomeración de las partículas es proporcional al tiempo de detención. Debe estar lo más cerca posible al óptimo determinado por medio de ensayos de jarras, esto se puede lograr dividiendo la unidad de floculación en cámaras. Se puede decir que una eficiencia dada, se obtiene en tiempos cada vez menores a medida que se aumenta el número de cámaras de floculación en serie. Por razones de orden práctico el número de cámaras no puede ser muy grande, estableciéndose un mínimo de tres (3) unidades. (Restrepo, 2009, p. 11).
- ✓ **Gradiente de velocidad:** Este es un factor proporcional a la velocidad de aglomeración de las partículas. Existe un límite máximo de gradiente

que no puede ser sobrepasado, para evitar el rompimiento del floc. El gradiente a través de las cámaras debe ser decreciente y no se deben tener cámaras intermedias con gradientes elevados. (Restrepo, 2009, p. 11).

1.2.5. Coagulantes utilizados en el tratamiento de aguas.

- **Coagulantes inorgánicos**

Son insumos de mayor uso y aplicación en el tratamiento de aguas para el consumo humano, debido a su rendimiento, disponibilidad, costo y efectividad. Poseen la capacidad de actuar como coagulantes y floculantes, cuando son disueltos estos forman compuestos complejos hidratados. Entre los más utilizados se hallan, sulfato de aluminio, sulfato férrico, sulfato ferroso, cloruro férrico y el aluminato de sodio. Aunque estas sales químicas, presentan alta capacidad de coagulación- floculación, pueden llegar a ser nocivos para la salud humana y el medio ambiente. (Bravo, 2017, p. 15).

- **Coagulantes naturales**

Son compuestos orgánicos de origen biológico entre los que destacan los derivados del almidón y la celulosa, extractos vegetales, alginatos (extractos de algas), ciertas gomas y quitosan. Los polielectrolitos naturales pueden tener propiedades catiónicas como el quitosan y el almidón, aniónicas, como los polisacáridos sulfatados. (Aguilar et al, 2002, p. 59).

Se trata de una alternativa viable con un gran potencial y de gran interés científico, ya que son biodegradables y no generan daños al medio ambiente.

1.2.6. Maíz amiláceo

El grano del “maíz amiláceo” tiene un alto contenido en almidón en promedio 70%; un bajo contenido de proteína, alrededor de 4% de grasas, y además contiene fosforo, potasio, hierro cobre y zinc. Este grupo de maíces tienen una gran variabilidad en el color del grano, en la textura, en su composición, en su apariencia y en su grado de madurez al momento de ser

cosechado, además se caracterizan por tener un grano harinoso, blando y suave. (Minagri, 2011, “Propiedades y usos”, párr. 1).

Tabla 1

Especificaciones técnicas del “maíz amiláceo”

Nombre común	: “Maíz”.
Nombre científico	: <i>Zea mays L.</i>
Familia	: Poaceae (gramíneas).
Origen	: América tropical.
Regiones naturales	: Yunga, Quechua y Suni (entre 1 500 y 3 800 m.s.n.m).
Departamentos	: Cusco, Apurímac, Huancavelica, La libertad Ayacucho y otros.
Variedades	: Pardo, Alazán, Mochero, Coruca, Blanco del Cusco, Morado, San Gerónimo, Arequipeño, Huayleño, etc.
Periodo vegetativo	: 100 a 200 días según la variedad.

Fuente: MINAGRI – DGPA – DEEIA.

1.2.7. Almidón

El almidón ($C_6H_{10}O_5$) $_n$ es un carbohidrato de reserva, sintetizado y almacenado como fuente de energía en plantas superiores; además después de la celulosa, es el segundo hidrato de carbono más abundante en la biosfera. Aunque el contenido de almidón varía según la fuente de obtención, la más importante son los cereales (maíz, arroz, trigo con un contenido aproximado de 30-80%, en leguminosas (frijol, chícharo, haba) un 25-50% y en tubérculos (papa, tapioca, yuca) presenta un 60-90% de la materia seca. De la producción mundial de almidón aproximadamente el 83% es obtenido del maíz; después la fuente más importante es el trigo con un 7%, papa con un 6% y tapioca con el 4%. (Tovar, 2008, p. 15).

En términos generales, los almidones contienen aproximadamente 17-27% de amilosa, y el resto de amilopectina. Algunos cereales, como el maíz, el sorgo y el arroz, tienen variedades llamadas “céreas” que están constituidas casi únicamente por amilopectina; hay otras que tienen hasta 90% de amilosa. La concentración relativa de estos dos polímeros está regida por factores genéticos típicos de cada cereal. (Badui, 2006 p. 83).

1.2.7.1. Estructura química del almidón

- Amilosa:** La amilosa es un polímero esencialmente lineal, es producto de la condensación de D-glucopiranosas por medio de enlaces glucosídicos α (1,4), que establece largas cadenas lineales con 200-2 500 unidades y pesos moleculares hasta de un millón; es decir, la amilosa es una α -D-(1,4)-glucana, cuya unidad repetitiva es la amaltosa. Tiene la facilidad de adquirir una conformación tridimensional helicoidal, en la que cada vuelta de la hélice consta de seis moléculas de glucosa. (Badui, 2006, p. 83).

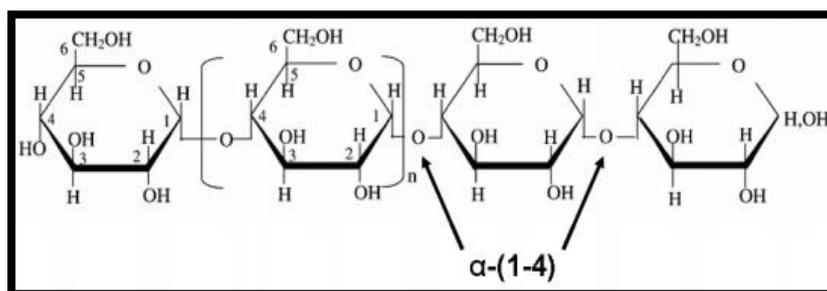


Figura 3: Estructura química de la molécula de amilosa. (Tovar, 2008, p. 17).

- Amilopectina:** La amilopectina se diferencia de la amilosa en que contiene ramificaciones que le dan una forma molecular similar a la de un árbol; las ramas están unidas al tronco central (semejante a la amilosa) por enlaces α -D-(1,6), localizadas cada 15-25 unidades lineales de glucosa. Su peso molecular es muy alto, ya que algunas fracciones llegan a alcanzar hasta 200 millones de daltones, aunque se han reportado pesos de entre 300 000 y 500 000. (Badui, 2006, p. 83).

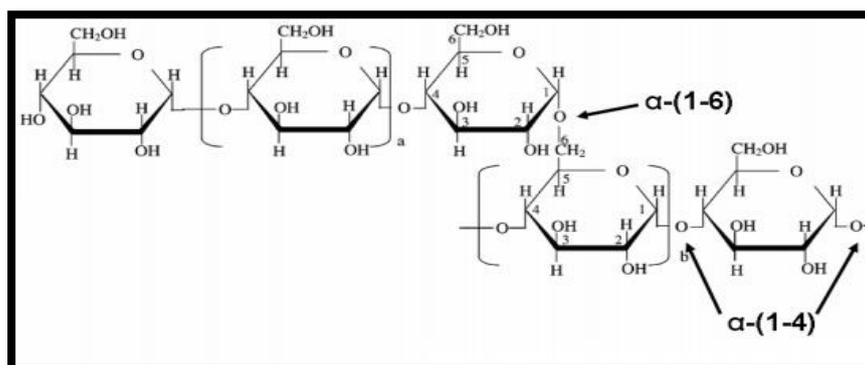


Figura 4: Estructura química de la molécula de amilopectina. (Tovar, 2008, p. 19).

1.2.7.2. Carácter eléctrico del almidón.

Generalmente los almidones son polielectrolitos no iónicos, pero en algunos casos, dependiendo de la procedencia del almidón, y bajo ciertas condiciones, se comportan como polielectrolitos aniónicos. (Roncal y Segundo, 1990, p. 100).

La carga negativa del grupo éster de los fosfatos le imparte un carácter de polielectrolito. Algunos almidones (como el de papa), presentan un mejor desempeño de manera general, en tratamiento de aguas, lo que es atribuido a la presencia de fósforo. (Roncal y Segundo, 1990, p. 100).

Para que la carga iónica no sea elevada, la repulsión de cargas iguales, en solución, provoca el extendimiento de las moléculas, aumentando; si las demás condiciones fueran satisfechas, se incrementa la probabilidad de ocurrencia del “efecto puente”. (Roncal y Segundo, 1990, p. 101).

Los almidones que no poseen grupos ésteres de ácido fosfórico (como por ejemplo los procedentes del maíz), pueden comportarse como polielectrolitos aniónicos, solamente a valores de pH elevados (mayores de 11), debido a la ionización de los grupos hidroxilos que son frecuentemente ácidos. (Roncal y Segundo, 1990, p. 101).

1.2.7.3. Uso y aplicación del almidón en el tratamiento de aguas.

El método seleccionado para su aplicación en plantas de tratamiento de aguas, será aquel que se ajuste a los requerimientos técnicos más adecuados, y sobre todo, aquel que se acomode a las exigencias de bajos costos, tanto de inversión, como de operación y mantenimiento. Si bien es cierto, el almidón se adquiere en forma de polvo; su manipuleo no implica riesgo alguno y las cantidades a manejar son pequeñas, en comparación a los productos químicos utilizados. (Roncal y Segundo, 1990, p. 102).

El almacenamiento del almidón en polvo utilizado en plantas de tratamiento para su solubilización en ella, debe hacerse en lugares secos, preferentemente, aislado del suelo y fuera del posible contacto con insectos y roedores. Las "soluciones" a preparar para usar en plantas, deben ser de concentraciones adecuadas y relativamente altas (hasta 2%). Para facilitar la dosificación de este producto, se aconseja que la concentración sea menor del 1% para lo cual se requiere de una dilución preliminar a concentraciones de alrededor del 0,2%, 0,5%, con lo que se obtendrían mejores resultados. (Roncal y Segundo, 1990, p. 103).

1.2.8. Marco legal

- **Ley N° 29338 – Ley de recursos hídricos.**

Título III Usos de los recursos hídricos

- ✓ Artículo 36°.- Uso primario del agua.

El uso primario consiste en la utilización directa y efectiva de la misma, en las fuentes naturales y cauces públicos de agua, con el fin de satisfacer necesidades humanas primarias. Comprende el uso de agua para la preparación de alimentos, el consumo directo y el aseo personal; así como su uso en ceremonias culturales, religiosas y rituales.

- ✓ Artículo 37°.- Características del uso primario.

El uso primario del agua no requiere autorización administrativa y se ejerce por la sola disposición de la Ley. Es inocuo al ambiente y a terceros, no tiene fin lucrativo y se ejerce en forma gratuita por las personas, bajo su propia responsabilidad, restringido solo a medios manuales y condicionados a que:

1. No altere las fuentes de agua en su cantidad y calidad, y
2. no afecte los bienes asociados al agua.

- **D.S N° 031-2010-SA. Reglamento de la calidad del agua para consumo humano.**

- ✓ Artículo 5° . - Definiciones.

Agua Tratada: Toda agua sometida a procesos físicos, químicos y/o biológicos para convertirla en un producto inocuo para el consumo humano.

Límite Máximo Permisible: Son los valores máximos admisibles de los parámetros representativos de la calidad del agua.

- ✓ ANEXO II. Límites máximos permisibles de parámetros de calidad organoléptica

- **D.S N° 004-2017-MINAM. Aprueban estándares de calidad ambiental (ECA) para agua y establecen disposiciones complementarias.**

- ✓ Artículo 3.- Categorías de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua.

Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable

- A2. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional, mediante dos o más de los siguientes procesos: Coagulación, floculación, decantación, sedimentación, y/o filtración o procesos equivalentes; incluyendo su desinfección, de conformidad con la normativa vigente.

- ✓ ANEXO Categoría 1: Poblacional y Recreacional Subcategoría (A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable)

- **Ley N° 26842 – Ley general de salud.**

Capítulo VIII de la protección del ambiente para la salud

- ✓ Artículo 105°.- Corresponde a la Autoridad de Salud competente, dictar las medidas necesarias para minimizar y controlar los riesgos para la salud de las personas derivados de elementos, factores y agentes ambientales, de conformidad con lo que establece, en cada caso, la ley de la materia.

1.3. Definición de términos básicos

Agua tratada: Toda agua sometida a procesos físicos, químicos y/o biológicos para convertirla en un producto inocuo para el consumo humano. (DS N° 031-2010-SA, p. 10).

Almidón: Molécula natural formada por polisacáridos, de color blanco y aspecto granuloso, que se almacena como material de reserva en los tubérculos, raíces y semillas de ciertas plantas, especialmente en los cereales. (Jiménez y Vladimir, 2015, p. 16).

Amiláceo: Que contiene almidón o que se parece a esta sustancia. (DRAE, 2014).

Coagulación: Aglomeración de partículas coloidales ($< 0,001$ mm) y dispersas (0,001 a 0,01 mm) en coágulos visibles, por adición de un coagulante. (NORMA OS.090, p. 85).

Coagulante: Electrolito simple, usualmente sal inorgánica, que contiene un catión multivalente de hierro, aluminio o calcio. Se usa para desestabilizar las partículas coloidales favoreciendo su aglomeración. (NORMA OS.090, p 85).

Floc: Partículas aglutinadas en pequeñas masas con peso específico superior al del agua. (Jiménez y Vladimir, 2015, p. 16).

Límite máximo permisible: Son los valores máximos admisibles de los parámetros representativos de la calidad del agua. (DS N° 031-2010-SA, p. 10).

Turbidez: Falta de transparencia del agua debido a la presencia de partículas en suspensión. (Jiménez y Vladimir, 2015 p. 17).

CAPÍTULO II

MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Materiales de investigación

Materiales

- Vasos de precipitación. - se utilizaron en la obtención del almidón de maíz.
- Agitador. - se usó en la preparación de las soluciones concentradas de almidón.
- Tubos de ensayo. - se usaron en el equipo de centrifuga.
- Reactivos. - se utilizaron en la calibración de los equipos.
- Frasco hermético. - se usó para almacenar el almidón de maíz obtenido.
- Frascos de muestras. - se usaron para almacenar las soluciones de almidón.
- Jeringas. - se usaron como medidor de dosis de almidón en la experimentación.
- Pipeta. - se utilizó para extraer muestras de agua después del tratamiento.
- Probeta. - se utilizó para medir volúmenes de agua destilada.
- Botellas. - se usaron botellas de plástico para almacenar las muestras de agua.
- Guantes. - se usaron para el muestreo y también en la manipulación de reactivos.
- Mandil. - se usó como indumentaria obligatoria en el laboratorio.

Equipos

- Licuadora. - se usó para el mesclado en el proceso de obtención de almidón.
- Centrífuga. - se usó para el separado en el proceso de obtención de almidón.
- Estufa. - se usó para el secado del almidón de maíz.
- Test de jarras. - se usó en el tratamiento de las muestras de agua.
- pH metro. - se usó para medir el pH del almidón y de las muestras de estudio.
- Turbidímetro. - se usó para medir la turbidez de las muestras de estudio.
- Colorímetro. - se usó para medir hierro y color de las muestras de estudio.
- Laptop. - se usó en la redacción del informe.

2.2. Métodos y técnicas

a) Recopilación y análisis de información bibliográfica.

Se recopiló y analizó información referido a: uso de materiales y equipos de laboratorio, obtención del almidón de “maíz amiláceo” siguiendo un protocolo,

proceso de coagulación – floculación – sedimentación, ensayo prueba de jarras, características del “maíz amiláceo” e información referida a la química del almidón.

b) Obtención de la materia prima.

Se realizó la compra de los granos de “maíz amiláceo” en el mercado central de la ciudad de Moyobamba, se optó por escoger la variedad maíz blanco del Cusco por ser el de mayor comercialización a nivel nacional, del cual solo se requirió de 1 kg.

c) Obtención experimental de almidón de “maíz amiláceo”.

Para la obtención del almidón de maíz se siguió minuciosamente la metodología del protocolo de (L, Wang y YJ, Wang, 2001) citado por (Jiménez y Vladimir, 2015, p. 41), el cual se indica de forma resumida a continuación:

- ✓ Secado de los granos de “maíz amiláceo”.
- ✓ Obtención de harina de “maíz amiláceo” (800 gr) mediante molienda de los granos.
- ✓ Tamizado de la harina de “maíz amiláceo” para separar el pericarpio
- ✓ Desinfección de la harina de “maíz amiláceo” con 1 L de NaOH (hidróxido de sodio) al 0,1% durante 24 hora.
- ✓ Mezclado con una licuadora a máxima velocidad por un periodo de 2 minutos.
- ✓ Tamizado de la suspensión resultante.
- ✓ Centrifugación a 7000 rpm por un periodo de 30 minutos.
- ✓ Medir el pH en medio acuoso y de ser necesario neutralizar con HCl (Ácido clorhidrico).
- ✓ Secado del almidón con una estufa con recirculación de aire a 40°C – 43°C.

d) Calibración de los equipos de medición.

Previo a la realización de los análisis de las concentraciones de los parámetros de estudio, los equipos de medición fueron calibrados con reactivos específicos para cada equipo. (Ver fotografías 8 y 9).

e) Recolección y medición de muestras para el análisis de los parámetros iniciales.

Se recolectó en total 3 litros de agua del acuífero confinado en el barrio Miramayo en botellas de plástico (tres muestreos durante el mes de marzo, 1 litro semanal) y se determinó las concentraciones de los parámetros iniciales de la muestra (pre tratamiento), mediante la utilización de los equipos con los que cuenta el laboratorio de ingeniería sanitaria de la facultad que previamente han sido calibrados: Colorímetro (HACH DR 900), turbidímetro (TURBIQUANT 1100 IR) y pH - metro. Dichos datos obtenidos se utilizaron como punto de partida para la investigación.

f) Recolección de muestras para los ensayos y análisis.

Se recolectó en total 96 litros de agua del acuífero confinado en el barrio Miramayo en botellas de plástico con capacidad de 3 L. Las muestras para los ensayos, se recolectó semanalmente durante el mes de marzo, es decir, se realizó cuatro muestreos (24 litros cada muestreo aproximadamente).

g) Elaboración de la solución patrón del almidón de “maíz amiláceo”.

Para la obtención de la solución patrón del almidón de “maíz amiláceo”, se utilizó el siguiente modelo adaptado por (Maldonado, 2017, p. 57):

- Para obtener 10000 mL de solución al 1% de Almidón de yuca, aplicamos la fórmula:

$$\%W = WSTO \times 100 / WSOL$$

$$\%W = 10 \text{ gr almidón} \times 100 / (10 \text{ gr almidón} + 990 \text{ gr agua})$$

$$\%W = 1\% \text{ Almidón de yuca.}$$

Figura 5: Fórmula para la obtención de soluciones patrones.

h) Ensayos Prueba de Jarras.

Se realizó los ensayos a diferentes concentraciones del almidón de “maíz amiláceo”, diferentes velocidades de agitación y a diferentes tiempos de mezcla con el equipo prueba de jarras para la simulación de coagulación, floculación y sedimentación; Se siguió el siguiente orden:

- ✓ Se llenó los 6 vasos precipitados con la muestra de agua, cada uno con una capacidad de 1 L.
- ✓ Se programó el equipo a diferentes velocidades de agitación y tiempos de mezcla para cada corrida.
- ✓ Se inyectó el coagulante natural a la dosis seleccionada haciendo uso de jeringas.

i) Análisis de los parámetros finales.

Los datos que se obtuvieron del análisis de las aguas del acuífero confinado del barrio Miramayo, Yantaló; se realizaron mediante los siguientes equipos analíticos con los que cuenta la Facultad de Ecología:

Tabla 2

Equipos de medición.

Parámetro	Equipo
Hierro y color	Colorímetro (HACH DR 900)
Turbidez	Turbidímetro (Turbiquant 1100 IR).
Velocidad, tiempo y concentración óptima del clarificante.	Equipo Prueba de jarras (Phipps & BirdMR, modelo PB-900).

Fuente: Elaboración propia.

j) Determinación de la dosis óptima del almidón de “maíz amiláceo”.

La dosis óptima para el coagulante natural se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$D.O \text{ (mg/L)} = \frac{V \text{ jeringa (mL)} * C \text{ sol. Mad (mg/L)}}{V \text{ jarra (mL)}}$$

k) Realización del diseño de un sistema de dosificación con el coagulante.

Para la propuesta de diseño del sistema de dosificación con el almidón de “maíz amiláceo”, se realizó partiendo del dato de la dosis óptima del coagulante que se ha obtenido en la etapa experimental de la investigación, y de la cantidad de agua que se extraerá del pozo del acuífero confinado para el tratamiento correspondiente,

sumando a esto las consideraciones técnicas de diseño de diferentes guías metodológicas (tomo I de CEPIS, 2004), y criterios del autor.

2.2.1. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

- Para contrastar la hipótesis y validar los resultados, se usó la prueba estadística t- Student pareada entre los valores del pre tratamiento y post tratamiento para cada uno de los parámetros estudiados, con $\alpha = 5\%$. Se hizo uso del programa estadístico IBM SPSS.
- Para determinar la concentración de almidón de “maíz amiláceo” más eficiente, se usó el análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Duncan con $\alpha = 5\%$, a partir del diseño completamente al azar (DCA). Se hizo uso del programa estadístico IBM SPSS.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados

3.1.1. Parámetros iniciales de la calidad de agua del acuífero

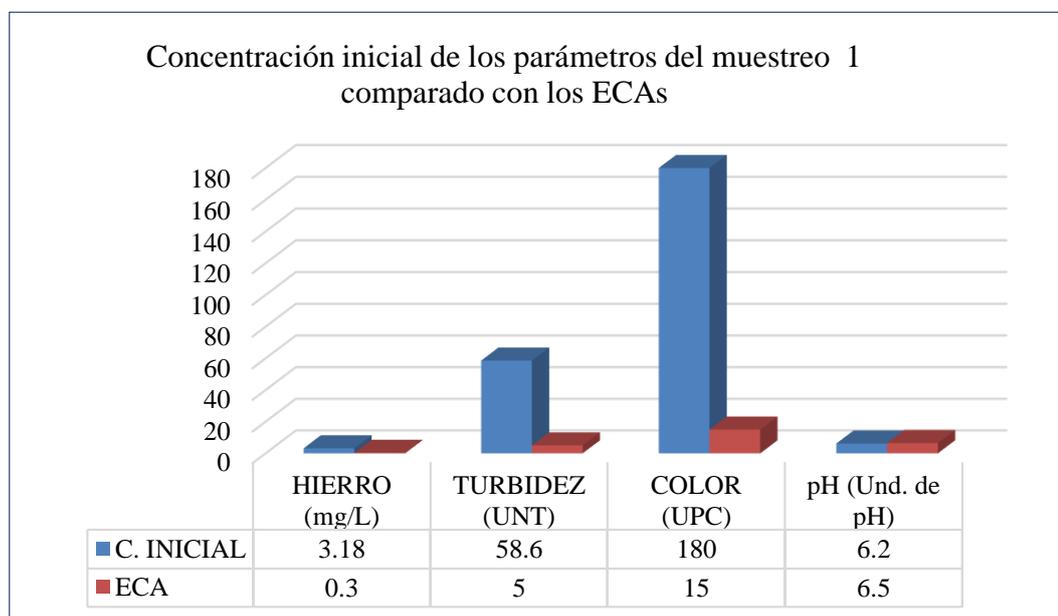


Figura 6: Concentración inicial de los parámetros del muestreo 1 comparado con los ECAs. (Ver anexo A, tabla 20).

Interpretación:

Los valores obtenidos en los análisis iniciales de las aguas del acuífero confinado del barrio Miramayo – Yantaló evidencia un estado poco favorable para ser consumido directamente, comparando estos valores con los Estándares de Calidad Ambiental - A1 (Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección) podemos observar que estas concentraciones no cumplen con dicha normativa para ser tratado con este método, cuya exigencia es mínima; tenemos al parámetro hierro cuya concentración inicial es de 3,18 mg/L superando el mínimo para esta categoría de 0,3 mg/L; en cuanto a la concentración de la turbidez, se observa el valor inicial de 58,6 UNT (Unidades nefelométricas de turbidez) la cual está por encima al valor mínimo de 5 UNT; en cuanto al parámetro color tenemos una concentración de 180 UPC (Unidades de platino – cobalto) superando el valor mínimo de 15 UPC de los ECAs; del mismo modo en la ilustración podemos observar que el valor de concentración inicial de pH es 6,2, la cual se acerca mucho al valor estándar límite de 6,5 que exige la normativa.

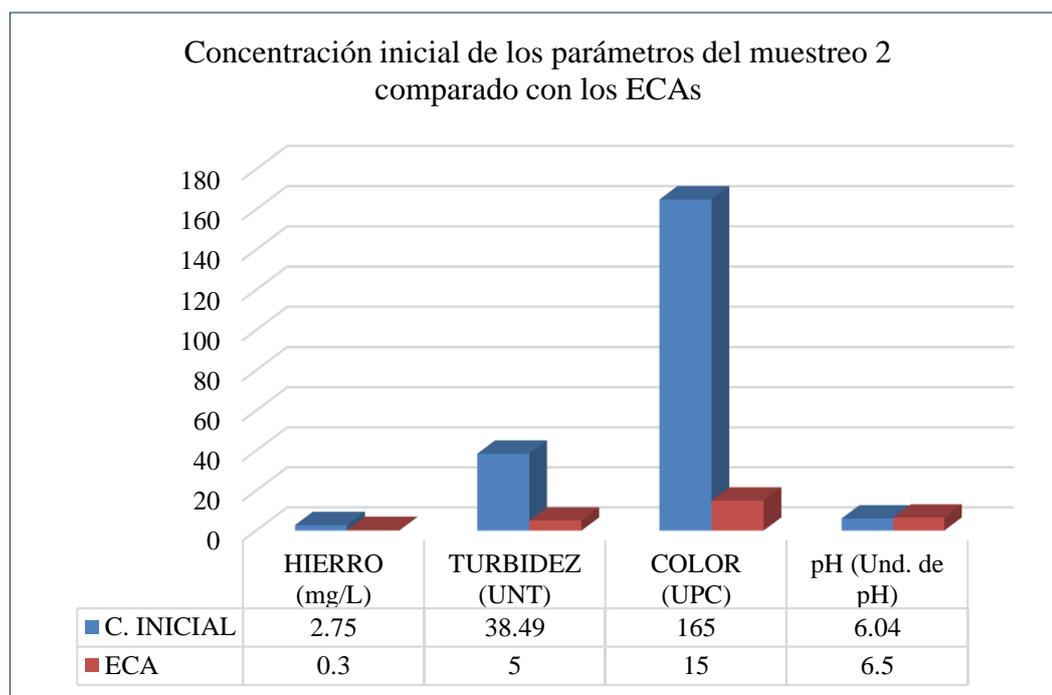


Figura 7: Concentración inicial de los parámetros del muestreo 2 comparado con los ECAs. (Ver anexo A, tabla 20).

Interpretación:

Los valores obtenidos en los análisis iniciales de las aguas del acuífero confinado del barrio Miramayo – Yantaló evidencia un estado poco favorable para ser consumido directamente, comparando estos valores con los Estándares de Calidad Ambiental - A1 (Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección) podemos observar que estas concentraciones no cumplen con dicha normativa para ser tratado con este método, cuya exigencia es mínima; tenemos al parámetro hierro cuya concentración inicial es de 2,75 mg/L superando el mínimo para esta categoría de 0.3 mg/L; en cuanto a la concentración de la turbidez, se observa el valor inicial de 38,49 UNT (Unidades nefelométricas de turbidez) la cual está por encima al valor mínimo de 5 UNT; en cuanto al parámetro color tenemos una concentración de 165 UPC (Unidades de platino – cobalto) superando el valor mínimo de 15 UPC de los ECAs; del mismo modo en la ilustración podemos observar que el valor de concentración inicial de pH es 6,04, la cual se acerca mucho al valor estándar límite de 6,5 que exige la normativa.

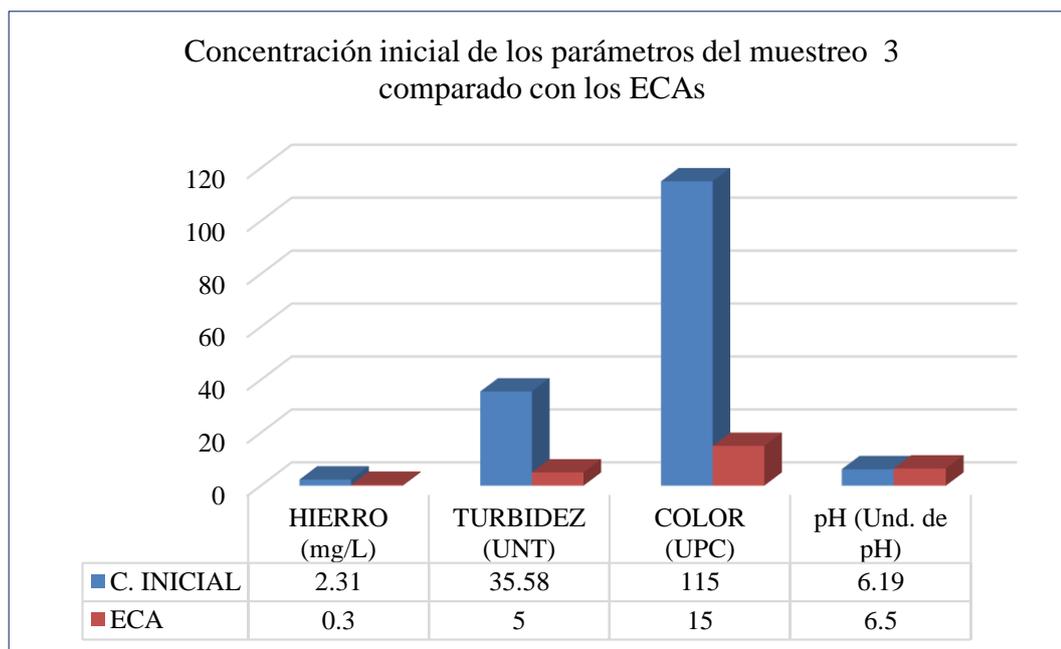


Figura 8: Concentración inicial de los parámetros del muestreo 3 comparado con los ECAs.
(Ver anexo A, tabla 20).

Interpretación:

Los valores obtenidos en los análisis iniciales de las aguas del acuífero confinado del barrio Miramayo – Yantaló evidencia un estado poco favorable para ser consumido directamente, comparando estos valores con los Estándares de Calidad Ambiental - A1 (Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección) podemos observar que estas concentraciones no cumplen con dicha normativa para ser tratado con este método, cuya exigencia es mínima; tenemos al parámetro hierro cuya concentración inicial es de 2,31 mg/L superando el mínimo para esta categoría de 0,3 mg/L; en cuanto a la concentración de la turbidez, se observa el valor inicial de 35,58 UNT (Unidades nefelométricas de turbidez) la cual está por encima al valor mínimo de 5 UNT; en cuanto al parámetro color tenemos una concentración de 115 UPC (Unidades de platino – cobalto) superando el valor mínimo de 15 UPC de los ECAs; del mismo modo en la ilustración podemos observar que el valor de concentración inicial de pH es 6,19, la cual se acerca mucho al valor estándar límite de 6.5 que exige la normativa.

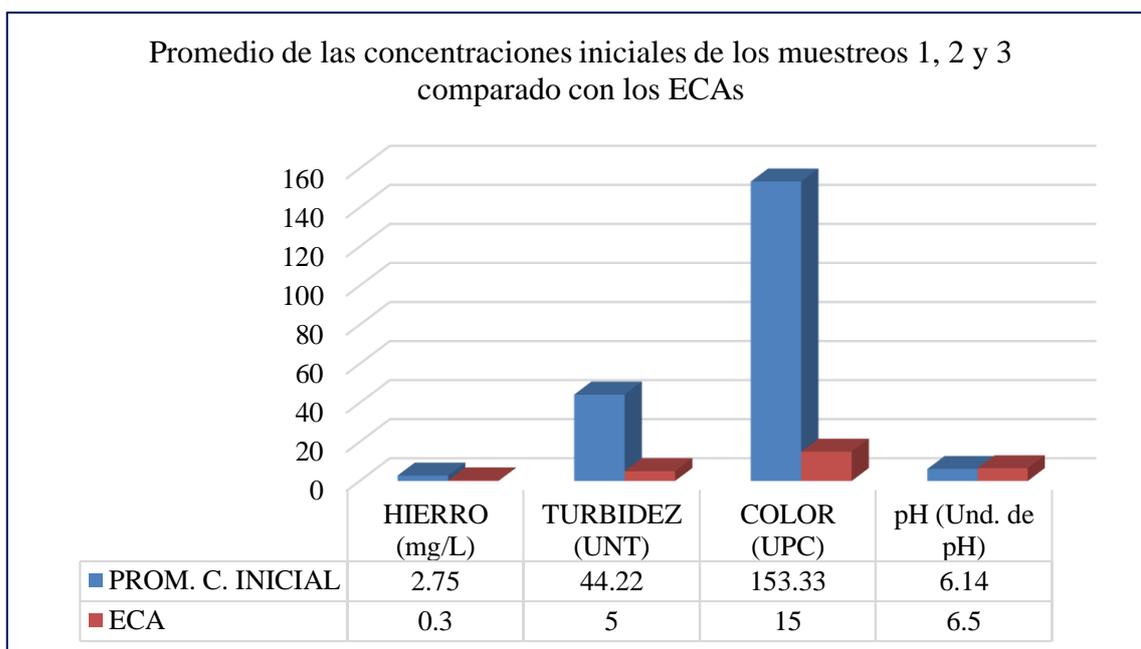


Figura 9: Promedio de las concentraciones iniciales de los muestreos 1, 2 y 3 comparado con los ECAs. (Ver anexo A, tabla 21).

Interpretación:

Los valores obtenidos en el cálculo del promedio de los análisis iniciales de los distintos muestreos tomadas en las aguas del acuífero confinado del barrio Miramayo – Yantaló evidencia un estado poco favorable para ser consumido directamente, comparando estos valores con los Estándares de Calidad Ambiental - A1 (Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección) podemos observar que estas concentraciones no cumplen con dicha normativa para ser tratado con este método, cuya exigencia es mínima; tenemos al parámetro hierro cuyo promedio es de 2,75 mg/L superando el mínimo para esta categoría de 0,3 mg/L; en cuanto a la concentración de la turbidez, se observa que el promedio es de 44,22 UNT (Unidades nefelométricas de turbidez) la cual está por encima al valor mínimo de 5 UNT; en cuanto al parámetro color tenemos un promedio de 153,33 UPC (Unidades de platino – cobalto) superando el valor mínimo de 15 UPC de los ECAs; del mismo modo en la ilustración podemos observar que el promedio de concentración inicial de pH es 6,14, la cual se acerca mucho al valor estándar límite de 6.5 que exige la normativa.

3.1.2. Concentraciones de los parámetros obtenidos después de la aplicación de almidón de “maíz amiláceo”, mediante el proceso coagulación, floculación y sedimentación (Ensayos prueba de jarras).

3.1.2.1. Ensayos con almidón de “maíz amiláceo”

A. Almidón de “maíz amiláceo” al 0,5%

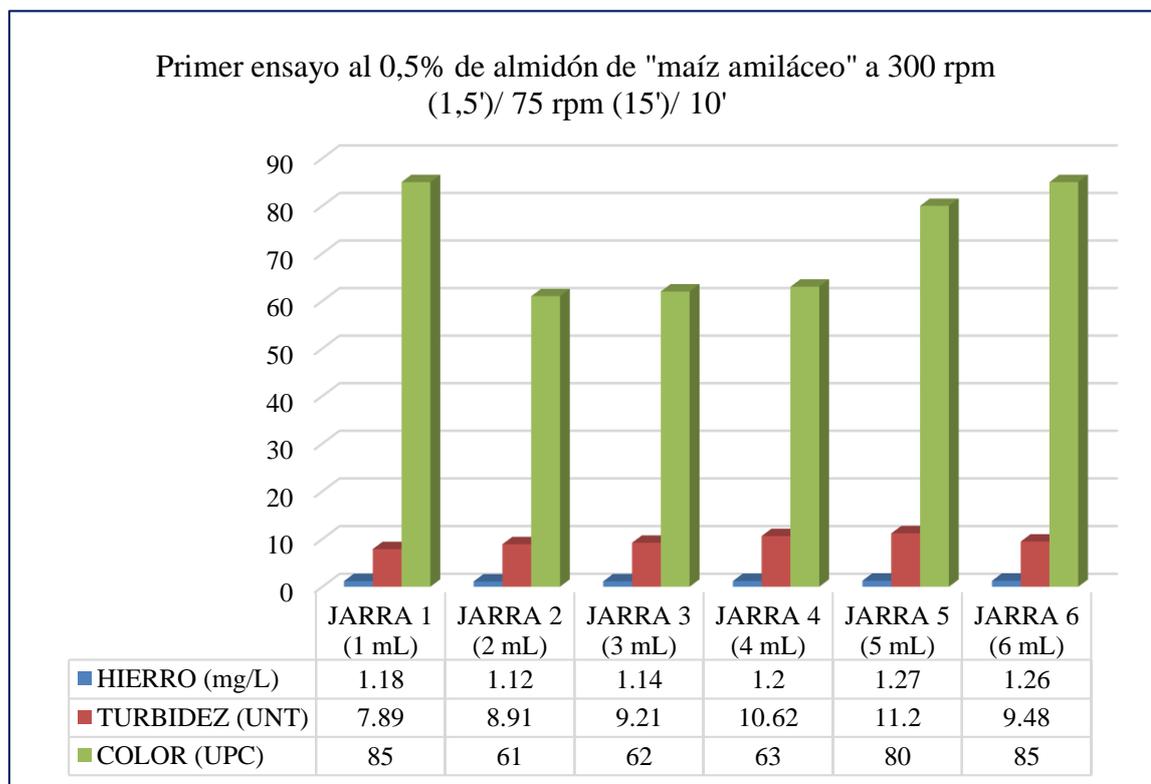


Figura 10: Primer ensayo al 0,5% de almidón de “maíz amiláceo” a 300 rpm (1,5')/ 75 rpm (15')/ 10'.
(Ver anexo B, tabla 22).

Interpretación:

En este ensayo los mejores resultados después del tratamiento con almidón de “maíz amiláceo” al agua del acuífero confinado, se obtuvieron en la jarra 2 al agregar 2 mL de la solución, los cuales son: hierro 1,12 mg/L y color 61 UPC, mientras que en la jarra 1 al agregar 1 mL de la solución se obtuvo el valor más bajo de turbidez de este ensayo, el cual tiene una concentración de 7,89 UNT; dichas concentraciones son los valores mínimos obtenidos en esta prueba, aunque ninguno de estas se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles que exige la normativa vigente.

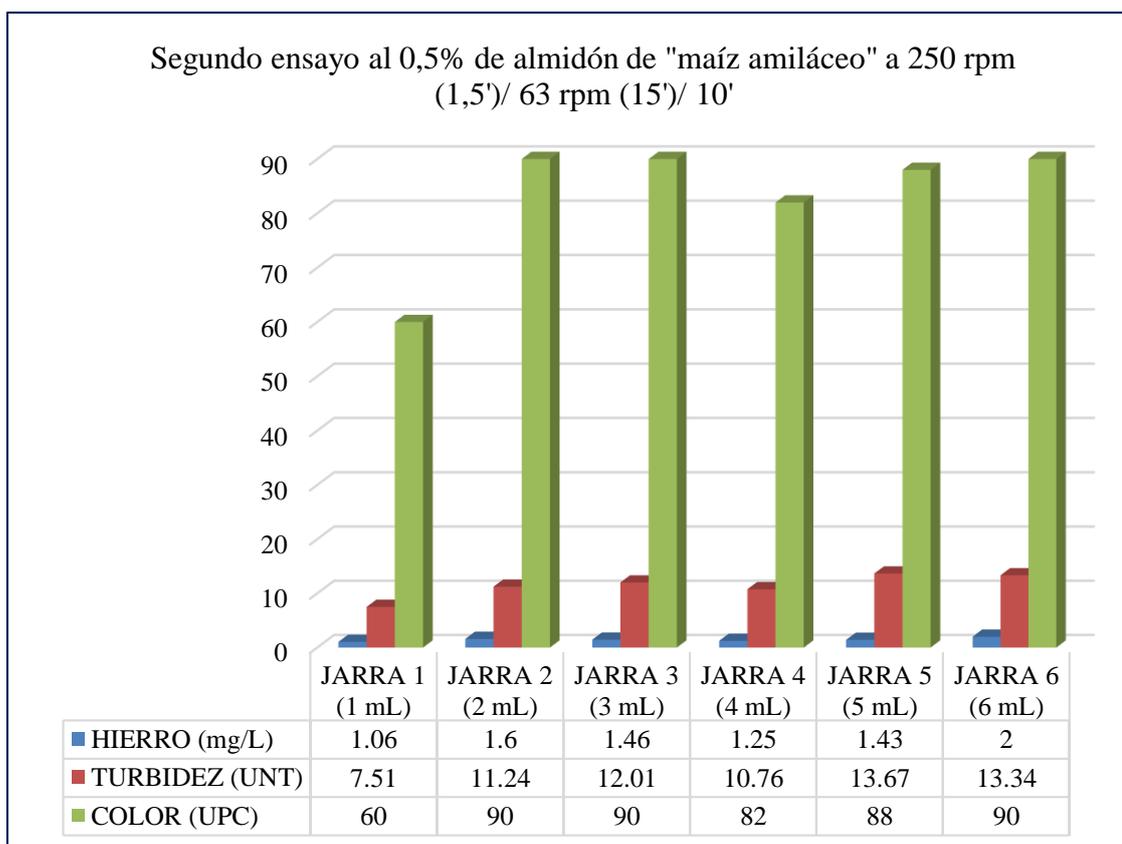


Figura 11: Segundo ensayo al 0,5% de almidón de “maíz amiláceo” a 250 rpm (1,5')/ 63 rpm (15')/ 10'. (Ver anexo B, tabla 22).

Interpretación:

En este ensayo los mejores resultados después del tratamiento con almidón de “maíz amiláceo” al agua del acuífero confinado, se obtuvieron en la jarra 1 al agregar 1 mL de la solución, los cuales son: hierro 1.06 mg/L, turbidez 7,51 UNT y color de 60 UPC, cabe destacar que para todas las concentraciones de los parámetros de todas las jarras disminuyen considerablemente; sin embargo ninguno de estos valores mínimos obtenidos en esta prueba se encuentran por debajo de los límites máximos permisible que exige la normativa vigente.

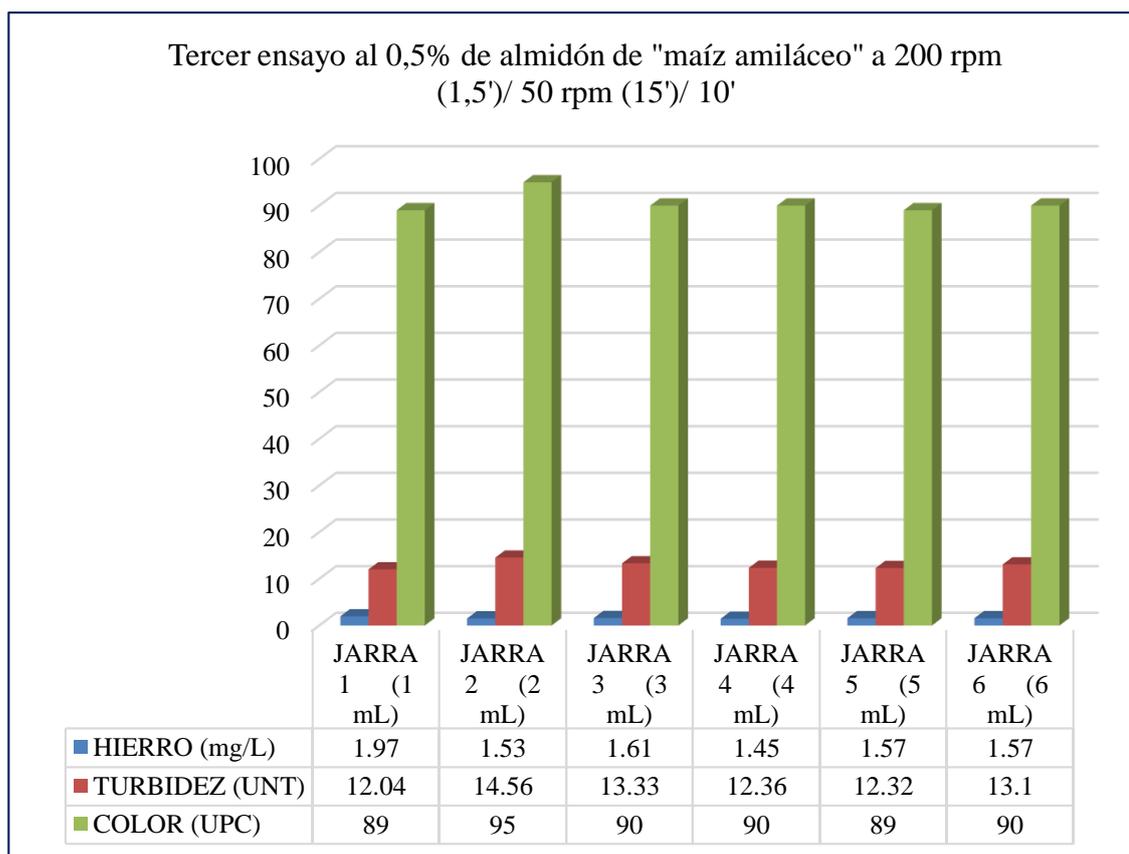


Figura 12: Tercer ensayo al 0,5% de almidón de “maíz amiláceo” a 200 rpm (1,5')/ 50 rpm (15')/ 10'.

(Ver anexo B, tabla 22).

Interpretación:

En este ensayo los mejores resultados después del tratamiento con almidón de “maíz amiláceo” al agua del acuífero confinado, se obtuvieron en la jarra 1 al agregar 1 mL de la solución, los cuales son: turbidez 12,04 UNT y color 89 UPC, mientras que en la jarra 4 al agregar 4 mL de la solución se obtuvo el valor más bajo de hierro de este ensayo, el cual tiene una concentración de 1,45 mg/L; dichas concentraciones son los valores mínimos obtenidos en esta prueba, aunque ninguno de estas se encuentran por debajo de los límites máximos permisible que exige la normativa vigente.

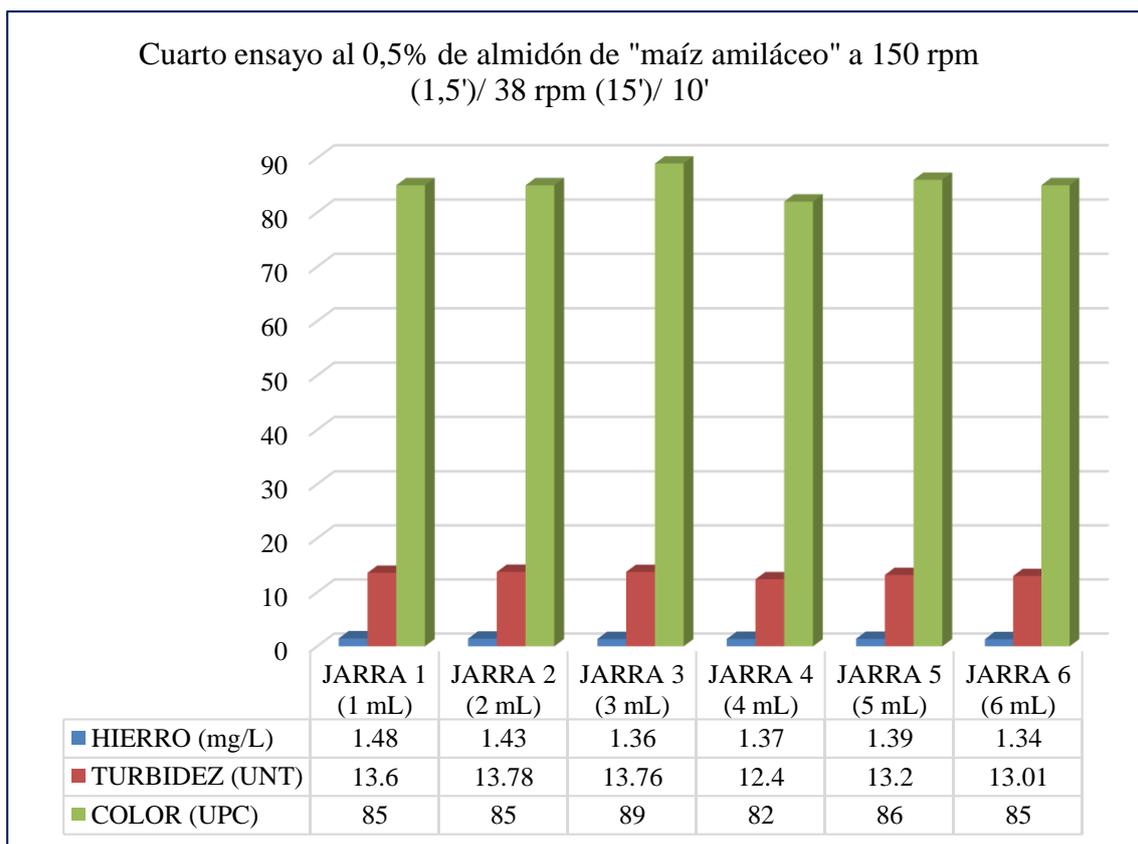


Figura 13: Cuarto ensayo al 0,5% de almidón de “maíz amiláceo” a 150 rpm (1,5')/ 38 rpm (15')/ 10'.
(Ver anexo B, tabla 22).

Interpretación:

En este ensayo los mejores resultados después del tratamiento con almidón de “maíz amiláceo” al agua del acuífero confinado, se obtuvieron en la jarra 4 al agregar 4 mL de la solución, los cuales son: turbidez 12,40 UNT y color 82 UPC, mientras que en la jarra 6 al agregar 6 mL de la solución se obtuvo el valor más bajo de hierro de este ensayo, el cual tiene una concentración de 1,34 mg/L; dichas concentraciones son los valores mínimos obtenidos en esta prueba, aunque ninguno de estas se encuentran por debajo de los límites máximos permisible que exige la normativa vigente.

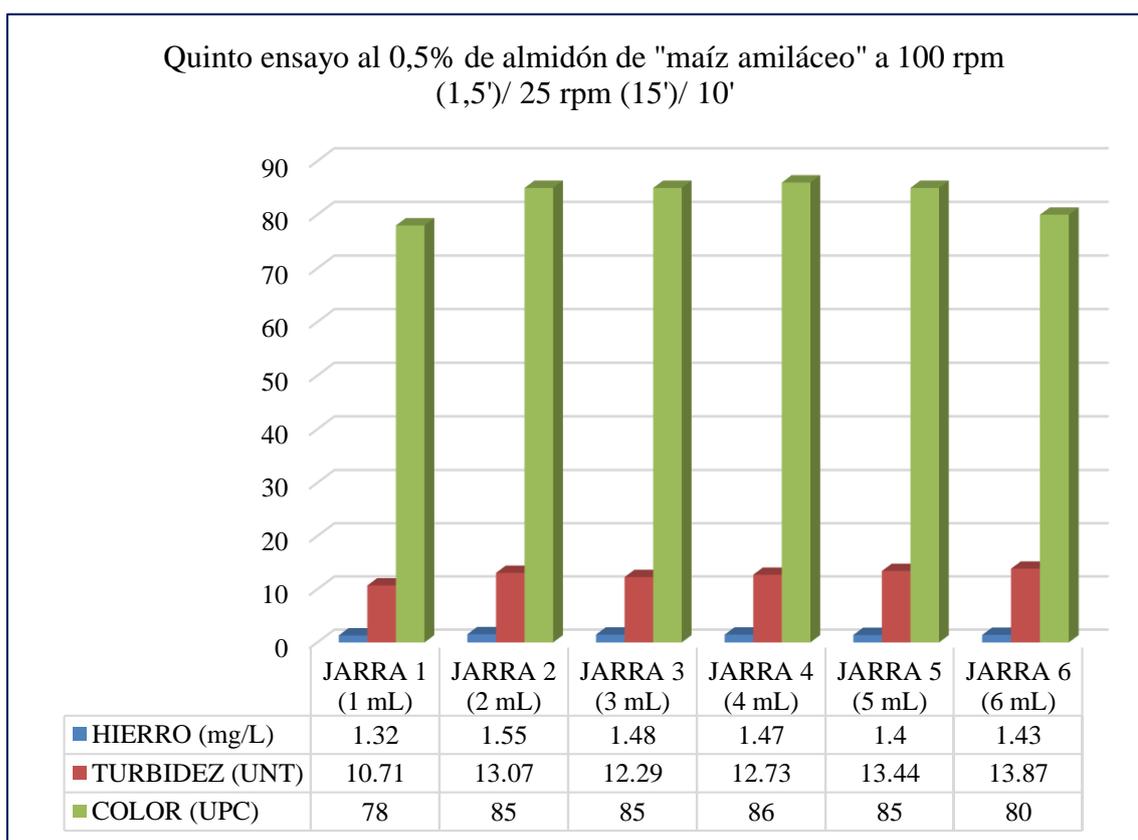


Figura 14: Quinto ensayo al 0,5% de almidón de “maíz amiláceo” a 100 rpm (1,5')/ 25 rpm (15')/ 10'.
(Ver anexo B, tabla 22).

Interpretación:

En este ensayo los mejores resultados después del tratamiento con almidón de “maíz amiláceo” al agua del acuífero confinado, se obtuvieron en la jarra 1 al agregar 1 mL de la solución, los cuales son: hierro 1,32 mg/L, turbidez 10,71 UNT y color de 78 UPC, cabe destacar que para todas las concentraciones de los parámetros de todas las jarras disminuyen considerablemente; sin embargo ninguno de estos valores mínimos obtenidos en esta prueba se encuentran por debajo de los límites máximos permisible que exige la normativa vigente.

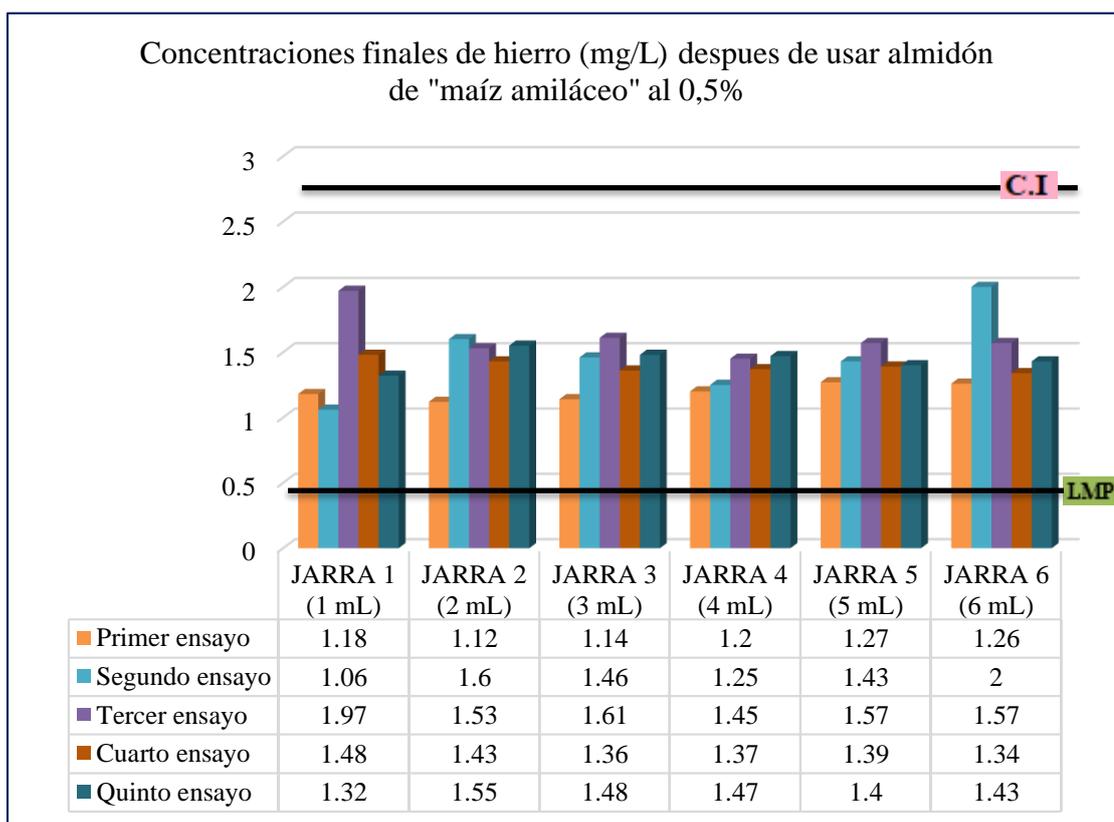


Figura 15: Concentraciones finales de hierro (mg/L) después de usar almidón de “maíz amiláceo” al 0,5%. (Ver anexo B, tabla 23).

Interpretación:

En esta figura se muestra el resumen las concentraciones del parámetro hierro de los cinco ensayos al 0,5%; el valor más elevado que se obtuvo es 1,97 mg/L ubicándose en la jarra 1 (al agregar 1 mL de la solución) en el tercer ensayo, así también se puede observar que el menor valor que se obtuvo es 1,06 mg/L ubicándose también en la jarra 1 (al agregar 1 mL de la solución) pero en el segundo ensayo; este último valor aun siendo el más bajo de todos, no logró alcanzar con los valores que exigen los Límites Máximos Permisibles (0,3 mg/L), evidenciando de esta manera un déficit de este coagulante natural para la remoción de hierro a estas condiciones de estudio.

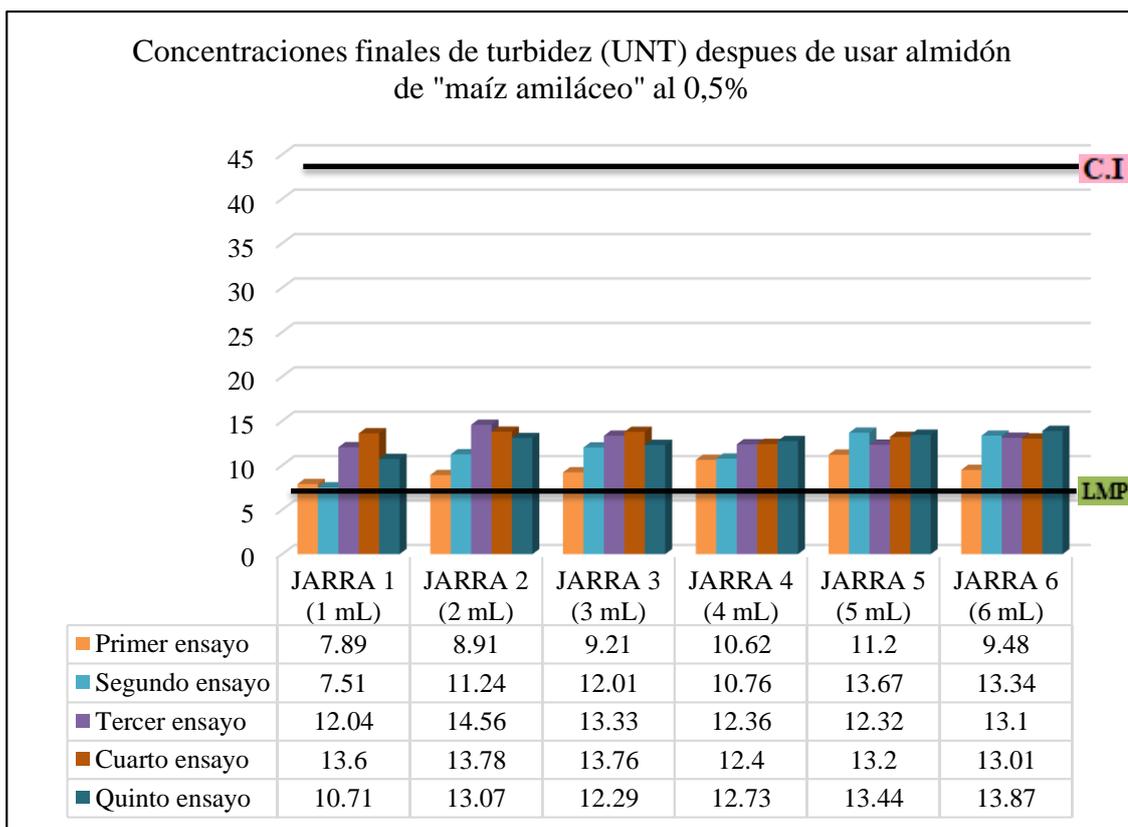


Figura 16: Concentraciones finales de turbidez (UNT) después de usar almidón de “maíz amiláceo” al 0,5%.

(Ver anexo B, tabla 24).

Interpretación:

En esta figura se muestra el resumen las concentraciones del parámetro turbidez de los cinco ensayos al 0,5%; el valor más elevado que se obtuvo es 13,87 UNT ubicándose en la jarra 6 (al agregar 6 mL de la solución) en el quinto ensayo, así también se puede observar que el menor valor que se obtuvo es 7,51 UNT ubicándose en la jarra 1 (al agregar 1 mL de la solución) en el segundo ensayo; este último valor aun siendo el más bajo de todos, no logró alcanzar con los valores que exigen los Límites Máximos Permisibles (5 UNT), evidenciando de esta manera un déficit de este coagulante natural para la remoción de turbidez a estas condiciones de estudio.

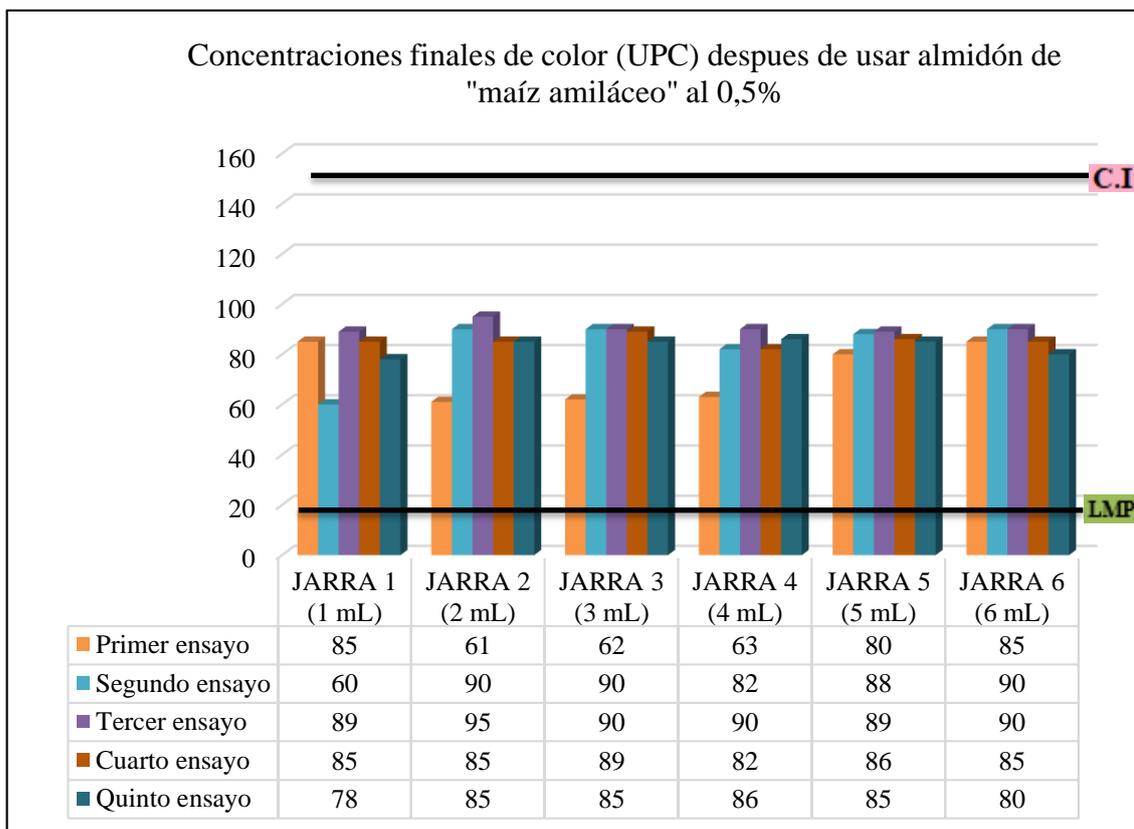


Figura 17: Concentraciones finales de color (UPC) después de usar almidón de "maíz amiláceo" al 0,5%.

(Ver anexo B, tabla 25).

Interpretación:

En esta figura se muestra el resumen las concentraciones del parámetro color de los cinco ensayos al 0,5%; el valor más elevado que se obtuvo es 95 UPC ubicándose en: la jarra 2 (al agregar 2 mL de la solución) en el tercer ensayo, así también se puede observar que el menor valor que se obtuvo es 60 UPC ubicándose en la jarra 1 (al agregar 1 mL de la solución) en el segundo ensayo; este último valor aun siendo el más bajo de todos, no logró alcanzar con los valores que exigen los Límites Máximos Permisibles (15 UPC), evidenciando de esta manera un déficit de este coagulante natural para la remoción de turbidez a estas condiciones de estudio.

B. Almidón de “maíz amiláceo” al 1%

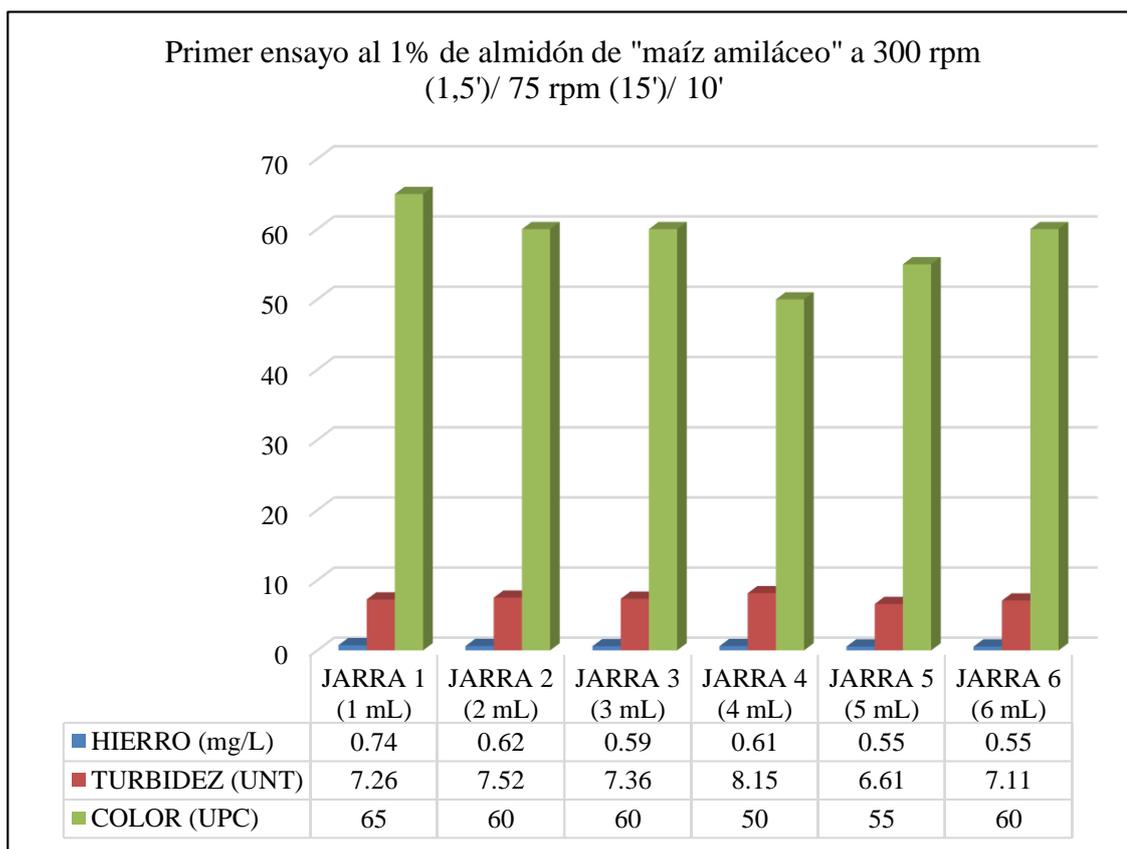


Figura 18: Primer ensayo al 1% de almidón de “maíz amiláceo” a 300 rpm (1,5')/ 75 rpm (15')/ 10'.
(Ver anexo B, tabla 26).

Interpretación:

En este ensayo los mejores resultados después del tratamiento con almidón de “maíz amiláceo” al agua del acuífero confinado, se obtuvieron en la jarra 5 al agregar 5 mL de la solución, los cuales son: hierro 0,55 mg/L y turbidez 7,11 UNT, mientras que en la jarra 4 al agregar 4 mL de la solución se obtuvo el valor más bajo de color de este ensayo, el cual tiene una concentración de 50 UPC; dichas concentraciones son los valores mínimos obtenidos en esta prueba, aunque ninguno de estas se encuentran por debajo de los límites máximos permisible que exige la normativa vigente.

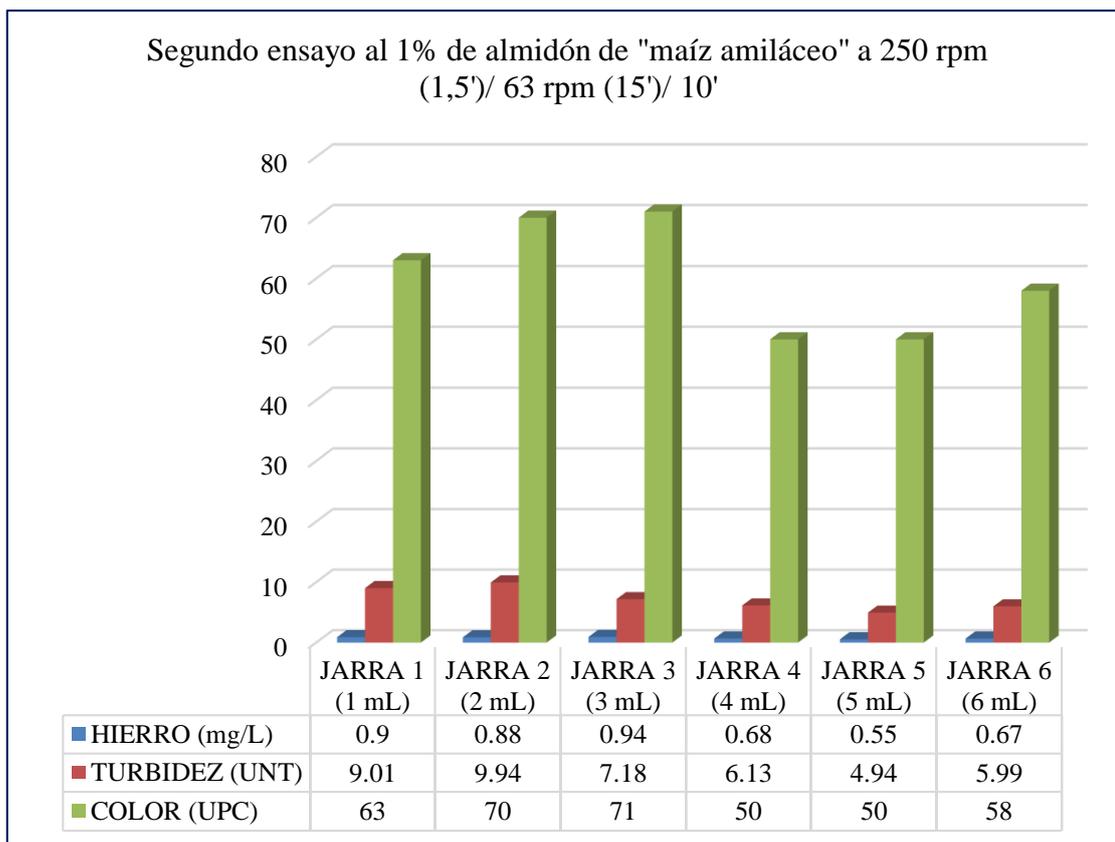


Figura 19: Segundo ensayo al 1% de almidón de “maíz amiláceo” a 250 rpm (1,5')/ 63 rpm (15')/ 10'.

(Ver anexo B, tabla 26).

Interpretación:

En este ensayo los mejores resultados después del tratamiento con almidón de “maíz amiláceo” al agua del acuífero confinado, se obtuvieron en la jarra 5 al agregar 5 mL de la solución, los cuales son: hierro 0,55 mg/L, turbidez 4,94 UNT y color de 50 UPC, cabe destacar que para todas las concentraciones de los parámetros de todas las jarras disminuyen considerablemente; sin embargo ninguno de estos valores mínimos obtenidos en esta prueba se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles a excepción de la turbidez, cuyo valor se encuentra ligeramente por debajo de los valores que exige la normativa vigente.

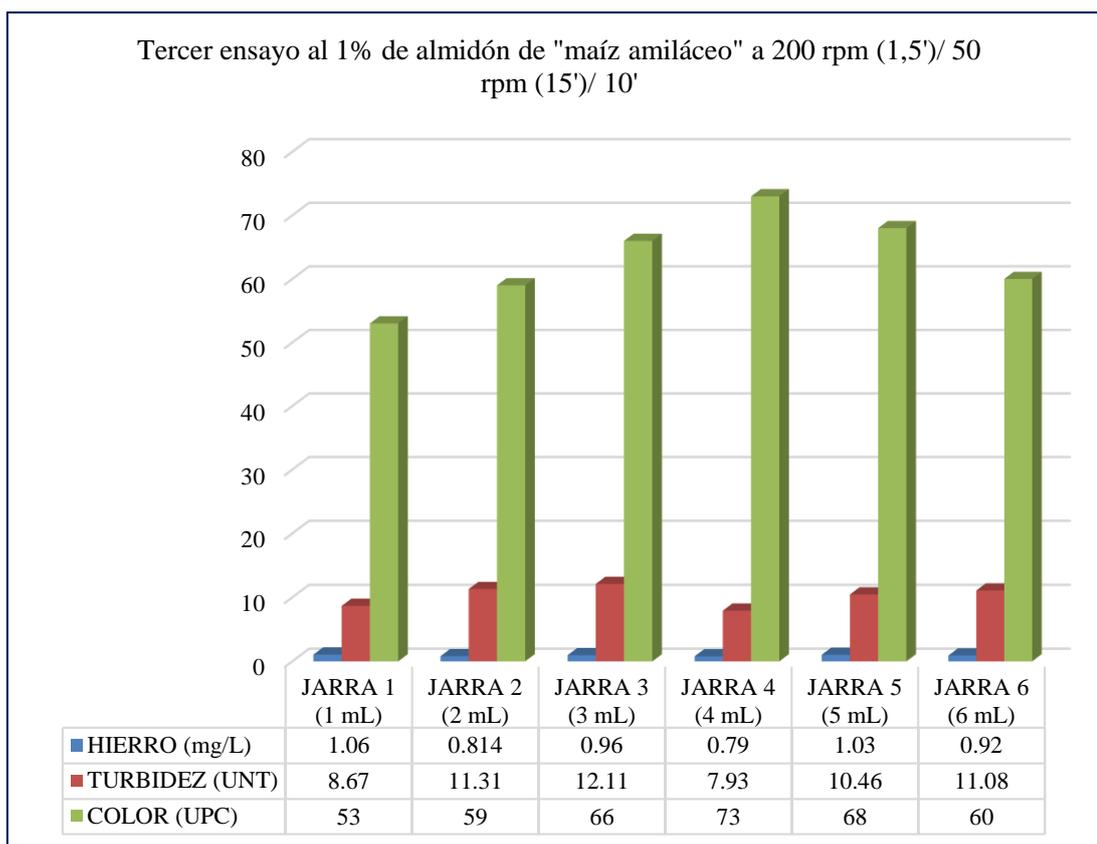


Figura 20: Tercer ensayo al 1% de almidón de “maíz amiláceo” a 200 rpm (1,5')/ 50 rpm (15')/ 10'.
(Ver anexo B, tabla 26).

Interpretación:

En este ensayo los mejores resultados después del tratamiento con almidón de “maíz amiláceo” al agua del acuífero confinado, se obtuvieron en la jarra 4 al agregar 4 mL de la solución, los cuales son: hierro 0,79 mg/L y turbidez 7,93 UNT, mientras que en la jarra 1 al agregar 1 mL de la solución se obtuvo el valor más bajo de color de este ensayo, el cual tiene una concentración de 53 UPC; dichas concentraciones son los valores mínimos obtenidos en esta prueba, aunque ninguno de estas se encuentran por debajo de los límites máximos permisible que exige la normativa vigente.

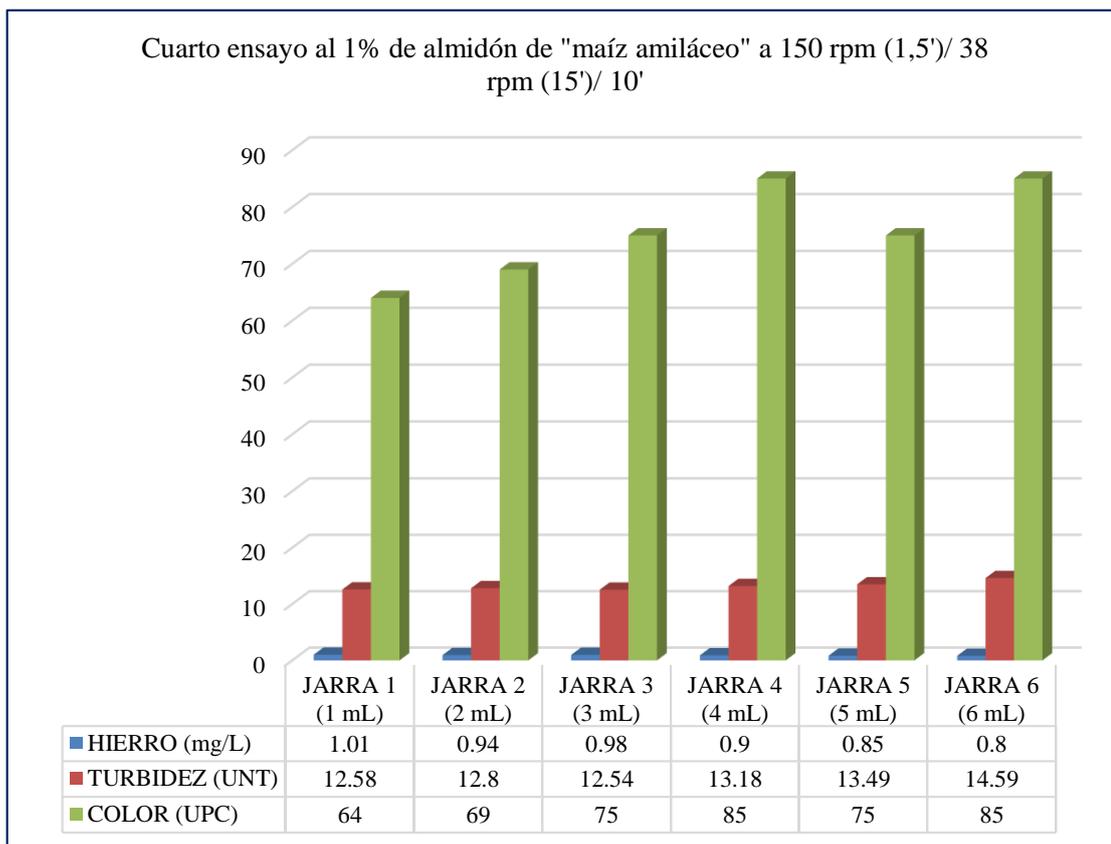


Figura 21: Cuarto ensayo al 1% de almidón de “maíz amiláceo” a 150 rpm (1,5')/ 38 rpm (15')/ 10'.
(Ver anexo B, tabla 26).

Interpretación:

En este ensayo los mejores resultados después del tratamiento con almidón de “maíz amiláceo” al agua del acuífero confinado, se obtuvieron en jarras diferentes, tal es el caso que el valor más bajo de hierro se obtuvo en la jarra 6 (al agregar 6 mL de la solución) con una concentración de 0,80 mg/L, en el caso de la turbidez el valor más bajo se obtuvo en la jarra 3 (al agregar 3 mL de la solución) con una concentración de 12,54 UNT, del mismo modo para el parámetro color el valor más bajo se obtuvo en la jarra 1 (al agregar 1 mL de la solución) con una concentración de 64 UPC; cabe destacar que para todas las concentraciones de los parámetros de todas las jarras disminuyen considerablemente; sin embargo ninguno de estos valores mínimos obtenidos en esta prueba se encuentran por debajo de los límites máximos permisible que exige la normativa vigente.

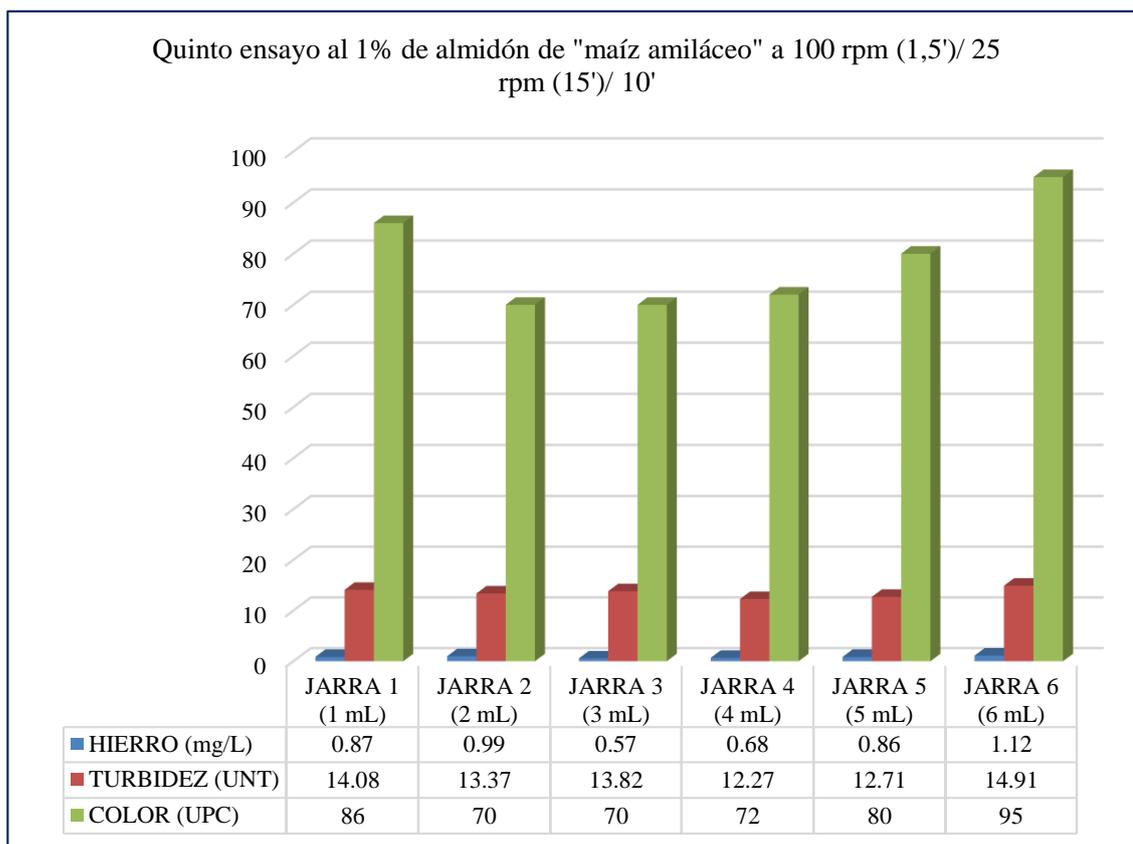


Figura 22: Quinto ensayo al 1% de almidón de “maíz amiláceo” a 100 rpm (1,5')/ 25 rpm (15')/ 10'.
(Ver anexo B, tabla 26).

Interpretación:

En este ensayo los mejores resultados después del tratamiento con almidón de “maíz amiláceo” al agua del acuífero confinado, se obtuvieron en la jarra 3 al agregar 3 mL de la solución, los cuales son: hierro 0,57 mg/L y color 70 UPC, mientras que en la jarra 4 al agregar 4 mL de la solución se obtuvo el valor más bajo de turbidez de este ensayo, el cual tiene una concentración de 12,27 UNT; dichas concentraciones son los valores mínimos obtenidos en esta prueba, aunque ninguno de estas se encuentran por debajo de los límites máximos permisible que exige la normativa vigente.

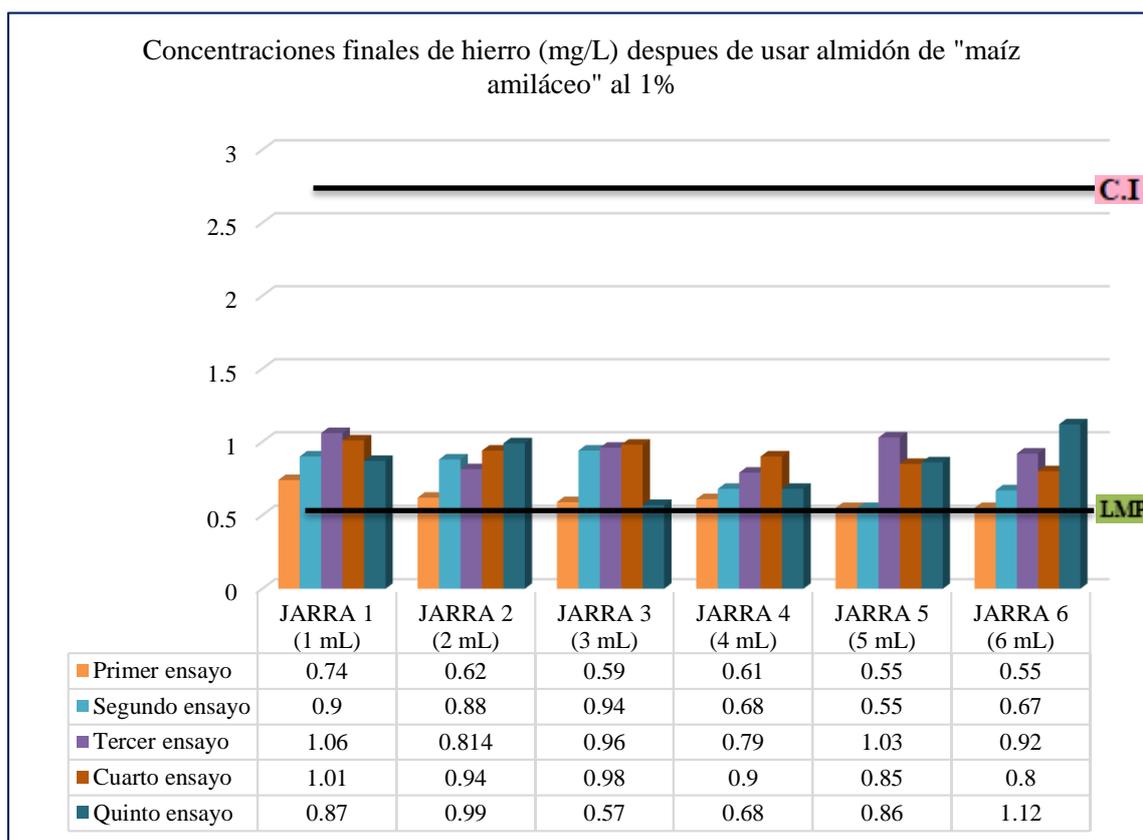


Figura 23: Concentraciones finales de hierro (mg/L) después de usar almidón de “maíz amiláceo” al 1%. (Ver anexo B, tabla 27).

Interpretación:

En esta figura se muestra el resumen las concentraciones del parámetro hierro de los cinco ensayos al 1%; el valor más elevado que se obtuvo es 1,12 mg/L ubicándose en la jarra 6 (al agregar 6 mL de la solución) en el quinto ensayo, así también se puede observar que el menor valor que se obtuvo es 0,55 mg/L ubicándose en las jarra 5 y 6 (al agregar 5 y 6 mL de la solución respectivamente) en el primer ensayo, y también en la jarra 5 (al agregar 5 mL de la solución) en el segundo ensayo; este último valor aun siendo el más bajo de todos, no logró alcanzar con los valores que exigen los Límites Máximos Permisibles (0,3 mg/L), evidenciando de esta manera un déficit de este coagulante natural para la remoción de hierro a estas condiciones de estudio.

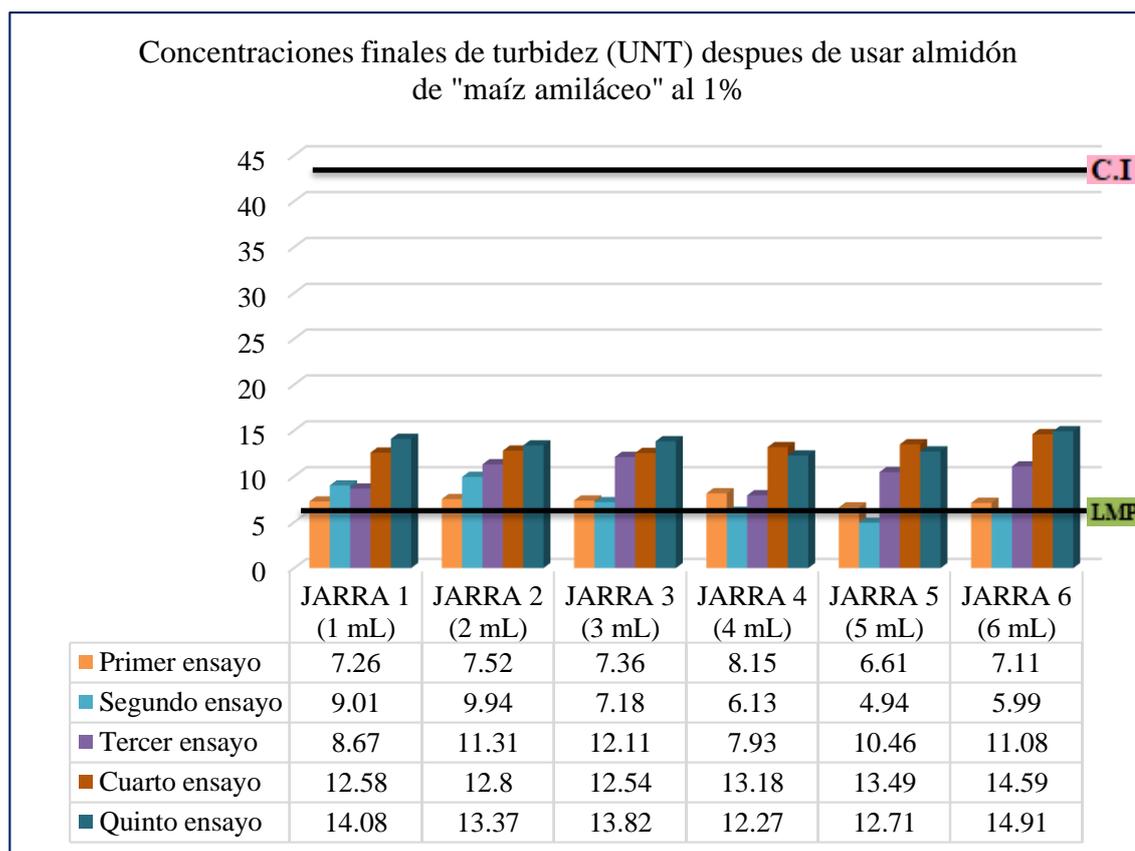


Figura 24: Concentraciones finales de turbidez (UNT) después de usar almidón de “maíz amiláceo” al 1%.

(Ver anexo B, tabla 28).

Interpretación:

En esta figura se muestra el resumen las concentraciones del parámetro turbidez de los cinco ensayos al 1%; el valor más elevado que se obtuvo es 14,91 UNT ubicándose en la jarra 6 (al agregar 6 mL de la solución) en el quinto ensayo, así también se puede observar que el menor valor que se obtuvo es 4,94 UNT ubicándose en la jarra 5 (al agregar 5 mL de la solución) en el segundo ensayo; este último valor logró alcanzar con el valores que exigen los Límites Máximos Permisibles (5 UNT), evidenciando de esta manera una parcial eficiencia de este coagulante natural para la remoción de turbidez a estas condiciones de estudio.

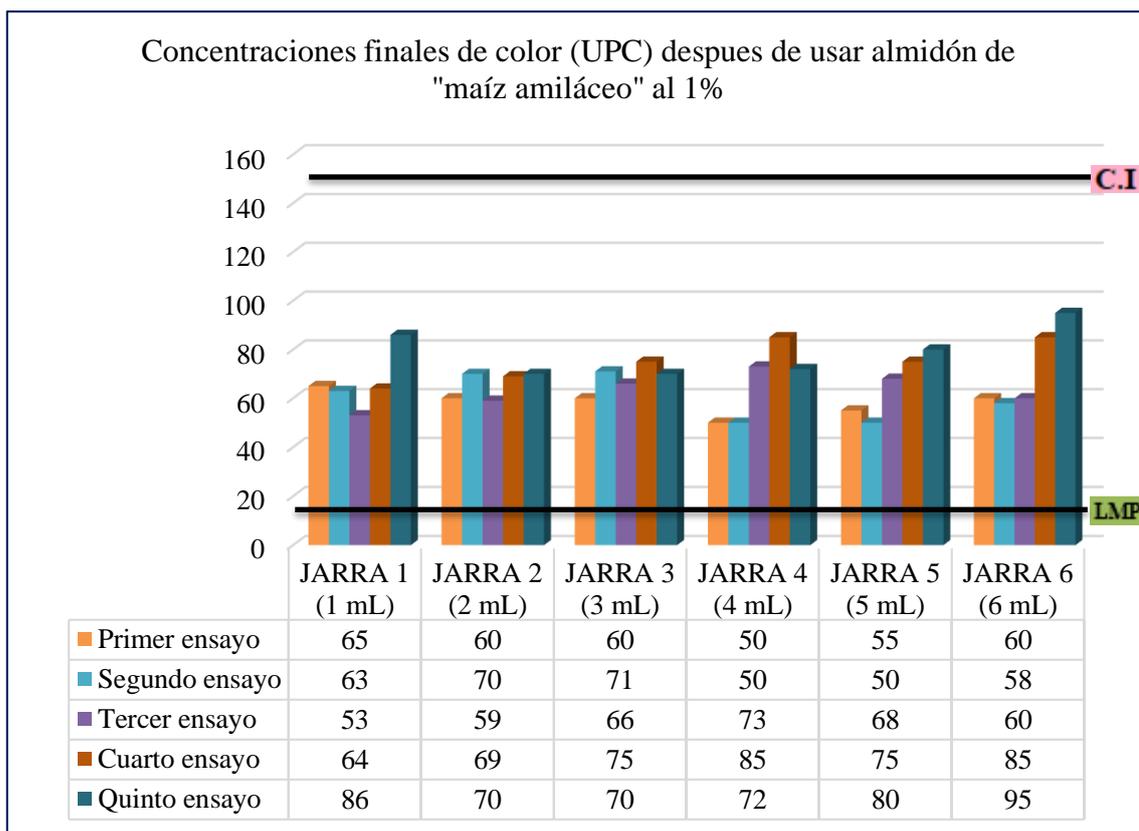


Figura 25: Concentraciones finales de color (UPC) después de usar almidón de “maíz amiláceo” al 1%. (Ver anexo B, tabla 29).

Interpretación:

En esta figura se muestra el resumen las concentraciones del parámetro color de los cinco ensayos al 1%; el valor más elevado que se obtuvo es 95 UPC ubicándose en: la jarra 6 (al agregar 6 mL de la solución) en el quinto ensayo, así también se puede observar que el menor valor que se obtuvo es 50 UPC ubicándose en las jarras 4 y 5 (al agregar 4 y 5 mL de la solución respectivamente) en el segundo ensayo, y también en la jarra 4 (al agregar 4 mL de la solución) en el primer ensayo; este último valor aun siendo el más bajo de todos, no logró alcanzar con los valores que exigen los Límites Máximos Permisibles (15 UPC), evidenciando de esta manera un déficit de este coagulante natural para la remoción de turbidez a estas condiciones de estudio.

C. Almidón de “maíz amiláceo” al 2%

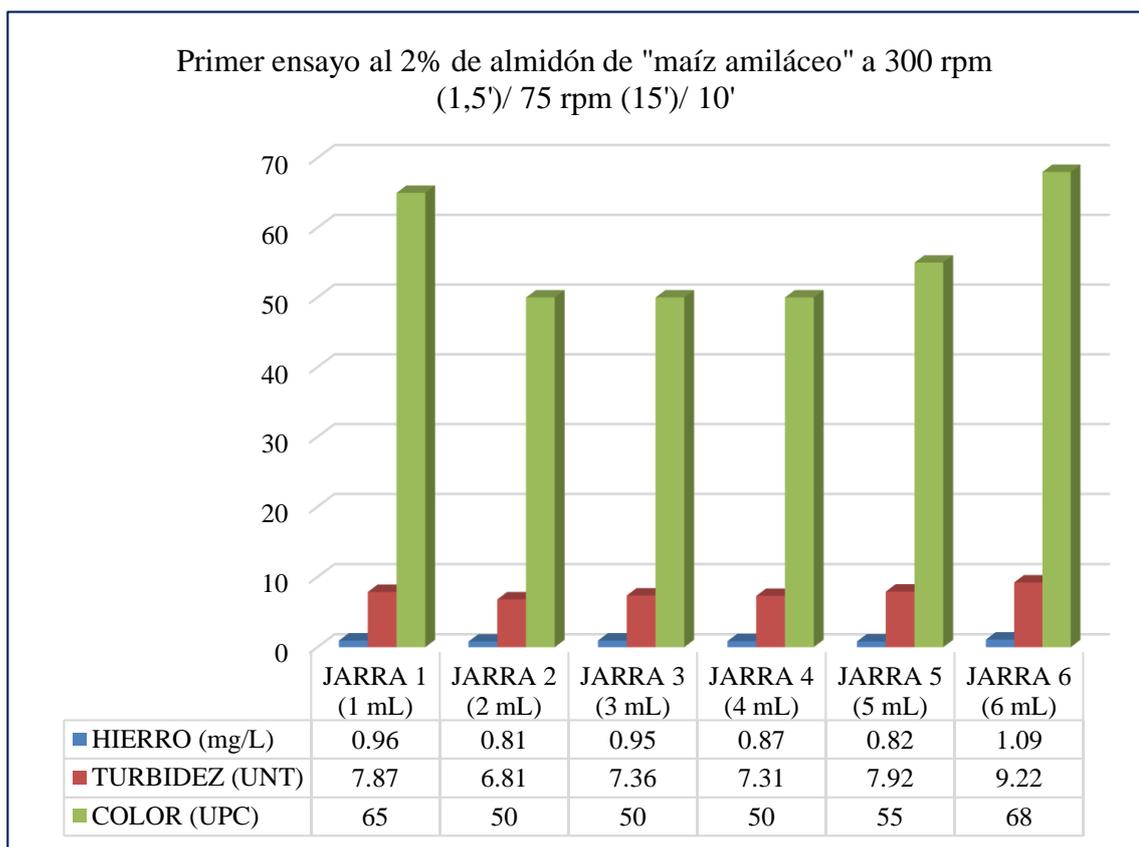


Figura 26: Primer ensayo al 2% de almidón de “maíz amiláceo” a 300 rpm (1,5')/ 75 rpm (15')/ 10'.
(Ver anexo B, tabla 30).

Interpretación:

En este ensayo los mejores resultados después del tratamiento con almidón de “maíz amiláceo” al agua del acuífero confinado, se obtuvieron en la jarra 2 al agregar 2 mL de la solución, los cuales son: hierro 0,81 mg/L, turbidez 6,81 UNT y color de 50 UPC, cabe destacar que para todas las concentraciones de los parámetros de todas las jarras disminuyen considerablemente; sin embargo ninguno de estos valores mínimos obtenidos en esta prueba se encuentran por debajo de los límites máximos permisible que exige la normativa vigente.

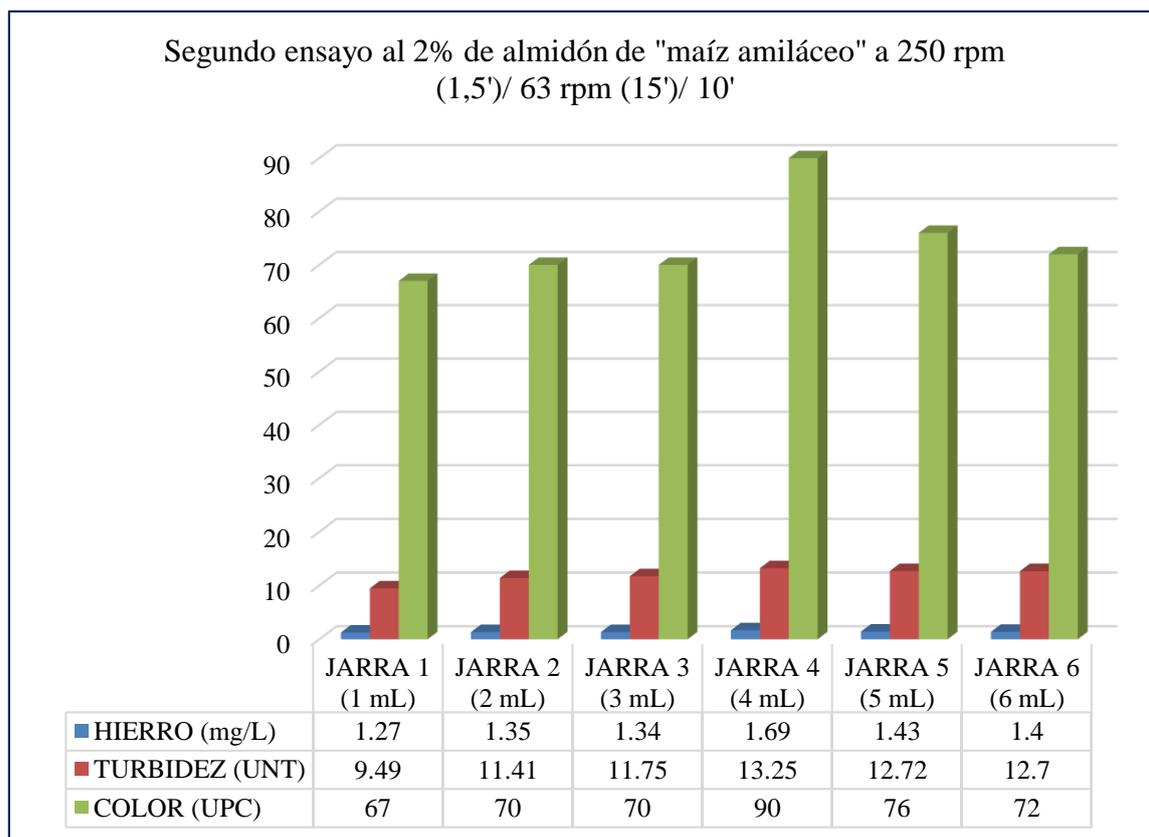


Figura 27: Segundo ensayo al 2% de almidón de “maíz amiláceo” a 250 rpm (1,5')/ 63 rpm (15')/ 10'.
(Ver anexo B, tabla 30).

Interpretación:

En este ensayo los mejores resultados después del tratamiento con almidón de “maíz amiláceo” al agua del acuífero confinado, se obtuvieron en la jarra 1 al agregar 1 mL de la solución, los cuales son: hierro 1,27 mg/L, turbidez 9,49 UNT y color de 67 UPC, cabe destacar que para todas las concentraciones de los parámetros de todas las jarras disminuyen considerablemente; sin embargo ninguno de estos valores mínimos obtenidos en esta prueba se encuentran por debajo de los límites máximos permisible que exige la normativa vigente.

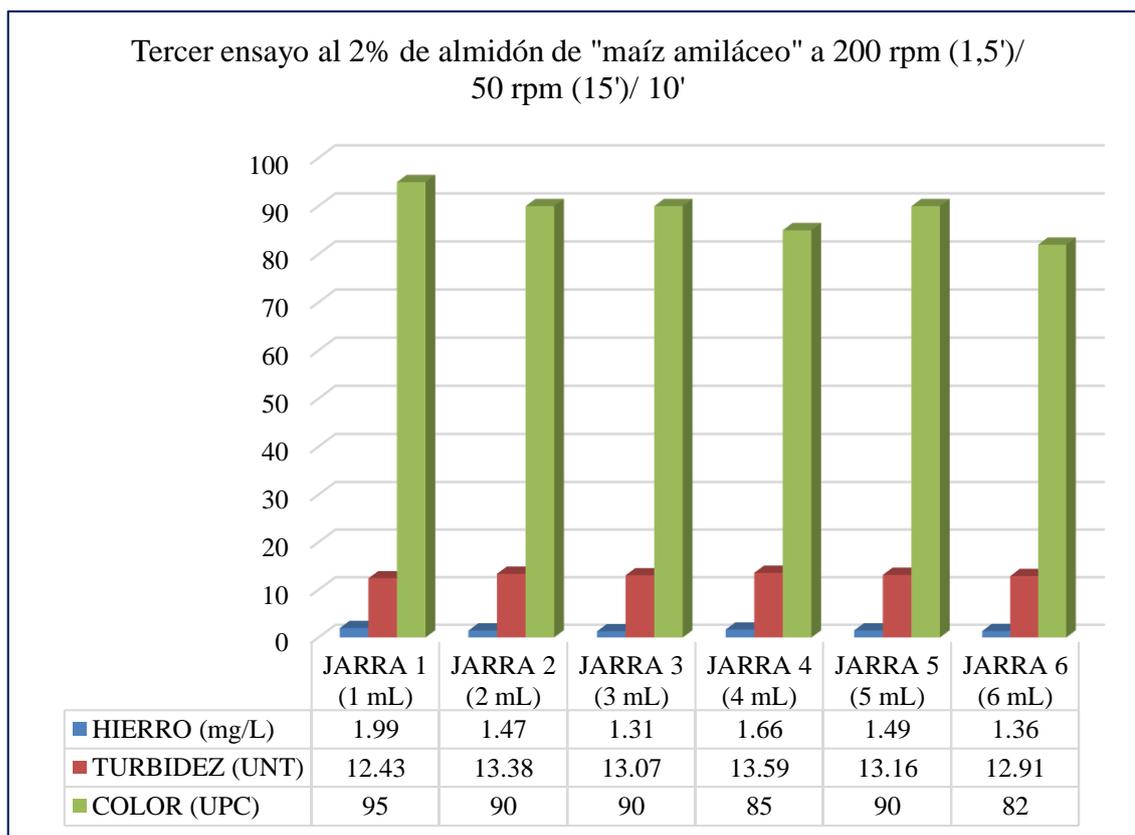


Figura 28: Tercer ensayo al 2% de almidón de “maíz amiláceo” a 200 rpm (1,5')/ 50 rpm (15')/ 10'.
(Ver anexo B, tabla 30).

Interpretación:

En este ensayo los mejores resultados después del tratamiento con almidón de “maíz amiláceo” al agua del acuífero confinado, se obtuvieron en jarras diferentes, tal es el caso que el valor más bajo de hierro se obtuvo en la jarra 3 (al agregar 3 mL de la solución) con una concentración de 1,31 mg/L, en el caso de la turbidez el valor más bajo se obtuvo en la jarra 1 (al agregar 1 mL de la solución) con una concentración de 12,43 UNT, del mismo modo para el parámetro color el valor más bajo se obtuvo en la jarra 6 (al agregar 6 mL de la solución) con una concentración de 82 UPC; cabe destacar que para todas las concentraciones de los parámetros de todas las jarras disminuyen considerablemente; sin embargo ninguno de estos valores mínimos obtenidos en esta prueba se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles que exige la normativa vigente.

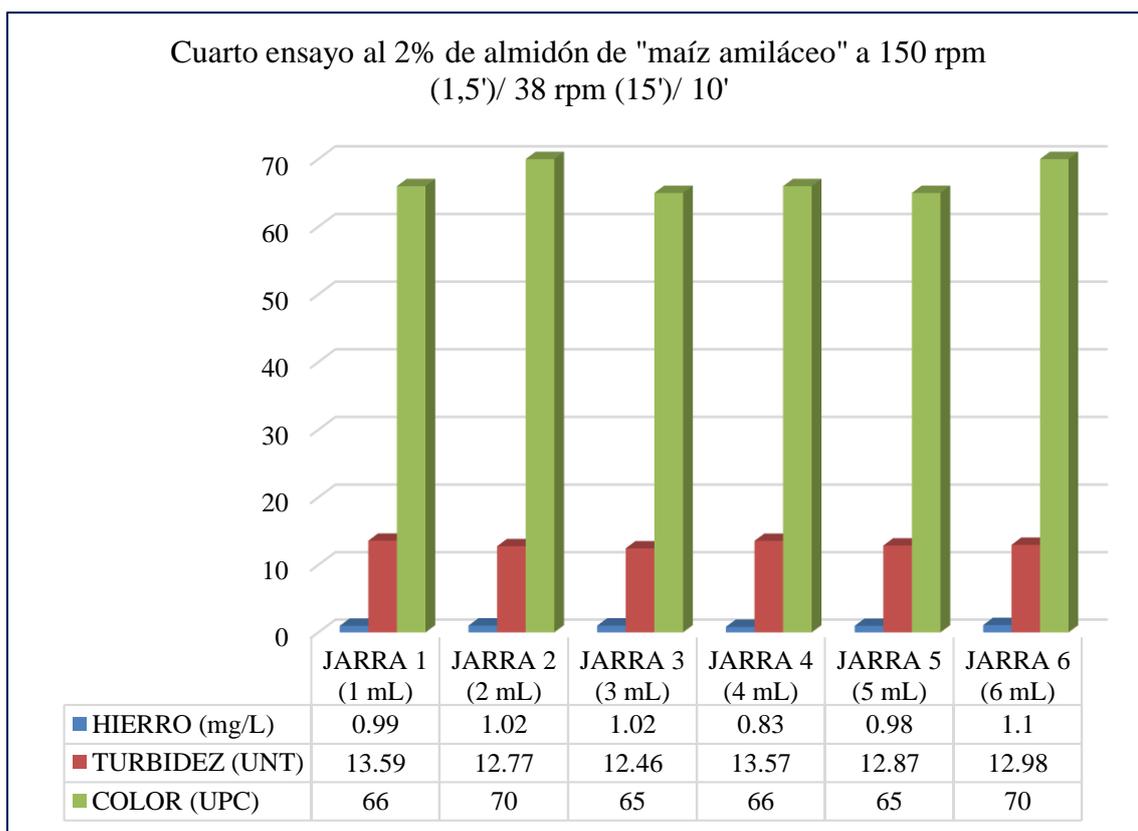


Figura 29: Cuarto ensayo al 2% de almidón de “maíz amiláceo” a 150 rpm (1,5')/ 38 rpm (15')/ 10'.
(Ver anexo B, tabla 30).

Interpretación:

En este ensayo los mejores resultados después del tratamiento con almidón de “maíz amiláceo” al agua del acuífero confinado, se obtuvieron en la jarra 3 al agregar 3 mL de la solución, los cuales son: turbidez 12,46 UNT y color 65 UPC, mientras que en la jarra 4 al agregar 4 mL de la solución se obtuvo el valor más bajo de hierro de este ensayo, el cual tiene una concentración de 0,83 mg/L; dichas concentraciones son los valores mínimos obtenidos en esta prueba, aunque ninguno de estas se encuentran por debajo de los límites máximos permisible que exige la normativa vigente.

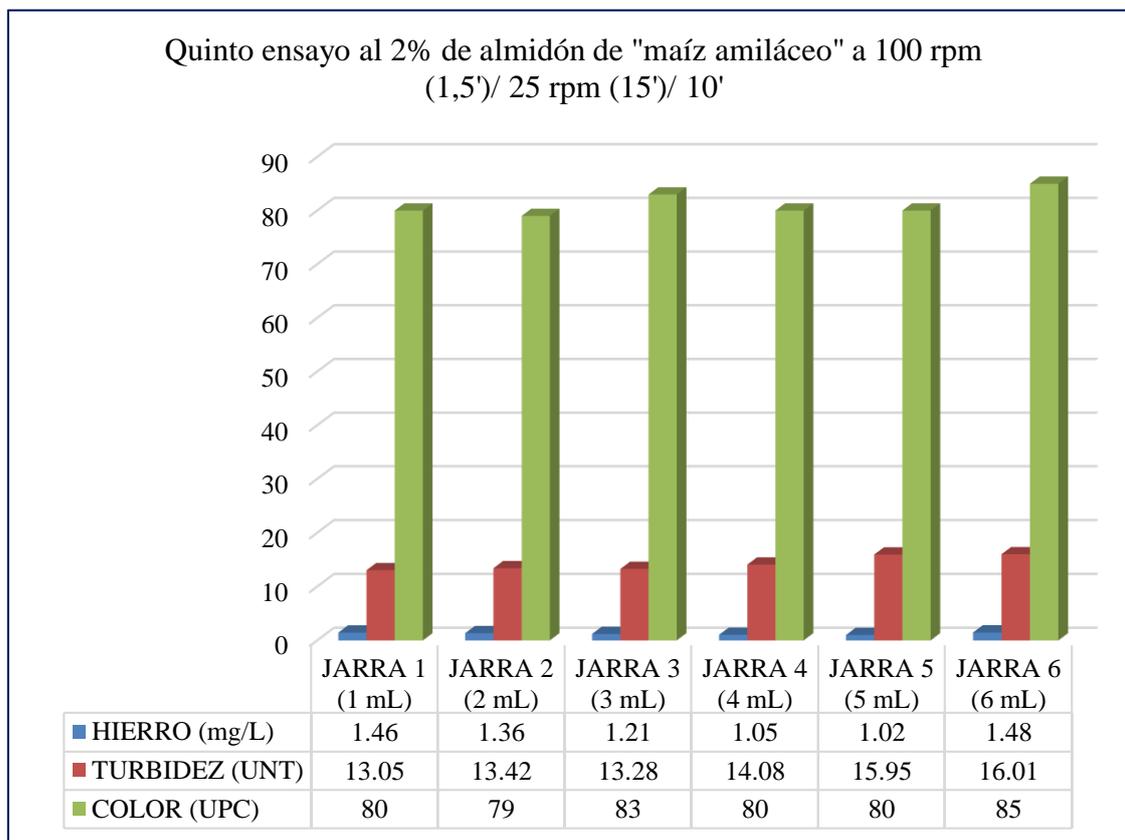


Figura 30: Quinto ensayo al 2% de almidón de “maíz amiláceo” a 100 rpm (1,5')/ 25 rpm (15')/ 10'.
(Ver anexo B, tabla 30).

Interpretación:

En este ensayo los mejores resultados después del tratamiento con almidón de “maíz amiláceo” al agua del acuífero confinado, se obtuvieron en jarras diferentes, tal es el caso que el valor más bajo de hierro se obtuvo en la jarra 5 (al agregar 5 mL de la solución) con una concentración de 1,02 mg/L, en el caso de la turbidez el valor más bajo se obtuvo en la jarra 1 (al agregar 1 mL de la solución) con una concentración de 13,05 UNT, del mismo modo para el parámetro color el valor más bajo se obtuvo en la jarra 2 (al agregar 2 mL de la solución) con una concentración de 79 UPC; cabe destacar que para todas las concentraciones de los parámetros de todas las jarras disminuyen considerablemente; sin embargo ninguno de estos valores mínimos obtenidos en esta prueba se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles que exige la normativa vigente.

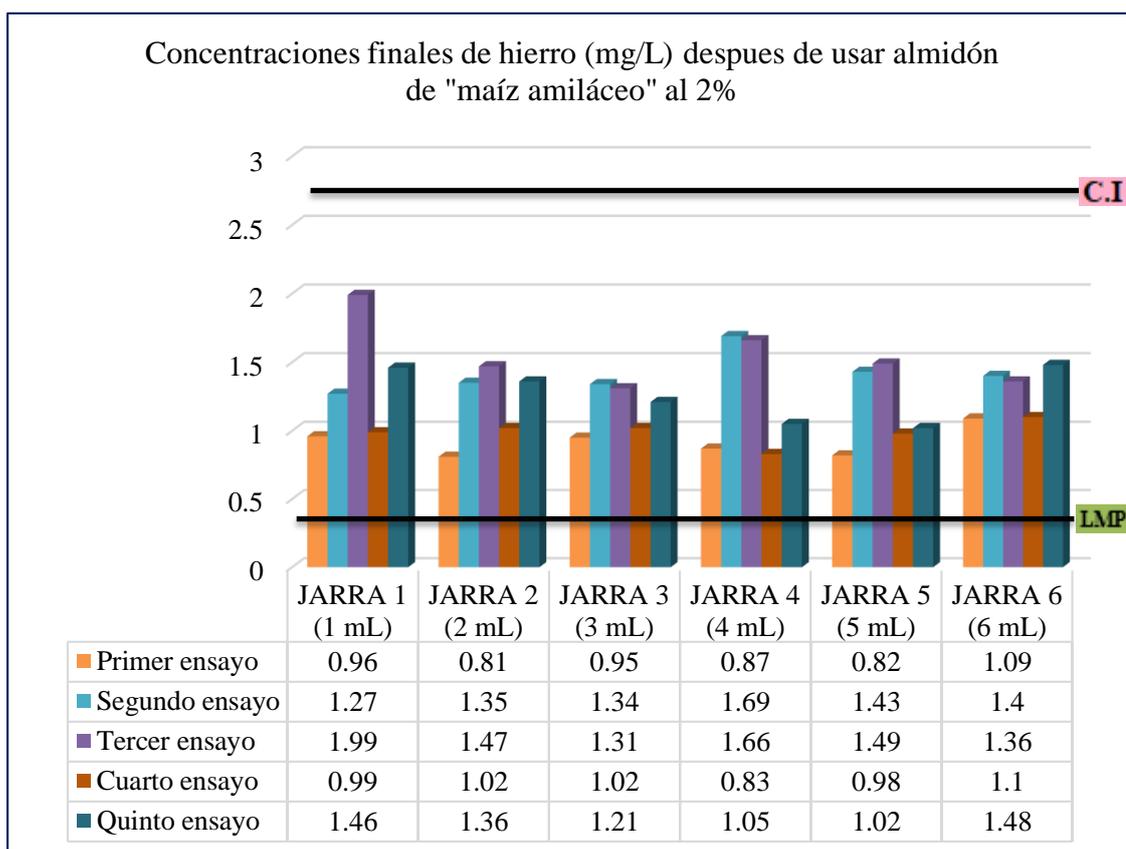


Figura 31: Concentraciones finales de hierro (mg/L) después de usar almidón de “maíz amiláceo” al 2%.
(Ver anexo B, tabla 31).

Interpretación:

En esta figura se muestra el resumen las concentraciones del parámetro hierro de los cinco ensayos al 2%; el valor más elevado que se obtuvo es 1,99 mg/L ubicándose en la jarra 1 (al agregar 1 mL de la solución) en el tercer ensayo, así también se puede observar que el menor valor que se obtuvo es 0,81 mg/L ubicándose en la jarra 2 (al agregar 2 mL de la solución) en el primer ensayo; este último valor aun siendo el más bajo de todos, no logró alcanzar con los valores que exigen los Límites Máximos Permisibles (0,3 mg/L), evidenciando de esta manera un déficit de este coagulante natural para la remoción de hierro a estas condiciones de estudio.

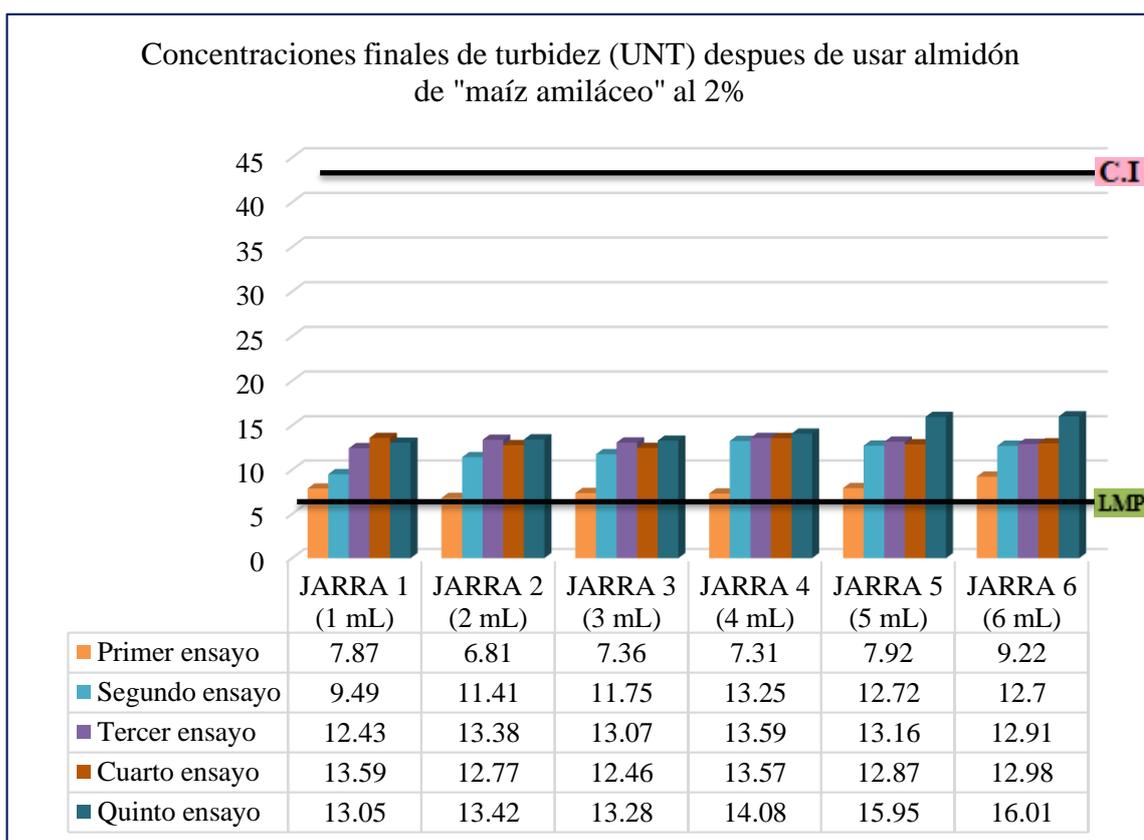


Figura 32: Concentraciones finales de turbidez (UNT) después de usar almidón de “maíz amiláceo” al 2%.
(Ver anexo B, tabla 32).

Interpretación:

En esta figura se muestra el resumen las concentraciones del parámetro turbidez de los cinco ensayos al 2%; el valor más elevado que se obtuvo es 16,01 UNT ubicándose en la jarra 6 (al agregar 6 mL de la solución) en el quinto ensayo, así también se puede observar que el menor valor que se obtuvo es 6,81 UNT ubicándose en la jarra 2 (al agregar 2 mL de la solución) en el primer ensayo; este último valor aun siendo el más bajo de todos, no logró alcanzar con los valores que exigen los Límites Máximos Permisibles (5 UNT), evidenciando de esta manera un déficit de este coagulante natural para la remoción de turbidez a estas condiciones de estudio.

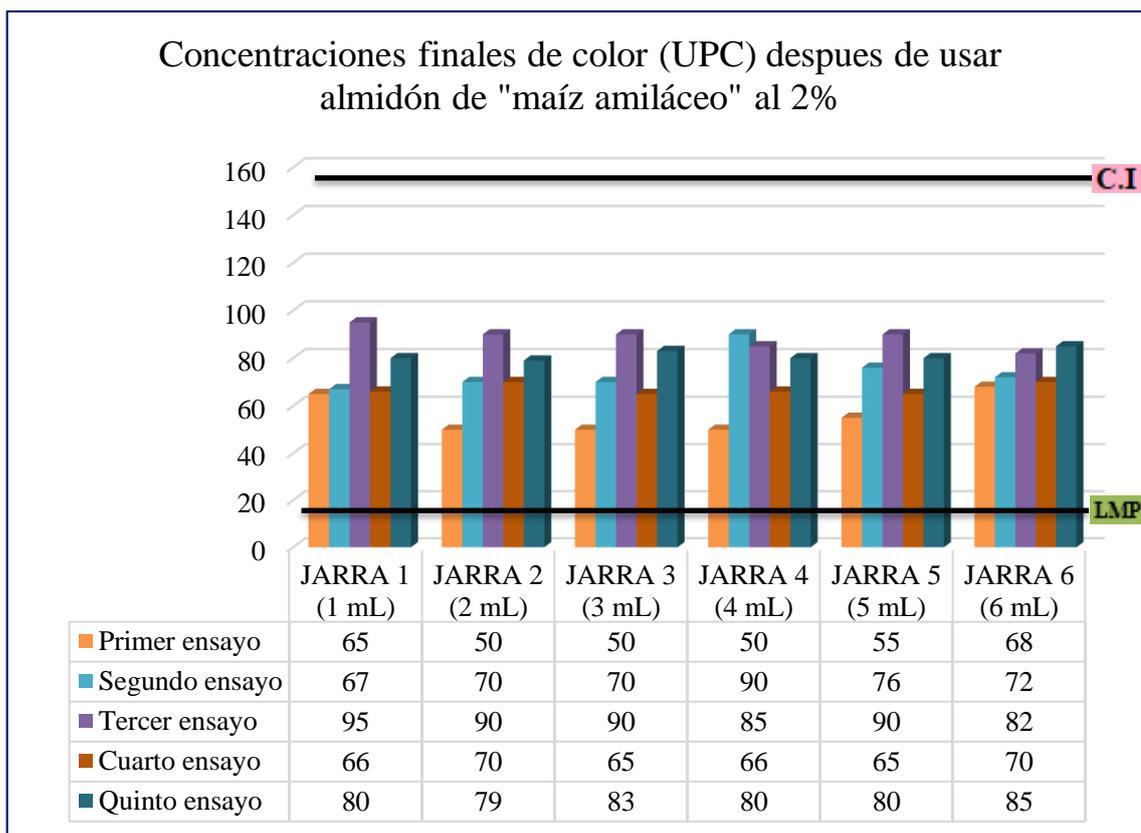


Figura 33: Concentraciones finales de color (UPC) después de usar almidón de “maíz amiláceo” al 2%. (Ver anexo B, tabla 33).

Interpretación:

En esta figura se muestra el resumen las concentraciones del parámetro color de los cinco ensayos al 2%; el valor más elevado que se obtuvo es 95 UPC ubicándose en: la jarra 1 (al agregar 1 mL de la solución) en el tercer ensayo, así también se puede observar que el menor valor que se obtuvo es 50 UPC ubicándose en las jarra 2, 3 y 4 (al agregar 2, 3 y 4 mL de la solución respectivamente) en el primer ensayo; este último valor aun siendo el más bajo de todos, no logró alcanzar con los valores que exigen los Límites Máximos Permisibles (15 UPC), evidenciando de esta manera un déficit de este coagulante natural para la remoción de turbidez a estas condiciones de estudio.

3.1.2.2. Comparación de las concentraciones más bajas de los parámetros, después de la aplicación de almidón de “maíz amiláceo” a distintas dosis de concentración (tratamiento).

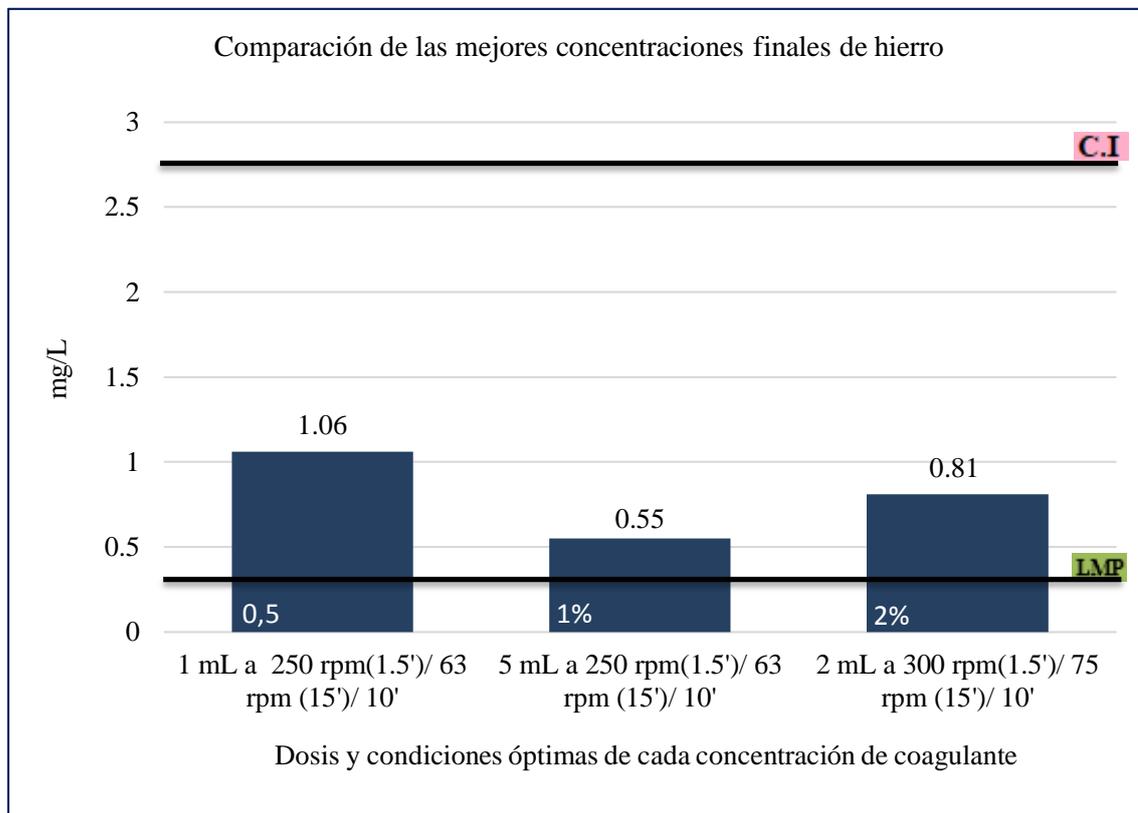


Figura 34: Comparación de las mejores concentraciones finales de hierro.

(Ver anexo C, tabla 34).

Interpretación:

En esta figura se muestra la comparación de los mejores resultados de remoción de hierro que se obtuvieron después del tratamiento con almidón de “maíz amiláceo” a distintas concentraciones (0,5%, 1% y 2%), en donde el valor más bajo obtenido fue de 0,55 mg/L correspondiente al tratamiento con 1% de concentración del coagulante, con una dosis de 5 mL a 250 rpm(1,5')/ 63 rpm(15')/ 10', removiendo de esta manera en un 80% de la concentración inicial (2,75 mg/L); este valor aun siendo el más bajo de todos, no logró alcanzar con los valores que exigen los Límites Máximos Permisibles (0,3 mg/L), evidenciando de esta manera un déficit de este coagulante natural para la remoción de hierro a estas condiciones de estudio.

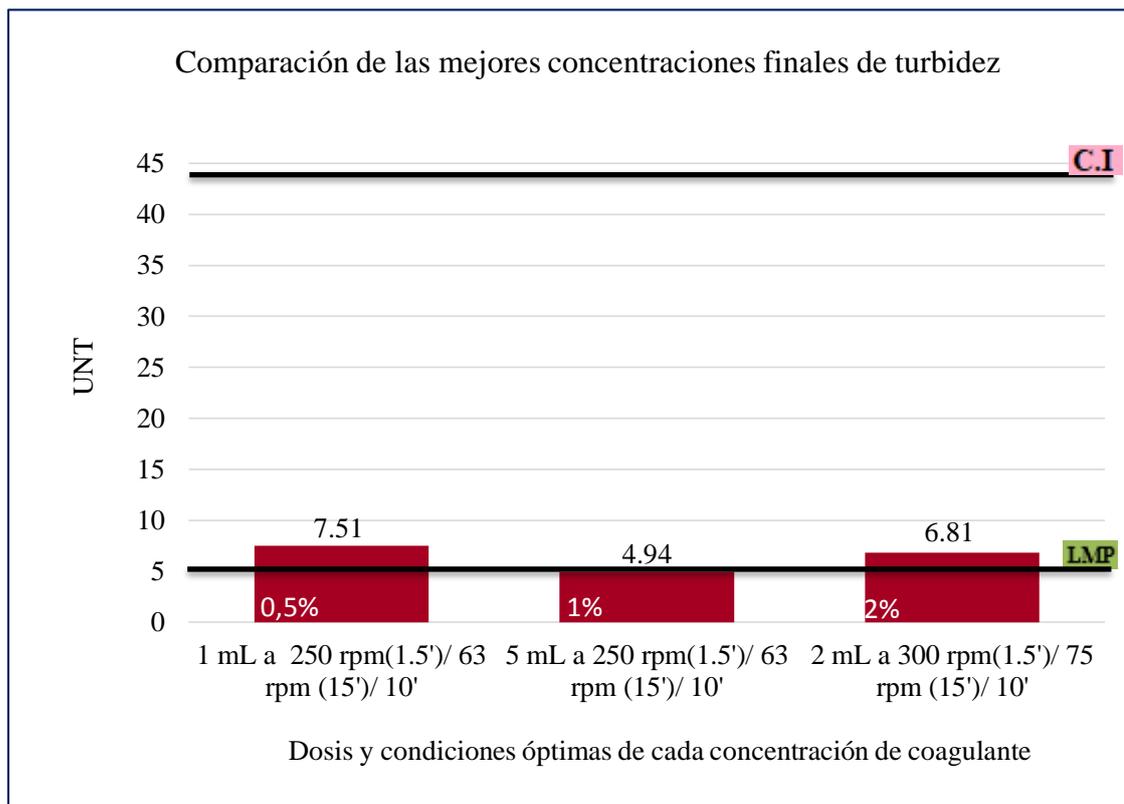


Figura 35: Comparación de las mejores concentraciones finales de turbidez.

(Ver anexo C, tabla 35).

Interpretación:

En esta figura se muestra la comparación de los mejores resultados de remoción de turbidez que se obtuvieron después del tratamiento con almidón de “maíz amiláceo” a distintas concentraciones (0,5%, 1% y 2%), en donde el valor más bajo obtenido fue de 4,94 UNT correspondiente al tratamiento con 1% de concentración del coagulante, con una dosis de 5 mL a 250 rpm(1,5')/ 63 rpm(15')/ 10', removiendo de esta manera en un 88,83% de la concentración inicial (44,22 UNT); este valor logró alcanzar con el valores que exigen los Límites Máximos Permisibles (5 UNT), evidenciando de esta manera una parcial eficiencia de este coagulante natural para la remoción de turbidez a estas condiciones de estudio.

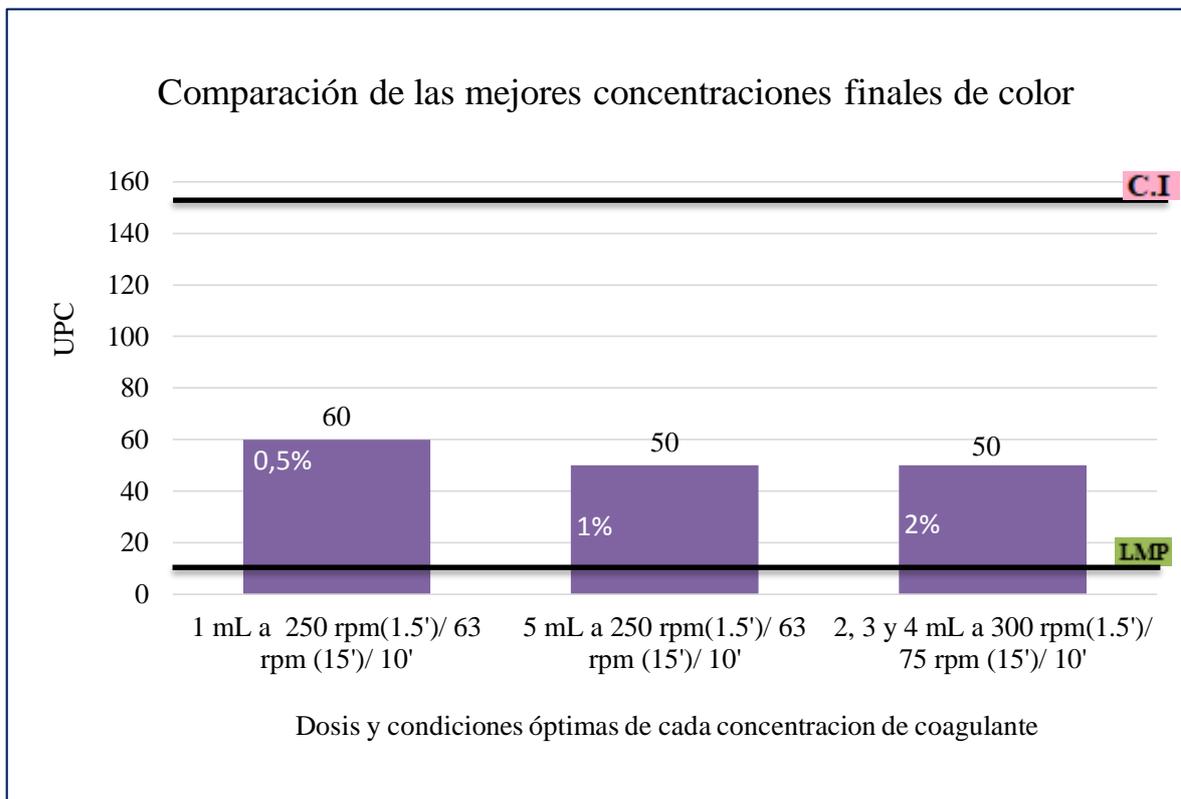


Figura 36: Comparación de las mejores concentraciones finales de color.

(Ver anexo C, tabla 36).

Interpretación:

En esta figura se muestra la comparación de los mejores resultados de remoción de hierro que se obtuvieron después del tratamiento con almidón de “maíz amiláceo” a distintas concentraciones (0,5%, 1% y 2%), en donde el valor más bajo obtenido fue de 50 UPC correspondiente al tratamiento con 1% de concentración del coagulante, con una dosis de 5 mL a 250 rpm(1,5')/ 63 rpm(15')/ 10', removiendo de esta manera en un 67,39% de la concentración inicial (153,33 UPC); este valor aun siendo el más bajo de todos, no logró alcanzar con los valores que exigen los Límites Máximos Permisibles (15 UPC), evidenciando de esta manera un déficit de este coagulante natural para la remoción de color a estas condiciones de estudio.

3.1.2.3. Concentración de los parámetros finales del agua del acuífero confinado después de la aplicación de almidón de “maíz amiláceo” con la dosis y condiciones óptimas.

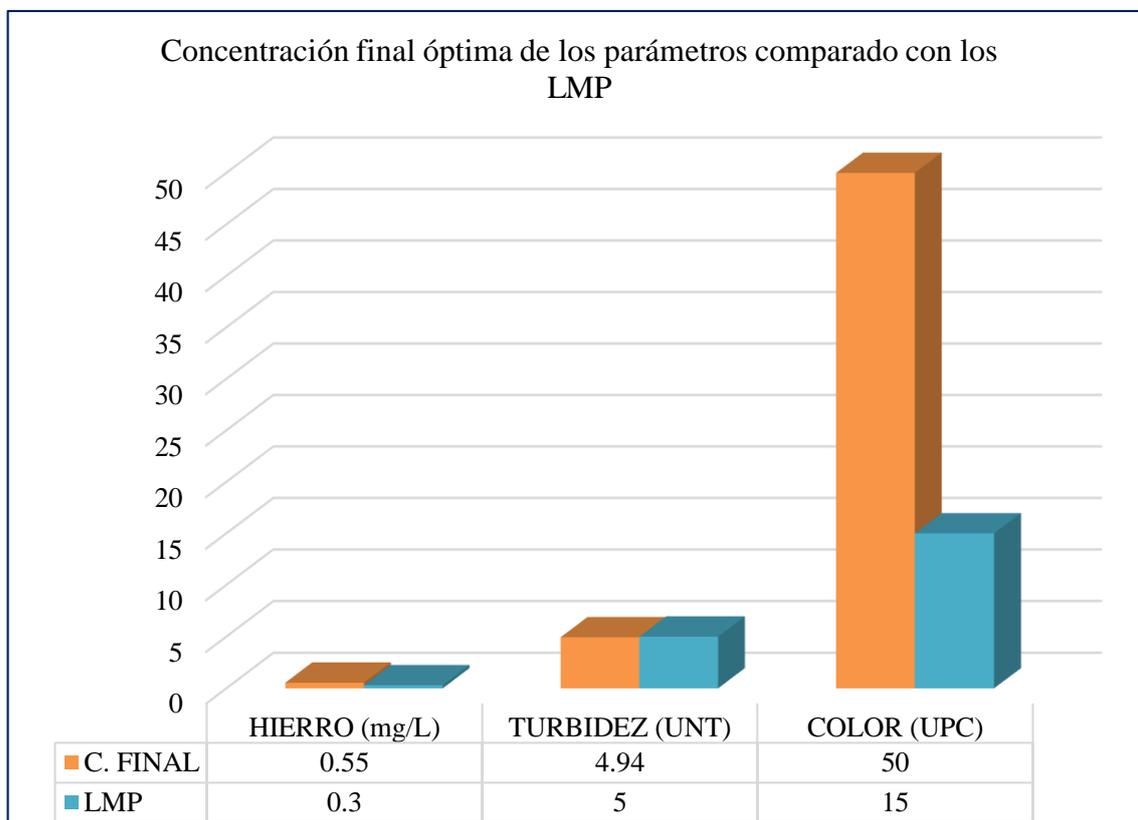


Figura 37: Concentración final óptima de los parámetros comparado con los LMPs.

(Ver anexo D, tabla 37).

Interpretación:

En esta figura se muestra las concentraciones finales de los parámetros estudiados que se obtuvieron después de la aplicación de almidón de “maíz amiláceo”, mediante el uso de dosis y condiciones óptimas; al comparar estos valores obtenidos con los valores que exigen los Límites máximos permisibles, se puede identificar que solo el parámetro turbidez (4,94 UNT) logró alcanzar el valor de dicha normativa (5 UNT), en cuanto al parámetro hierro (0,55 mg/L) se logró un valor bastante cercano al que indica la normativa (0,3 mg/L) sin embargo no cumple con las exigencias de esta, el parámetro color (50 UPC) fue el que menos se ha reducido, la concentración final de este quedó muy distante del valor de los LMPs (15 UPC).

3.1.2.4. Ensayo con sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$.

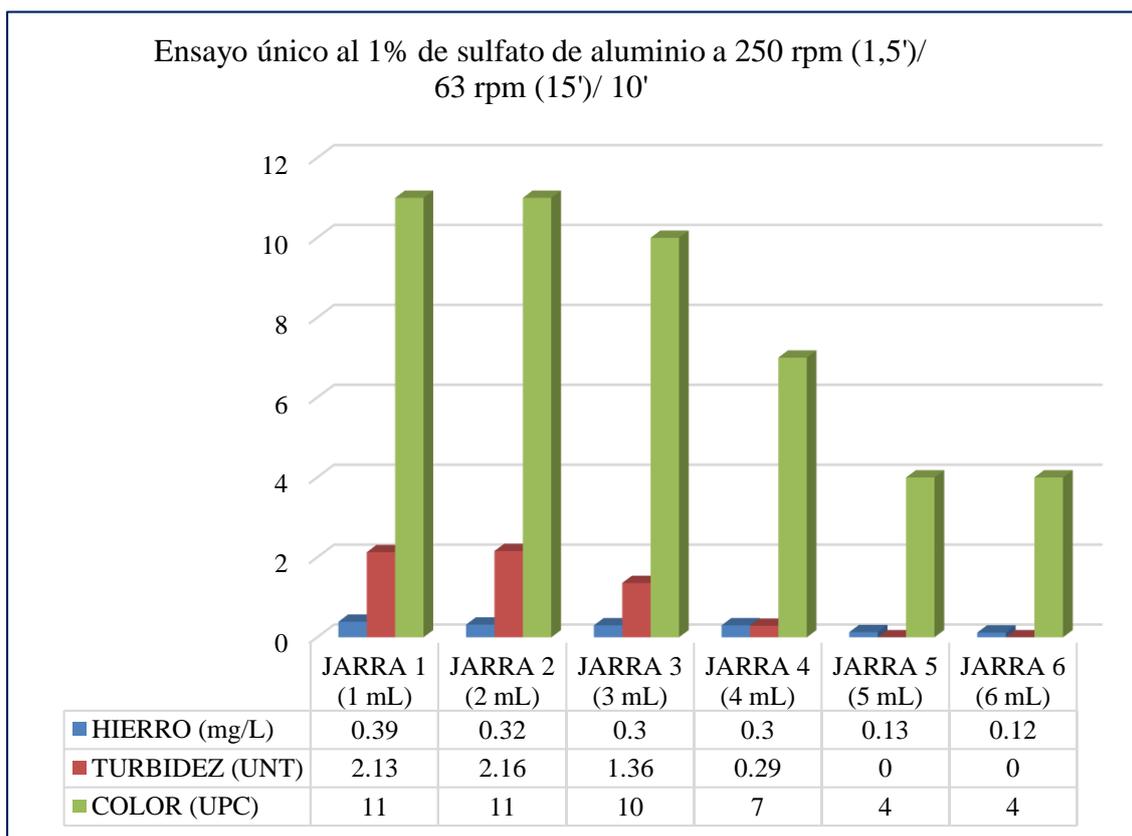


Figura 38: Ensayo único al 1% de almidón de maíz a 250 rpm (1,5')/ 63 rpm (15')/ 10'.

(Ver anexo E, tabla 38).

Interpretación:

Se realizó un ensayo único adicional con sulfato de aluminio, usando las mismas condiciones óptimas (250 rpm (1,5')/ 63 rpm (15')/ 10') obtenidos previamente mediante los ensayos con almidón de “maíz amiláceo”; todo esto con la finalidad de comparar resultados de remoción del almidón de maíz con el coagulante inorgánico más convencional. En este ensayo los mejores resultados después del tratamiento con sulfato de aluminio al agua del acuífero confinado, se obtuvieron en la jarra 5 al agregar 5 mL de la solución, los cuales son: turbidez 0 UNT y color 4 UPC, mientras que en la jarra 6 al agregar 6 mL de la solución se obtuvo el valor más bajo de hierro de este ensayo, el cual tiene una concentración de 0,12 mg/L; dichas concentraciones son los valores mínimos obtenidos en esta prueba, todos estos se encuentran por debajo de los límites máximos permisible que exige la normativa vigente.

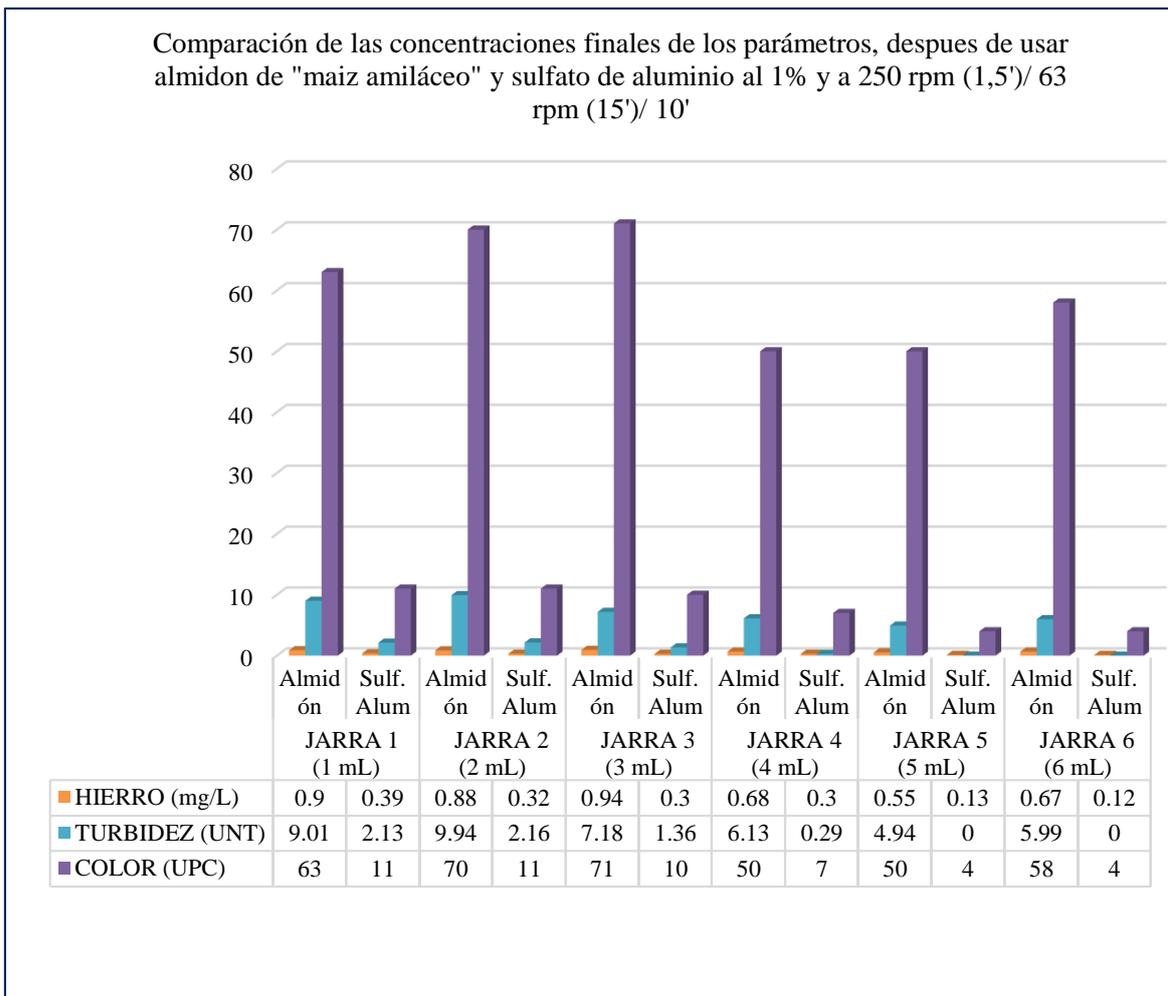


Figura 39: Comparación de las concentraciones finales de los parámetros, después de usar almidón de “maíz amiláceo” y sulfato de aluminio al 1% y a 250 rpm (1,5')/ 63 rpm (15')/ 10'.

(Ver anexo E, tabla 39).

Interpretación:

En esta figura se muestra la comparación de los valores obtenidos a partir de la aplicación de almidón de “maíz amiláceo” y sulfato de aluminio, en donde se evidencia que los mejores resultados se obtuvieron mediante la aplicación del coagulante inorgánico (sulfato de aluminio) en todas las jarras, todas estas concentraciones cumplen con los valores de los Límites Máximos Permisibles; mientras que en la aplicación del coagulante natural (almidón de “maíz amiláceo”) solo se alcanzó un solo valor aceptable de acuerdo a la normativa ya mencionada, dicho parámetro es la turbidez (4,94 UNT) obtenido en la jarra 5. De esa manera se pudo comprobar que la aplicación de sulfato de aluminio es más eficiente que la aplicación del almidón de “maíz amiláceo” a igual dosis y condiciones de tratamiento.

3.1.3. Dosis óptima del coagulante natural.

La dosis óptima de almidón de “maíz amiláceo” se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$D.O \text{ (mg/L)} = \frac{V \text{ jeringa (mL)} * C \text{ sol. Mad (mg/L)}}{V \text{ jarra (mL)}}$$

$$D.O \text{ (mg/L)} = \frac{5 \text{ (mL)} * 10,000 \text{ (mg/L)}}{1000 \text{ (mL)}}$$

$$D.O \text{ (mg/L)} = 50 \text{ mg/L}$$

La dosis óptima de almidón de “maíz amiláceo” se obtuvo a una concentración del 1% añadiendo 50 mg/L a 250 rpm mezcla rápida (1,5 minutos), 63 rpm mezcla lenta (15 minutos) y sedimentación (10 minutos).

Tabla 3

Concentración de los parámetros finales.

Parámetros	Concentración de parámetro inicial	Concentración de parámetro final	LMP
Hierro (mg/L)	2,75	0,55	0,3
Turbidez (UNT)	44,22	4,94	5
Color (UPC)	153,33	50	15

Fuente: Elaboración propia.

3.1.4. Propuesta del diseño de un sistema de dosificación.

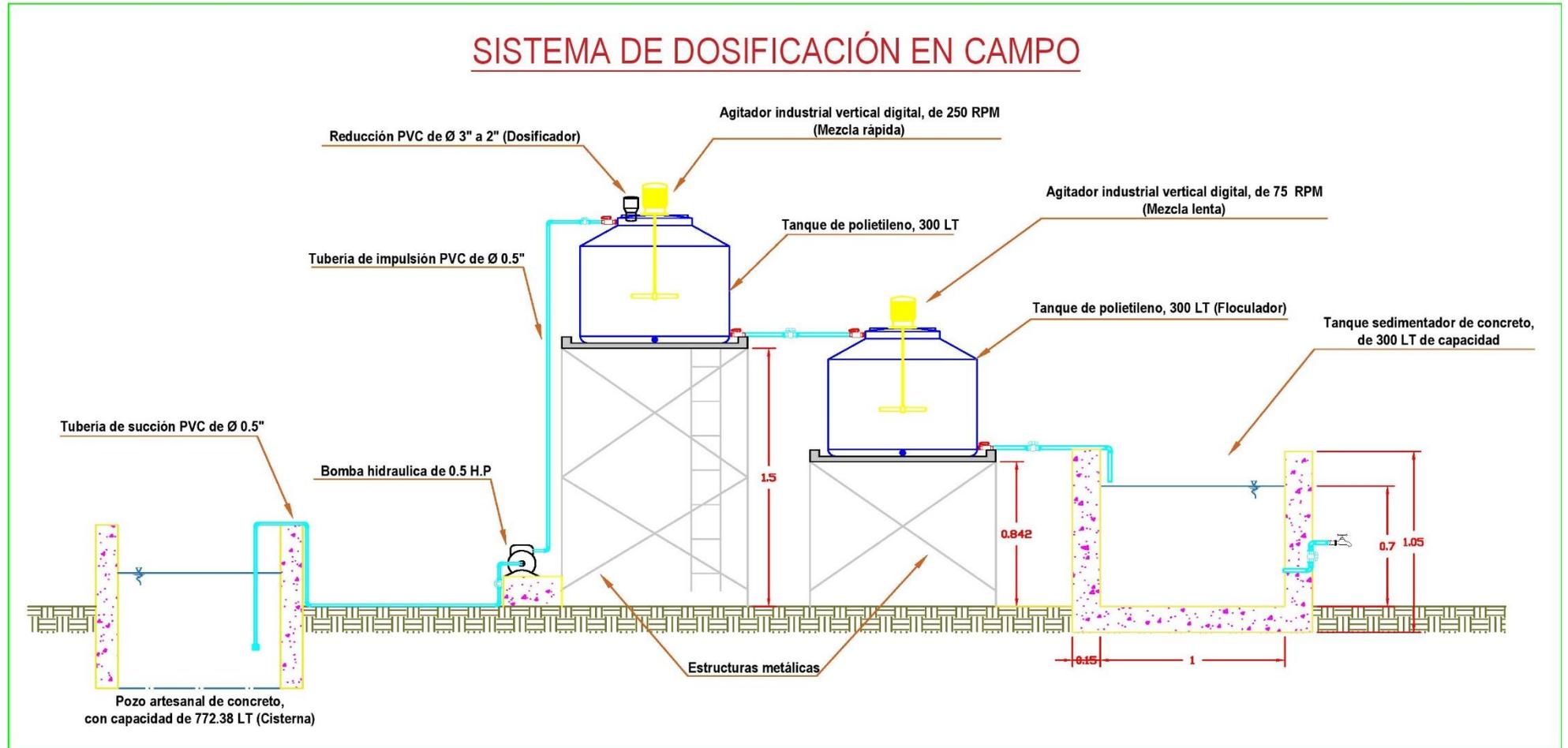


Figura 40: Propuesta del diseño de un sistema de dosificación en campo.

Interpretación:

En la figura se muestra el diseño de un dosificador realizado partiendo de criterios técnicos del autor, como la cantidad de agua a extraer y tratar, y la demanda aproximada; se sabe que la capacidad máxima que retiene el pozo es de 772.38 litros de agua producido por el acuífero confinado, por lo tanto, se consideró extraer del mismo solo una parte de ella (300 litros) con la finalidad de conservar la fuente y evitar una posible alteración. La distribución de los componentes y procesos considerados en el sistema de dosificación están en referencia a lo que indica el tomo I de CEPIS (2004), las cuales son: mezcla rápida (tanque coagulador), mezcla lenta (tanque floculador) y sedimentación (tanque sedimentador); todos estos fueron diseñados adaptándose a la realidad de continuidad de agua que produce dicho acuífero, a los resultados de dosis óptima del almidón de “maíz amiláceo”, a las condiciones óptimas de velocidades de agitación y tiempos de mezclas obtenidos en las pruebas de laboratorio, así como también a la demanda de agua de esta fuente, cuyo valor es de 80 litros/día aproximadamente en épocas de escasez del servicio agua en la zona según información brindado por la familia encargado de cuidar el pozo, es por ello que para extraer y tratar 300 litros de agua se propone:

- Una bomba hidráulica de 0,5 H.P de potencia, conectado a tuberías de succión e impulsión ambas de material PVC y Ø ½”. En tal sentido se aprovecharía el pozo artesanal como una cisterna.
- Un tanque de polietileno de 300 litros con un embudo dosificador adaptado y un agitador industrial vertical digital programado a 250 rpm en 1,5 minutos (proceso de coagulación).
- Un tanque de polietileno de 300 litros y un agitador industrial vertical digital programado a 63 rpm en 15 minutos (proceso de floculación).
- Un tanque sedimentador de concreto con dimensiones de 1m x 0,5m x 0,7m con capacidad de 300 litros aproximadamente (proceso de sedimentación).

Se propone también que las labores de operación y mantenimiento de este sistema de dosificación lo debe realizar un operador capacitado en el funcionamiento del mismo, es por ello que a este diseño se adjunta un manual de operación y mantenimiento para el operador (ver anexo J).

3.2. Contrastación de la hipótesis

3.2.1. Pruebas estadísticas para la contrastación de la hipótesis de investigación.

Hipótesis de la investigación:

- **Hipótesis nula (H₀):** $H_0: \mu d^- = 0$

H₀: “El proceso de coagulación con almidón de “maíz amiláceo” removerá la concentración de hierro, turbidez y color en el acuífero confinado.”

- **Hipótesis alterna (H₁):** $H_1: \mu d^- \neq 0$

H₁: “El proceso de coagulación con almidón de “maíz amiláceo” no removerá la concentración de hierro, turbidez y color en el acuífero confinado.”

Regla de decisión:

- Si el valor $T \geq$ valor T. tab, se acepta la hipótesis alterna (H₁) y se rechaza la hipótesis nula (H₀).
- Si el valor $T <$ valor T. tab, se acepta la hipótesis nula (H₀) y se rechaza la hipótesis alterna (H₁).

Obtención del valor T por parámetros:

Para un nivel de significación de $\alpha = 5\%$ y un nivel de confianza: $1 - \alpha = 95\%$ tenemos las siguientes pruebas estadísticas:

A) Análisis estadístico de la remoción de Hierro

Tabla 4

Prueba T pareada para Hierro inicial - Hierro final con 0,5% de almidón de “maíz amiláceo”.

	Prueba de muestras emparejadas							
	Diferencias emparejadas				T	Gl	Sig. (bilateral)	
	Media	Desv. tip	Desv. Error prom	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
			Inferior	Superior				
Par 1. CT inicial- CT final	1,32700	0,21160	0,03863	1,24799	1,40601	34,350	29	0,000
Media CT inicial: 2,7500 /Media CT final: 1,4230						C.V: 15,9457%		
N CT inicial: 30/ N CT final: 30								
Valor T = 34,350 / valor T. tab = 1,699 / valor P = 0,000								

Fuente: Software estadístico IBM SPSS

Interpretación:

Se observa que el valor T (34,350) > valor T. tab (1,699), por lo tanto se rechaza H_0 y se acepta H_1 ; Es decir hay evidencia estadística para afirmar que existen diferencias significativas entre los valores de las concentraciones registrados antes del tratamiento con los valores obtenidos después del tratamiento, por tal motivo se concluye que el proceso de coagulación con almidón de “maíz amiláceo” a 0,5 % de concentración, remueve significativamente las concentraciones de hierro presente en las muestras.

Tabla 5

Prueba T pareada para Hierro inicial - Hierro final con 1 % de almidón de “maíz amiláceo”.

Prueba de muestras emparejadas								
Diferencias emparejadas								
	Media	Desv. tip	Desv. Error prom	95% de intervalo de confianza de la diferencia		T	Gl	Sig. (bilateral)
				Inferior	Superior			
Par 1. CT inicial-CT final	1,93500	0,17114	0,03125	1,87110	1,99890	61,929	29	0,000
Media CT inicial: 2,7500 /Media CT final: 0,8150							C.V: 8,8444%	
N CT inicial: 30/ N CT final: 30								
Valor T = 61,929 / valor T. tab = 1,699 / valor P = 0,000								

Fuente: Software estadístico IBM SPSS

Interpretación:

Se observa que el valor T (61,929) > valor T. tab (1,699), por lo tanto se rechaza H_0 y se acepta H_1 ; Es decir hay evidencia estadística para afirmar que existen diferencias significativas entre los valores de las concentraciones registrados antes del tratamiento con los valores obtenidos después del tratamiento, por tal motivo se concluye que el proceso de coagulación con almidón de “maíz amiláceo” a 1 % de concentración, remueve significativamente las concentraciones de hierro presente en las muestras.

Tabla 6

Prueba T pareada para Hierro inicial - Hierro final con 2% de almidón de “maíz amiláceo”.

	Prueba de muestras emparejadas							
	Diferencias emparejadas					T	Gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desv. tip	Desv. Error prom	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
			Inferior	Superior				
Par 1. CT inicial-CT final	1,52400	0,29116	0,05316	1,41528	1,63272	28,669	29	0,000
Media CT inicial: 2,7500 /Media CT final: 1,2260							C.V: 19,1050%	
N CT inicial: 30/ N CT final: 30								
Valor T = 28,669 / valor T. tab = 1,699 / valor P = 0,000								

Fuente: Software estadístico IBM SPSS

Interpretación:

Se observa que el valor T (28,669) > valor T. tab (1,699), por lo tanto se rechaza H_0 y se acepta H_1 ; Es decir hay evidencia estadística para afirmar que existen diferencias significativas entre los valores de las concentraciones registrados antes del tratamiento con los valores obtenidos después del tratamiento, por tal motivo se concluye que el proceso de coagulación con almidón de “maíz amiláceo” a 2 % de concentración, remueve significativamente las concentraciones de hierro presente en las muestras.

B) Análisis estadístico de la remoción de Turbidez

Tabla 7

Prueba T pareada para Turbidez inicial - Turbidez final con 0,5% de almidón de “maíz amiláceo”.

	Prueba de muestras emparejadas							
	Diferencias emparejadas					T	Gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desv. tip	Desv. Error prom	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
			Inferior	Superior				
Par 1. CT inicial-CT final	32,30633	1,88024	0,34328	31,60424	33,00843	94,110	29	0,000
Media CT inicial: 44,2200/Media CT final: 11,9137							C.V: 5,8200%	
N CT inicial: 30/ N CT final: 30								
Valor T = 94,110 / valor T. tab = 1,699 / valor P = 0,000								

Fuente: Software estadístico IBM SPSS

Interpretación:

Se observa que el valor T (94,110) > valor T. tab (1,699), por lo tanto se rechaza H_0 y se acepta H_1 ; Es decir hay evidencia estadística para afirmar que existen diferencias significativas entre los valores de las concentraciones registrados antes del tratamiento con los valores obtenidos después del tratamiento, por tal motivo se concluye que el proceso de coagulación con almidón de “maíz amiláceo” a 0,5 % de concentración, remueve significativamente las concentraciones de turbidez presente en las muestras.

Tabla 8

Prueba T pareada para Turbidez inicial - Turbidez final con 1% de almidón de “maíz amiláceo”.

Prueba de muestras emparejadas								
Diferencias emparejadas								
	Media	Desv. tip	Desv. Error prom	95% de intervalo de confianza de la diferencia		T	Gl	Sig. (bilateral)
				Inferior	Superior			
Par 1. CT								
inicial-CT	33,91667	3,01628	0,55069	32,79037	35,04296	61,589	29	0,000
final								
Media CT inicial: 44,2200 /Media CT final: 10,3033							C.V: 8,8932%	
N CT inicial: 30/ N CT final: 30								
Valor T = 61,589 / valor T. tab = 1,699 / valor P = 0,000								

Fuente: Software estadístico IBM SPSS

Interpretación:

Se observa que el valor T (61,589) > valor T. tab (1,699), por lo tanto se rechaza H_0 y se acepta H_1 ; Es decir hay evidencia estadística para afirmar que existen diferencias significativas entre los valores de las concentraciones registrados antes del tratamiento con los valores obtenidos después del tratamiento, por tal motivo se concluye que el proceso de coagulación con almidón de “maíz amiláceo” a 1 % de concentración, remueve significativamente las concentraciones de turbidez presente en las muestras.

Tabla 9

Prueba T pareada para Turbidez inicial - Turbidez final con 2% de almidón de “maíz amiláceo”.

	Prueba de muestras emparejadas							
	Diferencias emparejadas					T	Gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desv. tip	Desv. Error prom	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
			Inferior	Superior				
Par 1. CT inicial-CT final	32,20367	2,47555	0,45197	31,27928	33,12805	71,251	29	0,000
Media CT inicial: 44,2200 /Media CT final: 12,0163							C.V: 7,6872%	
N CT inicial: 30/ N CT final: 30								
Valor T = 71,251 / valor T. tab = 1,699 / valor P = 0,000								

Fuente: Software estadístico IBM SPS

Interpretación:

Se observa que el valor T (71,251) > valor T. tab (1,699), por lo tanto se rechaza H_0 y se acepta H_1 ; Es decir hay evidencia estadística para afirmar que existen diferencias significativas entre los valores de las concentraciones registrados antes del tratamiento con los valores obtenidos después del tratamiento, por tal motivo se concluye que el proceso de coagulación con almidón de “maíz amiláceo” a 2 % de concentración, remueve significativamente las concentraciones de turbidez presente en las muestras.

C) Análisis estadístico de la remoción de Color

Tabla 10

Prueba T pareada para Color inicial - Color final con 0,5% de almidón de “maíz amiláceo”.

	Prueba de muestras emparejadas							
	Diferencias emparejadas					T	Gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desv. tip	Desv. Error prom	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
			Inferior	Superior				
Par 1. CT inicial-CT final	70,33000	9,32183	1,70193	66,84917	73,81083	41,324	29	0,000
Media CT inicial: 153,3300 /Media CT final: 83,0000							C.V: 13,2544%	
N CT inicial: 30/ N CT final: 30								
Valor T = 41,324 / valor T. tab = 1,699 / valor P = 0,000								

Fuente: Software estadístico IBM SPSS

Interpretación:

Se observa que el valor T (41,324) > valor T. tab (1,699), por lo tanto se rechaza H_0 y se acepta H_1 ; Es decir hay evidencia estadística para afirmar que existen diferencias significativas entre los valores de las concentraciones registrados antes del tratamiento con los valores obtenidos después del tratamiento, por tal motivo se concluye que el proceso de coagulación con almidón de “maíz amiláceo” a 0,5 % de concentración, remueve significativamente las concentraciones de color presente en las muestras.

Tabla 11

Prueba T pareada para Color inicial - Color final con 1% de almidón de “maíz amiláceo”.

Prueba de muestras emparejadas								
Diferencias emparejadas								
	Media	Desv. tip	Desv. Error prom	95% de intervalo de confianza de la diferencia		T	Gl	Sig. (bilateral)
				Inferior	Superior			
Par 1. CT								
inicial-CT final	86,09667	11,40987	2,08315	81,83615	90,35718	41,330	29	0,000
Media CT inicial: 153,3300 /Media CT final: 67,2333							C.V: 13,2524%	
N CT inicial: 30/ N CT final: 30								
Valor T = 41,330 / valor T. tab = 1,699 / valor P = 0,000								

Fuente: Software estadístico IBM SPSS

Interpretación:

Se observa que el valor T (41,330) > valor T. tab (1,699), por lo tanto se rechaza H_0 y se acepta H_1 ; Es decir hay evidencia estadística para afirmar que existen diferencias significativas entre los valores de las concentraciones registrados antes del tratamiento con los valores obtenidos después del tratamiento, por tal motivo se concluye que el proceso de coagulación con almidón de “maíz amiláceo” a 1 % de concentración, remueve significativamente las concentraciones de color presente en las muestras.

Tabla 12

Prueba T pareada para Color inicial - Color final con 2% de almidón de “maíz amiláceo”.

Prueba de muestras emparejadas								
Diferencias emparejadas								
	Media	Desv. tip	Desv. Error prom	95% de intervalo de confianza de la diferencia		T	Gl	Sig. (bilateral)
				Inferior	Superior			
Par 1. CT								
inicial-CT	79,86333	12,58552	2,29779	75,16382	84,56285	34,757	29	0,000
final								
Media CT inicial: 153,3300 /Media CT final: 73,4667							C.V: 15,7588%	
N CT inicial: 30/ N CT final: 30								
Valor T = 34,757 / valor T. tab = 1,699 /valor P = 0,000								

Fuente: Software estadístico IBM SPSS

Interpretación:

Se observa que el valor T (34,757) > valor T. tab (1,699), por lo tanto se rechaza H_0 y se acepta H_1 ; Es decir hay evidencia estadística para afirmar que existen diferencias significativas entre los valores de las concentraciones registrados antes del tratamiento con los valores obtenidos después del tratamiento, por tal motivo se concluye que el proceso de coagulación con almidón de “maíz amiláceo” a 2 % de concentración, remueve significativamente las concentraciones de color presente en las muestras.

Decisión final:

Teniendo como resultados que el valor T > valor T. tab en los tres parámetros estudiados con las tres concentraciones de almidón de “maíz amiláceo”, por lo tanto se rechaza H_0 a un nivel de significancia de 5%; y se acepta H_1 , es decir se afirma que si existe una eficiencia estadísticamente significativa entre pre y post tratamiento con respecto a los LMP. En tal sentido, estos resultados permiten declarar como verdadera a la hipótesis de investigación: “El proceso de coagulación con almidón de “maíz amiláceo” removerá las concentraciones de hierro, turbidez y color en el acuífero confinado.”

3.2.2. Pruebas estadísticas para la determinación de la concentración de almidón de “maíz amiláceo” más eficiente (tratamiento).

- ANOVA para Hierro, Turbidez y Color

✓ $H_0: T_1 = T_2 = T_3$

✓ $H_1: T_1 \neq T_2 \neq T_3$ (Al menos dos tratamientos son diferentes)

Tabla 13

Pruebas de efectos inter – concentraciones de almidón de “maíz amiláceo”, variable dependiente remoción de hierro.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	G.L	Cuadrados medios	Razón F calculada	Razón F tabulada	Sig.
Tratamiento	1,155	2	0,577	138,062	3,68	0,000
Error	0,063	15	0,004			
Total	1,218	17				C.V: 5,4774%

Fuente: Software estadístico IBM SPSS

Interpretación:

Con valor de significancia = 0,000 o también con F. calculada > F. tabulada, se acepta H_1 y afirmamos que los tratamientos con las tres concentraciones de almidón de “maíz amiláceo” correspondiente a hierro varían al menos en 2.

Tabla 14

Pruebas de efectos inter – concentraciones de almidón de “maíz amiláceo”, variable dependiente remoción de turbidez.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	G.L	Cuadrados medios	Razón F calculada	Razón F tabulada	Sig.
Tratamiento	11,076	2	5,538	10,732	3,68	0,001
Error	7,740	15	0,516			
Total	18,816	17				C.V: 6,2950%

Fuente: Software estadístico IBM SPSS

Interpretación:

Con valor de significancia = 0,001 o también con F. calculada > F. tabulada, se acepta H_1 y afirmamos que los tratamientos con las tres concentraciones de almidón de “maíz amiláceo” correspondiente a turbidez varían al menos en 2.

Tabla 15

Pruebas de efectos inter – concentraciones de almidón de “maíz amiláceo”, variable dependiente remoción de color.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	G.L	Cuadrados medios	Razón F calculada	Razón F tabulada	Sig.
Tratamiento	756,653	2	378,327	75,861	3,68	0,000
Error	74,807	15	4,987			
Total	831,460	17				C.V: 2,9948%

Fuente: Software estadístico IBM SPSS

Interpretación:

Con valor de significancia = 0,000 o también con $F_{calculada} > F_{tabulada}$, se acepta H_1 y afirmamos que los tratamientos con las tres concentraciones de almidón de “maíz amiláceo” correspondiente a color varían al menos en 2.

- **DUNCAN para Hierro, Turbidez y Color**

Tabla 16

Prueba de Duncan para el parámetro hierro.

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0,05		
		1	2	3
Almidón de maíz al 1%	6	0,8150		
Almidón de maíz al 2%	6		1,2260	
Almidón de maíz al 0.5%	6			1,4230
Sig.		1,000	1,000	1,000

Se visualiza las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 6,000

Fuente: Software estadístico IBM SPSS

Interpretación y decisión:

Existen diferencias entre las medias de los resultados, es por ello que los tres tratamientos están separados en subconjuntos diferentes. La prueba de Duncan recomienda usar el tratamiento con almidón de “maíz amiláceo” al 1% para obtener resultados más eficientes en remoción de hierro.

Tabla 17
Prueba de Duncan para el parámetro turbidez.

Duncan ^a			
Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0,05	
		1	2
Almidón de maíz al 1%	6	10,3033	
Almidón de maíz al 0.5%	6		11,9137
Almidón de maíz al 2%	6		12,0163
Sig.		1,000	0,808

Se visualiza las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 6,000

Fuente: Software estadístico IBM SPSS

Interpretación y decisión:

Existen diferencias entre las medias de los resultados, el tratamiento con almidón de maíz al 0,5% y 2% comparten el mismo subconjunto debido a que sus valores están cercanos, caso que no ocurre para el tratamiento con almidón a 1% respecto a los demás. La prueba de Duncan recomienda usar el tratamiento con almidón de “maíz amiláceo” al 1% para obtener resultados más eficientes en remoción de turbidez.

Tabla 18
Prueba de Duncan para el parámetro color.

Duncan ^a				
Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0,05		
		1	2	3
Almidón de maíz al 1%	6	67,2333		
Almidón de maíz al 2%	6		73,4667	
Almidón de maíz al 0.5%	6			83,0000
Sig.		1,000	1,000	1,000

Se visualiza las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 6,000

Fuente: Software estadístico IBM SPSS

Interpretación y decisión:

Existen diferencias entre las medias de los resultados, es por ello que los tres tratamientos están separados en subconjuntos diferentes. La prueba de Duncan recomienda usar el tratamiento con almidón de “maíz amiláceo” al 1% para obtener resultados más eficientes en remoción de color.

Tabla 19*Distribución de resultados para la evaluación de los tratamientos.*

Parámetro	Und.	Tratamiento 1 *						Tratamiento 2 *						Tratamiento 3 *						Prom. C. I	LMP
		(0,5 %)						(1 %)						(2 %)							
		J 1	J 2	J 3	J 4	J 5	J 6	J 1	J 2	J 3	J 4	J 5	J 6	J 1	J 2	J 3	J 4	J 5	J 6		
Hierro	mg/L	1,18	1,12	1,14	1,20	1,27	1,26	0,74	0,62	0,59	0,61	0,55	0,55	0,96	0,81	0,95	0,87	0,82	1,09	2,75	0,3
		1,06	1,6	1,46	1,25	1,43	2,00	0,90	0,88	0,94	0,68	0,55	0,67	1,27	1,35	1,34	1,69	1,43	1,40		
		1,97	1,53	1,61	1,45	1,57	1,57	1,06	0,84	0,96	0,79	1,03	0,92	1,99	1,47	1,31	1,66	1,49	1,36		
		1,48	1,43	1,36	1,37	1,39	1,34	1,01	0,94	0,98	0,90	0,85	0,80	0,99	1,02	1,02	0,83	0,98	1,10		
		1,32	1,55	1,48	1,47	1,4	1,43	0,87	0,99	0,57	0,68	0,86	1,12	1,46	1,36	1,21	1,05	1,02	1,48		
Turbidez	UNT	7,89	8,91	9,21	10,62	11,2	9,48	7,26	7,52	7,36	8,15	6,61	7,11	7,87	6,81	7,36	7,31	7,92	9,22	44,22	5
		7,51	11,24	12,01	10,76	13,67	13,34	9,01	9,94	7,18	6,13	4,94	5,99	9,49	11,41	11,75	13,3	12,72	12,7		
		12,04	14,56	13,33	10,36	12,32	13,1	8,67	11,31	12,11	7,93	10,46	11,08	12,43	13,38	13,07	13,6	13,16	12,91		
		13,6	13,78	13,76	12,4	13,2	13,01	12,58	12,8	12,54	13,18	13,49	14,59	13,59	12,77	12,46	13,6	12,87	12,98		
		10,71	13,07	12,29	12,73	13,44	13,87	14,08	13,37	13,82	12,27	12,71	14,91	13,05	13,42	13,28	14,1	15,95	16,01		
Color	UPC	85	61	62	63	80	85	65	60	60	50	55	60	65	50	50	50	55	68	153,33	15
		60	90	90	82	88	90	63	70	71	50	50	58	67	70	70	90	76	72		
		89	95	90	90	89	90	53	59	66	73	68	60	95	90	90	85	90	82		
		85	85	89	82	86	85	64	69	75	85	75	85	66	70	65	66	65	70		
		78	85	85	86	85	80	86	70	70	72	80	95	80	79	83	80	80	85		

Fuente: Tablas 21, 22, 26 y 30. Elaboración propia.

* Los tratamientos contemplan el proceso de coagulación completo (aplicación de distintas dosis y condiciones de mezcla/tiempo) a diferentes concentraciones de almidón de “maíz amiláceo”, por ende, los valores de remoción son resultados secuenciales de dicho proceso agrupados en tres unidades (tratamientos) para su correcta evaluación.

3.3. Discusión de resultados

El proceso de coagulación, floculación y sedimentación con almidón de “maíz amiláceo” en aguas subterráneas turbias, resulta ser una alternativa limpia para el tratamiento de aguas y producción de agua potable, debido a que mediante la aplicación de este, se puede reemplazar el uso de sustancias inorgánicas como el sulfato de aluminio; los resultados obtenidos en esta investigación evidencian la capacidad coagulante de sustancias naturales de fácil obtención como el almidón.

Los resultados obtenidos indican una eficacia de este coagulante para la remoción de parámetros físicos y químicos (hierro, turbidez y color), el único parámetro que se logró remover hasta alcanzar los límites máximos permisibles que exige la normativa vigente fue la turbidez, mientras que los parámetros restantes analizados solo se logró disminuir considerablemente en porcentajes aceptables.

Jiménez y Vladimir (2015) en su investigación estudiaron y evaluaron al almidón de “maíz” como alternativa natural en el tratamiento del agua, mediante el proceso de coagulación, floculación y sedimentación con almidón de maíz; lograron reducir turbidez y color en porcentajes aceptables, pero solo el parámetro turbidez logró estar dentro de los límites de remoción, de lo cual se afirma que el coagulante natural almidón de “maíz” es eficiente para remover partículas coloidales que producen turbidez y del mismo modo es deficiente para la remoción de sustancias o contaminantes que producen color al agua; en la presente investigación se puede asociar similitud entre estos resultados, debido a que mediante la aplicación de almidón de “maíz amiláceo” a dosis y condiciones óptimas, se logró remover las concentraciones iniciales de la turbidez hasta alcanzar los LMP cumpliendo con el propósito de remoción, caso contrario sucedió con el parámetro color, donde fue el que menos se ha reducido, quedando distante de la normativa que se exige. En forma de conclusión es válido afirmar que el almidón de “maíz” (de cualquier variedad) es un buen coagulante desestabilizador de cargas electrostáticas de partículas coloidales, causantes de la turbidez

La investigación de Castañeda (2015) está orientada a determinar la eficiencia del tratamiento de agua subterránea rica en hierro con almidón de “maíz” y alumbre. Realizó ensayos con el equipo prueba de jarras mediante el proceso coagulación,

floculación y sedimentación con estas dos sustancias mezcladas y de manera independiente; el almidón de “maíz” independientemente removió el 83% de hierro; también removió el 86% de turbidez, en cuanto al parámetro de color logró remover el 87% de color; los porcentajes de remoción es casi similar al de la presente investigación, donde se utilizó almidón de maíz amiláceo en la clarificación de aguas subterráneas también con presencia de hierro, turbidez y color, los resultados fueron satisfactorios debido a que se logró remover estos parámetros en grandes porcentajes, es así que tenemos remoción en turbidez del 88,83%, color del 67,39% y hierro del 80%, mediante dosis y condiciones óptimas; en forma general se observa que el efecto que ejerce el almidón de “maíz” como coagulante en el tratamiento de aguas subterráneas es eficiente, los resultados se asemejan bastante, en cuanto al parámetro color hay una cierta diferencia pero la reducción de concentración es aceptable.

La finalidad de la investigación de Moreno (2016) fue el de determinar la disminución de la turbidez del agua del río Criznejas utilizando extractos de *Opuntia ficus indica*, *Aloe vera* y *Caesalpinia spinosa*, logrando reducir la turbidez en porcentajes aceptables, siendo *Opuntia ficus* el coagulante más efectivo, logrando una remoción de 61,09%. En la presente investigación se usó al almidón de “maíz amiláceo” como coagulante de origen natural, realizando una serie de ensayos y experimentos para determinar dosis y condiciones óptimas, se logró una remoción de 88,83% partiendo de una concentración inicial. En tal sentido si evaluamos los mecanismos de coagulación del extracto vegetal de *Opuntia ficus* (mecanismo atrapamiento de partículas en un solo precipitado) y almidón de “maíz amiláceo” (mecanismo adsorción – puente), se puede afirmar que ambos mecanismos reducen concentraciones de turbidez, pero el que mejor actúa es el mecanismo adsorción – puente con almidón de “maíz amiláceo”.

Maldonado (2017) En su investigación se planteó determinar en qué medida el clarificante de origen natural (almidón de “yuca”) remueve la turbidez y color, en aguas de consumo humano de la quebrada Juninguillo; llegando a la conclusión que mediante la aplicación de almidón al 1% de concentración de “yuca” a dosis y condiciones óptimas logra remover en 48% del color inicial y en un 50% la turbidez del agua, pero ninguno de estos dos parámetros logró alcanzar los límites máximos permisibles que indica la normativa vigente. Para el presente trabajo de investigación, los resultados indican que el almidón de “maíz amiláceo” como coagulante funciona mejor a una

concentración del 1% ya que remueve 88,83% de turbidez y 67,39% de color, ambos partiendo de sus valores de concentración inicial, todo esto a dosis y condiciones óptimas. La diferencia de resultados en las dos investigaciones se puede deber al método usado para la obtención del almidón, debido a que se usaron métodos diferentes, teniendo en cuenta que el almidón es el mismo tanto en “yuca” como en “maíz”. Por lo que después de la comparación de resultados de remoción, se puede afirmar que la metodología usada en la obtención de almidón del “maíz amiláceo” de (L, Wang y YJ, Wang 2001) es efectiva.

CONCLUSIONES

El promedio de las concentraciones iniciales (pre tratamiento) de las aguas del pozo del acuífero confinado en el barrio Miramayo – Yantaló, demuestran estar en una condición poco favorable para ser consumido directamente, incluso estos valores se encuentran muy distantes a los valores de los Estándares de Calidad Ambiental A-1 (aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección). Los valores son los siguientes: hierro 2,75 mg/L, Turbidez 44,22 UNT, Color 153,33 UPC. En cuanto a los valores alcanzados con la aplicación de almidón de “maíz amiláceo” a dosis y condiciones óptimas (post tratamiento), se logró una remoción de hierro del 80% (0,55 mg/L), turbidez del 88,83% (4,94 UNT) y color del 67,39% (50 UPC), resultados que indican una deficiencia de este coagulante en la remoción del color, cuyo valor está distante al de los Límites Máximos Permisibles (15 UPC); pero siendo eficiente en parámetros como el hierro por acercarlo al valor que exigen los LMPs (0,3 mg/L) y en la turbidez, cuyo valor final si logró estar dentro de esta misma normativa (5 UNT).

La dosis óptima de almidón de “maíz amiláceo” encontrada en los distintos ensayos realizados en el equipo prueba de jarras, fue de 50 mg/L (relación: peso/volumen) a una concentración de 1% de solución. Las velocidades de agitación y tiempo de mezcla óptimos encontrados, corresponden al segundo ensayo con almidón de “maíz amiláceo”, los valores son los siguientes: mezcla rápida o coagulación (250 rpm en 1,5 minutos), mezcla lenta o floculación (63 rpm en 15 minutos) y sedimentación (10 minutos).

En cuanto a los valores alcanzados en el ensayo único con sulfato de aluminio a dosis y condiciones óptimas, se logró una remoción de hierro del 95,64% (0,12 mg/L), turbidez del 100% (0 UNT) y color del 97,39% (4 UPC), resultados que indican una gran eficiencia de este coagulante inorgánico en la remoción de estos tres parámetros, ya que se encuentran dentro de los Límites Máximos Permisibles; en tal sentido es válido usar esta sustancia como una opción alternativa al tratamiento de clarificación de estas aguas.

La propuesta del diseño de un sistema de dosificación está basado en criterios técnicos del autor, como la cantidad de agua a extraer y tratar (300 litros), y la demanda aproximada de consumo (80 litros/día); así mismo la distribución de los componentes y procesos considerados en el sistema están en referencia a lo que indica el tomo I de CEPIS (2004),

las cuales son: un tanque de polietileno de 300 litros y un agitador industrial digital programado a 250 rpm en 1,5 minutos (proceso de coagulación), un tanque de polietileno de 300 litros y un agitador industrial digital programado a 63 rpm en 15 minutos (proceso de floculación), un tanque de concreto con dimensiones de 1m x 0,5m x 0,7m con capacidad de 300 litros aproximadamente (proceso de sedimentación).

RECOMENDACIONES

A los futuros investigadores de la facultad de Ecología – UNSM, realizar más investigaciones relacionados al tratamiento de las aguas del acuífero confinado del barrio Miramayo – Yantaló, así como estudios geológicos e hidrogeológicos de esta fuente de agua subterránea, para la generación de información necesaria y precisa.

Para el tratamiento de aguas, utilizar el coagulante almidón de “maíz amiláceo” en proporciones razonables, debido a que un aumento excesivo de esta sustancia puede alterar y variar las concentraciones de los parámetros, alejándolos de los valores de los límites máximos permisibles que exige la normativa vigente.

Realizar estudios más detallados de parámetros físicos, químicos y biológicos a las aguas del acuífero estudiado, con el fin de proponer alternativas de tratamientos más específicos.

Adicionar al sistema de dosificación propuesto, el proceso de filtración rápida y también un proceso adecuado de desinfección o cloración, debido a que en esta investigación solo se logró la clarificación el agua, acondicionándolo para las próximas etapas de potabilización.

Brindar más interés al estudio de la calidad de agua de las fuentes subterráneas del Alto Mayo, pues estos efluentes son de gran importancia en el abastecimiento de agua para zonas rurales que carecen de este servicio, y también para zonas urbanas en donde la continuidad de agua potable es deficiente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUILAR, M et-al. *Tratamientos fisicoquímicos de aguas residuales: coagulación y floculación*. Murcia – España: F.G Graf S.L, 2002, 59 pp. ISSN: 84-8371-308-X

ANDIA, Yolanda. *Tratamiento de agua: Coagulación y floculación* [en línea]. Lima: web Sedapal. (Abril del 2000). [Fecha de consulta: 3 de junio de 2019]. Disponible en: http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA. Resolución jefatural N°68 – 2018 – ANA: *Metodología para la determinación del índice de calidad de agua ICA – PE*, aplicado a los cuerpos de agua continentales superficiales. Lima, 2018. 12 pp.

BADUI, Salvador. *Química de los alimentos*. 4ª edición. Ciudad de México – México: Pearson educación, 2006, 83 pp. ISSN: 970-26-0670-5

BRAVO, Mónica. *Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, solidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales*. Proyecto de grado modalidad monografía (licenciatura en química). Bogotá – Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2017, 15 pp.

CASTAÑEDA, Amparo. *Tratamiento de agua rica en hierro con almidón de maíz y alumbre*. Tesis (magister en ingeniería civil). Bogotá – Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, 2015, 49 pp.

Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. *Tratamiento de Agua para Consumo Humano, Plantas de Filtración Rápida*. 1^{er} tomo. Lima – Perú, 2004.

CORBITT, Robert. *Manual de referencia de la ingeniería ambiental*. 2ª ed. Madrid: Mcgraw Hill, 2003.

ISSN: 9788448135966

CORTÉS, Emma. *Sistema de control automático para una planta de tratamiento de agua potable*. Informe de suficiencia (título profesional de ingeniero químico). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2002, 18 pp.

D.S N° 004-2017-MINAM. *Aprueban estándares de calidad ambiental (ECA) para agua y establecen disposiciones complementarias.* Diario oficial El Peruano, Lima, Perú, 7 de junio de 2017.

D.S N° 031-2010-SA. *Reglamento de la calidad del agua para consumo humano.* Diario oficial El Peruano, Lima, Perú, 24 de setiembre de 2010.

ETRAS – OPS. *Calidad del agua y salud pública* [en línea]. Lima: web OPS. (16 de abril de 2013). [Fecha de consulta: 3 de junio de 2019].

Disponible en: <https://www.paho.org/blogs/etras/?p=1105>

JIMÉNEZ, David y VLADIMIR, Byron. *Estudio y evaluación del almidón de maíz como alternativa natural en el proceso de coagulación de agua para consumo humano.* Trabajo de grado (título de ingeniero civil). Pasto – Colombia: Universidad de Nariño, 2015, 16 - 17 y 78 pp.

LEY N° 26842 – Ley general de salud. Diario oficial El Peruano, Lima, Perú, 9 de julio de 1997.

LEY N° 29338 – Ley de recursos hídricos. Diario oficial El Peruano, Lima, Perú, 31 de marzo de 2009.

MALDONADO, Arnold. *Aplicación del clarificante de origen natural (almidón de yuca) para la remoción de la turbidez y color en aguas de consumo humano quebrada Juninguillo – La Mina, Moyobamba – San Martín.* Tesis (título profesional de ingeniería sanitaria). Moyobamba – Perú: Universidad Nacional de San Martín, 2017, 11 - 49 pp.

MINAGRI. *Maíz amiláceo, Perú un campo fértil para sus inversiones y el desarrollo de sus exportaciones* [en línea]. Lima – Perú: web del ministerio de agricultura. (2011). [Fecha de consulta: 15 de junio de 2019].

Disponible en: http://agroaldia.minagri.gob.pe/biblioteca/download/pdf/manuales-boletines/maiz-amilaceo/maiz_amilaceo11.pdf

MINAGRI – DGPA – DEEIA. *Comportamiento y perspectiva agroclimática del cultivo de maíz amiláceo* [en línea]. Lima – Perú: web del ministerio de agricultura. (2018). [Fecha de consulta: 15 de junio de 2019].

Disponible en: www.Minagri.gob.pe

MORENO, Sandy. *Disminución de la turbidez del agua del río Crisnejas en la comunidad de Chuquibamba-Cajabamba utilizando Opuntia ficus indica, Aloe vera y Caesalpinia spinosa.* Tesis (título profesional de ingeniería ambiental). Trujillo – Perú: Universidad Cesar Vallejo, 2016, 28 pp.

NORMA OS. 90. *Plantas de tratamiento de aguas residuales.* Diario oficial El Peruano, Lima Perú, 23 de mayo de 2006.

ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. *Guías para la calidad del agua potable: Control de la calidad del agua potable en sistemas de abastecimiento para pequeñas comunidades.* 3ª ed. Washington DC: publicación científica N° 508 de la OMS, 1988, 5 pp.

ISSN: 9241541709.

Real Academia Española. *Diccionario de la lengua española* [en línea]. Madrid – España: Web de la RAE. (2014). [Fecha de consulta: 3 de junio de 2019].

Disponible en: <http://dle.rae.es/?id=2M6OeUo>

RESTREPO, Hernán. *Evaluación del proceso de coagulación – floculación de una planta de tratamiento de agua potable.* Tesis (pregrado). Medellín – Colombia: Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, 2009, 8 – 11 pp.

RONCAL, Siu y SEGUNDO, Rosario. *Utilización de almidones como ayudantes de floculación en el tratamiento de aguas para consumo humano.* Tesis (título profesional de ingeniero sanitario). Lima – Perú: Universidad Nacional de Ingeniería, 1990, 100 – 103 pp.

TOVAR, Tomas. *Caracterización morfológica y térmica del almidón de maíz (Zea mays L) obtenido por diferentes métodos de aislamiento.* Tesis (título de licenciado en química en alimentos). Pachuca de soto - México: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. México, 2008, 15 - 19 pp.

TRIGOSO, Fernando y TEJADA, Edison. *Estudio teórico experimental aplicando sonicación - coagulación a un efluente doméstico.* Tesis (título profesional de ingeniero químico). Lima – Perú: Universidad Nacional de Ingeniería, 2017, 142 pp.

ANEXOS

Anexo A: Parámetros iniciales del agua del pozo antes de la aplicación de almidón de “maíz amiláceo”.

Tabla 20

Comparación de las concentraciones de los parámetros de las muestras 1, 2 y 3 con los ECAs.

Muestras	Parámetro	Concentración inicial	Concentración de los ECAs
Muestra 1	Hierro (mg/L)	3,18	1
	Turbidez (UNT)	58,60	100
	Color (UPC)	180	100
	pH (Unid. pH)	6,2	6,5
Muestra 2	Hierro (mg/L)	2,75	1
	Turbidez (UNT)	38,49	100
	Color (UPC)	165	100
	pH (Unid. pH)	6,04	6,5
Muestra 3	Hierro (mg/L)	2,31	1
	Turbidez (UNT)	35,58	100
	Color (UPC)	115	100
	pH (Unid. pH)	6,19	6,5

Fuente: Resultados del análisis físico químico en el laboratorio.

Tabla 21

Promedio de las concentraciones de las muestras 1, 2 y 3 comparado con los ECAs.

Parámetro	Promedio de concentraciones inicial	Concentración de los ECAs
Hierro (mg/L)	2,75	1
Turbidez (UNT)	44,22	100
Color (UPC)	153,33	100
pH (Unid. pH)	6,14	6,5

Fuente: Elaboración propia.

Anexo B: Concentración de los parámetros obtenidos después de la aplicación de almidón de “maíz amiláceo”.

Tabla 22

Ensayos con almidón de “maíz amiláceo” al 0,5%.

Número de ensayo	Velocidad de agitación y tiempo de mezcla	Parámetro	Jarra 1 (1 mL)	Jarra 2 (2 mL)	Jarra 3 (3 mL)	Jarra 4 (4 mL)	Jarra 5 (5 mL)	Jarra 6 (6 mL)
Primer ensayo	300 rpm (1,5')/ 75 rpm (15')/ 10'	Hierro (mg/L)	1,18	1,12	1,14	1,20	1,27	1,26
		Turbidez (UNT)	7,89	8,91	1,21	10,62	11,20	9,48
		Color (UPC)	85	61	62	63	80	85
Segundo ensayo	250 rpm (1,5')/ 63 rpm (15')/ 10'	Hierro (mg/L)	1,06	1,60	1,46	1,25	1,43	2,00
		Turbidez (UNT)	7,51	11,24	12,01	10,76	13,67	13,34
		Color (UPC)	60	90	90	82	88	90
Tercer ensayo	200 rpm (1,5')/ 50 rpm (15')/ 10'	Hierro (mg/L)	1,97	1,53	1,61	1,45	1,57	1,57
		Turbidez (UNT)	12,04	14,56	13,33	12,36	12,32	13,10
		Color (UPC)	89	95	90	90	89	90
Cuarto ensayo	150 rpm (1,5')/ 38 rpm (15')/ 10'	Hierro (mg/L)	1,48	1,43	1,36	1,37	1,39	1,34
		Turbidez (UNT)	13,60	13,78	13,76	12,40	13,20	13,01
		Color (UPC)	85	85	89	82	86	85
Quinto ensayo	100 rpm (1,5')/ 25 rpm (15')/ 10'	Hierro (mg/L)	1,32	1,55	1,48	1,47	1,40	1,43
		Turbidez (UNT)	10,71	13,07	12,29	12,73	13,44	13,87
		Color (UPC)	78	85	85	86	85	80

Fuente: Resultados del análisis físico químico en el laboratorio.

Tabla 23

Concentraciones finales de hierro (mg/L) después de usar almidón de “maíz amiláceo” al 0,5%.

Ensayos	Jarra 1 (1 mL)	Jarra 2 (2 mL)	Jarra 3 (3 mL)	Jarra 4 (4 mL)	Jarra 5 (5 mL)	Jarra 6 (6 mL)
Primer ensayo	1,18	1,12	1,14	1,20	1,27	1,26
Segundo ensayo	1,06	1,60	1,46	1,25	1,43	2,00
Tercer ensayo	1,97	1,53	1,61	1,45	1,57	1,57
Cuarto ensayo	1,48	1,43	1,36	1,37	1,39	1,34
Quinto ensayo	1,32	1,55	1,48	1,47	1,40	1,43

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24

Concentraciones finales de turbidez (UNT) después de usar almidón de “maíz amiláceo” al 0,5%.

Ensayos	Jarra 1 (1 mL)	Jarra 2 (2 mL)	Jarra 3 (3 mL)	Jarra 4 (4 mL)	Jarra 5 (5 mL)	Jarra 6 (6 mL)
Primer ensayo	7,89	8,91	1,21	10,62	11,20	9,48
Segundo ensayo	7,51	11,24	12,01	10,76	13,67	13,34
Tercer ensayo	12,04	14,56	13,33	12,36	12,32	13,10
Cuarto ensayo	13,60	13,78	13,76	12,40	13,20	13,01
Quinto ensayo	10,71	13,07	12,29	12,73	13,44	13,87

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 25

Concentraciones finales de color (UPC) después de usar almidón de “maíz amiláceo” al 0,5%.

Ensayos	Jarra 1 (1 mL)	Jarra 2 (2 mL)	Jarra 3 (3 mL)	Jarra 4 (4 mL)	Jarra 5 (5 mL)	Jarra 6 (6 mL)
Primer ensayo	85	61	62	63	80	85
Segundo ensayo	60	90	90	82	88	90
Tercer ensayo	89	95	90	90	89	90
Cuarto ensayo	85	85	89	82	86	85
Quinto ensayo	78	85	85	86	85	80

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 26*Ensayos con almidón de “maíz amiláceo” al 1%.*

Número de ensayo	Velocidad de agitación y tiempo de mezcla	Parámetro	Jarra 1 (1 mL)	Jarra 2 (2 mL)	Jarra 3 (3 mL)	Jarra 4 (4 mL)	Jarra 5 (5 mL)	Jarra 6 (6 mL)
Primer ensayo	300 rpm (1,5')/ 75 rpm (15')/ 10'	Hierro (mg/L)	0,74	0,62	0,59	0,61	0,55	0,55
		Turbidez (UNT)	7,26	7,52	7,36	8,15	6,61	7,11
		Color (UPC)	65	60	60	50	55	60
Segundo ensayo	250 rpm (1,5')/ 63 rpm (15')/ 10'	Hierro (mg/L)	0,90	0,88	0,94	0,68	0,55	0,67
		Turbidez (UNT)	9,01	9,94	7,18	6,13	4,94	5,99
		Color (UPC)	63	70	71	50	50	58
Tercer ensayo	200 rpm (1,5')/ 50 rpm (15')/ 10'	Hierro (mg/L)	1,06	0,84	0,96	0,79	1,03	0,92
		Turbidez (UNT)	8,67	11,31	12,11	7,93	10,46	11,08
		Color (UPC)	53	59	66	73	68	60
Cuarto ensayo	150 rpm (1,5')/ 38 rpm (15')/ 10'	Hierro (mg/L)	1,01	0,94	0,98	0,90	0,85	0,80
		Turbidez (UNT)	12,58	12,80	12,54	13,18	13,49	14,59
		Color (UPC)	64	69	75	85	75	85
Quinto ensayo	100 rpm (1,5')/ 25 rpm (15')/ 10'	Hierro (mg/L)	0,87	0,99	0,57	0,68	0,86	1,12
		Turbidez (UNT)	14,08	13,37	13,82	12,27	12,71	14,91
		Color (UPC)	86	70	70	72	80	95

Fuente: Resultados del análisis físico químico en el laboratorio.

Tabla 27

Concentraciones finales de hierro (mg/L) después de usar almidón de “maíz amiláceo” al 1%.

Ensayos	Jarra 1 (1 mL)	Jarra 2 (2 mL)	Jarra 3 (3 mL)	Jarra 4 (4 mL)	Jarra 5 (5 mL)	Jarra 6 (6 mL)
Primer ensayo	0,74	0,62	0,59	0,61	0,55	0,55
Segundo ensayo	0,90	0,88	0,94	0,68	0,55	0,67
Tercer ensayo	1,06	0,84	0,96	0,79	1,03	0,92
Cuarto ensayo	1,01	0,94	0,98	0,90	0,85	0,80
Quinto ensayo	0,87	0,99	0,57	0,68	0,86	1,12

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 28

Concentraciones finales de turbidez (UNT) después de usar almidón de “maíz amiláceo” al 1%.

Ensayos	Jarra 1 (1 mL)	Jarra 2 (2 mL)	Jarra 3 (3 mL)	Jarra 4 (4 mL)	Jarra 5 (5 mL)	Jarra 6 (6 mL)
Primer ensayo	7,26	7,52	7,36	8,15	6,61	7,11
Segundo ensayo	9,01	9,94	7,18	6,13	4,94	5,99
Tercer ensayo	8,67	11,31	12,11	7,93	10,46	11,08
Cuarto ensayo	12,58	12,80	12,54	13,18	13,49	14,59
Quinto ensayo	14,08	13,37	13,82	12,27	12,71	14,91

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 29

Concentraciones finales de color (UPC) después de usar almidón de “maíz amiláceo” al 1%.

Ensayos	Jarra 1 (1 mL)	Jarra 2 (2 mL)	Jarra 3 (3 mL)	Jarra 4 (4 mL)	Jarra 5 (5 mL)	Jarra 6 (6 mL)
Primer ensayo	65	60	60	50	55	60
Segundo ensayo	63	70	71	50	50	58
Tercer ensayo	53	59	66	73	68	60
Cuarto ensayo	64	69	75	85	75	85
Quinto ensayo	86	70	70	72	80	95

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 30*Ensayos con almidón de “maíz amiláceo” al 2%.*

Número de ensayo	Velocidad de agitación y tiempo de mezcla	Parámetro	Jarra 1 (1 mL)	Jarra 2 (2 mL)	Jarra 3 (3 mL)	Jarra 4 (4 mL)	Jarra 5 (5 mL)	Jarra 6 (6 mL)
Primer ensayo	300 rpm (1,5')/ 75 rpm (15')/ 10'	Hierro (mg/L)	0,96	0,81	0,95	0,87	0,82	1,09
		Turbidez (UNT)	7,87	6,81	7,36	7,31	7,92	9,22
		Color (UPC)	65	50	50	50	55	68
Segundo ensayo	250 rpm (1,5')/ 63 rpm (15')/ 10'	Hierro (mg/L)	1,27	1,35	1,34	1,69	1,43	1,40
		Turbidez (UNT)	9,49	11,41	11,75	13,25	12,72	12,70
		Color (UPC)	67	70	70	90	76	72
Tercer ensayo	200 rpm (1,5')/ 50 rpm (15')/ 10'	Hierro (mg/L)	1,99	1,47	1,31	1,66	1,49	1,36
		Turbidez (UNT)	12,43	13,38	13,07	13,59	13,16	12,91
		Color (UPC)	95	90	90	85	90	82
Cuarto ensayo	150 rpm (1,5')/ 38 rpm (15')/ 10'	Hierro (mg/L)	0,99	1,02	1,02	0,83	0,98	1,10
		Turbidez (UNT)	13,59	12,77	12,46	13,57	12,87	12,98
		Color (UPC)	66	70	65	66	65	70
Quinto ensayo	100 rpm (1,5')/ 25 rpm (15')/ 10'	Hierro (mg/L)	1,46	1,36	1,21	1,05	1,02	1,48
		Turbidez (UNT)	13,05	13,42	13,28	14,08	15,95	16,01
		Color (UPC)	80	79	83	80	80	85

Fuente: Resultados del análisis físico químico en el laboratorio.

Tabla 31

Concentraciones finales de hierro (mg/L) después de usar almidón de “maíz amiláceo” al 2%.

Ensayos	Jarra 1 (1 mL)	Jarra 2 (2 mL)	Jarra 3 (3 mL)	Jarra 4 (4 mL)	Jarra 5 (5 mL)	Jarra 6 (6 mL)
Primer ensayo	0,96	0,81	0,95	0,87	0,82	1,09
Segundo ensayo	1,27	1,35	1,34	1,69	1,43	1,40
Tercer ensayo	1,99	1,47	1,31	1,66	1,49	1,36
Cuarto ensayo	0,99	1,02	1,02	0,83	0,98	1,10
Quinto ensayo	1,46	1,36	1,21	1,05	1,02	1,48

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 32

Concentraciones finales de turbidez (UNT) después de usar almidón de “maíz amiláceo” al 2%.

Ensayos	Jarra 1 (1 mL)	Jarra 2 (2 mL)	Jarra 3 (3 mL)	Jarra 4 (4 mL)	Jarra 5 (5 mL)	Jarra 6 (6 mL)
Primer ensayo	7,87	6,81	7,36	7,31	7,92	9,22
Segundo ensayo	9,49	11,41	11,75	13,25	12,72	12,70
Tercer ensayo	12,43	13,38	13,07	13,59	13,16	12,91
Cuarto ensayo	13,59	12,77	12,46	13,57	12,87	12,98
Quinto ensayo	13,05	13,42	13,28	14,08	15,95	16,01

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 33

Concentraciones finales de color (UPC) después de usar almidón de “maíz amiláceo” al 2%.

Ensayos	Jarra 1 (1 mL)	Jarra 2 (2 mL)	Jarra 3 (3 mL)	Jarra 4 (4 mL)	Jarra 5 (5 mL)	Jarra 6 (6 mL)
Primer ensayo	65	50	50	50	55	68
Segundo ensayo	67	70	70	90	76	72
Tercer ensayo	95	90	90	85	90	82
Cuarto ensayo	66	70	65	66	65	70
Quinto ensayo	80	79	83	80	80	85

Fuente: Elaboración propia.

Anexo C: Comparación de las concentraciones más bajas de los parámetros, después de la aplicación de almidón de “maíz amiláceo” a distintas dosis de concentración (tratamiento).

Tabla 34

Comparación de las mejores concentraciones finales de hierro (mg/L).

Concentración del coagulante	Dosis y condiciones óptimas	Concentración más baja del parámetro
0,5%	1 mL a 250 rpm (1,5')/ 63 rpm (15')/ 10'	1,06
1%	5 mL a 250 rpm (1,5')/ 63 rpm (15')/ 10'	0,55
2%	2 mL a 300 rpm (1,5')/ 75 rpm (15')/ 10'	0,81

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 35

Comparación de las mejores concentraciones finales de turbidez (UNT).

Concentración del coagulante	Dosis y condiciones óptimas	Concentración más baja del parámetro
0,5%	1 mL a 250 rpm (1,5')/ 63 rpm (15')/ 10'	7,51
1%	5 mL a 250 rpm (1,5')/ 63 rpm (15')/ 10'	4,94
2%	2 mL a 300 rpm (1,5')/ 75 rpm (15')/ 10'	6,81

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 36

Comparación de las mejores concentraciones finales de color (UPC).

Concentración del coagulante	Dosis y condiciones óptimas	Concentración más baja del parámetro
0,5%	1 mL a 250 rpm (1,5')/ 63 rpm (15')/ 10'	60
1%	5 mL a 250 rpm (1,5')/ 63 rpm (15')/ 10'	50
2%	2, 3 y 4 mL a 300 rpm (1,5')/ 75 rpm (15')/ 10'	50

Fuente: Elaboración propia.

Anexo D: Concentración de los parámetros finales del agua del acuífero confinado después de la aplicación de almidón de “maíz amiláceo” con la dosis y condiciones óptimas.

Tabla 37

Comparación de las concentraciones óptimas de los parámetros con los LMPs.

Parámetro	Concentración final	Concentración de los LMPs
Hierro (mg/L)	0,55	0,3
Turbidez (UNT)	4,94	5
Color (UPC)	50	15

Fuente: Elaboración propia.

Anexo E: Concentraciones óptimas de los parámetros obtenidas mediante el uso de almidón de “maíz amiláceo”, comparado con sulfato de aluminio bajo las mismas condiciones (al 1% y a 250 rpm (1,5')/ 63 rpm (15')/ 10')

Tabla 38

Ensayo único al 1% de sulfato de aluminio a 250 rpm (1,5')/ 63 rpm (15')/ 10'.

Parámetro	Jarra 1 (1 mL)	Jarra 2 (2 mL)	Jarra 3 (3 mL)	Jarra 4 (4 mL)	Jarra 5 (5 mL)	Jarra 6 (6 mL)
Hierro (mg/L)	0,39	0,32	0,30	0,30	0,13	0,12
Turbidez (UNT)	2,13	2,16	1,36	0,29	0	0
Color (UPC)	11	11	10	7	4	4

Fuente: Resultados del análisis físico químico en el laboratorio.

Tabla 39

Comparación de las concentraciones de los parámetros finales entre la aplicación de almidón de “maíz amiláceo” y sulfato de aluminio bajo las mismas condiciones.

Parámetro	Jarra 1 (1 mL)		Jarra 2 (2 mL)		Jarra 3 (3 mL)		Jarra 4 (4 mL)		Jarra 5 (5 mL)		Jarra 6 (6 mL)	
	Almidón	Al₂(SO₄)₃										
Hierro (mg/L)	0,90	0,39	0,88	0,32	0,94	0,30	0,68	0,30	0,55	0,13	0,67	0,12
Turbidez (UNT)	9,01	2,13	9,94	2,16	7,18	1,36	6,13	0,29	4,94	0	5,99	0
Color (UPC)	63	11	70	11	71	10	50	7	50	4	58	4

Fuente: Elaboración propia.

Anexo F: Documento de los análisis físico químico realizados en el laboratorio de ingeniería sanitaria de la UNSM.



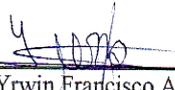
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN – TARAPOTO
FACULTAD DE ECOLOGÍA
Jr. Prolongación 20 de ABRIL S/N. Moyobamba. Telf. N° 042 – 562458

RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO

SOLICITANTE : Delmester Chuquimbalqui Marina.
PUNTO DE MUESTREO : Pozo del acuífero en el barrio Miramayo - Yantaló.
TIPO DE MUESTRA : Agua Subterránea.
LUGAR : Barrio Miramayo – Yantaló.
LUGAR ANÁLISIS : Laboratorio de Ingeniería Sanitaria.
FECHA DE MUESTREO : 07/03/2019
HORA : 7:30 am
MUESTREADOR : Delmester Chuquimbalqui Marina.
FECHA DE EMISIÓN : 19/09/2019

Resultados pre tratamiento – muestreo 1

ITEM	PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADOS
01	Hierro II	mg/L	3,18
02	Turbidez	UNT	58,60
03	Color	UPC	180


 Ing. Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza.
 Docente guía y Especialista en Análisis y Calidad del Agua



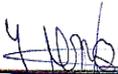
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN – TARAPOTO
 FACULTAD DE ECOLOGÍA
 Jr. Prolongación 20 de ABRIL S/N. Moyobamba. Telf. N° 042 – 562458

RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO

SOLICITANTE : Delmester Chuquimbalqui Marina.
PUNTO DE MUESTREO : Pozo del acuífero en el barrio Miramayo - Yantaló.
TIPO DE MUESTRA : Agua Subterránea.
LUGAR : Barrio Miramayo – Yantaló.
LUGAR ANÁLISIS : Laboratorio de Ingeniería Sanitaria.
FECHA DE MUESTREO : 14/03/2019
HORA : 7:30 am
MUESTREADOR : Delmester Chuquimbalqui Marina.
FECHA DE EMISIÓN : 19/09/2019

Resultados pre tratamiento – muestreo 2

ITEM	PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADOS
01	Hierro II	mg/L	2,75
02	Turbidez	UNT	38,49
03	Color	UPC	165


 Ing. Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza.
 Docente guía y Especialista en Análisis y Calidad del Agua



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN – TARAPOTO
 FACULTAD DE ECOLOGÍA
 Jr. Prolongación 20 de ABRIL S/N. Moyobamba. Telf. N° 042 – 562458

RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO

SOLICITANTE : Delmester Chuquimbalqui Marina.
PUNTO DE MUESTREO : Pozo del acuífero en el barrio Miramayo - Yantaló.
TIPO DE MUESTRA : Agua Subterránea.
LUGAR : Barrio Miramayo – Yantaló.
LUGAR ANÁLISIS : Laboratorio de Ingeniería Sanitaria.
FECHA DE MUESTREO : 21/03/2019
HORA : 7:30 am
MUESTREADOR : Delmester Chuquimbalqui Marina.
FECHA DE EMISIÓN : 19/09/2019

Resultados pre tratamiento – muestreo 3

ITEM	PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADOS
01	Hierro II	mg/L	2,31
02	Turbidez	UNT	35,58
03	Color	UPC	115

Ing. Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza.
 Docente guía y Especialista en Análisis y Calidad del Agua



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN – TARAPOTO
 FACULTAD DE ECOLOGÍA
 Jr. Prolongación 20 de ABRIL S/N. Moyobamba. Telf. N° 042 – 562458

RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO

SOLICITANTE : Delmester Chuquimbalqui Marina.
PUNTO DE MUESTREO : Pozo del acuífero en el barrio Miramayo - Yantaló.
TIPO DE MUESTRA : Agua Subterránea.
LUGAR : Barrio Miramayo – Yantaló.
LUGAR ANÁLISIS : Laboratorio de Ingeniería Sanitaria.
FECHA DE MUESTREO : 28/03/2019
HORA : 7:30 am
MUESTREADOR : Delmester Chuquimbalqui Marina.
FECHA DE EMISIÓN : 19/09/2019

Resultados post tratamiento con almidón de maíz amiláceo a 0,5% de concentración.

Ítem	Parámetro	Und	Ensayo	Tratamiento (0,5 %)					
				J 1	J 2	J 3	J 4	J 5	J 6
01	Hierro II	mg/L	Ens. 1	1,18	1,12	1,14	1,20	1,27	1,26
			Ens. 2	1,06	1,6	1,46	1,25	1,43	2,00
			Ens. 3	1,97	1,53	1,61	1,45	1,57	1,57
			Ens. 4	1,48	1,43	1,36	1,37	1,39	1,34
			Ens. 5	1,32	1,55	1,48	1,47	1,4	1,43
02	Turbidez	UNT	Ens. 1	7,89	8,91	9,21	10,62	11,2	9,48
			Ens. 2	7,51	11,24	12,01	10,76	13,67	13,34
			Ens. 3	12,04	14,56	13,33	10,36	12,32	13,1
			Ens. 4	13,6	13,78	13,76	12,4	13,2	13,01
			Ens. 5	10,71	13,07	12,29	12,73	13,44	13,87
03	Color	UPC	Ens. 1	85	61	62	63	80	85
			Ens. 2	60	90	90	82	88	90
			Ens. 3	89	95	90	90	89	90
			Ens. 4	85	85	89	82	86	85
			Ens. 5	78	85	85	86	85	80


 Ing. Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza.
 Docente guía y Especialista en Análisis y Calidad del Agua



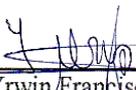
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN – TARAPOTO
 FACULTAD DE ECOLOGÍA
 Jr. Prolongación 20 de ABRIL S/N. Moyobamba. Telf. N° 042 – 562458

RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO

SOLICITANTE : Delmester Chuquimbalqui Marina.
PUNTO DE MUESTREO : Pozo del acuífero en el barrio Miramayo - Yantaló.
TIPO DE MUESTRA : Agua Subterránea.
LUGAR : Barrio Miramayo – Yantaló.
LUGAR ANÁLISIS : Laboratorio de Ingeniería Sanitaria.
FECHA DE MUESTREO : 28/03/2019
HORA : 7:30 am
MUESTREADOR : Delmester Chuquimbalqui Marina.
FECHA DE EMISIÓN : 19/09/2019

Resultados post tratamiento con almidón de maíz amiláceo a 1% de concentración.

Ítem	Parámetro	Und	Ensayo	Tratamiento (1 %)					
				J 1	J 2	J 3	J 4	J 5	J 6
01	Hierro II	mg/L	Ens. 1	0,74	0,62	0,59	0,61	0,55	0,55
			Ens. 2	0,90	0,88	0,94	0,68	0,55	0,67
			Ens. 3	1,06	0,84	0,96	0,79	1,03	0,92
			Ens. 4	1,01	0,94	0,98	0,90	0,85	0,80
			Ens. 5	0,87	0,99	0,57	0,68	0,86	1,12
02	Turbidez	UNT	Ens. 1	7,26	7,52	7,36	8,15	6,61	7,11
			Ens. 2	9,01	9,94	7,18	6,13	4,94	5,99
			Ens. 3	8,67	11,31	12,11	7,93	10,46	11,08
			Ens. 4	12,58	12,8	12,54	13,18	13,49	14,59
			Ens. 5	14,08	13,37	13,82	12,27	12,71	14,91
03	Color	UPC	Ens. 1	65	60	60	50	55	60
			Ens. 2	63	70	71	50	50	58
			Ens. 3	53	59	66	73	68	60
			Ens. 4	64	69	75	85	75	85
			Ens. 5	86	70	70	72	80	95


 Ing. Dr. Yrwin/Francisco Azabache Liza.
 Docente guía y Especialista en Análisis y Calidad del Agua



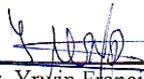
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN – TARAPOTO
 FACULTAD DE ECOLOGÍA
 Jr. Prolongación 20 de ABRIL S/N. Moyobamba. Telf. N° 042 – 562458

RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO

SOLICITANTE : Delmester Chuquimbalqui Marina.
PUNTO DE MUESTREO : Pozo del acuífero en el barrio Miramayo - Yantaló.
TIPO DE MUESTRA : Agua Subterránea.
LUGAR : Barrio Miramayo – Yantaló.
LUGAR ANÁLISIS : Laboratorio de Ingeniería Sanitaria.
FECHA DE MUESTREO : 28/03/2019
HORA : 7:30 am
MUESTREADOR : Delmester Chuquimbalqui Marina.
FECHA DE EMISIÓN : 19/09/2019

Resultados post tratamiento con almidón de maíz amiláceo a 2% de concentración.

Ítem	Parámetro	Und	Ensayo	Tratamiento (2 %)					
				J 1	J 2	J 3	J 4	J 5	J 6
01	Hierro II	mg/L	Ens. 1	0,96	0,81	0,95	0,87	0,82	1,09
			Ens. 2	1,27	1,35	1,34	1,69	1,43	1,40
			Ens. 3	1,99	1,47	1,31	1,66	1,49	1,36
			Ens. 4	0,99	1,02	1,02	0,83	0,98	1,10
			Ens. 5	1,46	1,36	1,21	1,05	1,02	1,48
02	Turbidez	UNT	Ens. 1	7,87	6,81	7,36	7,31	7,92	9,22
			Ens. 2	9,49	11,41	11,75	13,3	12,72	12,7
			Ens. 3	12,43	13,38	13,07	13,6	13,16	12,91
			Ens. 4	13,59	12,77	12,46	13,6	12,87	12,98
			Ens. 5	13,05	13,42	13,28	14,1	15,95	16,01
03	Color	UPC	Ens. 1	65	50	50	50	55	68
			Ens. 2	67	70	70	90	76	72
			Ens. 3	95	90	90	85	90	82
			Ens. 4	66	70	65	66	65	70
			Ens. 5	80	79	83	80	80	85


 Ing. Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza.
 Docente guía y Especialista en Análisis y Calidad del Agua



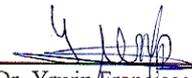
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN – TARAPOTO
 FACULTAD DE ECOLOGÍA
 Jr. Prolongación 20 de ABRIL S/N. Moyobamba. Telf. N° 042 – 562458

RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO

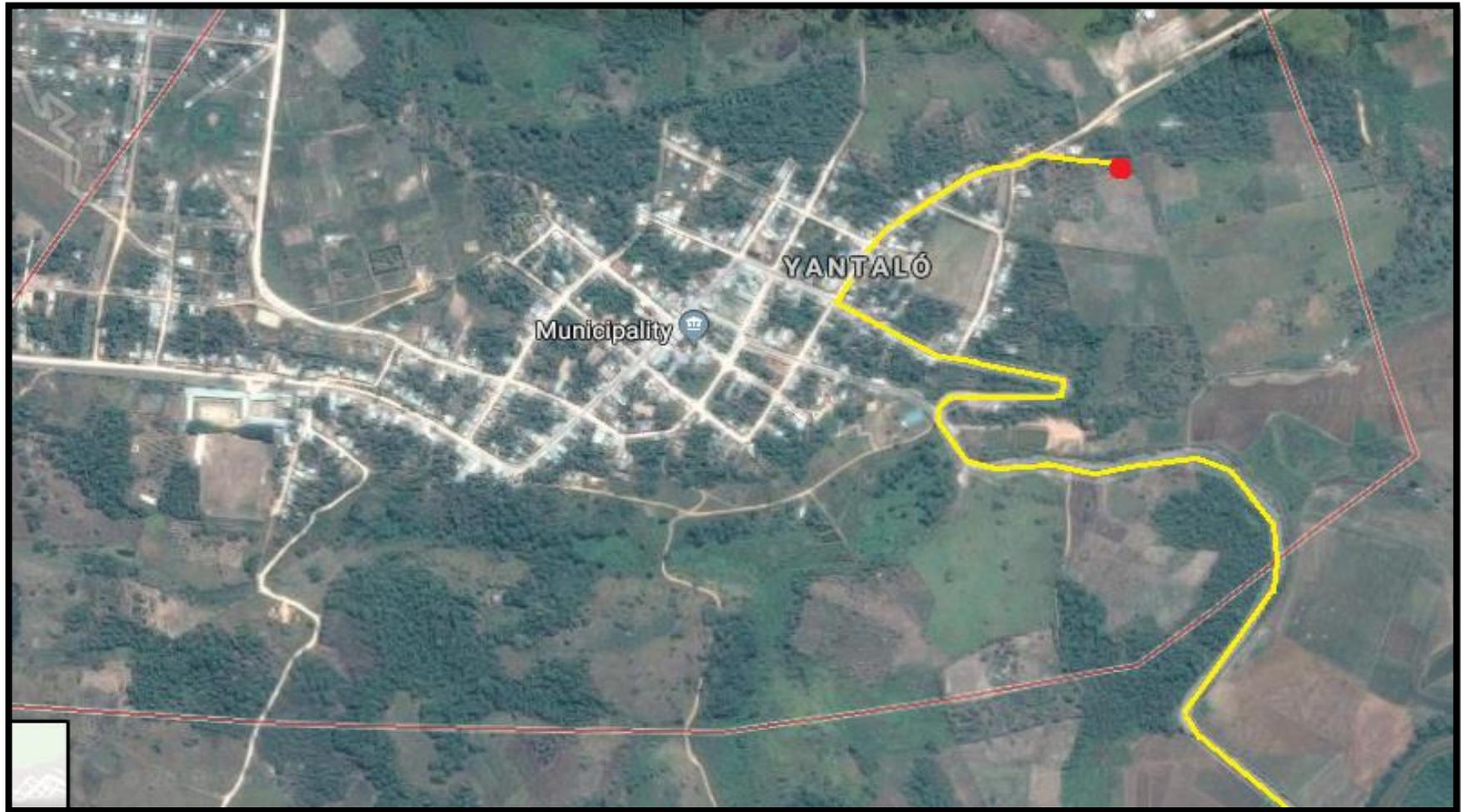
SOLICITANTE : Delmester Chuquimbalqui Marina.
PUNTO DE MUESTREO : Pozo del acuífero en el barrio Miramayo - Yantaló.
TIPO DE MUESTRA : Agua Subterránea.
LUGAR : Barrio Miramayo – Yantaló.
LUGAR ANÁLISIS : Laboratorio de Ingeniería Sanitaria.
FECHA DE MUESTREO : 28/03/2019
HORA : 7:30 am
MUESTREADOR : Delmester Chuquimbalqui Marina.
FECHA DE EMISIÓN : 19/09/2019

Resultados post tratamiento con sulfato de aluminio

ITEM	PARAMETROS	UNIDAD	RESULTADOS					
			J1	J2	J3	J4	J5	J6
01	Hierro II	mg/L	0,39	0,32	0,30	0,30	0,13	0,12
02	Turbidez	UNT	2,13	2,16	1,36	0,29	0	0
03	Color	UPC	11	11	10	7	4	4


 Ing. Dr. Yrwin/Francisca Azabache Liza.
 Docente guía y Especialista en Análisis y Calidad del Agua

Anexo G: Vista satelital de la localización del pozo del acuífero confinado en el barrio Miramayo.



Fuente: Google Maps.

Anexo H: Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua CATEGORIA A-1. DS N° 015-2015-MINAM

PARÁMETRO	UND	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable		
		A1	A2	A3
		Aguas que Pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser Potabilizadas con Tratamiento Avanzado
FÍSICOS - QUÍMICOS				
Aceites y grasas	mg/L	0,5	1,7	1,7
Cianuro Total	mg/L	0,07	0,2	0,2
Cloruros	mg/L	250	250	250
Color (b)	Unidad de Color verdadero escala Pt/Co	15	100 (a)	**
Conductividad	(μ S/cm)	1 500	1 600	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	3	5	10
Dureza	mg/L	500	**	**
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	10	20	30
Fenoles	mg/L	0,003	**	**
Fluoruros	mg/L	1,5	**	**
Fósforo Total	mg/L	0,1	0,15	0,15
Materiales Flotantes de origen antropogénico.		Ausencia de material flotante de origen antropico	Ausencia de Material Flotante de origen antropico	Ausencia de Material Flotante de origen antropico
Nitratos (NO ₃)	mg/L	50	50	50
Nitritos (NO ₂)	mg/L	3	3	**
Amoniaco- N	mg/L	1,5	1,5	**
Oxígeno Disuelto (Valor Mínimo)	mg/L	≥ 6	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5	5,5 – 9,0	5,5 - 9,0
Sólidos Disueltos Totales				
Sulfatos	mg/L	1 000	1 000	1 500
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	**
Turbiedad	UNT	5	100	**
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	0,9	5	5
Antimonio	mg/L	0,02	0,02	**
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0,15
Bario	mg/L	0,7	1	**
Berilio	mg/L	0,012	0,04	0,1
Boro	mg/L	2,4	2,4	2,4
Cadmio	mg/L	0,003	0,005	0,01
Cobre	mg/L	2	2	2
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	0,05
Hierro	mg/L	0,3	1	5
Manganeso	mg/L	0,4	0,4	0,5
Mercurio	mg/L	0,001	0,002	0,002
Molibdeno	mg/L	0,07	**	**
Níquel	mg/L	0,07	**	**
Plomo	mg/L	0,01	0,05	0,05
Selenio	mg/L	0,04	0,04	0,05
Uranio	mg/L	0,02	0,02	0,02
Zinc	mg/L	3	5	5
ORGÁNICOS				
I. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES				
Hidrocarburos de petróleo emulsionado o disuelto (C10 - C28 y mayores a C28)	mg/L	0,01	0,2	1,0
Trihalometanos	(c)	1,0	1,0	1,0

Fuente: DS N° 015-2015-MINAM

Anexo I: Límites máximos permisibles de parámetros de calidad organoléptica.

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS DE CALIDAD ORGANOLÉPTICA		
Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Olor	---	Aceptable
2. Sabor	---	Aceptable
3. Color	UCV escala Pt/Co	15
4. Turbiedad	UNT	5
5. pH	Valor de pH	6,5 a 8,5
6. Conductividad (25°C)	µmho/cm	1 500
7. Sólidos totales disueltos	mgL ⁻¹	1 000
8. Cloruros	mg Cl ⁻ L ⁻¹	250
9. Sulfatos	mg SO ₄ ⁼ L ⁻¹	250
10. Dureza total	mg CaCO ₃ L ⁻¹	500
11. Amoníaco	mg N L ⁻¹	1,5
12. Hierro	mg Fe L ⁻¹	0,3
13. Manganeso	mg Mn L ⁻¹	0,4
14. Aluminio	mg Al L ⁻¹	0,2
15. Cobre	mg Cu L ⁻¹	2,0
16. Zinc	mg Zn L ⁻¹	3,0
17. Sodio	mg Na L ⁻¹	200

UCV = Unidad de color verdadero
UNT = Unidad nefelométrica de turbiedad

Fuente: DS N° 031-2010-SA

Anexo J: Manual de operación y mantenimiento para la propuesta del sistema de dosificación

MANUAL DE OPERACION Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE DOSIFICACIÓN

MANUAL PARA EL OPERADOR

PRESENTACIÓN

El acuífero confinado del barrio Miramayo - Yantaló, es una de las fuentes con más alto niveles de turbidez y color en la zona, causado por la presencia de hierro en la corteza terrestre y otras partículas presentes del lugar, dando una apariencia turbia, sucia, estéticamente indeseable y con presencia de posibles sustancias perjudiciales para la salud. Los pobladores de dicho barrio hacen uso de estas aguas por la escasa continuidad del servicio de agua potable del distrito.

Los habitantes del barrio Miramayo del distrito Yantaló se abastecen de agua proveniente del morro de Calzada, la cual es escasa durante todo el año, es por eso que dicha población es abastecida con el servicio de manera continua durante 2 horas cada 4 horas (aproximadamente), es decir, gran parte del día estas personas no tienen acceso al servicio de agua potable; razón por la cual estas tienen la necesidad de extraer agua del pozo más cercano de este barrio, para satisfacer sus necesidades y continuar con sus actividades del día, sin tener conocimiento alguno de las características físicas que estas aguas presentan y de los riesgos a la salud que puede ocasionar su consumo.

En ese sentido se elaboró el presente documento para brindar información y asistencia técnica y teórica sobre el funcionamiento de la propuesta de un diseño de dosificación que pretende solucionar y mejorar las condiciones de calidad del agua de este acuífero, aplicando también una sustancia orgánica (almidón de “maíz amiláceo”) como coagulante natural estudiado previamente en el laboratorio.

INTRODUCCIÓN

El presente manual “OPERACION Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE DOSIFICACIÓN”, tiene como propósito brindar y facilitar información básica al operador sobre funcionamiento, operación y mantenimiento del sistema, información que servirá como base fundamental para la correcta manipulación de este sistema, garantizando su permanencia en el tiempo.

La propuesta de este diseño y su funcionamiento viene a ser parte de la tesis titulado “Coagulación con almidón de maíz amiláceo para la remoción de hierro turbidez y color en el acuífero confinado de Yantaló” de la Universidad Nacional de San Martín, esto con la finalidad de solucionar los problemas de continuidad del servicio de agua en este distrito.

El presente manual comprende de 6 partes, cada parte contiene lo siguiente:

Objetivos: comprende de los objetivos generales y específicos que se quiere alcanzar con este manual.

Definiciones de términos y conceptos: aquí se encontrarán información teórica de todo lo relacionado a las labores de operación y mantenimiento.

Partes o componentes del sistema: se especifica las funciones de cada parte del sistema.

Funciones del operador: comprende de una explicación de la labor del operador.

Materiales, herramientas y equipos de protección personal: se mencionan todos los insumos, materiales, herramientas y equipos que se usaran durante las labores de operación y mantenimiento.

Operación y mantenimiento del sistema: aquí se explica detalladamente paso a paso el proceso de operación del sistema que el operador debe seguir, además se detalla sobre los aspectos a considerar al momento de realizar el mantenimiento preventivo o correctivo.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Facilitar al operador del sistema de dosificación, información básica y precisa sobre el funcionamiento, operación y mantenimiento del sistema.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Facilitar conocimientos teóricos al operador referido a definiciones de términos relacionado a las labores y funcionamiento del sistema de dosificación.
- Facilitar conocimientos teóricos al operador referido a las partes o componentes del sistema de dosificación, información referida a las funciones como personal de operación.
- Proveer información teórico y práctico al operador referido a la operación del sistema de dosificación.
- Proveer información teórico y práctico al operador referido al mantenimiento preventivo y correctivo del sistema de dosificación,

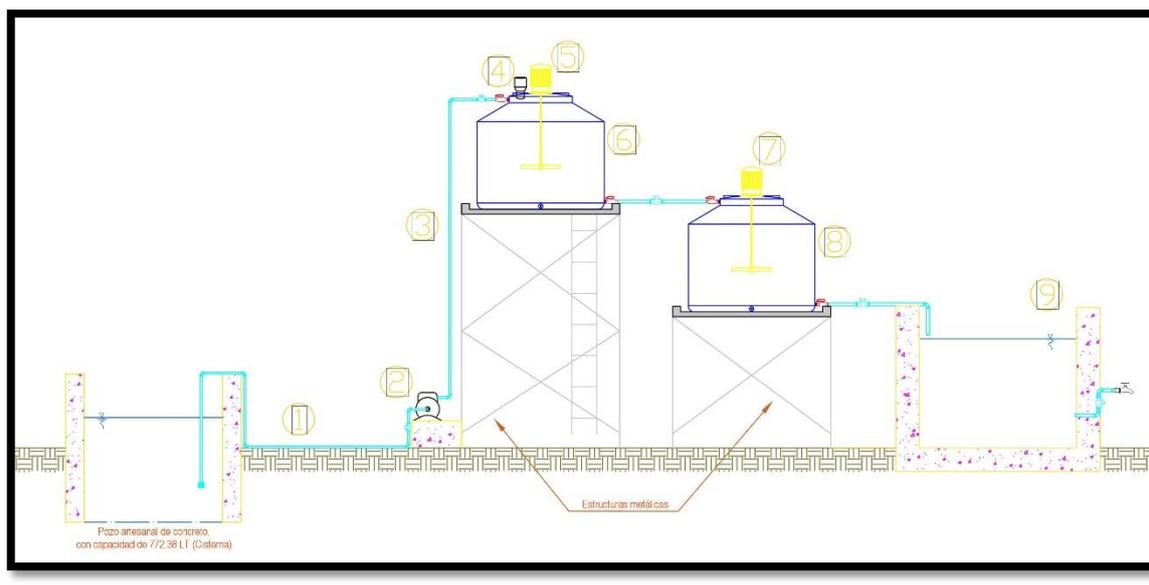
DEFINICIÓN DE TÉRMINOS Y CONCEPTOS

- **Agua tratada:** agua contaminada sometido a procesos físicos químicos y biológicos con la finalidad de mejorar su calidad y poder ser utilizado en diversas actividades, no necesariamente para el consumo humano.
- **Acuífero:** formaciones geológicas de la corteza terrestre, capaces de almacenar grandes cantidades de agua subterránea.
- **Hierro II:** es un elemento que abunda en la corteza terrestre, en el agua generalmente se encuentra disuelta, con estado de oxidación +2; su presencia en las fuentes de agua es debido al arrastre.
- **Turbidez:** característica que da apariencia de sucia al agua, se debe a la presencia de sustancias disueltas o suspendidas como los coloides que impiden el paso de la luz a través del agua.
- **Color:** característica que da apariencia sucia al agua, se debe a la presencia de sustancias disueltas como materia orgánica, metales, sustancias húmicas, etc.
- **Coagulación:** proceso de desestabilización electrostática de las partículas coloidales presentes en el agua, principalmente se emplean sustancias orgánicas e inorgánicas capaces de realizar este proceso.

- **Floculación:** proceso de aglomeración o unión de partículas coloidales con el fin de formar partículas de gran tamaño denominado “floculo” para su sencilla precipitación. Este proceso es consecuente a la coagulación.
- **Sedimentación:** proceso en la que partículas de gran peso se depositan en el fondo por acción de la gravedad, el proceso de sedimentación depende también de la viscosidad del líquido.
- **Coagulante:** sustancia orgánica o inorgánica capaz de desestabilizar electrostáticamente a partículas coloidales del agua. Los coagulantes inorgánicos son los más usados entre ellos están el sulfato de aluminio y cloruro férrico; los coagulantes orgánicos usados son los polímeros, extracto de semillas y almidón vegetal.
- **Almidón:** carbohidrato de reserva que las plantas producen y sintetizan, lo usan como fuente de energía cuando la necesitan.
- **Operación:** Conjunto de actividades y maniobras que se realizan para garantizar que un sistema, equipo o componente funcione de manera adecuada, apropiada y eficiente, y esté diseñado para lograr un propósito específico según lo previsto y construido.
- **Mantenimiento:** Conjunto de actividades que se llevarán a cabo para preservar y restaurar las instalaciones en su estado ideal y hacerlas más duraderas y sostenibles en el tiempo.
 - ✓ **Mantenimiento preventivo:** Conjunto de trabajos permanentes y de rutina realizado para prevenir, preservar o evitar problemas que de otro modo podrían surgir.
 - ✓ **Mantenimiento correctivo:** Trabajo necesario a realizar en el sistema para corregir cualquier problema presentado durante su operación, como reparación, reemplazo de artículos dañados, planes para mejorar su funcionamiento, etc.

PARTES O COMPONENTES DEL SISTEMA

- 1) **Tubería de succión:** Tubería PVC de Ø ½” encargada de extraer el agua del pozo hacia la bomba hidráulica.
- 2) **Bomba hidráulica:** Equipo mecánico – hidráulico de 0,5 H.P de potencia, encargado de distribuir (bombear) el agua, en este caso hacia un tanque elevado.
- 3) **Tubería de impulsión:** Tubería PVC de Ø ½” encargada de transportar el agua del pozo, desde la bomba hidráulica hacia el tanque elevado.
- 4) **Reducción PVC:** Accesorio PVC de Ø 3” a 2” que sirve como un embudo dosificador, por allí se introducirá el coagulante en polvo.
- 5) **Agitador industrial digital 1:** Equipo digital programable cuya función es el de realizar la mezcla rápida con el coagulante en el agua a una velocidad específica.
- 6) **Tanque de polietileno 1:** Tanque con capacidad de 300 litros, en su interior se llevará a cabo el proceso de mezcla rápida ó coagulación.
- 7) **Agitador industrial digital 2:** Equipo digital programable cuya función es el de realizar la mezcla lenta con el coagulante en el agua a una velocidad específica.
- 8) **Tanque de polietileno 2:** Tanque con capacidad de 300 litros, en su interior se llevará a cabo el proceso de mezcla lenta ó floculación.
- 9) **Tanque sedimentador de concreto:** Tanque con capacidad de 300 litros, su función es el de realizar el proceso de sedimentación, así mismo de retener y almacenar el agua tratada.



FUNCIONES DEL OPERADOR

- Operar y mantener adecuadamente el sistema de dosificación.
- Inspeccionar periódicamente cada parte o componente del sistema de dosificación.
- Informar mensualmente al responsable del ATM de la municipalidad distrital o a la autoridad responsable del servicio de agua sobre el estado de conservación y funcionamiento del sistema de bombeo – dosificación.
- Llevar los registros y control de las actividades de operación y mantenimiento en el cuaderno del operador, realizar un reporte mensual al responsable del sistema.
- Solicitar al ATM de la municipalidad distrital o a la autoridad responsable del servicio de agua sobre las necesidades de compra de materiales, herramientas, equipo de protección personal, insumos y repuestos.
- Manipular las llaves de control y equipos del sistema de dosificación, como el único autorizado.

MATERIALES, HERRAMIENTAS Y EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

Materiales

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Almidón de maíz (coagulante) • Cuaderno del operador • Lapicero • Pegamento • Baldes | <ul style="list-style-type: none"> • Teflón • Escobilla • Franelas • Lija • Manguera |
|--|---|

Herramientas

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Llave inglesa • Llave Stillson • Alicata • Nivel | <ul style="list-style-type: none"> • Palana • Sierra metálica • Wincha |
|---|---|

Equipos de protección personal

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Guantes • Mascarilla • Mandil • Botas | <ul style="list-style-type: none"> • Lentes de protección • Botiquín de primeros auxilios |
|--|---|

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA

OPERACIÓN:

- **Paso 1.-** Verificar el agua del pozo, y acondicionarla antes de poner en funcionamiento el sistema. Limpiar y retirar impurezas que puedan estar presente como: hojas, ramas, musgos, raíces, partículas de tamaño considerable, etc; todo esto con el fin de impedir que estos materiales puedan dañar los equipos o accesorios del sistema.
- **Paso 2.-** Verificar y abrir las llaves de paso del sistema desde la tubería de succión hasta el tanque de polietileno 1.
- **Paso 3.-** Activar la bomba hidráulica.

- **Paso 4.-** Esperar que el tanque de polietileno 1 se llene hasta su capacidad máxima, una vez lleno, apagar la bomba hidráulica y cerrar todas las llaves de paso.
- **Paso 5.-** Programar el agitador digital a 250 rpm por 1,5 minutos y ponerlo en funcionamiento, mientras esto sucede, añadir por la reducción PVC (embudo dosificador) la dosis optima de almidón de “maíz amiláceo” en polvo la cual es **15 gramos**. Este dato fue calculado en pruebas de laboratorio, también se tuvo en consideración la cantidad de agua a tratar. Este proceso se denomina “coagulación”.
- **Paso 6.-** Una vez culminado el tiempo del paso anterior, apagar el agitador digital y abrir la llave de paso que se encuentran entre el tanque de polietileno 1 y 2, la finalidad es llenar el segundo tanque. Luego cerrar la misma llave de paso.
- **Paso 7.-** Una vez lleno el tanque de polietileno 2 (floculador), programar el agitador digital a 63 rpm por 15 minutos y ponerlo en funcionamiento. Este proceso se denomina “floculación”.
- **Paso 8.-** Una vez culminado el tiempo del paso anterior, apagar el agitador digital y abrir la llave de paso que se encuentran entre el tanque de polietileno 2 y el tanque sedimentador de concreto, la finalidad es llenar el tanque sedimentador. Luego cerrar la misma llave de paso.
- **Paso 9.-** Una vez lleno el tanque sedimentador, esperar 10 minutos como mínimo para que las partículas o flóculos se depositen en el fondo del tanque. Concluido este paso el agua ya está condiciones para ser usado.
- **Paso 10.-** Anotar en el cuaderno del operador la fecha y la hora de la operación, así como también observaciones que se crea importante.
- **Importante:** usar almidón de “maíz amiláceo” obtenido de cualquier método o procedimiento, se recomienda usar el protocolo de (L, Wang y YJ, Wang, 2001). Es muy importante seguir todos estos pasos para el tratamiento del agua, respetar la dosis de 15 gramos y las condiciones de velocidades y tiempos.

Se recomienda operar el sistema cuando exista escases o corte del servicio de agua en esta zona del distrito de Yantaló, o de lo contrario realizar las labores de operación dos veces por semana como máximo, todo esto debido a la preservación de producción de agua del acuífero.

MANTENIMIENTO:

Mantenimiento preventivo:

- Realizar las labores de limpieza de los componentes del sistema de dosificación cada vez que se realice una operación.
- Proteger a los componentes del sistema de la lluvia, viento o de cualquier otro factor climático.
- Mantener los componentes del sistema secos por sus exteriores.
- Después de cada operación, el operador debe limpiar con una franela la hélice de los agitadores y el embudo dosificador.
- Después de utilizarse el agua tratada contenida en el tanque sedimentador, el operador debe limpiarlo por dentro retirando los lodos producidos en el mismo y trasladarlos a un lugar seguro.
- Se debe realizar un mantenimiento permanente a los equipos mecánicos y electrónicos del sistema (bomba hidráulica y agitadores digitales).
- Se recomienda desinfectar mensualmente los tanques de polietileno 1 y 2 con soluciones de hipoclorito, del mismo modo al tanque sedimentador, para garantizar la eliminación de agentes biológicos patógenos.
- Conservar limpio el área en donde se encuentra el sistema, libre de malezas y basura.

Mantenimiento correctivo:

- Ante cualquier problema con algún componente del sistema, el operador debe tener a su alcance una caja con herramientas y materiales necesarios para solucionarlo.
- Si en caso el operador no pueda solucionar el problema, este debe comunicar a la autoridad responsable del sistema para encontrar soluciones.
- El operador debe hacer conocer a las personas del lugar sobre el trabajo de mantenimiento y la interrupción temporal del servicio

**PANEL
FOTOGRAFICO**

Fotografía 1: Granos de maíz amiláceo de la variedad blanco del Cusco.



Fotografía 2: Preparación del almidón de maíz amiláceo.



Fotografía 3: Secado final del almidón de maíz amiláceo.



Fotografía 4: Extracción de agua de pozo del acuífero confinado para las pruebas de jarras correspondiente.



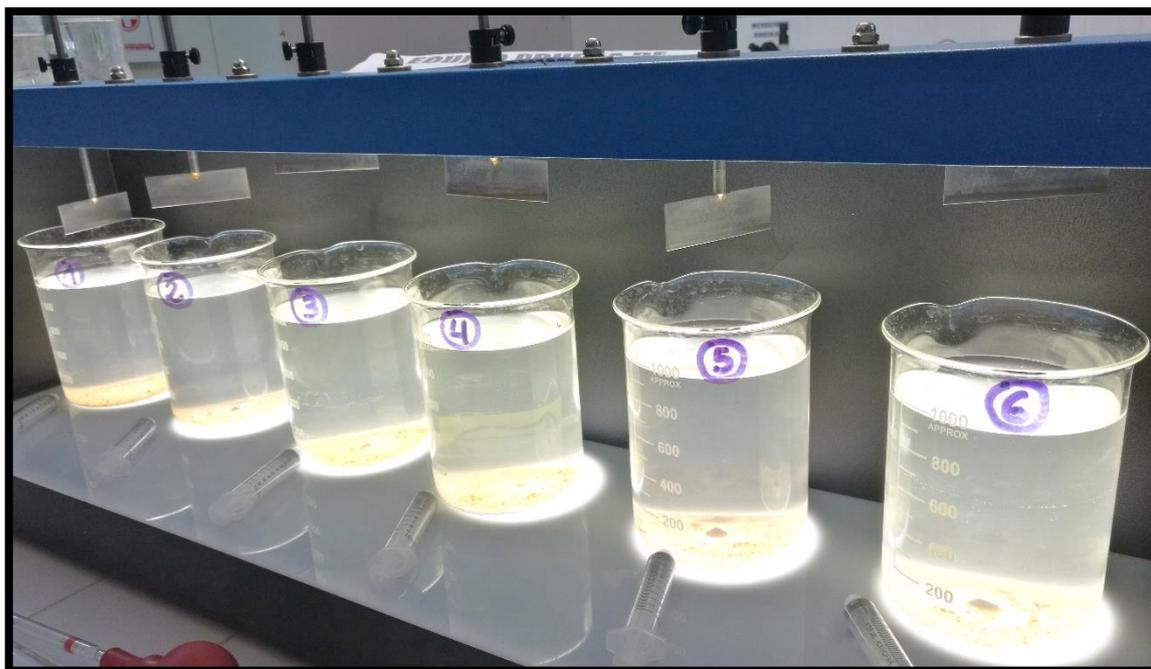
Fotografía 5: Ensayo prueba de jarras en marcha.



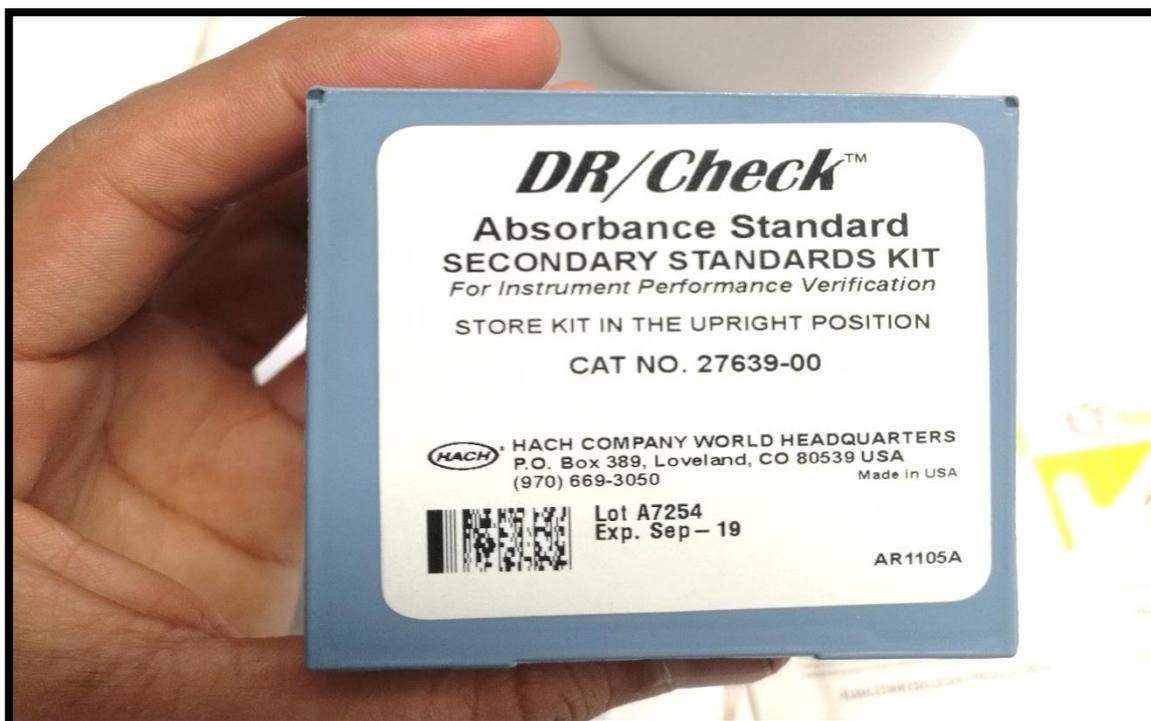
Fotografía 6: Formación de flóculos (proceso de floculación).



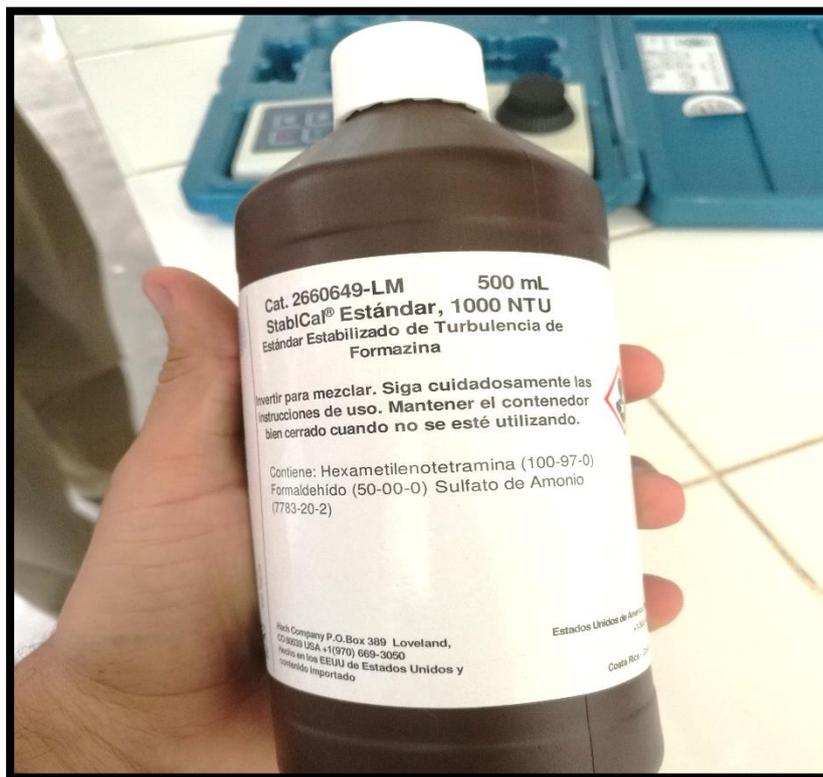
Fotografía 7: Proceso de sedimentación.



Fotografía 8: Sustancia de calibración para el equipo Multiparámetro DR 900.



Fotografía 9: Sustancia de calibración para el equipo Turbiquant 1100 IR.



Fotografía 10: Medición y lectura de las concentraciones finales de los parámetros.



Fotografía 11: Medición preliminar de pH de las aguas del acuífero.



Fotografía 12: Medición de la concentraciones finales de hierro de las aguas del acuífero después de los ensayos



Fotografía 13: Medición preliminar de la concentración inicial de turbidez de las aguas del acuífero



Fotografía 14: Calibración del equipo Colorímetro DR 900 para las mediciones de concentraciones de color

