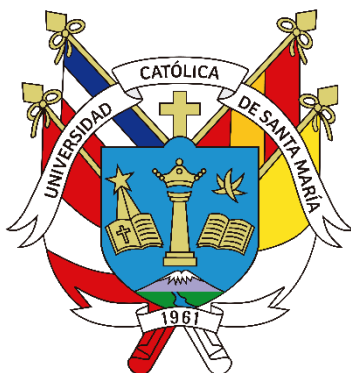


**Universidad Católica de Santa María**  
**Facultad de Facultad de Ciencias Farmacéuticas,**  
**Bioquímicas y Biotecnológicas**  
**Escuela Profesional de Ingeniería Biotecnológica**



**COMPARACIÓN DE LA CAPACIDAD FLOCULANTE DEL ALMIDÓN  
MODIFICADO OBTENIDO DE TRES VARIEDADES DE PAPA (*Solanum  
tuberosum*) PERUANAS (Canchán, Peruanita, Única)**

Tesis presentada por los Bachilleres:

**Collasco Terrazas, Juan José Alejandro**

**Titi Benavente, Pedro Alonso**

para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Biotecnólogo

Asesor (a):

**Ing. Barreda del Carpio, Jaime Ernesto**

**Arequipa- Perú**

**2024**

UCSM-ERP

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA**

**INGENIERIA BIOTECNOLOGICA**

**TITULACIÓN CON TESIS**

**DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR**

Arequipa, 09 de Noviembre del 2023

**Dictamen: 007045-C-EPIB-2023**

Visto el borrador del expediente 007045, presentado por:

**2007244791 - TITI BENAVENTE PEDRO ALONSO**

**2005601701 - COLLACSO TERRAZAS JUAN JOSE ALEJANDRO**

Titulado:

**COMPARACIÓN DE LA CAPACIDAD FLOCULANTE DEL ALMIDÓN MODIFICADO OBTENIDO DE TRES VARIEDADES DE PAPA (SOLANUM TUBEROSUM ) PERUANAS (CANCHÁN, PERUANITA, ÚNICA)**

Nuestro dictamen es:

**APROBADO**

**29440909 - MOLINA RODRIGUEZ FREDY NICOLAS  
DICTAMINADOR**



**42671615 - CARPIO CARPIO JOSE MIGUEL  
DICTAMINADOR**



**45498291 - ALVARADO QUIROZ KENY DAVI  
DICTAMINADOR**



# COMPARACIÓN DE LA CAPACIDAD FLOCULANTE DEL ALMIDÓN MODIFICADO OBTENIDO DE TRES VARIEDADES DE PAPA (*Solanum tuberosum*) PERUANAS (Canchán, Peruanita, Única)

## INFORME DE ORIGINALIDAD

3%

INDICE DE SIMILITUD

3%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

0%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://repositorio.lamolina.edu.pe">repositorio.lamolina.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
2	<a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	1%
3	<a href="http://idoc.pub">idoc.pub</a> Fuente de Internet	1%
4	<a href="http://orcid.org">orcid.org</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="http://kupdf.net">kupdf.net</a> Fuente de Internet	1%

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Apagado

### *Dedicatoria*

A todas esas personas importantes en mi vida que no dejaron de creer en mí, a mi mamá Maribel, a mi papá José, a mi esposa Maite y a mis increíbles hijos Fabián y María Isabel, a mis hermanas Flavia y Gianella y sobre todo a Dios que me hace posible que las cosas sucedan.

*Juan José Collacso Terrazas.*

Quiero dedicarle esta tesis en primer lugar a mi familia. A mi madre Elsa, por haberme guiado a largo de mi formación y mi vida en general. A mi padre Pedro por estar siempre detrás de mí, siempre con su insistencia y la manía para que haga bien las cosas y terminar esta tesis. A mi abuela Dionisia por ser esa persona a quien siempre acudí y con palabras simples siempre me daba calma para seguir adelante. A mis hermanos Gustavo y Paolo, por ser mis grandes compañeros y su apoyo incondicional. Y no menos importante a Noelia por su gran soporte y estar hincando en este proceso para poder culminar esta etapa. Gracias a todas

*Pedro Alonso Titi Benavente*

### *Agradecimientos*

Agradezco a Dios y a mis padres, por sus sacrificios y la oportunidad que me han dado de estudiar esta profesión.

Agradezco a mi esposa Maite, por su soporte, paciencia y por la inspiración diaria.

Agradezco a mis hijos Fabián e Isabelita, por ser mi motivación diaria y por darme la oportunidad de ser su Papá, por ellos y para ellos siempre.

Por último y no menos importantes, agradezco a mis abuelos y hermanas que nunca dejan de darme su cariño incondicional.

*Juan José Collacso Terrazas*

Agradezco a este trabajo culminante de toda mi trayectoria como estudiante a cada uno de los docentes e investigadores de la escuela profesional de Ingeniería Biotecnológica de la Universidad Católica Santa María, cuya mentoría y ejemplo como personas ha sido importante en mi formación profesional. A mi partner del presente trabajo Juan José más que un compañero un gran amigo, esos de los que pocos quedan. Agradezco a nuestro esfuerzo y voluntad para haber podido sacar adelante este trabajo.

*Pedro Alonso Titi Benavente*

## RESUMEN

La papa (*Solanum tuberosum*) es un tubérculo ampliamente distribuido a nivel mundial y que encuentra su mayor aplicación en la alimentación humana y animal; y, debido a la cantidad de carbohidratos que tiene, constituye una excelente fuente de energía para los seres vivos. El carbohidrato más abundante de la papa es el almidón, que está formado por amilosa y amilopectina.

En el proceso de tratamiento de aguas la floculación es un paso muy importante para separar los sólidos suspendidos, pero para lograr esto se necesitan compuestos inorgánicos como el Sulfato de Aluminio, que si bien actúa como floculante, también termina contaminando el agua debido a su bajo peso molecular, que hace que no flocule en su totalidad.

El almidón es un polímero poco funcional que no tiene muchas aplicaciones directas. Es por ello que mediante diversos métodos como por ejemplo: la oxidación, la acetilación, la carboximetilación o la cationización, se modifica al almidón (se agregan grupos funcionales) para que tenga o potencie una cierta actividad.

Lo que se buscó con el presente trabajo fue extraer, cuantificar y caracterizar el almidón de tres variedades peruanas de papa, las cuales son *Canchán*, *Peruanita* y *Única*; y determinar el poder floculante de estos almidones cationizados con Cloruro de Glicidil Trimetilamonio (CGTA), así como también realizar una comparación de la eficiencia de floculación entre el almidón puro extraído de las papas y el agente cationizante puro con la de los almidones cationizados. Todo ello para poder presentar una alternativa a los tratamientos convencionales floculantes de aguas, que viene de una fuente renovable y que a veces, es desechada por enfermedades o podredumbre.

En la extracción, se obtuvo 9,675 g de almidón por kilogramo de papa *Canchán*, 12,675 g de almidón por kilogramo de papa *Peruanita* y 12 g de almidón por kilogramo de papa *Única*. Asimismo, haciendo uso de la curva de calibración que se realizó, se determinó que el contenido de almidón de las papas no era igual, siendo de 19,0% para *Canchán*, de 26,3% para *Peruanita* y de 27,4% para *Única*.

En la prueba del test de jarras, el floculante comercial disminuyó la turbidez del agua de 363 NTU a 1.33 NTU, mientras que los almidones de *Peruanita*, *Única* y *Canchán*, lograron disminuirlo a 15,33; 10,33 y 137.33 respectivamente, siendo *Canchán* la que no tuvo el resultado esperado. Finalmente, en el ensayo con los almidones sin modificar, se determinó que el poder floculante de los almidones y el agente cationizante separados fue mucho menor al de los almidones cationizados.

**Palabras clave:** *Papa*, *almidón*, *cationización*.



## ABSTRACT

The potato (*Solanum tuberosum*) is a tuber widely distributed worldwide and that finds its best application in human and animal nutrition; and, due to the amount of carbohydrates it has, it constitutes an excellent source of energy for living beings. The most abundant carbohydrate in potatoes is starch, which is made up of amylose and amylopectin.

In the water treatment process, flocculation is a very important step to separate suspended solids, but to achieve this, inorganic compounds such as Aluminum Sulfate are needed, which although it acts as a flocculant, also ends up contaminating the water due to its low molecular weight, which means that it does not flocculate in its entirety.

Starch is a poorly functional polymer that does not have many direct applications. That is why through various methods such as: oxidation, acetylation, carboxymethylation or cationization, starch is modified (functional groups are added) so that it has or enhances a certain activity.

What was sought with the present work was to extract, quantify and characterize the starch of three Peruvian varieties of potato, which are *Canchan*, *Peruanita* and *Unica*; and determine the flocculating power of these starches cationized with Glycidyl Trimethylammonium Chloride (GTAC), as well as making a comparison of the flocculation efficiency between the pure starch extracted from potatoes and the pure cationizing agent with that of cationized starches. All this in order to present an alternative to the conventional flocculant water treatments, which comes from a renewable source and is sometimes discarded due to diseases or rot.

In the extraction, 9,675 g of starch per kilogram of *Canchan* potato, 12,675 g of starch per kilogram of *Peruanita* potato and 12 g of starch per kilogram of *Unica* potato were obtained. Also, using the calibration curve that was made, it was determined that the starch content of the potatoes was not the same, being 19.0% for *Canchan*, 26.3% for *Peruanita* and 27.4% for *Unica*.

In the jar test, the commercial flocculant decreased the turbidity of the water from 363 NTU to

1.33NTU, while the starches of *Peruanita*, *Unica* and *Canchan*, managed to reduce it to 15.33, 10.33 and 137.33, respectively, being *Canchan* the one that did not have the expected result. Finally, in the test with the unmodified starches, it was determined that the flocculating power of the separated starches and the cationizing agent was much lower than that of the cationized starches.

**Keywords:** *Potato, starch, cationization.*



## OBJETIVOS

### GENERAL

- Comparar la capacidad floculante del almidón modificado obtenido de tres variedades peruanas (*Canchán*, *Peruanita*, *Única*) de *Solanum tuberosum* (papa).

### ESPECÍFICOS

- Extraer, cuantificar y caracterizar el almidón de tres variedades peruanas (*Canchán*, *Peruanita*, *Única*) de *Solanum tuberosum* (papa).
- Determinar la capacidad floculante de los almidones modificados, en agua sintética, utilizando test de jarras y turbidimetría.
- Comparar la capacidad floculante de los almidones modificados con su versión pura.



## HIPÓTESIS

Dado que el almidón es un polímero no funcional, es posible que la modificación fisicoquímica con Cloruro de Glicidiltrimetilamonio (CGTA) de los almidones de una estas tres variedades de papa: *Canchán*, *Peruanita* y *Única*, presente una mayor capacidad floculante.

## ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTOS**

**RESUMEN**

**ABSTRACT**

**OBJETIVOS**

**HIPÓTESIS**

**INTRODUCCIÓN..... 1**

**CAPÍTULO I..... 3**

**1. MARCO TEÓRICO..... 3**

**1.1. Material vegetal: Papa..... 3**

**1.1.1. Generalidades..... 3**

**1.1.2. Historia..... 4**

**1.1.3. Ubicación Geográfica..... 5**

**1.1.4. Clasificación Taxonómica..... 7**

**1.1.5. Características del cultivo..... 8**

**1.1.5.1. *Solanum tuberosum* var. *Canchán*..... 9**

**1.1.5.2. *Solanum tuberosum* var. *Peruanita*..... 10**

**1.1.5.3. *Solanum tuberosum* var. *Única*..... 10**

**1.1.6. Rendimiento del cultivo..... 11**

**1.1.7. Valor Nutricional y Composición..... 13**

**1.1.8. Producción en el Perú..... 15**

**1.1.9. Usos e Importancia..... 16**

**1.1.9.1. Usos en la alimentación humana..... 17**

**1.1.9.2. Usos en la alimentación animal..... 17**

**1.1.9.3. Usos medicinales..... 18**

**1.1.9.4. Otros usos..... 18**

<b>1.2. Almidón.....</b>	<b>19</b>
<b>1.2.1. Estructura y Localización.....</b>	<b>19</b>
<b>1.2.2. Función fisiológica del almidón.....</b>	<b>23</b>
<b>1.2.3. Usos del almidón.....</b>	<b>23</b>
<b>1.2.3.1. Biorrefinerías.....</b>	<b>24</b>
<b>1.2.4. Modificaciones fisicoquímicas del almidón.....</b>	<b>25</b>
<b>1.2.4.1. Modificaciones físicas.....</b>	<b>25</b>
<b>1.2.4.2. Modificaciones químicas.....</b>	<b>26</b>
<b>1.2.4.2.1. Oxidación.....</b>	<b>26</b>
<b>1.2.4.2.2. Acetilación.....</b>	<b>27</b>
<b>1.2.4.2.3. Carboximetilación.....</b>	<b>28</b>
<b>1.2.4.2.4. Cationización.....</b>	<b>29</b>
<b>1.3. Tratamiento de aguas.....</b>	<b>31</b>
<b>1.3.1. Introducción.....</b>	<b>31</b>
<b>1.3.2. Fuentes de aguas residuales.....</b>	<b>32</b>
<b>1.3.3. Parámetros de calidad de aguas.....</b>	<b>34</b>
<b>1.3.4. Etapas del tratamiento de aguas residuales.....</b>	<b>37</b>
<b>1.3.4.1. Pretratamientos y tratamientos primarios.....</b>	<b>37</b>
<b>1.3.4.1.1. Cribado.....</b>	<b>37</b>
<b>1.3.4.1.2. Sedimentación.....</b>	<b>37</b>
<b>1.3.4.1.3. Flotación.....</b>	<b>38</b>
<b>1.3.4.1.4. Neutralización.....</b>	<b>39</b>
<b>1.3.4.2. Tratamiento secundario.....</b>	<b>39</b>
<b>1.3.4.3. Tratamiento terciario.....</b>	<b>39</b>
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>40</b>
<b>2. MATERIALES Y METODOLOGÍA.....</b>	<b>40</b>
<b>2.1. Materiales.....</b>	<b>40</b>

2.1.1. Material de vidrio.....	40
2.1.2. Reactivos.....	40
2.1.3. Insumos.....	40
2.1.4. Equipos.....	41
2.2. Metodología.....	41
2.2.1. Extracción del almidón.....	41
2.2.2. Evaluación del contenido de amilosa y construcción de la curva de calibración.....	42
2.2.3. Cationización del almidón.....	44
2.2.4. Elaboración de agua sintética.....	44
2.2.5. Prueba de eficiencia de floculación del almidón.....	45
2.2.6. Prueba de eficiencia de floculación de los almidones y el cationizador por separado.....	45
2.2.7. Análisis estadístico.....	46
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>47</b>
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>47</b>
3.1. Análisis de contenido de amilosa.....	47
3.1.1. Extracción del almidón.....	47
3.1.2. Curva de calibración.....	48
3.1.3. Análisis del contenido de amilosa en papas.....	49
3.2. Cationización del almidón.....	52
3.3. Elaboración de agua sintética.....	53
3.4. Prueba de floculación de almidones cationizados.....	54
3.5. Prueba de floculación de almidones y CGTA por separado.....	58
3.6 Análisis estadístico.....	60
3.6.1. Análisis global entre tratamientos.....	60
3.6.2. Análisis uno a uno entre tratamientos.....	63

<b>3.6.2.1. Floculante comercial y almidón cationizado de papa</b> <i>Peruanita</i> .....	<b>63</b>
<b>3.6.2.2. Almidón cationizado de papa <i>Única</i> y almidón cationizado de papa <i>Peruanita</i>.....</b>	<b>65</b>
<b>3.6.2.3. Almidón cationizado de papa <i>Canchán</i> y almidón cationizado de papa <i>Peruanita</i>.....</b>	<b>68</b>
<b>3.6.2.4. Floculante comercial y almidón cationizado de papa <i>Única</i>.....</b>	<b>70</b>
<b>3.6.2.5. Almidón cationizado de papa <i>Canchán</i> y almidón cationizado de papa <i>Única</i>.....</b>	<b>72</b>
<b>3.6.2.6. Floculante comercial y almidón cationizado de papa <i>Canchán</i>.....</b>	<b>74</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>76</b>
<b>RECOMENDACIONES Y SUGERENCIAS.....</b>	<b>77</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>78</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>86</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1. Clasificación Taxonómica de la Papa.....</b>	<b>7</b>
<b>Tabla 2a. Composición química de la papa en una base de peso fresco.....</b>	<b>13</b>
<b>Tabla 2b. Composición química de la papa en una base de peso fresco (Continuación).....</b>	<b>13</b>
<b>Tabla 3. Composición por aminoácido de la proteína de la papa.....</b>	<b>15</b>
<b>Tabla 4. Contenido de aguas residuales en algunas industrias importantes.....</b>	<b>33</b>
<b>Tabla 5. Principales grupos de contaminantes del agua y sus efectos.....</b>	<b>35</b>
<b>Tabla 6. Cantidades de amilosa y NaOH para la curva de calibración.....</b>	<b>43</b>
<b>Tabla 7. Cantidad de almidón extraído de las tres variedades de papa.....</b>	<b>47</b>
<b>Tabla 8. Relación entre la concentración de amilosa y la absorbancia medida.....</b>	<b>48</b>
<b>Tabla 9. Absorbancias de las muestras de amilosa de las tres variedades de papa analizadas.....</b>	<b>49</b>
<b>Tabla 10. Determinación de la cantidad de amilosa en las tres variedades de papa analizadas.....</b>	<b>50</b>
<b>Tabla 11. Mediciones de turbidez del agua antes y después del tratamiento con el floculante comercial y los almidones modificados.....</b>	<b>55</b>
<b>Tabla 12. Mediciones de turbidez del agua con el tratamiento de los almidones y el agente cationizante puros, a 15 minutos y a 24 horas.....</b>	<b>59</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de los principales glicoalcaloides de la papa.....	3
Figura 2. Distribución geográfica de diversas especies de papas salvajes documentadas.....	6
Figura 3. Distribución geográfica a nivel mundial de cultivares de papa.....	6
Figura 4. Morfología de la planta <i>Solanum tuberosum</i> .....	8
Figura 5. Características de la planta y el tubérculo de la papa <i>Canchán</i> .....	9
Figura 6. Tubérculos de papa <i>Peruanita</i> .....	10
Figura 7. Tubérculos de papa <i>Única</i> .....	11
Figura 8. Rendimiento promedio por hectárea por departamento en el Perú....	12
Figura 9. Producción de papa en el Perú entre los años 1997 y 2016.....	16
Figura 10. Estructura de la amilosa y la amilopectina.....	21
Figura 11. a) Gránulo de almidón de papa visto a través de Microscopía Electrónica de Barrido. (Izquierda) y, b) Gránulos de almidón en células de papa. (Derecha).....	22
Figura 12. Ejemplo de la oxidación de los grupos hidroxilo de una unidad de glucosa del almidón.....	27
Figura 13. Ejemplo de la acetilación de los grupos hidroxilo de una unidad de glucosa del almidón.....	28
Figura 14. Ejemplo de la eterificación y carboximetilación de los grupos hidroxilo de una unidad de glucosa del almidón.....	29
Figura 15. Ejemplo de la cationización de una unidad de glucosa del almidón con el agente catiónico Cloruro de 2,3 epoxipropiltrimetilamonio.....	29
Figura 16. Estructura molecular del Glicidiltrimetilamonio (GTAC).....	44
Figura 17. Almidón extraído de las tres variedades de papa. De izquierda a derecha: <i>Canchán</i> , <i>Única</i> y <i>Peruanita</i> .....	47
Figura 18. Batería de soluciones estándar de amilosa.....	48
Figura 19. Curva de calibración estándar de amilosa.....	49
Figura 20. Muestras de amilosa de las variedades de papa a medir en el espectrofotómetro. De izquierda a derecha: <i>Única</i> , <i>Peruanita</i> y <i>Canchán</i> .....	50

Figura 21. Almidones cationizados luego de añadir el reactivo GTAC. De izquierda a derecha: <i>Canchán, Única y Peruanita</i> .....	52
Figura 22. Almidones cationizados luego del secado por microondas. De izquierda aderecha: <i>Única, Canchán y Peruanita</i> .....	53
Figura 23. Agua sintética preparada.....	53
Figura 24. De izquierda a derecha: Primer tratamiento con $FeCl_3$ + Poliacrilamida, segundo tratamiento de almidón de papa <i>Única</i> cationizado (AUC), tercer tratamiento de almidón de papa <i>Peruanita</i> cationizado (APC), cuarto tratamiento con almidón de papa <i>Canchán</i> cationizado (ACC). a) Inicio del ensayo de floculación b) Término del ensayo de floculación.....	55
Figura 25. Gráfico de la turbidez del agua sintética sin tratamiento y con tratamiento floculante.....	56
Figura 26. De izquierda a derecha: Primer tratamiento con CGTA, segundo tratamiento de almidón de papa <i>Peruanita</i> (AP), tercer tratamiento de almidón de papa <i>Única</i> (AU), cuarto tratamiento con almidón de papa <i>Canchán</i> (AC). a) Inicio del ensayo de floculación b) Término del ensayo de floculación.....	58
Figura 27. Gráfico de la turbidez del agua sintética con almidones y agente cationizante puros, a 15 minutos y a 24 horas.....	59
Figura 28. Análisis de atipicidad de tratamientos del floculante comercial y almidones cationizados .....	61
Figura 29. Análisis estadístico global comparativo de tratamientos.....	62
Figura 30. Análisis global de precisión de varianzas.....	62
Figura 31. Análisis global de Kruskall-Wallis.....	63
Figura 32. Análisis de distribución entre el floculante comercial (FC) y el almidón cationizado de papa <i>Peruanita</i> (APC).....	64
Figura 33. Análisis de precisión de varianzas entre el floculante comercial (FC) y el almidón cationizado de papa <i>Peruanita</i> (APC).....	65
Figura 34. Análisis de Kruskall-Wallis entre el floculante comercial (FC) y el almidón cationizado de papa <i>Peruanita</i> (APC).....	65
Figura 35. Análisis de distribución entre el almidón cationizado de papa	

<i>Única</i> (AUC) y el almidón cationizado de papa <i>Peruanita</i> (APC).....	66
Figura 36. Análisis de precisión de varianzas entre el almidón cationizado de papa <i>Única</i> (AUC) y el almidón cationizado de papa <i>Peruanita</i> (APC).....	67
Figura 37. Análisis ANOVA entre el almidón cationizado de papa <i>Única</i> (AUC) y el almidón cationizado de papa <i>Peruanita</i> (APC).....	67
Figura 38. Análisis de distribución entre el almidón cationizado de papa <i>Canchán</i> (ACC) y el almidón cationizado de papa <i>Peruanita</i> (APC).....	68
Figura 39. Análisis de precisión de varianzas entre el almidón cationizado de papa <i>Canchán</i> (ACC) y el almidón cationizado de papa <i>Peruanita</i> (APC)....	69
Figura 40. Análisis de Kruskal-Wallis entre el almidón cationizado de papa <i>Canchán</i> (ACC) y el almidón cationizado de papa <i>Peruanita</i> (APC).....	69
Figura 41. Análisis de distribución entre el floculante comercial (FC) y el almidón cationizado de papa <i>Única</i> (AUC).....	70
Figura 42. Análisis de precisión de varianzas entre el floculante comercial (FC) y el almidón cationizado de papa <i>Única</i> (AUC).....	71
Figura 43. Análisis de Kruskal-Wallis entre el floculante comercial (FC) y el almidón cationizado de papa <i>Única</i> (AUC).....	71
Figura 44. Análisis de distribución entre el almidón cationizado de papa <i>Canchán</i> (ACC) y el almidón cationizado de papa <i>Única</i> (AUC).....	72
Figura 45. Análisis de precisión de varianzas entre el almidón cationizado de papa <i>Canchán</i> (ACC) y el almidón cationizado de papa <i>Única</i> (AUC).....	73
Figura 46. Análisis de Kruskal-Wallis entre el almidón cationizado de papa <i>Canchán</i> (ACC) y el almidón cationizado de papa <i>Única</i> (AUC).....	73
Figura 47. Análisis de distribución entre el floculante comercial (FC) y el almidón cationizado de papa <i>Canchán</i> (ACC).....	74
Figura 48. Análisis de precisión de varianzas entre el floculante comercial (FC) y el almidón cationizado de papa <i>Canchán</i> (ACC).....	75
Figura 49. Análisis de Kruskal-Wallis entre el floculante comercial (FC) y el almidón cationizado de papa <i>Canchán</i> (ACC) .....	75

## LISTA DE ABREVIATURAS

- ACC: Almidón Cationizado de papa *Canchán*
- ADN: Ácido Desoxirribonucleico
- ANOVA: Analysis of Variance (Análisis de Varianza)
- APC: Almidón Cationizado de papa *Peruanita*
- ARN: Ácido Ribonucleico
- AS: Agua Sintética
- AUC: Almidón Cationizado de papa *Única*
- CGTA: Cloruro de Glicidiltrimetilamonio
- CIP: Instituto Nacional de la Papa
- DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno
- DGESEP: Dirección General de Seguimiento y Evaluación de Políticas
- DQO: Demanda Química de Oxígeno
- ECA: Estándar de Calidad de Aguas
- F: Flocculante
- FeCl<sub>3</sub>: Cloruro de hierro III
- HCl: Ácido Clorhídrico
- INIA: Instituto Nacional de Innovación Agraria
- MINAGRI: Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego
- NASA: National Aeronautics and Space Administration (Administración Nacional de Aeronáutica y elEspacio)
- NaOH: Hidróxido de Sodio
- NTU: Nephelometric Turbidity Unit (Unidad Nefelométrica de Turbidez)
- P: Polímero
- PDA: Potato Dextrose Agar (Agar Papa Dextrosa)
- SD: Sólidos Disueltos
- SS: Sólidos Fijos
- SS: Sólidos Suspendidos
- ST: Sólidos Totales
- VBP: Valor Bruto de Producción agrícola

## INTRODUCCIÓN

El ser humano ha sido dependiente del agua desde siempre, ya sea para su propia vitalidad, como para limpiarse, lavarse, regar sus cultivos y hasta para moverse. No obstante, el ser humano primitivo contaba con una población mucho menor a la que se tiene hoy en día y no conocía de sustancias peligrosas para el medio ambiente. Es por ello que no representaba una amenaza para el ambiente, debido a que la misma naturaleza se encargaba de limpiar y degradar sus desechos.

Lamentablemente, el rápido avance de las nuevas tecnologías ha permitido que el ser humano pueda producir bienes a gran escala, en poco tiempo y a veces, con bajos recursos, sin embargo, este desenfreno trajo consigo el aumento de la contaminación ambiental, ya que en todo proceso se generan subproductos o desechos.

Actualmente no habría la capacidad de abastecer a toda la población de agua potable limpia por la densidad poblacional. Y es por eso que hace algunos siglos se fue implementando poco a poco una gestión sanitaria, que evolucionaría hasta el tratamiento de aguas residuales moderno, cuya función es “reciclar” el agua contaminada para que sea reutilizada más velozmente que si siguiera su proceso natural.

En este momento hay una tendencia a reemplazar insumos inorgánicos o químicos por insumos orgánicos extraídos de fuentes biológicas, que sean renovables, biodegradables y amigables con el medio ambiente. El almidón es una fuente natural que se puede encontrar en distintos frutos y órganos de origen vegetal, y podría ser una gran opción para reemplazar sustancias inorgánicas como el Sulfato de aluminio o la Poliacrilamida dentro del tratamiento de aguas residuales.

De tener un buen poder floculante y ser económicamente accesible, los almidones modificados serían una gran oportunidad para darle un valor agregado a los frutos y tubérculos que se eliminan o descartan. Asimismo, la gran diversidad vegetal que posee el Perú en cuanto a variedades de papaya y otros tubérculos, haría que algunas de estas variedades olvidadas puedan resurgir, y quizás, encontrarles otro tipo de usos. Esto favorecería económicamente a las poblaciones que se dedican

netamente al cultivo de estas plantas.

Es importante mencionar también, que las aguas residuales pueden provenir de muchos lugares, como de las industrias de papel, de lácteos, de mineras, de cuero, de agroindustriales, entre otras, y los contaminantes de cada efluente varían de acuerdo a la industria y al proceso al que se le ha sometido. No se puede decir que funcionaría con todo tipo de efluentes, pero este y otros estudios establecerían un precedente para poder al menos, llevar a cabo ensayos en otros tipos de aguas residuales.





glicoalcaloides mediante crianza selectiva a través de los años, obteniéndose las variedades que conocemos hoy en día. Cabe recalcar que estas sustancias se encuentran en mayor cantidad en las especies salvajes y en una cantidad mínima en las especies destinadas al consumo humano, que no representan un peligro a la salud. Adicionalmente, casi la totalidad del contenido de glicoalcaloides del tubérculo se encuentra en la capa exterior (cáscara) de la papa, que comúnmente no se suele ingerir<sup>3</sup>.

### 1.1.2. Historia

No se cuenta con registros de la historia de la domesticación de la papa, pero se calcula que inició miles de años antes de los primeros restos encontrados, donde ya se encontraba domesticada. Fue un cultivo que figuró ampliamente en las culturas pre-colombinas del Perú y los Andes, habiéndose encontrado restos arqueológicos preservados cerca al Lago Titicaca, en las ruinas de Tiahuanaco, en Pachacamac y en Arica. Asimismo, se han encontrado representaciones cerámicas muy detalladas en ruinas pre-incaicas<sup>4</sup>.

Cuando ocurrió la llegada de los españoles, además del Perú, el cultivo de papa se había extendido a países que hoy conocemos como Bolivia, Colombia y Ecuador<sup>5</sup>.

Luego de la conquista, la papa fue llevada a España y se extendió por todo el continente europeo. Sin embargo, el clima de Europa no era el ideal para el desarrollo de la planta ya que las fuertes heladas mataban los cultivares, por lo que los únicos lugares donde se podía obtener un buen rendimiento eran Francia y el sur de Irlanda, donde el clima no era tan duro. Inicialmente, la papa en Europa se utilizaba para alimentación animal, dado que no era un cultivo bien visto por las personas, llegando hasta el punto de dispersarse rumores de que su consumo podría ocasionar enfermedades como raquitismo, sífilis y lepra<sup>5</sup>.

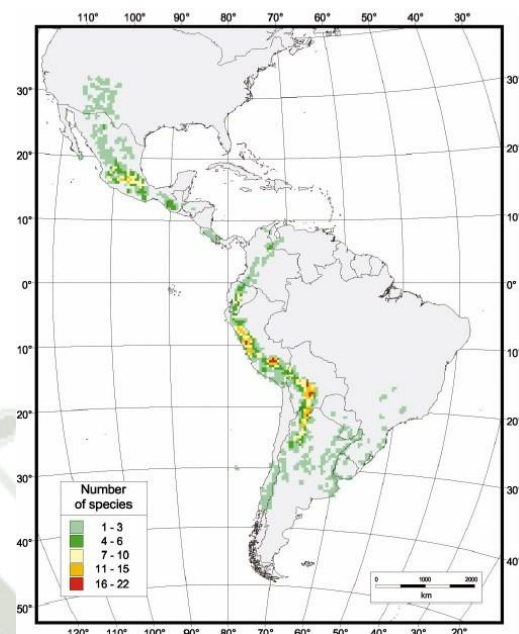
No fue hasta el siglo XVIII en el que los campesinos se dieron cuenta de que la papa podría ser un buen sustituto de los alimentos clásicos ante cosechas pobres de los mismos. Alrededor de la misma época ocurrió la gran “hambruna de la papa” en Irlanda, que desafortunadamente

tuvo lugar dado que la papa se había vuelto prácticamente el cultivo principal del país europeo que era continuamente azotado por la guerra y sus tierras de cultivo eran arrasadas excepto los tubérculos que se encontraban bajo tierra. No obstante, al no haber variedad genética de la planta, significó que todas eran susceptibles a la misma enfermedad, por lo que una gran cantidad de cultivares se perdieron debido a una enfermedad fúngica, causando escasez de alimento y, en consecuencia, la muerte de miles de personas<sup>5</sup>.

Más adelante, los viajeros y comerciantes introdujeron la papa a regiones asiáticas como China, Japón, India e Indonesia; y finalmente a regiones africanas como Egipto y Rwanda<sup>5</sup>.

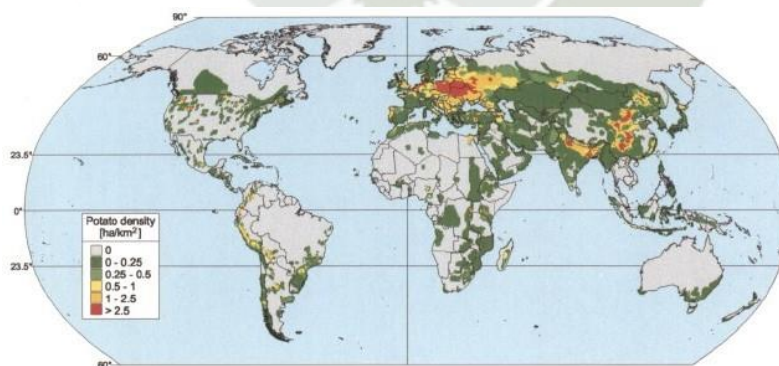
### 1.1.3. Ubicación Geográfica

El continente americano es el lugar originario de las papas salvajes. En total son 16 países donde se pueden encontrar estas especies no domesticadas, siendo estos: Argentina, Bolivia, Brazil, Chile, Colombia, Costa Rica, Ecuador, Guatemala, Honduras, México, Panamá, Paraguay, Perú, Estados Unidos, Uruguay y Venezuela. Hijmans & Spooner<sup>6</sup> elaboraron un mapa acerca de la localización de algunas especies de papas salvajes que figuraban en diversas bases de datos y expediciones, cuya distribución se puede observar en la Figura 2. De esta imagen se puede concluir que, hasta el momento de este análisis, los países que más especies de papas salvajes tenían fueron Perú, Bolivia, Argentina y México<sup>6</sup>.



**Figura 2.** Distribución geográfica de diversas especies de papas salvajes documentadas<sup>6</sup>.  
\*Hijmans & Spooner<sup>6</sup>.

Como se ha descrito con anterioridad, la papa es un cultivo que se ha extendido a nivel global y tiene presencia en los cinco continentes. Sin embargo, a pesar de ser un cultivo originario de América, la mayor densidad de la papa, es decir, la mayor cantidad de hectáreas de la planta por Km<sup>2</sup>, se encuentra en los continentes de Europa y Asia<sup>7</sup> (Figura 3.).



**Figura 3.** Distribución geográfica a nivel mundial de cultivares de papa<sup>7</sup>.  
\*Hijmans<sup>7</sup>

#### 1.1.4. Clasificación Taxonómica

Existen cerca de 200 especies de papas salvajes en el continente americano, además de contar con más de 5000 variedades de papa que aún se cultivan en los Andes<sup>1</sup>. La clasificación taxonómica se encuentra explicada detalladamente en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Clasificación Taxonómica de la Papa

Clasificación Taxonómica para <i>Solanum tuberosum</i>		
Reino	:	Plantae (Vegetal)
Subreino	:	Viridiplantae (Plantas verdes)
Infrareino	:	Streptophyta (Plantas terrestres)
Superdivisión	:	Embryophyta
División	:	Tracheophyta (Plantas vasculares)
Subdivisión	:	Spermatophytina (Plantas con semilla)
Clase	:	Magnoliopsida
Superorden	:	Asteranae
Orden	:	Solanales
Familia	:	Solanaceae (Solanáceas)
Género	:	Solanum
Especie	:	Solanum tuberosum

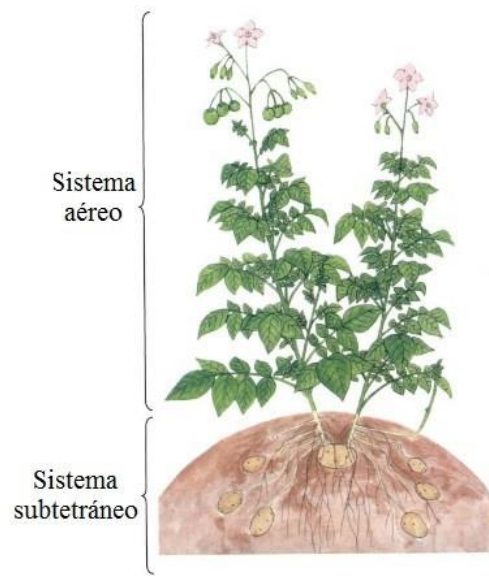
\*Integrated Taxonomy Information System (ITIS)<sup>8</sup>.

Las variedades de papa se clasifican de tres maneras: por su origen, por su color y por su uso. Por su origen se dividen a su vez en papas nativas, que son más harinosas; y en modernas, que son menos harinosas. Por su color se dividen en papas blancas o de color, que puede ser rojizo, morado o marmoleado. Finalmente, por su uso se dividen en papas amargas, amarillas e industriales<sup>9</sup>.

Algunas de las variedades de papa que se cultivan con mayor importancia en el Perú son la papa amarilla, canchán, leona, huayro, guinda gaspar, huamantanga, negra, colorada, peruanita, perricholi, tomasa, lombriz, shiri, yungay, huagalina, sirina y muru piña. En este estudio nos centraremos en tres de ellas: canchán, tomasa y huayro.

### 1.1.5. Características del cultivo

La papa es una planta herbácea y perenne, es decir, que vive durante más de dos años. Esta posee un sistema aéreo que realiza las labores de fotosíntesis y reproducción; y un sistema subterráneo que se encarga de absorber nutrientes para la planta, así como de almacenarlos<sup>9</sup> (Figura 4.).



**Figura 4.** Morfología de la planta *Solanum tuberosum*<sup>9</sup>. \*Egúsquiza<sup>9</sup>

En la parte aérea, las hojas están densamente distribuidas y se posicionan en un ángulo recto al tallo<sup>10</sup>. Los entrenudos del tallo son cortos, y las flores son de color blancas o violetas con estambres amarillos. El tubérculo de la planta suele tener una forma ovalada o más o menos redonda, con un interior de color blanquecino o amarillento y una cáscara cuyo color puede variar entre rojo, rojizo, amarillento, marrón claro y oscuro o violeta<sup>9</sup>.

La papa debe ser sembrada en un clima similar al altiplánico peruano, esto es, un clima templado y seco, con ausencia de heladas. El suelo debe estar libre de plagas y ser profundo, suelto, de buen drenaje y rico en materia orgánica, con un pH comprendido entre 4.8 y 7.0. Deben evitarse dentro de lo posible la incidencia de aguas de escorrentías y lluvias, que puedan dañar los cultivos<sup>11</sup>.

### 1.1.5.1 *Solanum tuberosum* var. *canchán*

La papa variedad *canchán* fue entregada a los agricultores en 1990 para su comercio; esta fue el resultado de programas de mejoramiento genético efectuado en conjunto por el Centro Internacional de la Papa (CIP) y el Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA, por lo cual su nombre completo es “Papa INIA 303 – Canchán” ero coloquialmente se le denomina papa rosada. Entre sus características más destacables se encuentran su precocidad, es decir, su rápido crecimiento; su alto rendimiento, su tolerancia a heladas y su alta tolerancia al tizón tardío (*Phytophthora infestans*), enfermedad de naturaleza fúngica que es la que causa la mayor cantidad de pérdidas en el cultivo de la papa<sup>12</sup>.

Esta variedad se adapta a zonas de la costa y la sierra entre 2000 y 3500 msnm. La planta posee una altura media de 90 cm, con escasas flores violetas y tiene un período vegetativo de 120 días. El tubérculo es redondo y se pueden conseguir de entre 14 a 25 tubérculos por planta; el color de la cáscara es rojizo mientras que el color del interior es blanco (Figura 5.).



**Figura 5.** Características de la planta y el tubérculo de la papa *Canchán*<sup>12</sup>. \*INIA<sup>12</sup>

### 1.1.5.2. *Solanum tuberosum* var. *peruanita*

La papa variedad *peruanita*, es una variedad de papa nativa amarilla que se puede encontrar por sobre los 3000 msnm, en departamentos como Huánuco, Pasco, Junín, Apurímac y Huancavelica.<sup>9</sup> Las flores de la planta son de un color morado intenso, mientras que el color de la piel del tubérculo es amarillo con rojo como se puede observar en la Figura 6. Por otra parte, la pulpa es de un color amarillo claro y la forma del tubérculo puede ser redonda u ovalada<sup>13</sup>.

Puede adaptarse a una altura de 3000 hasta 4000 msnm y puede tener desde 8 hasta 18 tubérculos por planta, lo que se traduce en un rendimiento de 0.4 a 0.7 kg por planta, y por lo cual la hace una variedad con un buen rendimiento. Es medianamente susceptible al tizón tardío y a vulnerable a las heladas y a los golpes mecánicos<sup>9, 13</sup>.



**Figura 6.** Tubérculos de papa *Peruanita*.<sup>9</sup> \*Egúsqiza<sup>9</sup>

### 1.1.5.3. *Solanum tuberosum* var. *única*

Esta variedad de papa fue desarrollada por el CIP (Centro Internacional de la Papa) y liberada en el Perú en 1998. Naturalmente, la variedad *única* es resistente a diversos virus que afectan a la papa, ya que fue producto de un programa de mejoramiento llamado “Resistencia a Virus de Tierras Bajas Tropicales del CIP”<sup>14</sup>.

Esta variedad se siembra tanto en la costa como en la sierra peruana pero también se siembra en muchos países alrededor del mundo como China, Tayikistán y ciertas zonas en África<sup>14</sup>. Su planta posee flores de un color violáceo pálido y produce tubérculos alargados u ovalados, con piel roja y pulpa blanca (Figura 7), siendo propicia para preparar frituras y chips<sup>9</sup>.



**Figura 7.** Tubérculos de papa *Única*<sup>14</sup>. \*CIP<sup>14</sup>

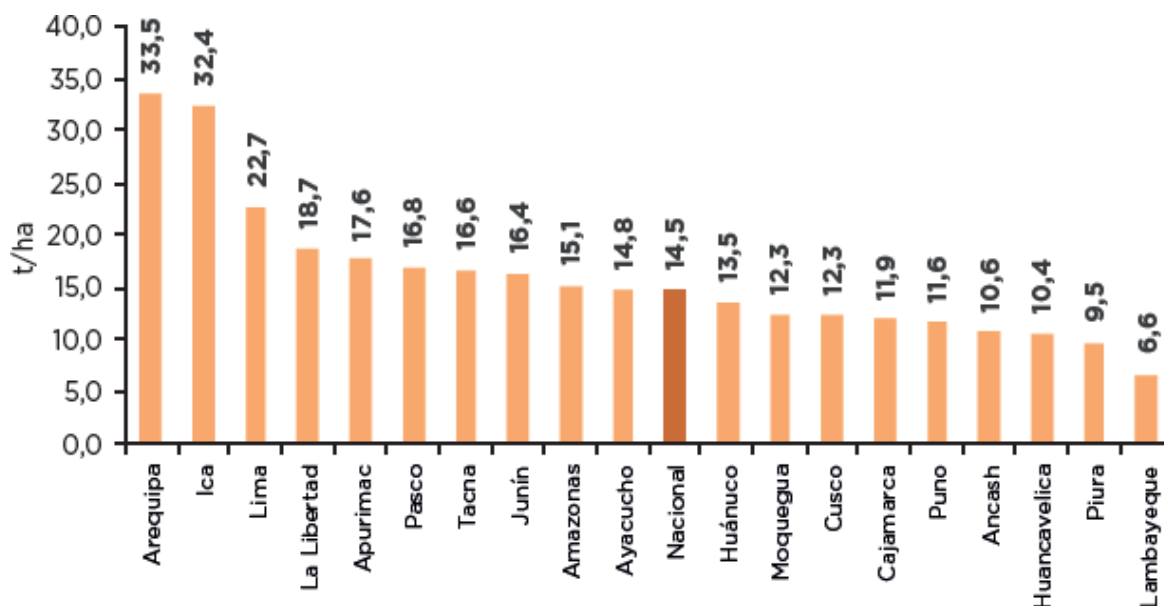
#### 1.1.6. Rendimiento del cultivo

El Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MINAGRI) en Perú, ha reportado que el rendimiento promedio de papa en el país es de aproximadamente 13.3 *t/ha*. En la costa el promedio puede llegar a 25 *t/ha* pero depende mucho de la variedad de la papa sembrada, así como del clima, condiciones de riego y otros<sup>15</sup>.

Seminario *et al* realizaron un estudio en la ciudad de Cajamarca, Perú, en el cual se propusieron determinar el rendimiento de 17 cultivares de papa de distintas variedades. Como variables utilizaron la precipitación, la humedad relativa, la temperatura y el brillo solar (fotoperíodo), obteniendo rendimientos de 8.2 *t/ha* a 27.4 *t/ha*, siendo el promedio de 15.5 *t/ha*<sup>16</sup>.

En el resto del Perú, las regiones que más rendimiento por hectárea poseen son Arequipa, Ica y Lima, mientras que las que menos rendimiento poseen son Huancavelica, Piura y Lambayeque (Figura 8). Sin embargo, es importante mencionar que de las 19 regiones que

producen papa a nivel nacional, son 10 las que superan el rendimiento promedio por hectárea<sup>17</sup>.



**Figura 8.** Rendimiento promedio por hectárea por departamento en el Perú<sup>17</sup>.

\*MINAGRI-DGESEP<sup>17</sup>

En Chile, en el año de 1961, se obtenían solo 8.8 t/ha pero hacia el año 2011 ya se conseguían rendimientos cercanos a 24 t/ha. Esta optimización se dio debido a un mejor manejo del cultivo en cuanto a la calidad de la semilla, el uso de fertilizantes, insecticidas, fungicidas y una irrigación ideal. Adicionalmente, el estudio de Haverkort *et al*<sup>18</sup> incluyó una encuesta en la cual se consultó a varios agricultores sobre los rendimientos de sus cultivares, obteniendo como respuesta rendimientos que fueron de entre 20 t/ha a 50 t/ha, siendo el promedio 31 t/ha. Cabe destacar que, según este estudio, las simulaciones de rendimiento teórico indican que se podría obtener más del doble de lo que se consigue actualmente<sup>18</sup>.

A nivel mundial, en el año 2019, se tuvo un promedio de 21.36 t/ha. Mientras que hay países que tienen un bajo rendimiento como Angola (7.12 t/ha), Bolivia (7.15 t/ha) y Botswana (2.12 t/ha), también existen múltiples países como Australia (37.8 t/ha), Bélgica (41.01 t/ha) y Estados Unidos (50.31 t/ha) que tienen rendimientos más que aceptables<sup>19</sup>.

### 1.1.7. Valor Nutricional y Composición

La papa, más específicamente el tubérculo comestible, posee una gran cantidad de carbohidratos, que componen aproximadamente el 75% del peso seco, y de los cuales el más importante es el almidón. Asimismo, provee de una buena cantidad de proteínas, de fibra dietética y de vitamina C y algunas del complejo B, además de minerales como potasio, hierro y magnesio<sup>20</sup>. Los componentes de la papa en una base de peso fresco se pueden apreciar en la Tabla 2a y 2b.

**Tabla 2a.** Composición química de la papa en una base de peso fresco

Componente	Contenido
Materia seca	15 - 28%
Almidón	12.6 - 18.2%
Glucosa	0.01 - 0.6 %
Fructosa	0.01 - 0.6 %
Sacarosa	0.13 - 0.68 %
Fibra dietética	1 - 2%
Grasa	0.075 - 0.2%
Proteína	0.6 - 2.1%
Asparagina	110 - 529 mg / 100 g
Glutamina	23 - 409 mg / 100 g
Prolina	2 - 209 mg / 100 g
Otros aminoácidos	0.2 - 117 mg / 100 g
Polifenoles	123 - 441 mg / 100 g
Carotenoides	0.05 - 2 mg / 100 g
Tocoferoles	Hasta 0.3 mg / 100 g
Tiamina B1	0.02 - 0.2 mg / 100 g

**Tabla 2b.** Composición química de la papa en una base de peso fresco (Continuación).

Componente	Contenido
Riboflavina	0.01 - 0.07 mg / 100 g
Vitamina B6	0.13 - 0.44 mg / 100 g
Vitamina C	8 - 54 mg / 100 g

Vitamina E	0.1 mg / 100 g
Ácido Fólico	0.01 – 0.03 mg / 100 g
Nitrógeno	0.2 – 0.4 %
Potasio	280 – 564 mg / 100 g
Fósforo	30 – 60 mg / 100 g
Calcio	5 – 18 mg / 100 g
Magnesio	14 – 18 mg / 100 g
Hierro	0.4 – 1.6 mg / 100 g

\*Singh, J & KL<sup>21</sup>

El tubérculo provee una cantidad baja de contenido calórico y por consiguiente, de energía, alrededor de 75 Kcal por papa hervida, en comparación a otros alimentos como los cereales. Esto se debe a la mínima cantidad que posee de grasas. Sin embargo, es una fuente muy rica en antioxidantes como polifenoles, ácido ascórbico, carotenoides y tocoferoles<sup>20</sup>.

Entre las sustancias antioxidantes que tienen algunas variedades de papas, se encuentran las denominadas antocianinas, cuya presencia es usualmente característica de colores azules, violetas y rojizos en las plantas. Adicionalmente, todas las cáscaras de papa tienen un cierto grado de carotenoides en ellas, también antioxidantes, cuya cantidad es notoriamente alta especialmente en aquellas variedades de colores amarillentos o anaranjados<sup>20</sup>.

En cuanto a la fibra dietética que aporta, que es aproximadamente el 2.3% del peso total del tubérculo, esta se concentra más en la cáscara (22.6% de la fibra total en peso seco) que en la pulpa(7.5%)<sup>20</sup>.

La cantidad de proteínas que aporta la papa es baja (1.7 a 2.1 g por cada 100 g de papa hervida), por lo que no se le considera una importante fuente de proteínas frente a otros tipos de alimentos. A pesar de esta limitación, la papa tiene altos niveles de aminoácidos esenciales como lo son la lisina, leucina, treonina, fenilalanina y valina; no obstante, tiene bajos niveles de aminoácidos azufrados como metionina y cisteína como se ve en la Tabla 3, siendo necesaria una suplementación con otros alimentos para lograr una dieta balanceada<sup>21</sup>

**Tabla 3.** Composición por aminoácido de la proteína de la papa

<b>Aminoácido</b>	<b>Rango (%)</b>	<b>Aminoácido</b>	<b>Rango (%)</b>
Alanina	4.62 – 5.32	Lisina	6.70 – 10.1
Arginina	4.74 – 5.70	Metionina	1.20 – 2.15
Ácido Aspártico	11.9 – 13.9	Fenilalanina	4.80 – 6.53
Cisteína	0.20 – 1.25	Prolina	4.70 – 4.83
Ácido Glutámico	10.2 – 11.8	Serina	4.90 – 5.92
Glicina	4.30 – 6.05	Treonina	4.60 – 6.50
Histidina	2.10 – 2.50	Triptófano	0.30 – 1.85
Isoleucina	3.73 – 5.80	Tirosina	4.50 – 5.68
Leucina	9.70 – 10.3	Valina	4.88 – 7.40

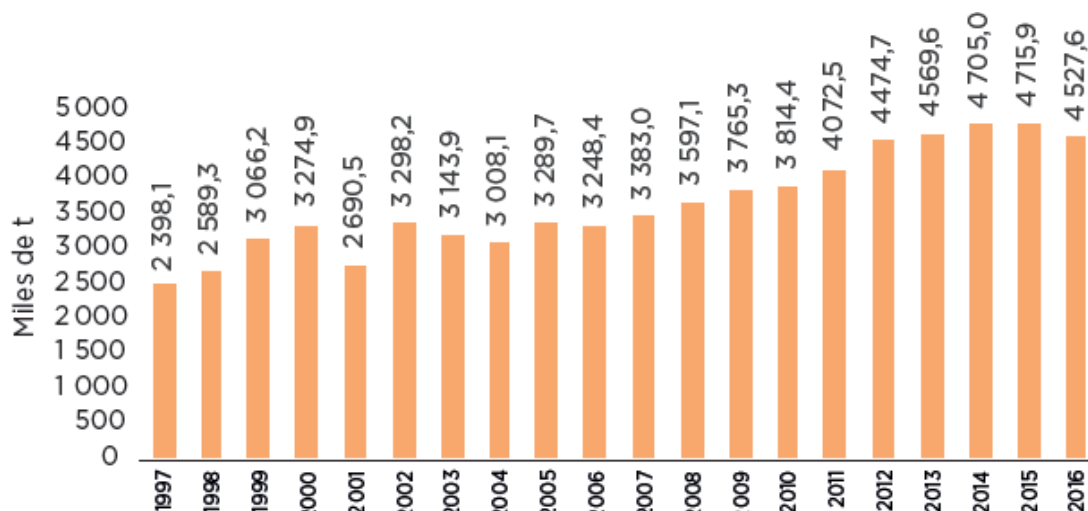
\*Lisinska, G. & Leszczinski W. Potato Science and Technology<sup>22</sup>

Como ya se ha mencionado con anterioridad, otro de los componentes importantes de las papas son los glicoalcaloides, sustancias tóxicas pero que se encuentran en cantidades mínimas en las variedades consumibles y no representan un peligro para la salud de quien lo ingiera.

### 1.1.8. Producción en el Perú

Perú se encuentra dentro de los 20 principales productores de papa a nivel mundial. En el IV Censo Nacional Agropecuario que se llevó a cabo en el 2012, se registraron 367.7 mil hectáreas de papa sembradas en el país, que son el sustento de más de 710 mil familias<sup>23</sup>, que usan la producción tanto para su comercialización como para consumo propio.

La producción de papa en el país ha tenido una tendencia mayoritariamente ascendente a través de los años, pasando de 1 364.3 a 4 527.6 miles de toneladas entre 1950 y 2016 (Figura 9). Los grandes contribuyentes a este incremento son el aumento de la superficie cosechada y del rendimiento, gracias a unas mejores técnicas de manejo del cultivo<sup>17</sup>.



**Figura 9.** Producción de papa en el Perú entre los años 1997 y 2016<sup>17</sup>.

\*MINAGRI-DGESEP<sup>17</sup>

La papa es un cultivo que se cosecha prácticamente durante todo el año, no obstante, en el primer semestre del año es cuando se consigue la mayor cantidad de la producción nacional, siendo esta el 71,8%, que se obtiene de la cosecha de la Sierra, mientras que en el segundo semestre se cosecha el 28,1%, que se obtiene de regiones costeras y valles interandinos<sup>17</sup>.

Por zonas de producción, el 47,1% de la producción nacional corresponde a 7 departamentos de la Sierra Sur del país (Puno, Apurímac, Cusco, Arequipa, Ayacucho, Moquegua y Tacna), el 28,5% a las regiones de la Sierra Centro (Huánuco, Junín, Huancavelica y Pasco), el 20,3% a regiones de la Sierra Norte (La Libertad, Cajamarca, Ancash, Amazonas, Piura y Lambayeque); y, el 4,1% restante, a la Zona Centro Costa (Lima e Ica)<sup>17</sup>.

### 1.1.9. Usos e Importancia

El año 2008 fue denominado el Año Internacional de la Papa por la Organización de las Naciones Unidas, siendo un movimiento para generar conciencia pública acerca de la importancia de la papa y su potencial rol en respaldar la seguridad alimentaria y la reducción de la pobreza<sup>24</sup>.

En el Perú, la papa es el segundo cultivo más importante a nivel agrícola, constituyendo un 10.5% del Valor Bruto de Producción agrícola (VBP) en el 2018, movilizándolo una cantidad total de S/. 21 886 millones de soles en el mismo año<sup>25</sup>; y siendo responsable en el año 2016 de la creación de 33.4 millones de jornales<sup>17</sup>. Por lo tanto, la papa es un cultivo con el que se puede generar trabajo, reducir la pobreza y el hambre; y aportar a la economía del hogar de muchas familias de manera directa (siembra) como indirecta (procesamiento industrial).

#### **1.1.9.1. Usos en la alimentación humana**

La papa es el cuarto alimento más consumido a nivel mundial. Su consumo se divide en dos tipos de preparaciones: domésticas y procesadas. Las preparaciones domésticas suelen darse directamente horneando o hirviendo la papa, con o sin cáscara o indirectamente, realizando pasos previos a la cocción como picado o rallado antes de una fritura. La literatura ha reportado mayores pérdidas de nutrientes en las preparaciones que requieren más de dos pasos en comparación a las que se hacen directamente. En ciudades costeras de Perú, el consumo de papa por persona puede llegar desde 50 a 100 Kg por persona en un año<sup>26</sup>.

Las preparaciones procesadas se hacen con la finalidad de aumentar la vida útil de la papa, darle un valor agregado, cambiar el estilo de consumo, evitar deterioros y pérdidas y de transformar el tubérculo en una forma más conveniente para ser consumido. Estas presentaciones pueden ser enhojuelas (chips) y enlatados, así como papas congeladas y deshidratadas<sup>27, 28</sup>.

#### **1.1.9.2. Usos en la alimentación animal**

La mayor cantidad del cultivo de papa es dirigido al ser humano, sin embargo, la papa industrializada o procesada genera subproductos que pueden ser utilizados por los animales. De igual manera, el follaje o parte aérea de la planta no es aprovechable para la alimentación humana a pesar de que tiene una cantidad de proteína múltiples veces mayor

a la del tubérculo. Por ello, algunos subproductos del proceso productivo de la papa pueden ser destinados a la alimentación animal, a manera de un manejo integral del cultivo y una disminución de los residuos.

La papa se introdujo mayoritariamente en la alimentación de los cerdos, pero también puede incluirse de forma limitada en la comida de ganado vacuno, ovejuno, caballos y aves. Los tubérculos frescos o cocidos pueden picarse con forraje y ensilar; los rastrojos pueden ensilarse directamente. De igual manera, se puede utilizar la harina de papa como un sustituto parcial de la harina de maíz, ya que no tienen el mismo valor nutricional<sup>29</sup>.

#### **1.1.9.3. Usos medicinales**

Los componentes antioxidantes que poseen las papas les dan excelentes propiedades medicinales. Existe un estudio en el que los extractos de antocianinas de diferentes papas tuvieron efectos antivirales. En otro reporte, extractos de antocianinas y papas de color al vapor lograron inhibir el crecimiento de cáncer al estómago en ratones al ser administrados oralmente. Y como un último ejemplo, el consumo de hojuelas o chips de papas con alto contenido de antocianinas protegió a ratas ante el estrés oxidativo inducido por una dieta alta en colesterol y, en consecuencia, de daño hepático<sup>21</sup>.

Además, se ha reportado en la literatura algunos ensayos clínicos que buscan identificar las propiedades medicinales de ciertos preparados de la papa, ya que, en la medicina tradicional de Europa, las papas crudas son usadas para tratar desórdenes gastrointestinales, o como preparaciones tópicas aplicables para el dolor. Estos ensayos han concluido que es probable que las preparaciones de papa cruda sean útiles en el tratamiento de gastritis e indigestión, también es probable que ayude a la reducción de peso, y que un preparado tópico ayude en el tratamiento de algunas inflamaciones cutáneas (dermatitis), aunque aún no hay suficiente información para asegurar sus propiedades con exactitud<sup>30</sup>.

#### **1.1.9.4. Otros usos**

La papa es uno de los cultivos más estudiados para la exploración espacial, específicamente en el planeta Marte. El suelo marciano es rico en sales minerales y deficiente en materia orgánica, los cuales son los principales retos a superar para el crecimiento y desarrollo de la planta. Actualmente, la NASA está realizando investigaciones en el desierto de Pampas La Joya, en Perú, ya que sus condiciones climáticas y de suelos son muy similares al del planeta rojo. Ramírez *et al* probaron hacer crecer 65 genotipos de papa bajo estas condiciones extremas, teniendo resultados muy prometedores debido a que el 40% no solo sobrevivieron, sino que algunas variedades tuvieron altos rendimientos<sup>31</sup>.

Las industrias procesadoras de papa suelen tener el lavado y el pelado como las primeras operaciones que llevan a cabo. Sin embargo, estos pasos son los que dejan gran parte de los residuos de estas industrias, especialmente el pelado en el cual se desecha la cáscara y un poco de la pulpa que es rica en almidón. Este carbohidrato es perfecto como un suplemento de materia orgánica para el crecimiento de bacterias, por lo que se ha propuesto el uso de estos residuos como una fuente potencial para la producción de bioetanol y biofertilizantes<sup>32</sup>. En microbiología, la papa se utiliza para preparar el medio PDA (Potato Dextrose Agar). Esta constituye un material imprescindible para la aportación de una fuente de carbono y de nitrógeno, así como de vitaminas y minerales para este medio de cultivo general tan ampliamente usado.

Finalmente, se puede usar también como una fuente para preparar bebidas espirituosas o destilados, como el vodka.

## 1.2. Almidón

### 1.2.1. Estructura y Localización

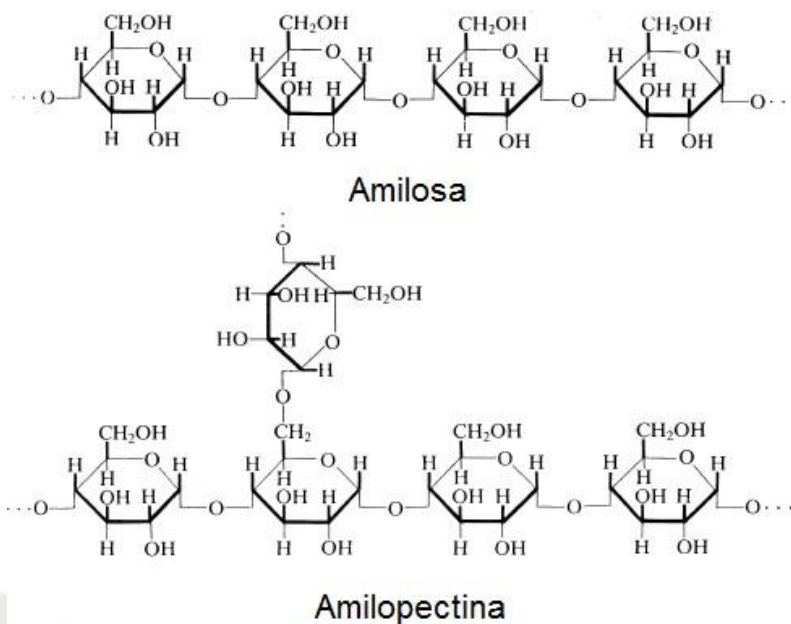
El almidón es la segunda biomolécula más abundante del mundo, siendo superado solo por la celulosa. El almidón es un polisacárido formado por dos tipos de polímeros de glucosa: la amilosa y la amilopectina, aunque también posee un cierto grado de humedad, lípidos, proteínas y minerales que se encuentran en la matriz del gránulo de almidón o dentro del

complejo del polímero del almidón.

El contenido de amilosa suele variar entre 14 y 27% dependiendo de la fuente, aunque hoy en día hay variedades especiales que pueden contener hasta 99% de amilopectina o hasta 70% de amilosa. En el caso del almidón de papa, se ha reportado que tiene aproximadamente un 21% de amilosa y un 79% de amilopectina<sup>33</sup>.

La amilosa es un polímero de cadena lineal, formado por moléculas de glucosa unidas por enlaces glucosídicos  $\alpha(1,4)$ . La amilosa tiene la propiedad de formar complejos con el yodo, que son reconocibles a simple vista por su fuerte color azul<sup>33</sup>. La amilosa es una molécula relativamente pequeña, con una masa molecular de  $10^6$  Da, pero por el ángulo de torsión del enlace glucosídico  $\alpha(1,4)$  de sus moléculas, esta tiende a adoptar una estructura helicoidal, dando una vuelta cada 6 unidades de glucosa<sup>34</sup>.

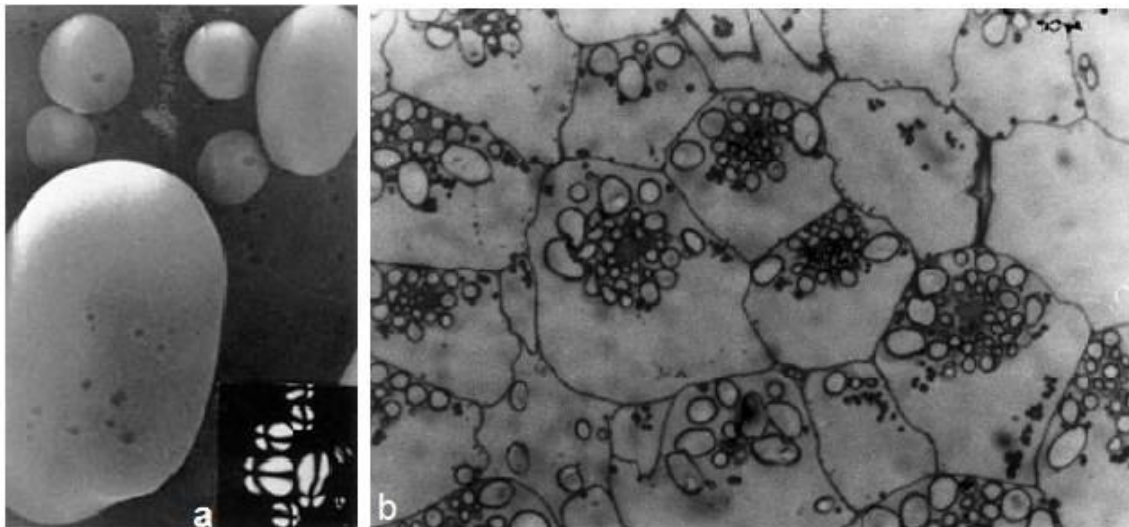
La amilopectina es un polímero más complejo, aunque la estructura principal sigue siendo de moléculas de glucosa unidas por enlaces glucosídicos  $\alpha(1,4)$ , cada 10-12 unidades de glucosa se puede encontrar una ramificación con enlace glucosídico  $\alpha(1,6)$ , cuya cadenas secundaria formadasuele ser de 20 a 30 moléculas de glucosa de longitud (Figura 10.). La amilopectina es una moléculamás grande que la amilosa, teniendo una masa molecular de  $10^9$  Da<sup>34</sup>.



**Figura 10.** Estructura de la amilosa y la amilopectina<sup>33</sup>.

\*Dziedzic, S.Z. & Kearsley MW<sup>33</sup>

El almidón se encuentra en las células vegetales en forma de gránulos (Figura 11. a), que varían en tamaño y forma dependiendo del material vegetal y de qué parte de este proviene (Figura 11. b). ya que se encuentra de forma más abundante en semillas, raíces y tubérculos, pero también puede encontrarse en tallos, hojas y frutos. Su forma puede llegar a ser esférica, ovalada, poligonal, túbulos irregulares y otros; y por otra parte, su tamaño puede ir desde 0.1 hasta por lo menos 200  $\mu\text{m}$ <sup>35</sup>.



**Figura 11.** a) Gránulo de almidón de papa visto a través de Microscopía Electrónica de Barrido. (Izquierda) y, b) Gránulos de almidón en células de papa. (Derecha) <sup>35</sup>.

\*BeMiller *et al*<sup>35</sup>.

Otra propiedad importante de los gránulos de almidón es que no son solubles en agua a temperatura ambiente. Esto es debido a que poseen una estructura cristalina que varía entre un 15% a un 45% de cristalinidad en gránulos naturales, estructura que comienza a perder su forma más o menos a partir de los 60 °C, en cuyo caso puede ingresar agua a la estructura compacta del almidón y hacer que este se hinche<sup>34</sup>.

Los gránulos de almidón tienen una estructura con forma de capas, semejantes a los de una cebolla. El crecimiento inicia a partir del hilum, que es el punto donde se originan las primeras moléculas de amilopectina y el crecimiento se da en forma alternada entre capas cristalinas y no cristalinas o amorfas. Las zonas cristalinas son ricas en moléculas de amilopectina lineares helicoidales, mientras que las zonas amorfas son ricas en moléculas de amilopectina ramificadas<sup>34</sup>.

### 1.2.2. Función fisiológica del almidón

Tanto los animales como las plantas poseen reservas de energía para sus diversos procesos fisiológicos. En ambos, esta reserva puede ser un carbohidrato o grasas en el caso de los animales o aceites en el caso de las plantas. En los animales la reserva de carbohidrato se denomina glucógeno, que es un pequeño polímero de glucosa, y en las plantas se pueden encontrar también carbohidratos pequeños como la sacarosa, aunque la reserva de energía más común y abundante es el almidón<sup>35</sup>.

### 1.2.3. Usos del almidón

El almidón tiene muchas características positivas, por ejemplo, el hecho de ser compostable, su amplia disponibilidad y su bajo costo. Sin embargo, también tiene propiedades negativas, como su tendencia a gelatinizarse luego de ser calentado o hidratado, que lo hacen inadecuado para su uso directo dependiendo de la industria a la cual esté destinado. Es por ello que se suelen realizar modificaciones físicas o químicas al almidón para potencializar sus propiedades útiles y minimizar sus defectos<sup>36</sup>. Esto constituye a su vez un proceso de biorrefinería, que es un proceso mediante el cual se convierte biomasa en energía u otros materiales con mayor utilidad.

El almidón se ha usado como un adhesivo desde el antiguo Egipto, práctica que continúa hasta el día de hoy. Mediante varios métodos como la adición de ácidos, álcalis o sales y el aumento de la temperatura o presión, se pueden obtener pastas adhesivas de diferentes propiedades y características organolépticas que se pueden destinar a usos varios en las industrias del papel, madera, textiles y otros<sup>37</sup>.

Un campo donde encuentra amplia aplicación es en la industria de la alimentaria, en donde se utiliza para agregar densidad o viscosidad a ciertas comidas como sopas, salsas o pudines. Adicionalmente, el almidón es un gran componente del polvo de hornear, que sirve para preparar pan, tortas y otros postres. Otro uso en la industria alimentaria es el de los

edulcorantes. La hidrólisis del almidón, al estar formado por moléculas de glucosa, produce monosacáridos y polisacáridos, cuyo producto se conoce como jarabe de glucosa<sup>35</sup>.

En la industria textil, el almidón y sus derivados se utilizan para endurecer lanas y mejorar su resistencia a la abrasión durante el tejido. También se usa en los acabados, para cambiar las características organolépticas del tejido como la textura y la apariencia; y para glasear o pulir hilo de coser. Finalmente, se les usa también en estampados, manteniendo los colores en su lugar y evitando así que los colores se difundan al resto de la prenda por capilaridad<sup>37</sup>.

### 1.2.3.1 Biorrefinerías

A partir de la revolución industrial y de la invención de los primeros motores, el ser humano se ha vuelto muy dependiente de la energía que producen los combustibles fósiles, cuyo uso en toda industria han traído consecuencias negativas en el aspecto ambiental, social y de salud. Debido a esto es que se tiene como objetivo el sustituir la energía obtenida del petróleo y los aceites por energías que provengan de fuentes naturales, como la solar o la eólica<sup>38</sup>.

Como ya se ha mencionado la biorrefinería es el proceso de obtener productos a partir de fuentes renovables. Los motivos para promover este cambio de fuente energética son muchos, entre ellos tenemos<sup>38</sup>:

- Escasez futura de los combustibles fósiles.
- Precios exorbitantes de los combustibles fósiles.
- Evitar la dependencia de los recursos de otros países.
- El cambio climático.
- Desarrollo de las comunidades rurales.
- Etc.

Lamentablemente, también existen adversidades a las cuales hace falta hacer frente para que estatecnología sea viable. Por lo general, el costo de una ruta a partir de biomasa es mayor al costo que se tendría si se hubiera usado petróleo o sus derivados, sin embargo,

es posible tener productos que sean rentables, como lo son actualmente el etanol, la acetona, el butanol y el ácido láctico<sup>38</sup>.

Algunas maneras de hacer las biorrefinerías económicamente rentables son la innovación tecnológica, la creación de plantas a gran escala y especialmente, la coproducción, esto es, que una misma biorrefinería debe producir más de un producto para el mercado<sup>39</sup>.

#### **1.2.4. Modificaciones fisicoquímicas del almidón**

##### **1.2.4.1. Modificaciones físicas**

En primer lugar, se tiene al almidón, sin destruir la estructura del gránulo. Esta se lleva a cabo elevando la temperatura del almidón, que vendría a constituir una modificación Hidrotérmica, que es un procedimiento que altera las propiedades físicas del en presencia de agua, pero siempre manteniéndola por debajo de la temperatura de gelatinización, esto permitirá que las regiones amorfas del gránulo se conviertan en estructuras semi-cristalinas. Suele usarse como un pre- tratamiento debido a que los cambios durante este proceso hacen que el gránulo de almidón sea más susceptible a modificaciones químicas y a las acciones de ciertas enzimas. En adición a ello, este procedimiento mejora la plasticidad y cambia la textura de la pasta de almidón<sup>40</sup>.

Existe también la modificación por ultrasonificación, que ocasiona que el almidón aumente su solubilidad en agua, disminuye su capacidad de gelatinización y disminuye también la viscosidad de la pasta. Esta técnica también se puede usar como un pre-tratamiento ya que los poros y rupturas que origina en la estructura interior del gránulo hacen que este sea susceptible a otras modificaciones de una forma más eficiente. Los beneficios más resaltantes de esta técnica es que es eco amigable, aumenta el rendimiento y pureza del producto, reduce el costo de producción y el consumo energético del proceso<sup>37</sup>.

El método de tratamiento por Alta presión hidrostática involucra el sometimiento de

material alimentario a presiones de 100 hasta 1000MPa a temperatura ambiente con la finalidad de modificar y esterilizar el alimento. Este tratamiento logra la gelatinización del almidón a temperatura ambiente pero no logra alterar a todos los gránulos de almidón, haciendo que algunos queden intactos. Se ha reportado que los gránulos de almidón comienzan a presentar cambios en su estructura entre los 60 y 80 MPa. Una aplicación del almidón presurizado puede ser como un sustituto de grasas, ya que poseen similitudes con las micropartículas de grasa en cuanto al tamaño de partícula uniforme<sup>37</sup>.

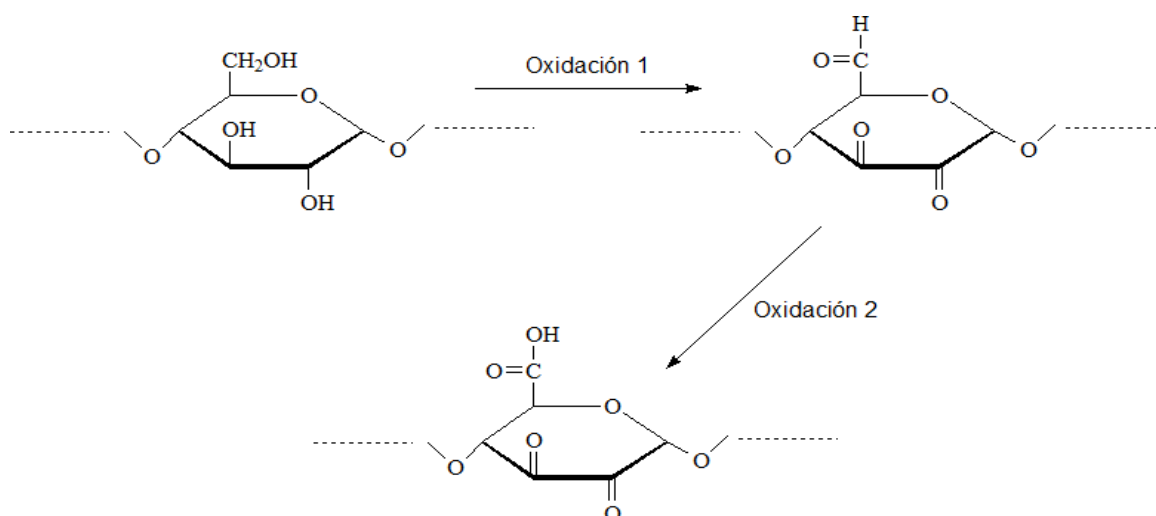
La modificación por microondas, como su nombre lo indica, consiste en someter a los gránulos de almidón a la presencia de microondas. Las microondas son ondas electromagnéticas con frecuencias que pueden ir desde 300 MHz hasta 300 GHz, sin embargo, el parámetro más usado en la industria alimentaria es el de 2450 MHz. Los beneficios de utilizar este método frente a los tratamientos de hidrotérmicos convencionales, son el menor costo y menor consumo energético, su alta eficiencia y su rapidez de iniciación, mientras que un inconveniente sería que no todos los gránulos son irradiados de forma homogénea. Mediante este tratamiento, el almidón presenta cambios en la textura de su pasta, en la capacidad de gelatinización e hinchazón del gránulo. Existe un gran potencial para aplicar esta técnica en el procesamiento de agro productos y también en la medicina, ya que se ha estudiado su uso en la liberación controlada de medicamentos<sup>41</sup>.

#### **1.2.4.2. Modificaciones químicas**

##### **1.2.4.2.1. Oxidación**

La oxidación es una reacción bastante común en carbohidratos (almidón), que consiste en convertir los grupos hidroxilo que posee en su estructura a grupos carbonilos, aldehídos y carboxilos (Figura 12.). Algunos agentes oxidantes para el almidón son las sales de hipoclorito, el peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) con permanganato de potasio ( $KMnO_4$ ), tetróxido de dinitrógeno ( $N_2O_4$ ) y oxígeno<sup>42</sup>. Otro poderoso agente oxidante

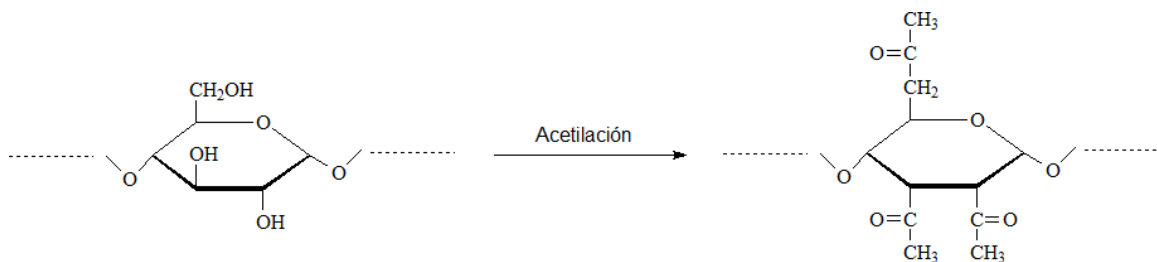
que puede usarse es el ozono. Los almidones ozonizados son bastante útiles como espesantes y lo más importante es que el uso de ozono comprende un proceso eco amigable ya que no deja residuos como en las oxidaciones con sales<sup>43</sup>. El principal uso que encuentran los almidones oxidados es en detergentes, por su biodegradabilidad, a diferencia de las zeolitas convencionales utilizadas en los mismos<sup>42</sup>.



**Figura 12.** Ejemplo de la oxidación de los grupos hidroxilo de una unidad de glucosa del almidón. \*Chung-wai C. & Solarek D.<sup>42</sup>

#### 1.2.4.2.2. Acetilación

La acetilación es una reacción mediante la cual los grupos hidroxilo son reemplazados por grupos acetilo (Figura 13.). Este tipo de almidones suelen conseguirse al reaccionar con anhídrido acético y en condiciones alcalinas. Cabe recalcar que la reacción no es 100% eficiente, por lo que los almidones resultantes pueden tener un grado bajo, medio y alto de sustitución. Aquellos con un grado bajo de sustitución encuentran su aplicación como agentes adhesivos, texturizantes, espesantes y estabilizadores en la industria alimentaria, mientras que aquellos con un grado medio y alto de sustitución pueden ser usados como materiales termoplásticos<sup>39, 44</sup>. Este proceso causa un incremento en la capacidad de hinchazón de los gránulos y una disminución en la temperatura de gelatinización<sup>45</sup>.

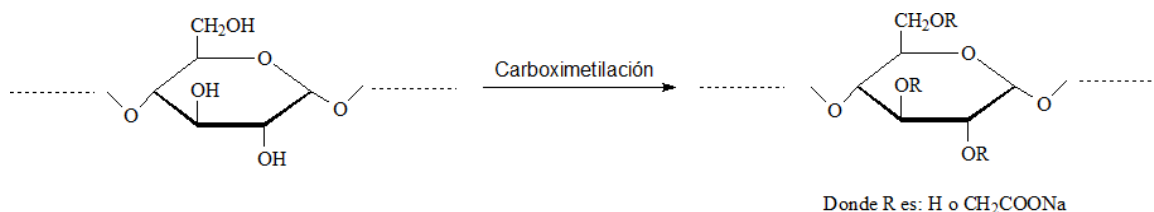


**Figura 13.** Ejemplo de la acetilación de los grupos hidroxilo de una unidad de glucosa del almidón. \*Chung-wai C. & Solarek D.<sup>42</sup>

#### 1.2.4.2.3. Carboximetilación

La carboximetilación es una reacción por la que los grupos hidroxilo del carbohidrato son eterificados con grupos carboximetilo (-CH<sub>2</sub>-COOH) como se observa en la figura 14. Para esto es que se hace entrar en contacto al carbohidrato con ácido monocloroacético (ClCH<sub>2</sub>COOH) o la sal monocloroacetato de sodio (ClCH<sub>2</sub>COONa) en medio alcalino<sup>46</sup>.

Es suficiente con llevar a cabo la reacción en un medio acuoso, pero se han llevado a cabo estudios que concluyen que el medio de reacción es un factor importante en el rendimiento de la reacción y en el grado de sustitución de los almidones modificados, por ejemplo, Kamel & Jahangir<sup>46</sup> probaron varios solventes orgánicos como medios de reacción y el que más destacó por elevar el grado de sustitución, fue el benceno. Es debido a esto que se pueden usar solventes orgánicos puros o mezclas de estos según el tipo de almidón carboximetilado que se desea obtener<sup>46</sup>. Los almidones carboximetilados pueden usarse como agentes adhesivos, espesantes, adsorbentes, en la industria del papel y en otras<sup>47</sup>.

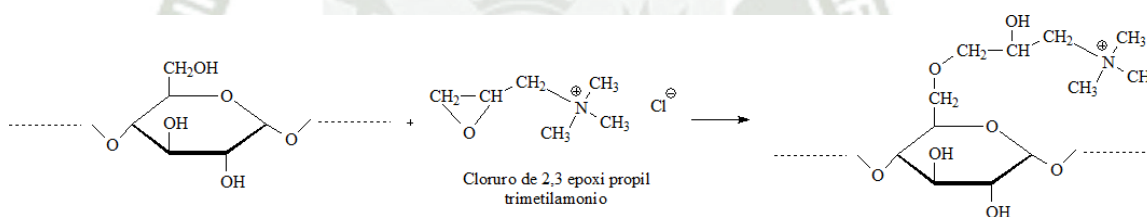


**Figura 14.** Ejemplo de la eterificación y carboximetilación de los grupos hidroxilo de una unidad de glucosa del almidón.

\*Chung-wai C. & Solarek D.<sup>42</sup>

#### 1.2.4.2.4. Cationización

La cationización es una reacción a través de la cual los grupos hidroxilo del almidón se eterifican y se les enlaza con un ión con carga positiva, es decir un catión, como lo pueden ser los grupos amonio, imino, amino, sulfonio o fosfonio. Las reacciones para su obtención suelen darse con cloruro de 2,3-epoxipropiltrimetilamonio como un monómero catiónico (Figura 15.), además, esta se puede dar en seco, en húmedo o en semi-seco, siendo la más usada en la industria la reacción en húmedo<sup>39</sup>. Es importante mencionar que un almidón puede ser cationizado con varios tipos de grupos funcionales catiónicos a la vez, lo cual puede que mejore aún más sus propiedades<sup>42</sup>.



**Figura 15.** Ejemplo de la cationización de una unidad de glucosa del almidón con el agentecatiónico Cloruro de 2,3 epoxipropiltrimetilamonio<sup>48</sup>.

\*Chung-wai C & Solarek D.<sup>42</sup>

En la cationización en húmedo se iniciará con una suspensión de almidón en agua al 40%, elevando el pH entre 11 y 12 con ayuda del agente catiónico o un álcali. También es plausible usar un solvente orgánico, ya sea en una mezcla homogénea o heterogénea<sup>49, 50</sup>. Estas condiciones deberán mantenerse a una temperatura de entre 40°C a 45°C por un tiempo de entre 12 a 16 horas para conseguir un almidón completamente cationizado<sup>39</sup>.

En la cationización en seco, el agente cationizante solo se rocía sobre el almidón seco, mientras que, en el proceso intermedio, el agente cationizante se rocía sobre el almidón durante un proceso de extrusión, en el cual la sustancia es también tratada térmicamente. No obstante, la cationización en húmedo es preferida ya que en la reacción en seco y en semi-seco, el almidón no se cationiza completamente, por lo que puede ser complicado o más costoso separar el almidón que ha reaccionado que aquel que no lo hizo<sup>39</sup>.

Los gránulos de almidón son resistentes a la desintegración cuando están mezclados con agua, lo que significa que el proceso de cationización no tiende a afectar la estructura del gránulo, excepto si se lleva a cabo a muy altas temperaturas. Asimismo, la cationización redujo la temperatura de gelatinización y la temperatura a la cual esta se vuelve una pasta<sup>51</sup>. Algunos factores que influyen en la producción de almidones catiónicos son la cantidad de catalizador alcalino, la temperatura y la composición de la mezcla de reacción: cantidad de reactantes, tipo de solvente, entre otros<sup>52</sup>.

En el caso de la papa, no solo puede utilizarse la pulpa para la obtención de almidones cationizados, sino que también se puede hacer un pre-tratamiento de hidrólisis de su cáscara como lo han logrado Lappalainen *et al.*<sup>53</sup> Estos investigadores partieron de desechos industriales de cáscara de papa, les realizaron una hidrólisis alcalina y procedieron a fabricar el almidón cationizado con el reactivo cloruro de 2,3-epoxipropiltrimetilamonio, resultando un producto con un grado de sustitución similar a los almidones cationizados comerciales<sup>53</sup>.

Los almidones catiónicos han encontrado un gran uso en la industria del papel, como aditivos en húmedo para aumentar la fuerza del papel, como estabilizadores de emulsiones y como un agente de adherencia<sup>42</sup>. Se ha utilizado también como floculante en el tratamiento de aguas residuales sintéticas de sílica y en el tratamiento de suspensiones de agua con finas partículas de manganeso procedentes de una mina, teniendo un gran éxito, incluso teniendo una acción mayor al de los floculantes

comerciales al hacer las comparaciones correspondientes<sup>54</sup>. También se han conseguido almidones catiónicos floculantes con gran eficiencia a partir de un método de reacción en seco<sup>55</sup>.

También en el campo de tratamiento de aguas, se le ha usado como un agente adsorbente para limpiar aguas del colorante textil Azul Ácido 25, usado para teñir lana, seda y materiales mixtos. Los resultados de este estudio fueron excelentes, ya que 1 gramo de almidón cationizado fue capaz de remover 322 mg del colorante a una temperatura bastante aceptable de solo 25°C. Es importante mencionar que la eficiencia de adsorción disminuyó con el aumento de la temperatura<sup>56</sup>. De igual manera, Jiang *et al.*<sup>57</sup> sintetizaron un almidón catiónico con el reactivo Hidrocloruro de hidroximetil dimetilamina a través de un método en seco, teniendo muy buenos resultados al aplicar el compuesto en la floculación de un colorante aniónico: Rojo Brillante KE-3B, al conseguir que a pH 5, se lograra remover 209 mg del colorante por gramo de almidón modificado<sup>57</sup>.

### 1.3. Tratamiento de aguas

#### 1.3.1. Introducción

El agua es un recurso con muchos fines. Desde antes de la época de los griegos y los romanos, el ser humano se dio cuenta que el agua podía transportar y llevar lejos los desperdicios ocasionados por sus actividades cotidianas. Los restos arqueológicos más antiguos de drenajes y alcantarillados se encontraron en la civilización de Mesopotamia cerca al siglo VI a.C., hasta más o menos finales de los años 1800, bastaba con llevar las aguas residuales lejos de las ciudades o regar los campos de cultivo, pero este sistema fue insostenible dada la expansión de las ciudades y la saturación de las tierras agrícolas con estas<sup>58</sup>.

Fue entonces a finales del siglo XIX cuando se empezó a desarrollar tecnologías para el tratamiento de aguas residuales, como la utilización de filtros de arena o piedra y el

descubrimiento de que las bacterias eran capaces de biodegradar la materia orgánica de las aguas y en consecuencia, reducir su carga de contaminación. Desde ese entonces se han venido diseñando y perfeccionando diversos procesos de tratamiento de aguas para hacerlos cada vez más eficientes, es decir, para conseguir una mayor remoción de los contaminantes en el menor tiempo posible<sup>59</sup>.

### 1.3.2. Fuentes de aguas residuales

Se consideran que las principales fuentes de aguas residuales son cuatro. Las primeras son las aguas domésticas y urbanas, luego están las aguas residuales industriales, las de escorrentías de usos agrícolas y finalmente, las pluviales<sup>60</sup>.

Las aguas residuales domésticas se caracterizan por tener una gran carga microbiana, nutrientes y materia orgánica debido a los desechos humanos, así como otros tipos de contaminantes procedentes de la industria cosmética y de fármacos. Por otro lado, están las aguas residuales urbanas que además de todo lo mencionado, poseen además una gama muy amplia de contaminantes, como caucho, plásticos, papel, aceites, metales pesados, hidrocarburos aromáticos policíclicos, entre otros<sup>60</sup>.

Los componentes de las aguas residuales industriales dependen mucho del tipo de industria de la que se originan, como se puede observar en la Tabla 4.

Las escorrentías de usos agrícolas poseen microorganismos patógenos, nutrientes de los fertilizantes aplicados a los suelos como por ejemplo nitratos y fosfatos, además de trazas de pesticidas, herbicidas e insecticidas<sup>60</sup>.

La contaminación por aguas pluviales se da principalmente en zonas urbanas que no tienen un drenaje adecuado, ya que estas aguas transportan sin control contaminantes de un lugar a otro. Adicionalmente, hoy en día nos encontramos con el problema de la lluvia ácida, lo cual puede contaminar y destruir plantas, cosechas y alterar ecosistemas<sup>59</sup>.

**Tabla 4.** Contenido de aguas residuales en algunas industrias importantes

<b>Industria</b>	<b>Contenido típico de los efluentes</b>
<b>Pulpa y papel</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ácidos lignosulfónicos clorados, ácidos de resina clorados, fenoles clorados e hidrocarburos clorados. Alrededor de 500 compuestos orgánicos clorados identificados.</li> <li>• Compuestos coloreados y halógenos orgánicos absorbibles (aOX).</li> <li>• Contaminantes que se caracterizan por DBO, DQO, sólidos en suspensión(SS), toxicidad y color.</li> </ul>
<b>Hierro y acero</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agua de enfriamiento que contiene amoníaco y cianuro.</li> <li>• Productos de gasificación: benceno, naftaleno, antraceno, cianuro, amoníaco, fenoles, cresoles e hidrocarburos aromáticos policíclicos.</li> <li>• Aceites hidráulicos, sebo y sólidos en partículas.</li> <li>• Agua ácida de enjuague y residuos de ácidos (clorhídrico y sulfúrico).</li> </ul>
<b>Minas y canteras</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mezcla de partículas de roca.</li> <li>• Tensioactivos.</li> <li>• Aceites y aceites hidráulicos.</li> <li>• Minerales no deseados, como el arsénico.</li> <li>• Limos con partículas muy finas.</li> </ul>
<b>Industria de alimentos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Altos niveles de concentraciones de DBO y SS.</li> <li>• DBO y pH variable según la verdura, fruta o carne y la estación.</li> <li>• Procesamiento de verduras: partículas altas, algunos compuestos orgánicos disueltos, tensioactivos.</li> <li>• Carne: orgánicos fuertes, antibióticos, hormonas de crecimiento, pesticidas e insecticidas.</li> <li>• Gastronomía: material orgánico vegetal, sal, saborizantes, materiaincolorante, ácidos, álcalis, aceite y grasa.</li> </ul>
<b>Destilación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DBO, DQO, SS, nitrógeno, fósforo, variable por procesos individuales.</li> <li>• Variable de pH debido a agentes de limpieza ácidos y alcalinos.</li> <li>• Temperatura alta.</li> </ul>
<b>Productos lácteos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Azúcares disueltos, proteínas, grasas y residuos de aditivos.</li> <li>• DBO, DQO, SS, nitrógeno, fósforo.</li> </ul>
<b>Químicos orgánicos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pesticidas, productos farmacéuticos, pinturas y tintes, productos petroquímicos, detergentes, plásticos, etc.</li> <li>• Materiales de productos base, subproductos, material de producto en forma soluble o en partículas, agentes de lavado y limpieza, disolventes y productos de valor agregado tales como plastificantes.</li> </ul>
<b>Textiles</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DBO, DQO, metales, sólidos en suspensión, urea, sal, sulfuro, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, NaOH</li> <li>• Desinfectantes, biocidas, residuos de insecticidas, detergentes, aceites, lubricantes de tejer, acabados para hilar, solventes usados,</li> </ul>

	<p>compuestos antiestáticos, estabilizantes, agentes tensioactivos, auxiliares orgánicos de procesamiento, materiales catiónicos, color</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Acidez o alcalinidad alta</li> <li>• Calor, espuma</li> <li>• Materiales tóxicos, residuos de limpieza, tamaño</li> </ul>
<b>Energía</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Producción de combustibles fósiles: Contaminación de pozos de petróleo y gas y fracking</li> <li>• Agua de calefacción/enfriamiento</li> </ul>

\*UNESCO. Aguas residuales: El recurso desaprovechado. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017 AGUAS [Internet]<sup>62</sup>.

### 1.3.3. Parámetros de calidad de aguas

La calidad de las aguas depende mucho de la actividad a la cual estas van a ser dirigidas. Actualmente, esto se encuentra bastante detallado en el documento de Estándar de Calidad de Aguas o ECA (Anexo 1), donde se indican los límites máximos permitidos de ciertos componentes del agua en relación a la actividad en que se van a usar. A grandes rasgos, podríamos decir que las aguas pueden caracterizarse física, química y biológicamente, y cuya evaluación nos dará una idea de la calidad de agua que se tiene<sup>63</sup>.

Las características físicas que se pueden evaluar son la turbiedad, el color, el olor, el sabor, y la temperatura<sup>63</sup>. Las características químicas que se pueden evaluar son la cantidad de constituyentes orgánicos como los carbohidratos, grasas, pesticidas, fenoles, proteínas, agentes tensioactivos, compuestos orgánicos volátiles; y los constituyentes inorgánicos como calcio, cloruros, nitrógeno, fosfatos, sulfatos y metales pesados. Las características biológicas comprenden animales, plantas, bacterias, hongos, parásitos, protozoos y virus<sup>64</sup>.

Se podrían llevar a cabo una cantidad muy grande de análisis para caracterizar un agua residual completamente, pero hay algunos ensayos que engloban otros o brindan una información más completa que otros (Tabla 5). Estos son:

**Tabla 5.** Principales grupos de contaminantes del agua y sus efectos

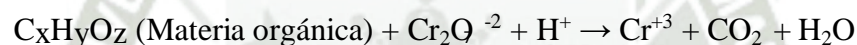
<b>Análisis Principal</b>	<b>Contaminante considerado</b>	<b>Efecto</b>
<b>1. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)</b>	Materia orgánica biodegradable	Abatimiento del oxígeno disuelto en cuerpo receptor. Crecimiento de microorganismos.
<b>2. Demanda Química de Oxígeno (DQO)</b>	Materia orgánica total	Mismos que DBO. Acumulación en cuerpo receptor. Riesgos de toxicidad.
<b>3. Sólidos suspendidos totales, volátiles y fijos</b>	Materia en suspensión sedimentable y no sedimentable (coloidal)	Sedimentación y azolvamientos en cuerpos receptores. Digestión y liberación de materia orgánica e inorgánica
<b>4. Nitrógeno total Kjeldahl, nitratos y nitritos, fósforo total y fosfatos</b>	Nitrógeno y fósforo	Nutrientes que provocan eutrofización en cuerpos de agua. Contaminación de acuíferos.
<b>5. Grasas y Aceites</b>	Grasas y aceites	Acumulación en drenajes y cuerpos de agua. Reducen la transferencia de oxígeno a los cuerpos de agua. Flotación de lodos. Contaminación visual.
<b>6. Sólidos Disueltos Totales (SDT)</b>	Sales inorgánicas	Restringen el uso de agua tratada.
<b>7. Coliformes fecales y huevos de helmintos.</b>	Patógenos y parásitos	Transmisión de enfermedades Gastrointestinales.

**Adaptado de:** Noyola A, Morgan J, Guereca L. Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales<sup>65</sup>.

Según Metcalf & Eddy<sup>64</sup>, la demanda bioquímica de oxígeno o DBO es un parámetro de contaminación orgánica y su determinación “(...) está relacionada con la medición del oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica<sup>64</sup>.” Por otro lado, tenemos a Orozco<sup>59</sup> con una definición similar y más puntual, denominándola como “la cantidad de oxígeno necesaria para descomponer la

materia orgánica presente en el agua residual mediante la acción de bacterias en condiciones aerobias<sup>59</sup>.”

Luego tenemos a la demanda química de oxígeno o DQO, que apareció como una forma de medir la demanda de oxígeno de una manera rápida, ya que para que, de un valor confiable, el cálculo de la DBO debe tomar un tiempo de por lo menos 5 días mientras que la DQO puede tomar unas dos o tres horas. Es importante mencionar que la DQO acostumbra ser mayor a la DBO en la mayoría de los casos, ya que mediante este método también se oxidan sustancias que no son biodegradables. En vez de utilizar y esperar a la acción de los microorganismos, la DQO se obtiene mediante el uso de un agente oxidante potente como lo suele ser el dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ), a altas temperaturas, en condiciones ácidas y en presencia de sulfato de plata ( $Ag_2SO_4$ ) como catalizador. Esta reacción se puede representar de la siguiente forma<sup>59, 64</sup>:



Los sólidos se dividen en sólidos suspendidos (SS) y sólidos disueltos (SD). Los sólidos además pueden ser volátiles (SV), que indican una procedencia de naturaleza orgánica, o fijos (SF) que se asumen como materia inorgánica. Los sólidos totales (ST) se componen de los sólidos suspendidos más los sólidos disueltos ( $SS + SD$ )<sup>59</sup> y se define como “(...) la materia que se obtiene como residuo después de someter al agua a un proceso de evaporación a entre 103 y 105 °C<sup>64</sup>”, es decir, su determinación se da por gravimetría. Por sólidos suspendidos, se entiende que estos forman una mezcla heterogénea con el agua y se encuentran en ella en forma de partículas en suspensión, mientras que por sólidos disueltos se entiende que las partículas se encuentran en una mezcla homogénea con el agua.

El nitrógeno es un nutriente esencial para el desarrollo y crecimiento de algas, protozoos, bacterias y plantas, ya que es uno de los componentes principales de las proteínas<sup>64</sup>. El nitrógeno total orgánico tiene 3 presentaciones en las aguas residuales: la primera es el nitrógeno orgánico que se analiza como Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK), la segunda es el amoníaco y la tercera es la de nitratos y nitritos, siendo el amoníaco el producto de la

digestión del nitrógeno orgánico; y los nitratos y nitritos productos de la oxidación de las otras formas de nitrógeno<sup>59</sup>.

El fósforo es otro elemento esencial para el crecimiento de organismos vivos, ya que forma parte del ADN y ARN. Es el principal causante de la eutrofización de cuerpos de aguas, ya que ciertas algas y microalgas son capaces de utilizar el nitrógeno atmosférico como nutriente, por lo que el nitrógeno en el agua no les es indispensable. El fósforo se presenta también en 3 formas en aguas: como ortofosfatos, polifosfatos y como fósforo orgánico, de los cuales los más perjudiciales son los ortofosfatos, ya que son especies químicas listas para su metabolismo por parte de organismos biológicos, sin necesidad de sufrir una transformación<sup>59</sup>.

### **1.3.4. Etapas del tratamiento de aguas residuales**

#### **1.3.4.1. Pretratamientos y tratamientos primarios**

##### **1.3.4.1.1. Cribado**

El cribado es una técnica que se usa para reducir la cantidad de sólidos de un cuerpo de agua en base a su tamaño. Se suelen utilizar rejillas de diversos tamaños ya que el atascamiento es un problema común y continuo, motivo por el cual tampoco se usan tamices con aberturas muy pequeñas. Los sólidos separados son luego recolectados mecánicamente o manualmente y son destinados a ser incinerados, digeridos por microorganismos o a ser enviados al basurero. Es importante mencionar que las rejillas que se usan son gruesas, metálicas y con una abertura de tamaño entre 4 y 9 cm<sup>60</sup>.

##### **1.3.4.1.2. Sedimentación**

La sedimentación es una operación unitaria de separación, por la cual los sólidos en suspensión de un cuerpo de agua, cuyo peso específico es mayor al del agua, se

precipitan hacia el fondo por acción de la gravedad<sup>64</sup>. Dependiendo de la naturaleza de los sólidos, se pueden dar varios tipos de sedimentación, por ejemplo:

- **Sedimentación discreta**

Es una sedimentación en un cuerpo de agua que posee una baja concentración de sólidos. Las partículas sedimentan de forma individual, sin interactuar con las partículas vecinas y conservando sus propiedades físicas como tamaño, forma y peso específico<sup>64</sup>. Un ejemplo de este tipo de sedimentación es la eliminación de arenas<sup>60</sup>.

- **Sedimentación por floculación**

En este tipo de sedimentación, las partículas se agregan o floculan entre sí, usualmente debido a la adición de una agente floculante. Las partículas sedimentan de forma conjunta, interactuando con las partículas vecinas y perdiendo sus propiedades individuales, más notablemente el tamaño, el peso y la densidad, que aumentan conforme se van enlazando más partículas. Al incrementar el peso, incrementa también la velocidad de sedimentación<sup>60</sup>. Un ejemplo de esto es la adición de un agente floculante para eliminar una parte de los sólidos (partículas) en suspensión del agua residual en los tanques de sedimentación primaria<sup>64</sup>.

#### **1.3.4.1.3. Flotación**

La flotación es una operación que se usa para separar sólidos o líquidos de menor densidad que el agua, es decir, que flotan sobre ella. Esta separación se consigue introduciendo grandes cantidades de aire al agua, hasta saturarlo de los gases del aire; eventualmente se formará una buena cantidad de burbujas de aire, que se enlazan a los sólidos y permiten que aquellos con menor densidad e incluso algunos de aquellos con un poquito de mayor densidad que el agua, asciendan a la superficie para su disposición. Esta técnica permite eliminar sólidos suspendidos pequeños de forma rápida y sencilla,

a pesar de que aumenta los costos de operación<sup>60, 64</sup>.

#### **1.3.4.1.4. Neutralización**

Es bien sabido que el agua pura tiene un pH igual o cercano a 7, si no lo tiene, es necesario llevarlo a él dependiendo de si es ácido o alcalino. Esto debe hacerse antes de que las aguas residuales se descarguen a un medio receptor, ya que la flora y fauna acuáticas son muy sensibles a los cambios de pH; y también antes de verter estas aguas al alcantarillado, ya que es más sencillo controlar y cambiar el pH de una masa de agua pequeña al contrario de los grandes caudales de agua que manejan las plantas de tratamiento. Asimismo, es necesario cambiar el pH a un nivel de entre 6.5 y 8.5 para que pueda pasar al tratamiento biológico<sup>60</sup>.

#### **1.3.4.2. Tratamiento secundario**

Los tratamientos secundarios tienen relación con los procesos biológicos, tanto aerobios como anaerobios, que ocurren en el tratamiento de aguas. Es en este proceso donde se forma los famosos lodos activados, cuyo análisis microscópico revela una población de organismos biológicos enorme, constituida por bacterias, algas, hongos, protozoos y rotíferos. Estos lodos se forman debido a la descomposición de la materia orgánica por parte de estos microorganismos y al aumento de su biomasa por su rápido metabolismo<sup>60</sup>.

#### **1.3.4.3. Tratamiento terciario**

El tratamiento terciario de las aguas residuales comprende aún la eliminación de sólidos en suspensión remanentes, que en estos momentos se encuentran en una cantidad extremadamente diluida. Implica procesos de adsorción por carbón activado, ósmosis inversa, electrodiálisis, cloración y ozonización, y finalmente, se controlan los niveles de nitrógeno y fósforo, aumentándolos o disminuyéndolos según sea el caso<sup>60</sup>.

## CAPITULO II

### 2. MATERIALES Y METODOLOGÍA

#### 2.1. Materiales

##### 2.1.1. Material de vidrio

- Pipetas de 1, 5, 10 mL
- Probetas de 50, 100, 500 mL
- Fiolas de 100, 1000 mL
- Bagueta
- Beakers de 10, 100, 500, 1000 mL
- Matraz Kitasato
- Embudo Buchner

##### 2.1.2. Reactivos

- Agua destilada
- Agua desionizada
- $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  (Metabisulfito de sodio) marca Sigma-Aldrich
- NaOH marca Sigma-Aldrich
- HCl marca Sigma-Aldrich
- Amilosa marca Sigma-Aldrich
- Etanol al 95% marca Sigma-Aldrich
- Ácido acético marca Sigma-Aldrich
- Iodo marca Sigma-Aldrich
- Ioduro de potasio marca Sigma-Aldrich
- DMSO marca Sigma-Aldrich
- Cloruro de Glicidiltrimetilamonio (CGTA) marca Sigma-Aldrich
- Ácido húmico
- $\text{FeCl}_3$
- Poliacrilamida (PAC)

##### 2.1.3. Insumos

- 6 Kg de papa *Canchán*
- 6 Kg de papa *Peruanita*
- 6 Kg de papa *Única*
- Cuchillo

- Pelador de papa
- Licuadora
- Tela o tocuyo
- Papel filtro
- Piceta
- Hielo
- Bidón de 20 L
- Caolín o caolinita

#### 2.1.4. Equipos

- Balanza
- Agitador vortex
- Espectrofotómetro de visible marca VINMAX Modelo 721
- Turbidímetro marca Insif Electronics Turbidímetro digital modelo IE- 709
- Horno microondas
- Bomba de vacío
- Test de jarras

## 2.2. Metodología

### 2.2.1. Extracción del almidón

Para la extracción del almidón, se utilizó el protocolo determinado en la tesis de licenciatura de Peña<sup>66</sup>. Esta consiste en los siguientes pasos:

- Se utilizaron 2 Kg de cada variedad de papa (*Canchán*, *Peruanita* y *Única*).
- Se hizo una observación y separación de las papas defectuosas, podridas o dañadas.
- Las papas en buen estado fueron lavadas y peladas en cubitos de 4 cm aproximadamente. Acto seguido, los cubitos de papa fueron sumergidos en una solución de metabisulfito de sodio al 0,075%. Cabe recalcar que la relación entre la papa cortada y la solución de metabisulfito de sodio fue de 1:1.
- Después se realizó una primera molienda, en la cual se pesó la cantidad de papa y se la

colocó en una licuadora, añadiéndole agua destilada en relación 1:1 con la papa. Se licuó labiomasa y se la filtró con un tocuyo o tela, agregándole más agua destilada para arrastrar lamayor cantidad de almidón retenido en la tela.

- Luego se realizó una segunda molienda, en la que la torta (fibra) retenida en la tela se licuó junto con agua destilada en proporción 1:1. Al igual que en el paso anterior, se usó más agua para arrastrar más almidón. Este segundo filtrado fue mezclado con el primer filtrado.
- Se hizo una tercera molienda con la fibra restante y agua en proporción 1:1. Se lavó el tocuyo con agua y se mezcló el tercer filtrado con los anteriores.
- El filtrado total se dejó reposar por 4 horas, en las cuales el almidón sedimentó y formó unacapa gruesa en el fondo de recipiente. Se decantó la mayor cantidad de agua posible y luego se agregó agua destilada al almidón en proporción 2:1. Se dejó sedimentar por 1.5 horas y se decantó el sobrenadante.
- Seguidamente, se le añadió una solución de NaOH al 2% al almidón, en la relación 1:2, con el fin de solubilizar las proteínas. Se dejó reposar durante 3 horas y se descartó el sobrenadante.
- Al almidón luego se le agregó agua en relación 1:1 y se ajustó el pH a 7 con solución de HCl 2N. Se dejó reposar durante 1,5 horas y se eliminó el sobrenadante.
- Finalmente, el almidón extraído se colocó en papel filtro y se llevó a secar a la estufa a  $45 \pm 2$  °C durante 24 horas.
- Esta extracción se realizó por triplicado.

### **2.2.2. Evaluación del contenido de amilosa y construcción de la curva de calibración**

- Para la elaboración de la curva de calibración de la amilosa, se utilizó el protocolo descrito por Peña<sup>66</sup>. Este procedimiento es como sigue:
- Se prepararon 100 mL de una solución de iodo I<sub>2</sub> (0.0025 M) – KI (0.0065 M): Se disolvió 0,1079 g de KI en 5 ml de agua en una fiola de 100 mL, a la cual se añadió 0,0315 g de I<sub>2</sub>. Seagitó bien hasta que todo quedase disuelto y se enrasó a 100 mL. Si no se va a usar en el momento, la solución se debe almacenar en un frasco ámbar a 4 °C

hasta su uso.

- Después se prepararon varias soluciones de amilosa de papa marca Sigma-Aldrich (con un contenido de amilosa de 0 %, 10 %, 20 %, 30 %, 40 % y 50 %) en tubos de ensayo de 15 ml con tapa, tal y como se indica en la Tabla 6. A cada tubo se le agregó 8 mL de dimetilsulfóxido 90 % (v/v) y se mezcló durante 2 minutos usando un agitador vortex. Seguidamente se calentaron los tubos en un baño de agua a 85 °C durante 15 min con mezcla intermitente.

**Tabla 6.** Cantidades de amilosa y NaOH para la curva de calibración

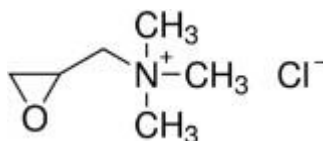
<b>% de amilosa</b>	<b>Amilosa (mg)</b>
<b>0</b>	0
<b>10</b>	2
<b>20</b>	4
<b>30</b>	6
<b>40</b>	8
<b>50</b>	10

- Se dejaron enfriar los tubos por 45 minutos a temperatura ambiente y se verificó la presencia de geles transparentes en la solución. Si se detectaba un gel, se repetían los pasos del procedimiento anteriormente mencionado, con una agitación más fuerte y en intervalos de tiempo más cortos en el agitador vortex.
- Seguidamente, se diluyó la muestra con agua destilada en una fiola de 25 mL. Se tomó 1 ml de cada solución, se añadió 5 mL de solución de Iodo y se mezcló intensamente a mano. A continuación, se ajustó el volumen a 50 mL con agua destilada y se mezcló intensamente, luego se dejó reposar durante 15 minutos para que se formara el complejo cromóforo.
- Finalmente, se midió la absorbancia de cada tubo a 600 nm contra un blanco, que contienen todos los reactivos en las mismas cantidades, pero sin la muestra. Se determinó la ecuación por regresión lineal y se usó esa ecuación para calcular el contenido total de amilosa en los almidones de papa que fueron extraídos.

### 2.2.3. Cationización del almidón

Para la obtención del almidón cationizado, se adaptó el protocolo de Wei *et al*<sup>67</sup> a como sigue:

- Se utilizó un único agente eterificante catiónico, este fue el Cloruro de Glicidiltrimetilamonio o CGTA.



**Figura 16.** Estructura molecular del Cloruro de Glicidiltrimetilamonio (CGTA). \*Merck

- En un beaker, se añadió 1 mL de solución de NaOH (0.5 g/mL) y 5 g del almidón a cationizar. Se mezcló vigorosamente y luego se llevó a un horno microondas durante 1 minuto.
- Se añadió 1.41 g de CGTA al beaker con la mezcla y se revolvió hasta formar un coloide suave. La nueva mezcla fue llevada al horno microondas por 2 minutos, tiempo en el que se dio la reacción por terminada.
- El producto fue enfriado hasta temperatura ambiente y se disolvió en 50 mL de agua ultrapura o desionizada. La solución fue luego neutralizada con una solución de HCl 1M hasta llegar a pH 7 estando en un baño de hielo.
- Finalmente, el producto fue aislado mediante precipitación en etanol. Se filtró al vacío y se dejó secar a temperatura ambiente.

### 2.2.4. Elaboración de agua sintética

- Se llenó un bidón de 20 L con agua destilada y se preparó una solución madre de ácido húmico de 6 g/L
- Al bidón, se le agregó 10 g de caolín o caolinita y en seguida se le añadió 100 mL de la solución preparada de ácido húmico.

- Se agitó bien cada vez que se iba a utilizar.

### 2.2.5. Prueba de eficiencia de floculación del almidón

Para la evaluar la eficiencia de floculación del almidón cationizado, se adaptó el protocolo de Wei *et al*<sup>67</sup> a como sigue:

- Se llenaron beakers de 1 L con 500 mL con el agua sintética preparada previamente y se colocó en agitación el test de jarras a 180 rpm.
- Se añadió una concentración de almidón cationizado de 50 ppm a cada uno de los beakers, y se mantuvieron en agitación durante 5 minutos a esa velocidad. Para el floculante comercial o control, se inició con una concentración de 50 ppm de FeCl<sub>3</sub>.
- Pasados los primeros 5 minutos, se agregó 40 ppm de Poliacrilamida (PAC) al tratamiento control y se bajó la velocidad de todos los ensayos a 40 rpm, manteniéndose la agitación a esa velocidad durante 15 minutos más.
- Al cumplirse los 20 min desde que se añadió el almidón cationizado, se detuvo la agitación, se extrajeron los agitadores y se dejó sedimentar durante 10 minutos.
- Luego de los 10 minutos se decantaron los beakers y se midió el volumen de agua decantada.
- Finalmente, se midió la turbidez usando un turbidímetro.

### 2.2.6. Prueba de eficiencia de floculación de los almidones y el cationizador por separado

- Para saber si los almidones de papa sin cationizar y el CGTA por sí solos tenían capacidad floculante por sí mismos, se repitió la metodología descrita en el apartado 2.2.5., excepto porque como agentes floculantes, se usaron directamente los almidones obtenidos y el CGTA en concentraciones de 50 ppm.
- Se tomaron muestras para analizar a los 15 minutos.
- Se apagó el equipo y se dejó flocular por 24 horas más, tiempo en el que se volvieron a tomar muestras para analizar.

### 2.2.7. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se necesitaron realizar 7 ensayos de floculación adicionales con el floculante comercial y los almidones cationizados, resultando un total de 10 datos para cada uno. El software utilizado fue el Minitab® 19.

Inicialmente se realizó un análisis de atipicidad y seguidamente se realizó un análisis comparativo entre los tratamientos y una prueba de precisión de varianzas, al término de los cuales se procedió a hacer un análisis de Kruskal-Wallis. Finalmente, se procedió a hacer un análisis uno a uno entre los tratamientos, empezando con un ploteo de distribución, que determinaría si los datos tenían una distribución normal o no normal, y con una prueba de precisión de varianzas, que determinaría si se realizaba un análisis de Kruskal-Wallis o un ANOVA. En base a los estadísticos finales obtenidos, se determinó si había o no diferencia significativa entre los tratamientos.

## CAPITULO III

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Análisis de contenido de amilosa

##### 3.1.1. Extracción del almidón

El material vegetal fue adquirido de un puesto de la Plataforma Comercial de Río Seco, ubicada en el distrito de Cerro Colorado, ciudad de Arequipa – Perú. Luego de realizarse el proceso de extracción de almidón de las papas (Figura 17), se consiguió las cantidades de almidón indicadas en la Tabla 7.



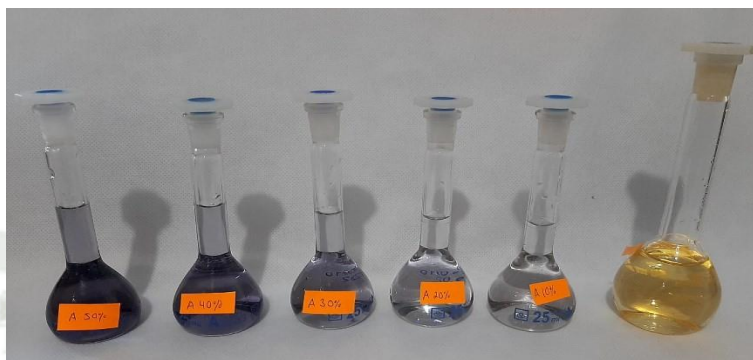
**Figura 17.** Almidón extraído de las tres variedades de papa. De izquierda a derecha: *Canchán, Única y Peruanita.*

**Tabla 7.** Cantidad de almidón extraído de las tres variedades de papa.

	<i>Canchán</i>	<i>Peruanita</i>	<i>Única</i>
<b>R1</b>	184 g	259 g	243 g
<b>R2</b>	203 g	248 g	237 g
<b>Promedio</b>	193,5 g	253,5 g	240 g
<b>Rendimiento</b>	96,75 g / Kg de papa	126,75 g / Kg de papa	120 g / Kg de papa

### 3.1.2. Curva de calibración

Se realizó el análisis de la batería de concentraciones estándar de amilosa (Figura 18) con concentraciones en % p/p que van desde 10 al 50%, como se ha descrito anteriormente en la sección 2.2.2 y en la Tabla 6.

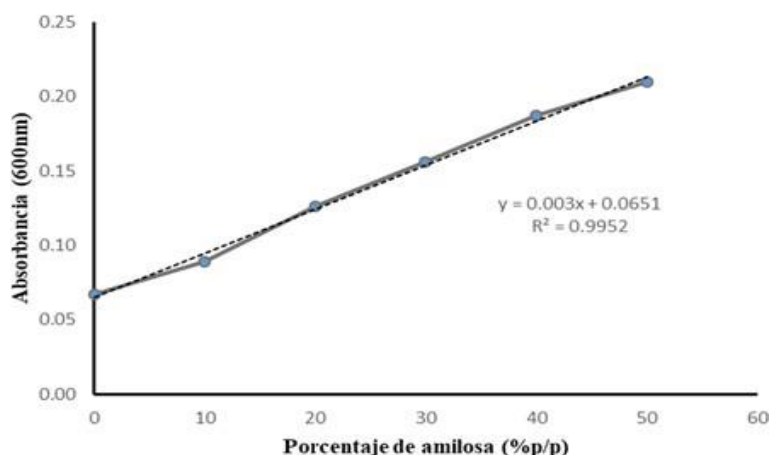


**Figura 18.** Batería de soluciones estándar de amilosa.

La Tabla 8 muestra los resultados de los análisis realizados de dos baterías de concentración estándar. Se utilizó estos dos resultados para sacar un promedio y elaborar la curva de calibración en base a la concentración y a la absorbancia (Figura 19), cuya ecuación fue  $y = 0.003x + 0.0651$  y, arrojando un  $R^2$  mayor a 0.95, resultando admisible para el nivel de confianza que se está manejando.

**Tabla 8.** Relación entre la concentración de amilosa y la absorbancia medida.

<b>% Amilosa</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>Abs<sub>Promedio</sub></b>
0	0.065	0.069	<b>0.07</b>
10	0.09	0.088	<b>0.09</b>
20	0.125	0.128	<b>0.13</b>
30	0.153	0.159	<b>0.16</b>
40	0.185	0.19	<b>0.19</b>
50	0.208	0.211	<b>0.21</b>



**Figura 19.** Curva de calibración estándar de amilosa.

### 3.1.3. Análisis del contenido de amilosa en papas

El análisis de absorbancia (Tabla 9 y Figura 20), nos indica que el contenido de amilosa en la variedad *Canchán* es la menor entre las tres variedades analizadas, y que el contenido de las variedades *Peruanita* y *Única* es similar, siendo ligeramente mayor el contenido de amilosa de la variedad *Única*.

**Tabla 9.** Absorbancias de las muestras de amilosa de las tres variedades de papa analizadas.

Absorbancia variedades de papas				
Variedad	R1	R2	R3	Promedio
<i>Canchán</i>	0.121	0.123	0.122	<b>0.122</b>
<i>Peruanita</i>	0.143	0.145	0.144	<b>0.144</b>
<i>Única</i>	0.146	0.148	0.148	<b>0.147</b>



**Figura 20.** Muestras de amilosa de las variedades de papa a medir en el espectrofotómetro. De izquierda a derecha: Única, Peruanita y Canchán.

Mediante la ecuación de regresión lineal, se pudo determinar el porcentaje de amilosa presente en las muestras de las tres variedades de papa (Tabla 10). Se determinó que la variedad *Única* presenta el mayor porcentaje de amilosa, siendo este de 27.4% y que a su vez es casi similar a la variedad *Peruanita*, con 26,3%. La variedad *Canchán* presenta una concentración muy lejana a las anteriores mencionadas, con tan solo un 19% de amilosa.

**Tabla 10.** Determinación de la cantidad de amilosa en las tres variedades de papa analizadas.

% Amilosa de 3 variedades				
Variedad	% Amilosa 1	% Amilosa 2	% Amilosa 3	Promedio
<i>Canchán</i>	18.6	19.3	19.0	<b>19.0</b>
<i>Peruanita</i>	26.0	26.6	26.3	<b>26.3</b>
<i>Única</i>	27.0	27.6	27.6	<b>27.4</b>

Singh *et al*<sup>68</sup> refieren que la papa tiene un contenido de amilosa de 20.01 – 31%<sup>68</sup>. Kaur *et al*<sup>69</sup> encontraron que el contenido de amilosa de tres variedades de papas de la India (*Pukhra*, *Kufri Jyoti* y *Kufri Badshah*) oscila entre el 25.2 – 31.2%<sup>69</sup>, mientras que Talja *et al*<sup>70</sup> afirman que el contenido de amilosa de papa en varios cultivares de Finlandia (*Kardal*, *Posmo*, *Saturna*,

*Seterna, Tanu, Van Gogh, etc.*) fluctúa entre 11.9 y 20.1%<sup>70</sup>.

Asimismo, Vasanthan *et al*<sup>71</sup> indican que el contenido de amilosa de seis variedades de papa en Canadá (*Russet Burbank, Chipeta, Atlantic, Yukon Gold y Norkota*) está entre 21.1 – 25.1%<sup>71</sup>; y Noda *et al*<sup>72</sup> manifiestan que analizando el almidón proveniente de 10 fábricas de almidón de papa, determinaron que el porcentaje de almidón estaba entre  $20.5 \pm 0.3$  y  $21.4 \pm 0.7\%$ <sup>72</sup>.

Por otra parte, Sanchez-Gonzalez *et al*<sup>73</sup> determinaron que la papa var. *Canchán* tenía un  $15.49 \pm 2.02$  % de amilosa<sup>73</sup>, lo cual no se aleja mucho del valor de 19 % que se ha obtenido en el presente estudio. De igual manera, Martínez *et al*<sup>74</sup> reportó que el contenido de amilosa que encontraron en la papa var. *Peruanita* fue de  $28,18 \pm 1,3$  % de amilosa<sup>74</sup>, lo cual también se asemeja al 26,3 % hallado. Sin embargo, Martínez *et al*<sup>74</sup> determinaron que la cantidad de almidón en la papa var. *Única* era de 17,3 %<sup>75</sup>, marcando una diferencia considerable con nuestro resultado.

En el review de Tester *et al*<sup>76</sup>, se clasifica al almidón en tres tipos: Unos son los almidones serosos, que tienen menos del 15% de amilosa, los segundos son los almidones normales, que tienen entre 20 y 35% de amilosa, y los últimos son los almidones altos en amilosa, que poseen una cantidad de amilosa mayor al 40%<sup>76</sup>. En base a esta afirmación y a la revisión de investigaciones, se podría decir que las papas más comerciales tienen almidones normales, incluyendo a las tres que se usaron en este estudio (*Canchán, Peruanita y Única*).

Es importante mencionar también que algunos estudios no se detienen a hacer la cuantificación del almidón en las papas con las que trabajan y asumen que cuentan con un 20 % de amilosa y un 80 % de amilopectina. Esto no sería correcto, ya que el crecimiento de una planta y por consiguiente la composición de sus partes, es afectado por diversos factores como el momento de cosecha, la cantidad de agua usada, la exposición al sol, los tipos de nutrientes en el suelo, entre otros<sup>77, 78</sup>, y por consiguiente, lugar y año del cultivo<sup>79</sup>.

### 3.2. Cationización del almidón

Se utilizaron los almidones de las tres variedades de papa comparándolas con coagulantes y floculantes convencionales en concentración de 50 ppm y 40ppm respectivamente.

Cuando se realizó la cationización de las tres variedades de papa, se pudo observar que las variedades *Única* y *Peruanita* fueron más fáciles de hacer reaccionar con los reactivos químicos, ya que la amilosa se disolvía más fácilmente en estos, y generaba un gel fluido, de textura uniforme. Por otro lado, la variedad *Canchán* tendía a formar un gel aglutinado, de textura grumosa y no fue fácil de sintetizar haciendo uso de microondas.

Asimismo, se detectó una diferencia en el color del almidón cationizado. Mientras que el color del gel de las variedades *Peruanita* y *Única* se mantenía blanquecino o lechoso, el color del gel de la variedad *Canchán* se tornó turbio, pardo o terroso (Figuras 21 y 22).



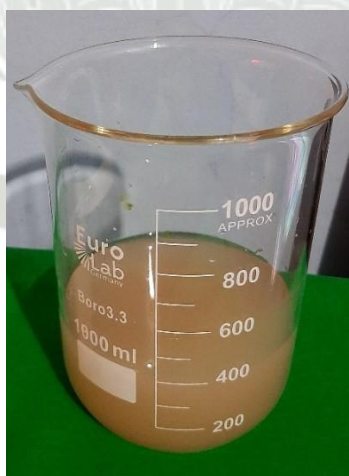
**Figura 21.** Almidones cationizados luego de añadir el reactivo GTAC. De izquierda a derecha: *Canchán*, *Única* y *Peruanita*.



**Figura 22.** Almidones cationizados luego del secado por microondas. De izquierda a derecha:  
*Única, Canchán y Peruanita.*

### 3.3. Elaboración de agua sintética

Se preparó el agua sintética para poder hacer una medición del poder floculante de las tres variedades de papa estudiadas y del control (Cloruro de hierro y poliacrilamida). Como ya se ha mencionado, para la preparación del agua sintética se utilizó caolín y ácido húmico, resultando un agua turbia (Figura 23) que se asemeja en composición y color al agua de escorrentía.



**Figura 23.** Agua sintética preparada.

Como se ha mencionado ya, el agua sintética que se preparó emuló un agua de escorrentía o una fuente natural contaminada, en la cual el caolín es un estándar de turbidez y el ácido húmico es un estándar de color<sup>80</sup>, siendo que ambas sustancias están incluidas en la composición del agua natural: el caolín es un tipo de arcilla que se encuentra en el suelo, y el ácido húmico es el producto de la degradación de sustancias orgánicas por microorganismos acuáticos y fotólisis en aguas naturales<sup>81</sup>.

Se decidió trabajar con este tipo de muestra para tener un mejor control sobre su composición y la concentración de las sustancias en solución, además de que simula también el agua pluvial captada en una primera etapa por las plantas de tratamiento de aguas. Asimismo, existen en la literatura diversos casos en los que se ha preparado este tipo de agua sintética o artificial para probar la capacidad floculante de una sustancia, como los trabajos de Quirós *et al*<sup>82</sup> y Foroughi *et al*<sup>83</sup>.

#### **3.4. Prueba de floculación de almidones cationizados**

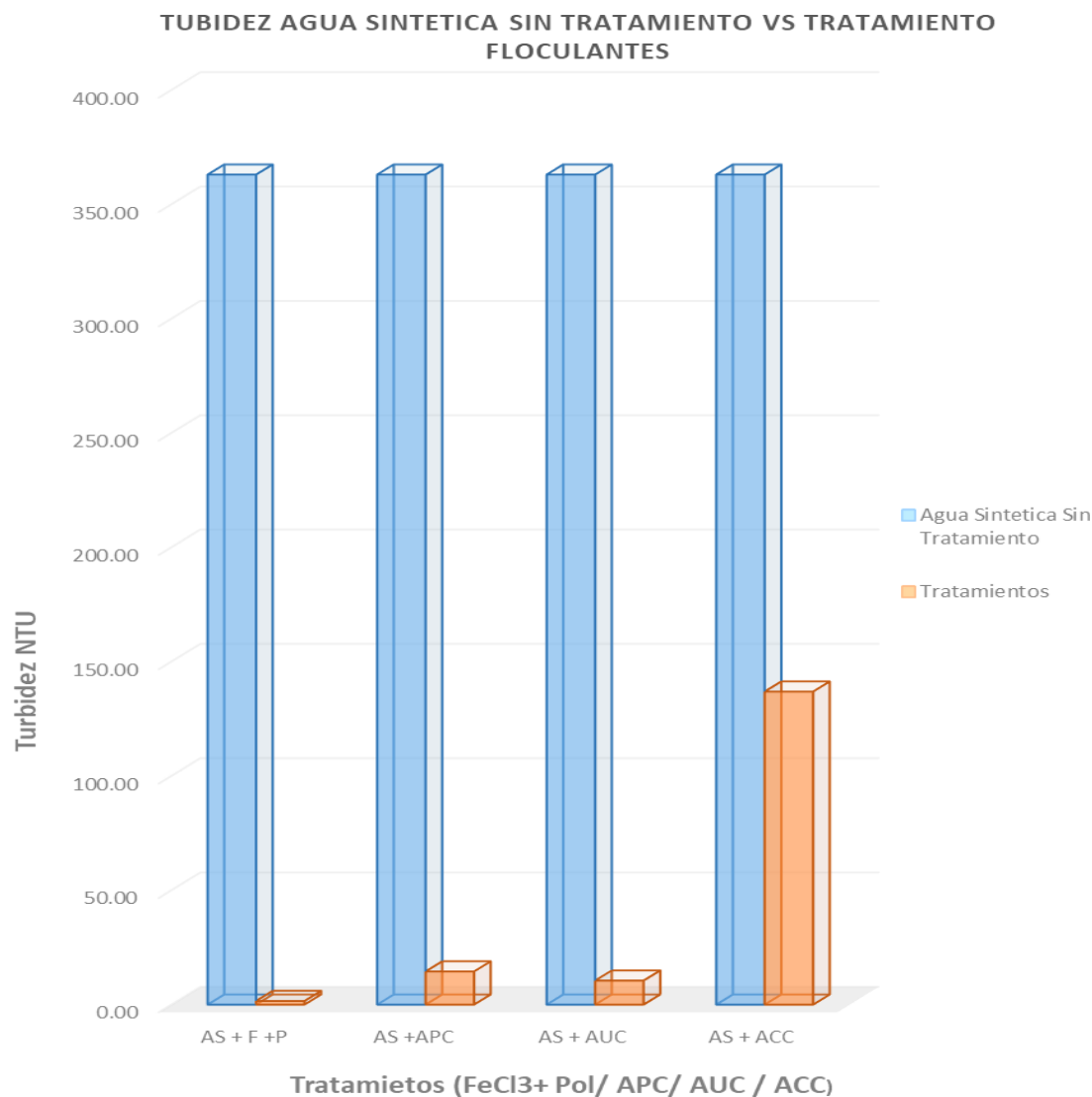
El producto de los almidones cationizados se sometió a un test de jarras bajo la metodología descrita anteriormente. En la Figura 24 se puede observar el cambio organoléptico antes y después del test de jarras, mientras que en la Tabla 11 se muestran los datos cuantitativos que se obtuvieron luego de analizar la turbidez de las muestras. De igual forma, la Figura 25 constituye una representación visual de estos datos antes y después de su medición.



**Figura 24.** De izquierda a derecha: Primer tratamiento con  $FeCl_3$  + Poliacrilamida, segundo tratamiento de almidón de papa *Única* cationizado (AUC), tercer tratamiento de almidón de papa *Peruanita* cationizado (APC), cuarto tratamiento con almidón de papa *Canchán* cationizado (ACC). a) Inicio del ensayo de floculación b) Término del ensayo de floculación.

**Tabla 11.** Mediciones de turbidez del agua antes y después del tratamiento con el floculante comercial y los almidones modificados.

	AS	AS + F + P	AS + APC	AS + AUC	AS + ACC
Turbidez (NTU) (1)	363	1	16	12	137
Turbidez (NTU) (2)	363	2	15	11	138
Turbidez (NTU) (3)	363	1	15	8	137
Turbidez (NTU) (4)	363	2	12	11	136
Turbidez (NTU) (5)	363	3	14	10	135
Turbidez (NTU) (6)	363	1	14	9	137
Turbidez (NTU) (7)	363	1	15	11	137
Turbidez (NTU) (8)	363	2	16	11	139
Turbidez (NTU) (9)	363	2	13	10	136
Turbidez (NTU) (10)	363	1	15	12	137
<b>Promedio Turbidez</b>	<b>363.00</b>	<b>1.60</b>	<b>14.50</b>	<b>10.50</b>	<b>136.90</b>



**Figura 25.** Gráfico de la turbidez del agua sintética sin tratamiento y con tratamiento floculante.

Según los datos conseguidos, se puede afirmar que el poder floculante del  $\text{FeCl}_3$  y el polímero de poliacrilamida es excelente, consiguiendo disminuir la turbidez del agua sintética de 363 NTU a 1.33NTU. Por otro lado, el almidón cationizado que dio los mejores resultados fue el de la papa *Única*, que disminuyó la turbidez de la muestra de 363 NTU a 10.33 NTU.

Con el almidón cationizado de la papa *Peruanita* se obtuvo un resultado similarmente bueno, no obstante, el almidón cationizado de la papa *Canchán* solo logró disminuir la turbidez de 363 NTU a 137.33 NTU, siendo el agente con peor desempeño de la prueba.

Es mencionado que, comúnmente, el grado de derivación que tienen los almidones cationizados es de uno a dos grupos iónicos por cada 100 unidades de glucosa. Teóricamente, se sugiere que la cationización se hará mayormente en las cadenas de amilosa debido a su naturaleza lineal y no en la amilopectina por su naturaleza cristalina, que dificultaría el acceso a sus unidades de glucosa<sup>84</sup>.

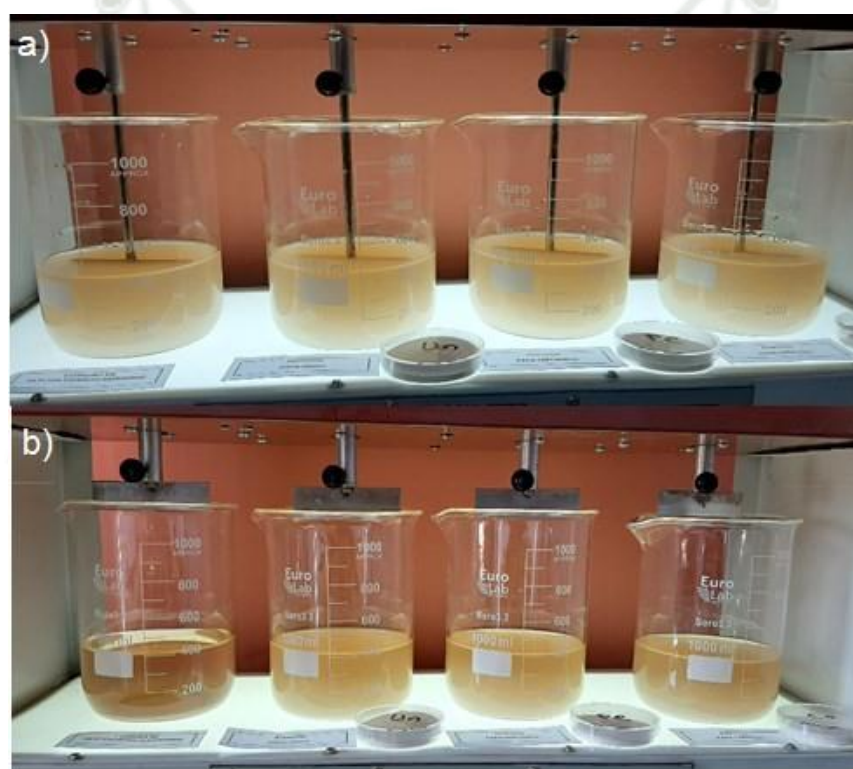
No obstante, Biduski *et al*<sup>85</sup> afirman que los almidones con menor contenido de amilosa y mayor contenido de amilopectina son más susceptibles a las modificaciones físicas o químicas, y que la incorporación de los grupos funcionales en las modificaciones químicas ocurre en la parte amorfa del grano de almidón, lugar donde se encuentra una gran parte de amilopectina ramificada<sup>85</sup>. Hancock y Tarbet<sup>34</sup> expresan también que la parte amorfa es más susceptible a ataques enzimáticos<sup>34</sup>. Asimismo, Omoregie<sup>86</sup> sostiene que las regiones amorfas contienen la mayor cantidad de amilosa en el gránulo, pero también una cantidad considerable de la amilopectina<sup>86</sup>.

Por otra parte, Iselau *et al*<sup>87</sup> observaron mediante cromatografía por exclusión de tamaño, que generalmente era la amilopectina ramificada es el componente que incorporaba los grupos cargados en la cationización, mientras que la amilosa quedaba sin reaccionar en la solución<sup>87</sup>. El resultado obtenido en el presente estudio contradice directamente lo que menciona Iselau *et al*<sup>87</sup>, ya que, en este estudio, la papa *Canchán*, con la mayor cantidad de amilopectina, fue la menos cationizada y, por consiguiente, la que tuvo menor poder floculante.

Omoregie<sup>86</sup> argumenta que si bien la reactividad del almidón depende de la cantidad de amilosa y amilopectina, las propiedades químicas y funcionales obtenidas luego de la modificación depende mucho de las condiciones de reacción como el reactivo modificante, la concentración de los reactivos, el tiempo de reacción, el tipo de catalizador utilizado, el pH, la temperatura, entre otros; por lo que se piensa que alguno de estos factores pudo haber afectado negativamente a la reacción de cationización<sup>86</sup>.

### 3.5. Prueba de floculación de almidones y CGTA por separado

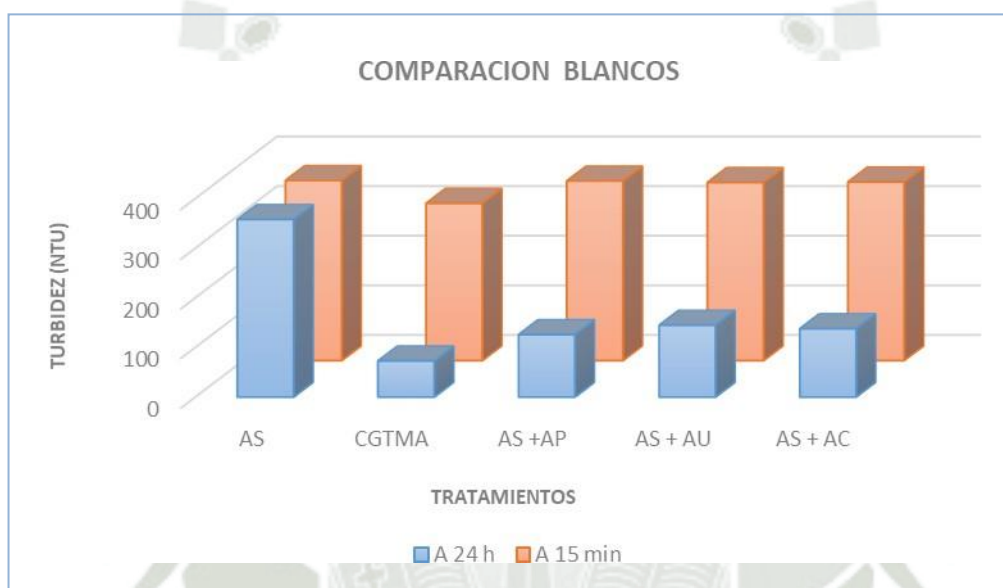
Se deseó conocer si el agente cationizante y los almidones puros tenían algún poder floculante por sí mismos. Por ello se les utilizó en un ensayo similar al anterior, en el cual, en la Figura 26 se puede observar el cambio organoléptico antes y después del test de jarras, mientras que en la Tabla 12 se muestran los datos cuantitativos que se obtuvieron luego de analizar la turbidez de las muestras, y la Figura 26 es una representación visual de estos datos antes y después de su medición.



**Figura 26.** De izquierda a derecha: Primer tratamiento con CGTA, segundo tratamiento de almidón de papa *Peruanita* (AP), tercer tratamiento de almidón de papa *Única* (AU), cuarto tratamiento con almidón de papa *Canchán* (AC). a) Inicio del ensayo de floculación b) Término del ensayo de floculación.

**Tabla 12.** Mediciones de turbidez del agua con el tratamiento de los almidones y el agente cationizante puros, a 15 minutos y a 24 horas.

	AS	CGTA	AS +AP	AS + AU	AS + AC
Turbidez (NTU) 30 min	363	317	362	359	360
Turbidez (NTU) 24 h	358	73	126	145	138



**Figura 27.** Gráfico de la turbidez del agua sintética con almidones y agente cationizante puros, a 15 minutos y a 24 horas.

Examinando los datos de la Tabla 13, tenemos que luego del test de jarras, ni los almidones ni el CGTA tuvieron un poder floculante como el del almidón cationizado o el floculante comercial. Es por ello que se dejaron flocular durante 24 horas más para conocer si el tiempo era un factor determinante.

A los 15 minutos del test de jarras, solo el CGTA realizó una disminución considerable de la turbidez del agua sintética. A las 24 horas, el CGTA tuvo la mayor actividad floculante, reduciendo la turbidez de 363 NTU a 73 NTU, en tanto los almidones de papa *Peruanita*, *Canchán* y *Única* lograron reducir la turbidez de 363 NTU a 126, 145 y 138 NTU respectivamente.

El agua sintética no tuvo una disminución significativa de turbidez, lo cual nos indica que la gravedad no es un factor determinante mientras que el tiempo sí es un factor a tomar en cuenta en este ensayo. Sin embargo, un mayor tiempo de procesamiento conllevaría pérdidas de tiempo, dinero y eficiencia de ser llevado a una escala mayor, por lo que los almidones cationizados serían una alternativa más óptima.

Chama<sup>88</sup> evaluó la capacidad floculante del almidón de la papa var. *Única* en el departamento peruano de Moquegua. Se obtuvo una concentración óptima de 133 ppm de almidón para agua cruda del ingreso de una planta de tratamiento, que removió la turbidez en 6.1 NTU, en un proceso de coagulación-floculación de 20 minutos a 40 rpm y 60 minutos de sedimentación, encontrándose que el almidón funcionaba mejor como floculante que el policloruro de aluminio<sup>88</sup>.

Adicionalmente, Aquino y Tovar<sup>89</sup> evaluaron la eficiencia de remoción de plomo II de aguas residuales mineras usando almidón residual extraído de cáscaras de papa de la variedad *Canchán* en el departamento peruano de Junín. Ellos obtuvieron una remoción de 26,8% de Plomo de la muestra, lo cual consiguieron con una concentración de 500 ppm de coagulante natural (almidón), 3 minutos de tiempo de coagulación a 100 RPM, 20 min de floculación a 50 RPM, y 60 min de sedimentación<sup>89</sup>.

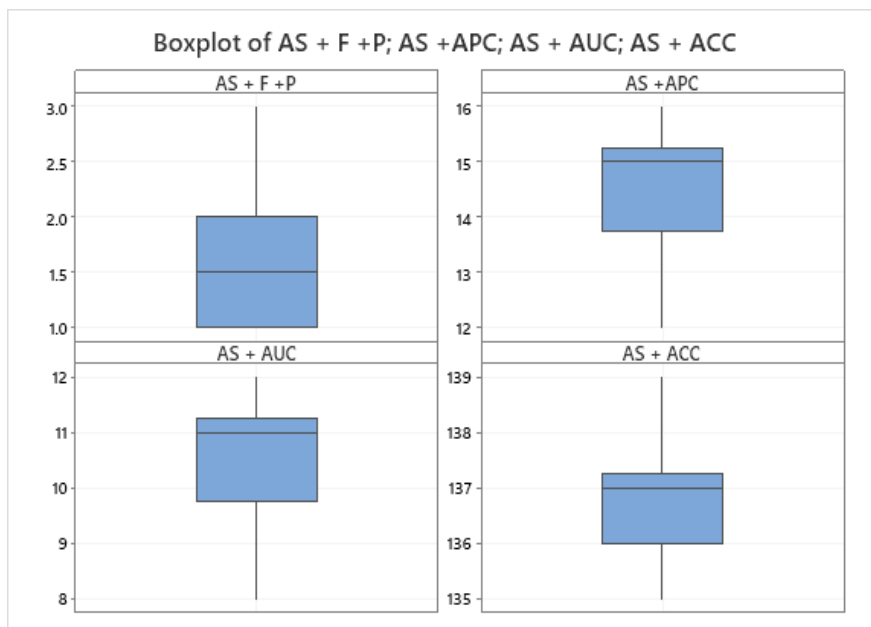
### 3.6. Análisis estadístico

Para realizar el análisis estadístico que se muestra a continuación, se utilizaron las 10 filas de datos provenientes de la Tabla 11.

#### 3.6.1. Análisis global entre tratamientos

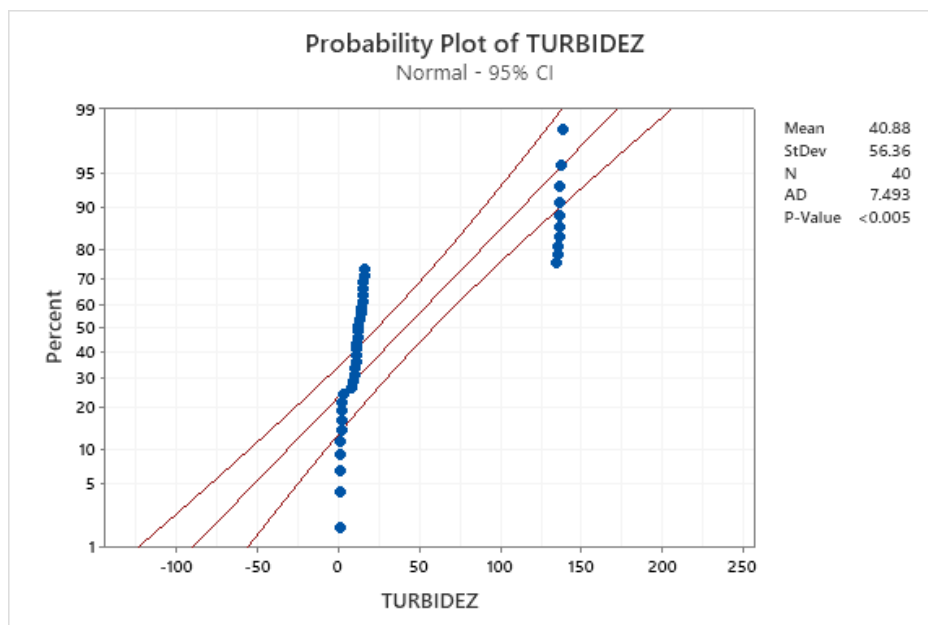
Se inició con un análisis de atipicidad para cada uno de los tratamientos. Esta prueba indica hacia qué valores existe una tendencia entre los datos y si existe algún valor cuya desviación estándar sea muy grande. El gráfico de cajas (Figura 28) muestra que, en el caso del floculante comercial, hay una tendencia media entre los datos, mientras que en los almidones cationizados

hay una tendencia hacia el límite superior. No obstante, lo más relevante es que no hay valores atípicos, por lo que el análisis estadístico será más preciso.



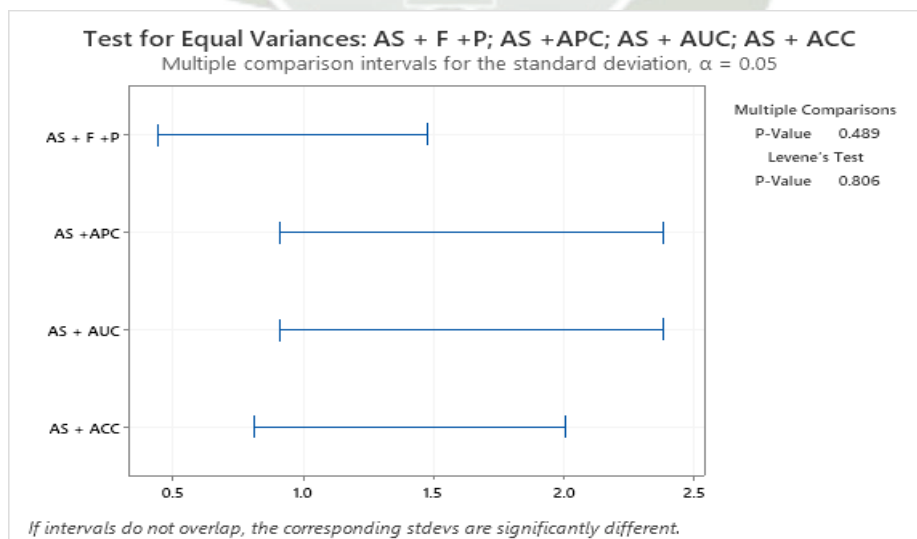
**Figura 28.** Análisis de atipicidad de tratamientos del floculante comercial y almidón cationizado.

Seguidamente, se determinó el tipo de distribución que tenían los datos. En la figura 29 se comparan los datos de los tratamientos con un análisis de distribución. El valor  $p$  resultó ser menor a 0.005, por lo que se concluye que la distribución es no normal.



**Figura 29.** Análisis estadístico comparativo de tratamientos.

Luego se realizó una prueba de varianzas para determinar el tipo de prueba estadística a utilizar (Figura 30). Las varianzas se superponen y el valor p de la prueba de Levene es mayor a 0.05, por lo que las desviaciones estándar no son significativamente diferentes.



**Figura 30.** Análisis global de precisión de varianzas.

Finalmente, teniendo en cuenta que los datos siguen una distribución no normal y que las desviaciones estándar de los tratamientos no son diferentes significativamente, se procedió a realizar un análisis de Kruskal-Wallis (Figura 31). En este análisis, el valor p es menor a 0.05, por lo que se determina que hay diferencia significativa entre los tratamientos, sin embargo, esta prueba no da información sobre la eficacia de un tratamiento frente a otro, por lo que se realizaron pruebas subsiguientes comparando los tratamientos uno a uno, resultando 6 posibles combinaciones.

#### Test

Null hypothesis H<sub>0</sub>: All medians are equal  
Alternative hypothesis H<sub>1</sub>: At least one median is different

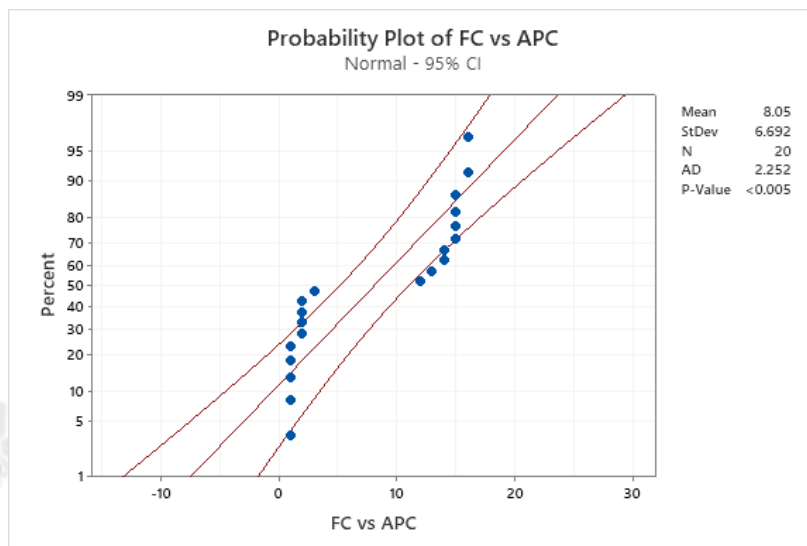
Method	DF	H-Value	P-Value
Not adjusted for ties	3	36.44	0.000
Adjusted for ties	3	36.71	0.000

**Figura 31.** Análisis global de Kruskal-Wallis.

### 3.6.2. Análisis uno a uno entre tratamientos

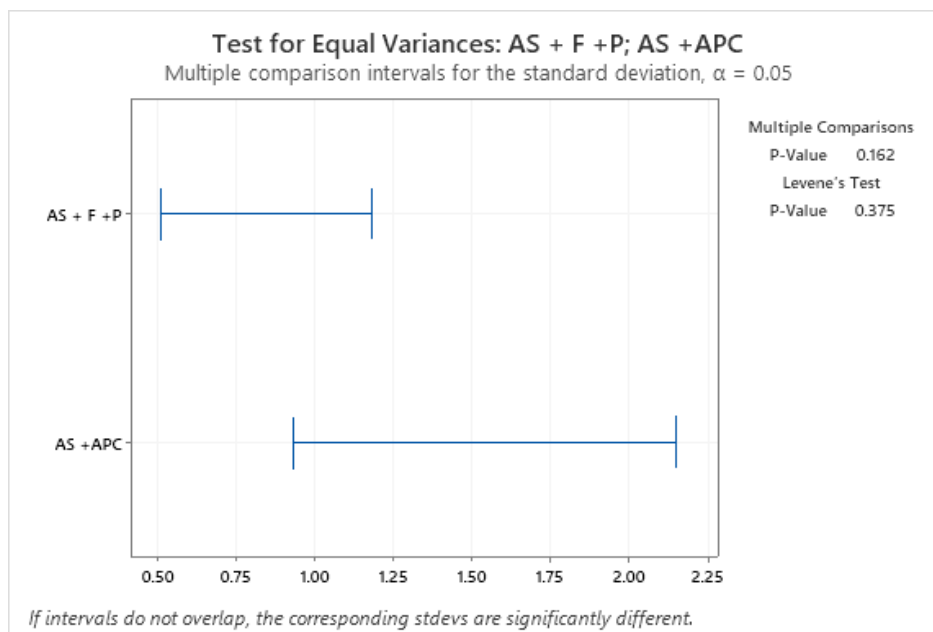
#### 3.6.2.1. Floculante comercial y almidón cationizado de papa *Peruanita*

Se determinó el tipo de distribución que tenían los datos. En la figura 32 se comparan los datos del floculante comercial y el APC. El valor p resultó ser menor a 0.005, por lo que se concluye que la distribución es no normal.



**Figura 32.** Análisis de distribución entre el floculante comercial (FC) y el almidón cationizado depapa *Peruanita* (APC).

En la prueba de varianzas (Figura 33), las varianzas se sobrelapan y el valor p de la prueba de Levene es mayor a 0.05, por lo que las desviaciones estándar no son significativamente diferentes.



**Figura 33.** Análisis de precisión de varianzas entre el floculante comercial (FC) y el almidón cationizado de papa *Peruanita* (APC).

Sabiendo que los datos tienen una distribución no normal y que las desviaciones estándar de los tratamientos no son diferentes significativamente, se procedió a realizar un análisis de Kruskal- Wallis (Figura 34). En este análisis, el valor p es menor a 0.05, por lo que se determina que hay diferencia significativa entre los tratamientos FC y APC.

**Test**

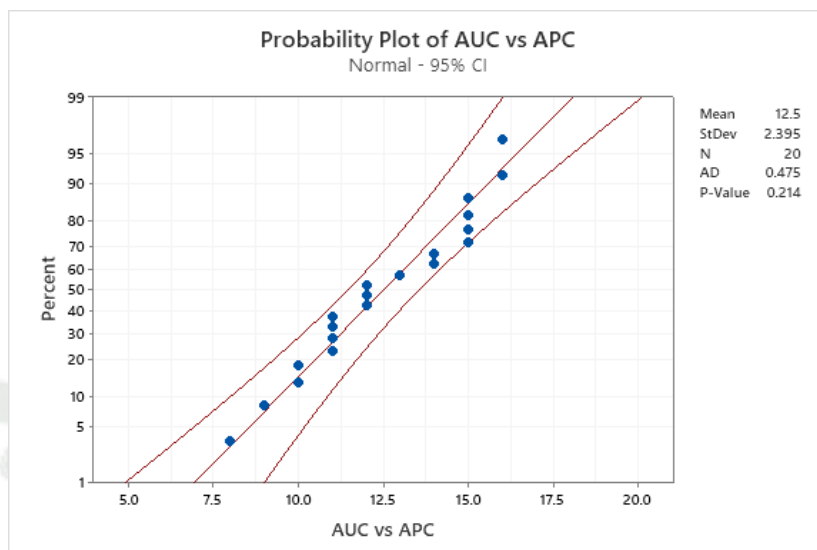
Null hypothesis  $H_0$ : All medians are equal  
Alternative hypothesis  $H_1$ : At least one median is different

Method	DF	H-Value	P-Value
Not adjusted for ties	1	14.29	0.000
Adjusted for ties	1	14.75	0.000

**Figura 34.** Análisis de Kruskal-Wallis entre el floculante comercial (FC) y el almidón cationizado de papa *Peruanita* (APC).

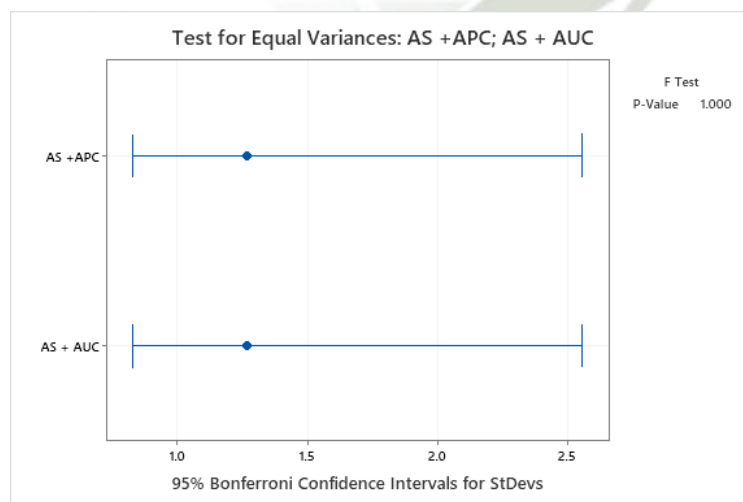
**3.6.2.2. Almidón cationizado de papa *Única* y almidón cationizado de papa *Peruanita***

Se determinó el tipo de distribución que tenían los datos. En la figura 35 se comparan los datos del AUC y el APC. El valor p resultó ser mayor a 0.005, por lo que se concluye que la distribución es normal.



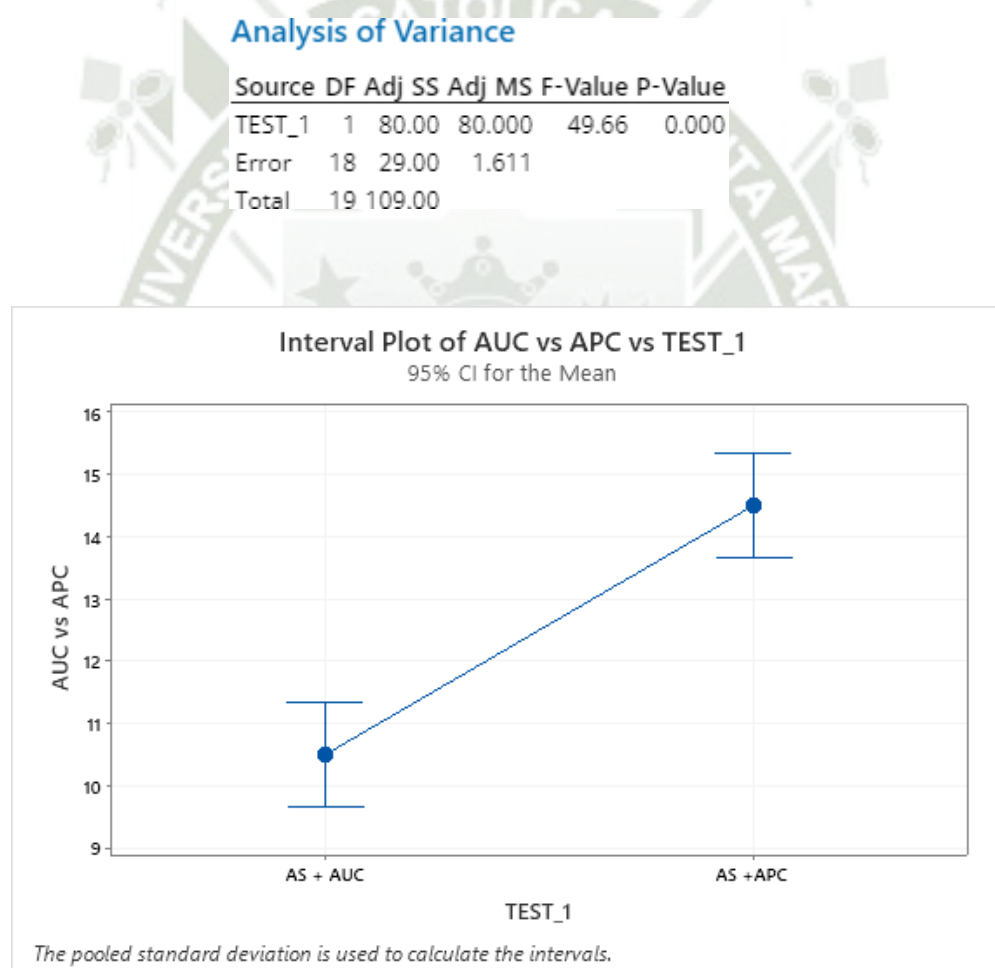
**Figura 35.** Análisis de distribución entre el almidón cationizado de papa *Única* (AUC) y el almidón cationizado de papa *Peruanita* (APC).

El análisis de varianzas arrojó que las varianzas eran iguales (Figura 36), por lo que la desviación estándar también es la misma.



**Figura 36.** Análisis de precisión de varianzas entre el almidón cationizado de papa *Única* (AUC) y el almidón cationizado de papa *Peruanita* (APC).

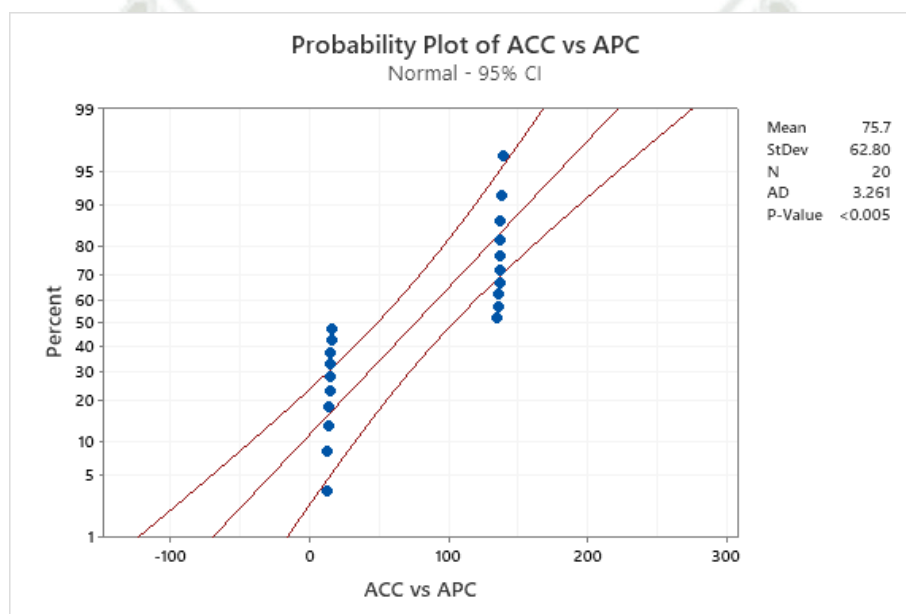
Debido a que la distribución era normal y no había diferencia entre las varianzas, se procedió a hacer una prueba ANOVA (Figura 37). El valor p del test ANOVA resultó ser menor a 0.05, por lo que se concluye que existe diferencia significativa entre los tratamientos del AUC y el APC, lo cual se puede observar mejor en el gráfico de intervalos.



**Figura 37.** Análisis ANOVA entre el almidón cationizado de papa *Única* (AUC) y el almidón cationizado de papa *Peruanita* (APC).

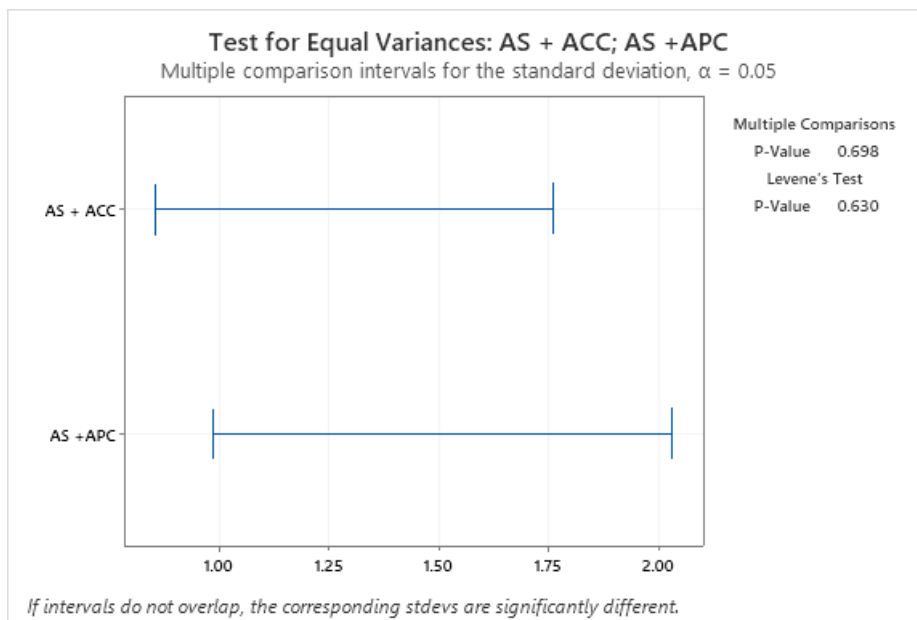
### 3.6.2.3. Almidón cationizado de papa *Canchán* y almidón cationizado de papa *Peruanita*

Se analizó el tipo de distribución que tenían los datos. En la figura 38 se comparan los datos del ACC y el APC. El valor p resultó ser menor a 0.005, por lo que se concluye que la distribución es no normal.



**Figura 38.** Análisis de distribución entre el almidón cationizado de papa *Canchán* (ACC) y el almidón cationizado de papa *Peruanita* (APC).

En la prueba de varianzas (Figura 38), las varianzas se sobrelapan y el valor p de la prueba de Levene es mayor a 0.05, por lo que las desviaciones estándar no son significativamente diferentes.



**Figura 39.** Análisis de precisión de varianzas entre el almidón cationizado de papa *Canchán* (ACC) y el almidón cationizado de papa *Peruanita* (APC).

Siendo que los datos tienen una distribución no normal y que las desviaciones estándar de los tratamientos no son diferentes significativamente, se procedió a realizar un análisis de Kruskal- Wallis (Figura 40). En este análisis, el valor p es menor a 0.05, por lo que se determina que hay diferencia significativa entre los tratamientos ACC y APC.

### Test

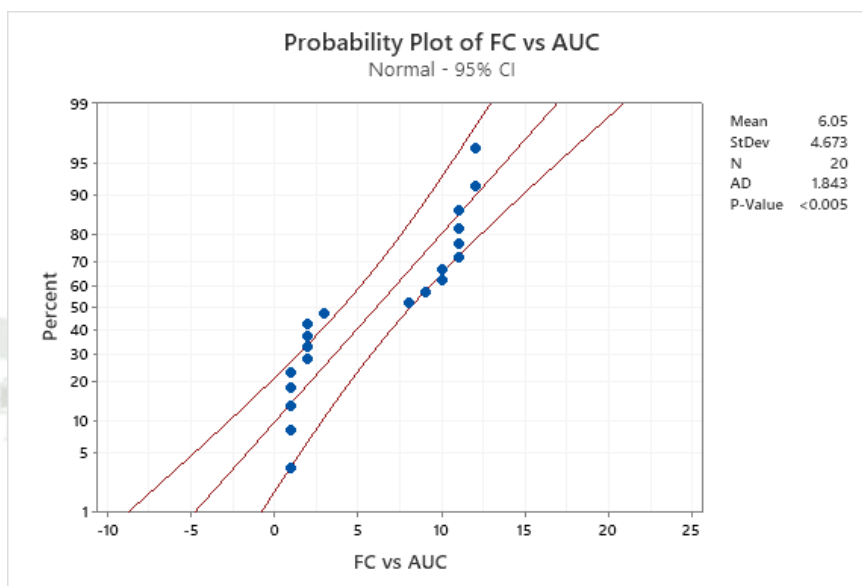
Null hypothesis  $H_0$ : All medians are equal  
Alternative hypothesis  $H_1$ : At least one median is different

Method	DF	H-Value	P-Value
Not adjusted for ties	1	14.29	0.000
Adjusted for ties	1	14.65	0.000

**Figura 40.** Análisis de Kruskal-Wallis entre el almidón cationizado de papa *Canchán* (ACC) y el almidón cationizado de papa *Peruanita* (APC).

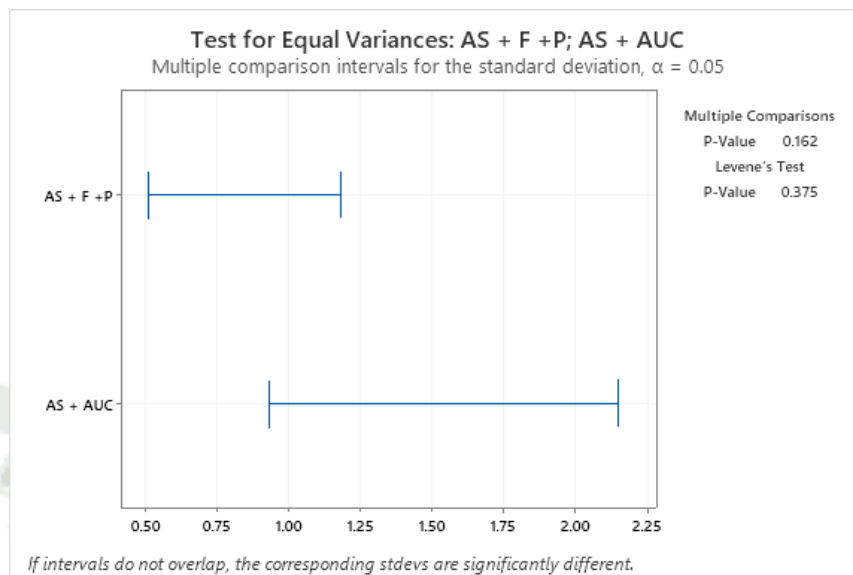
### 3.6.2.4. Floculante comercial y almidón cationizado de papa *Única*

Se determinó el tipo de distribución que tenían los datos. En la figura 41 se comparan los datos del floculante comercial y el AUC. El valor p resultó ser menor a 0.005, por lo que se concluye que la distribución es no normal.



**Figura 41.** Análisis de distribución entre el floculante comercial (FC) y el almidón cationizado de papa *Única* (AUC).

En la prueba de varianzas (Figura 42), las varianzas se sobrelapan y el valor p de la prueba de Levene es mayor a 0.05, por lo que las desviaciones estándar no son significativamente diferentes.



**Figura 42.** Análisis de precisión de varianzas entre el floculante comercial (FC) y el almidón cationizado de papa *Única* (AUC).

Ya que los datos tienen una distribución no normal y que las desviaciones estándar de los tratamientos no son diferentes significativamente, se procedió a realizar un análisis de Kruskal- Wallis (Figura 43). En este análisis, el valor p es menor a 0.05, por lo que se determina que hay diferencia significativa entre los tratamientos FC y AUC.

**Test**

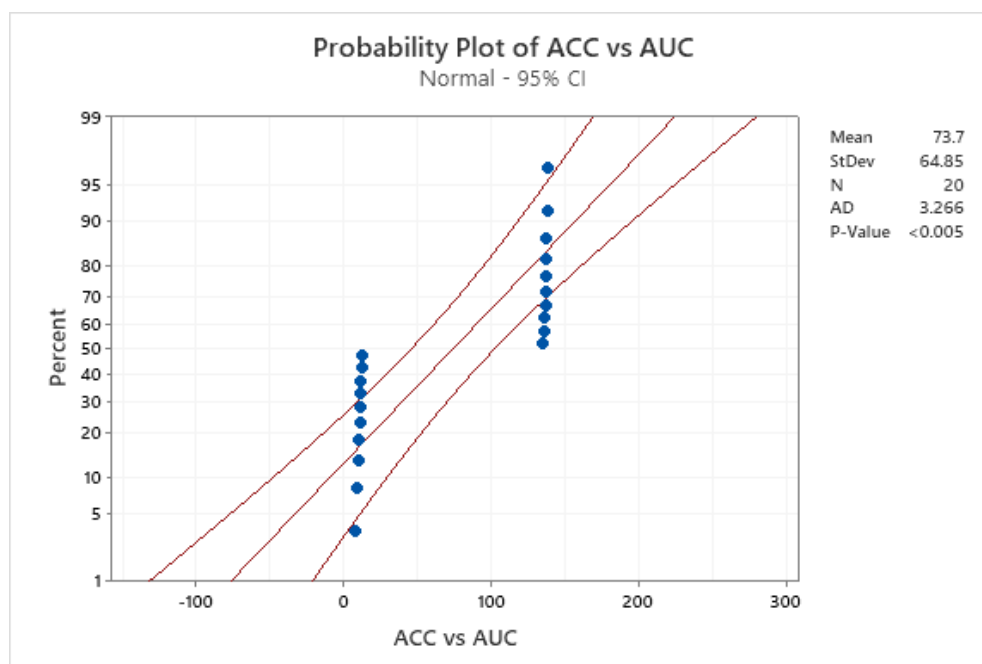
Null hypothesis  $H_0$ : All medians are equal  
Alternative hypothesis  $H_1$ : At least one median is different

Method	DF	H-Value	P-Value
Not adjusted for ties	1	14.29	0.000
Adjusted for ties	1	14.75	0.000

**Figura 43.** Análisis de Kruskal-Wallis entre el floculante comercial (FC) y el almidón cationizado de papa *Única* (AUC).

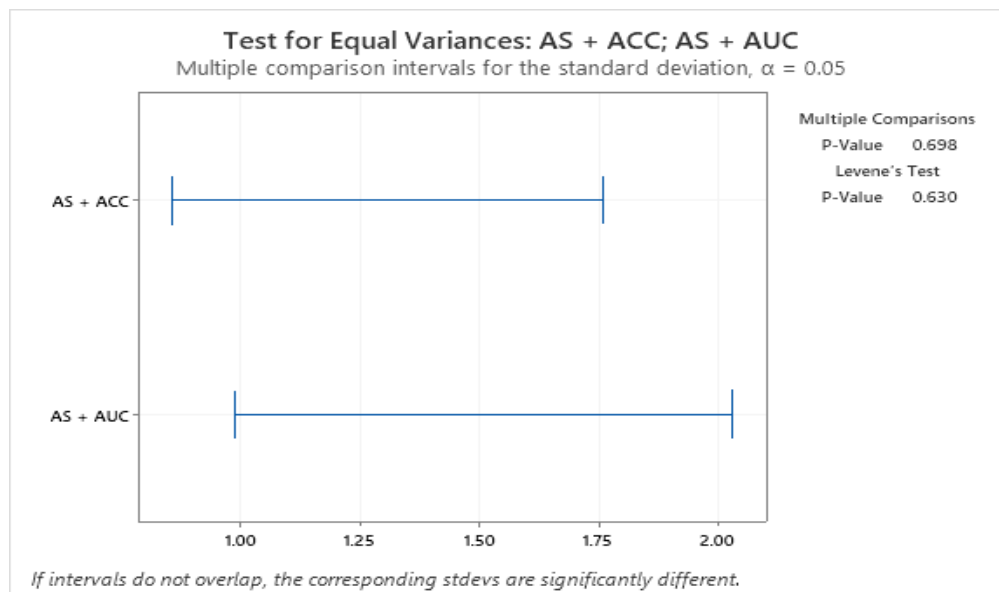
### 3.6.2.5. Almidón cationizado de papa *Canchán* y almidón cationizado de papa *Única*

Se determinó el tipo de distribución que tenían los datos. En la figura 44 se comparan los datos del ACC y el APC. El valor p resultó ser menor a 0.005, por lo que se concluye que la distribución es no normal.



**Figura 44.** Análisis de distribución entre el almidón cationizado de papa *Canchán* (ACC) y el almidón cationizado de papa *Única* (AUC).

En la prueba de varianzas (Figura 45), las varianzas se superponen y el valor p de la prueba de Levene es mayor a 0.05, por lo que las desviaciones estándar no son significativamente diferentes.



**Figura 45.** Análisis de precisión de varianzas entre el almidón cationizado de papa *Canchán* (ACC) y el almidón cationizado de papa *Única* (AUC).

Sabiendo que los datos tienen una distribución no normal y que las desviaciones estándar de los tratamientos no son diferentes significativamente, se procedió a realizar un análisis de Kruskal-Wallis (Figura 46). En este análisis, el valor p es menor a 0.05, por lo que se determina que hay diferencia significativa entre los tratamientos ACC y AUC.

### Test

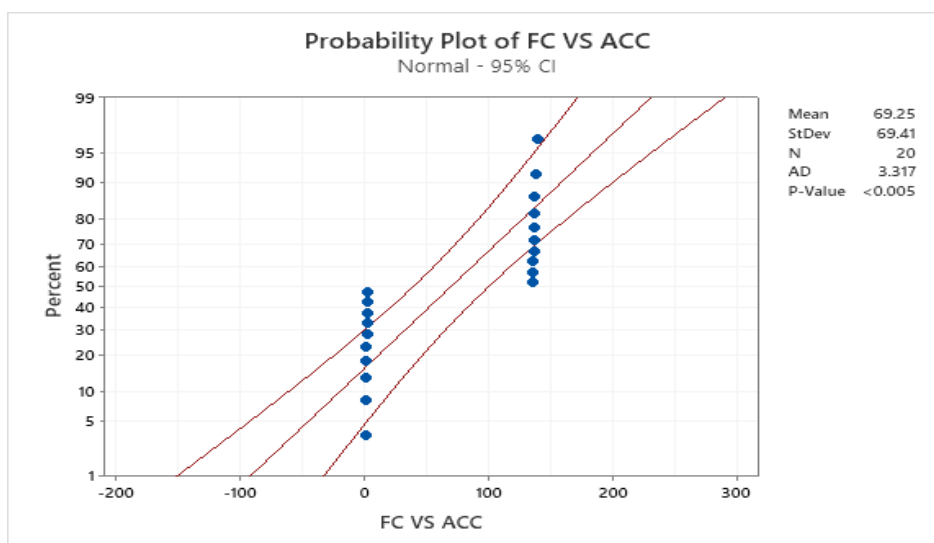
Null hypothesis  $H_0$ : All medians are equal  
Alternative hypothesis  $H_1$ : At least one median is different

Method	DF	H-Value	P-Value
Not adjusted for ties	1	14.29	0.000
Adjusted for ties	1	14.65	0.000

**Figura 46.** Análisis de Kruskal-Wallis entre el almidón cationizado de papa *Canchán* (ACC) y el almidón cationizado de papa *Única* (AUC).

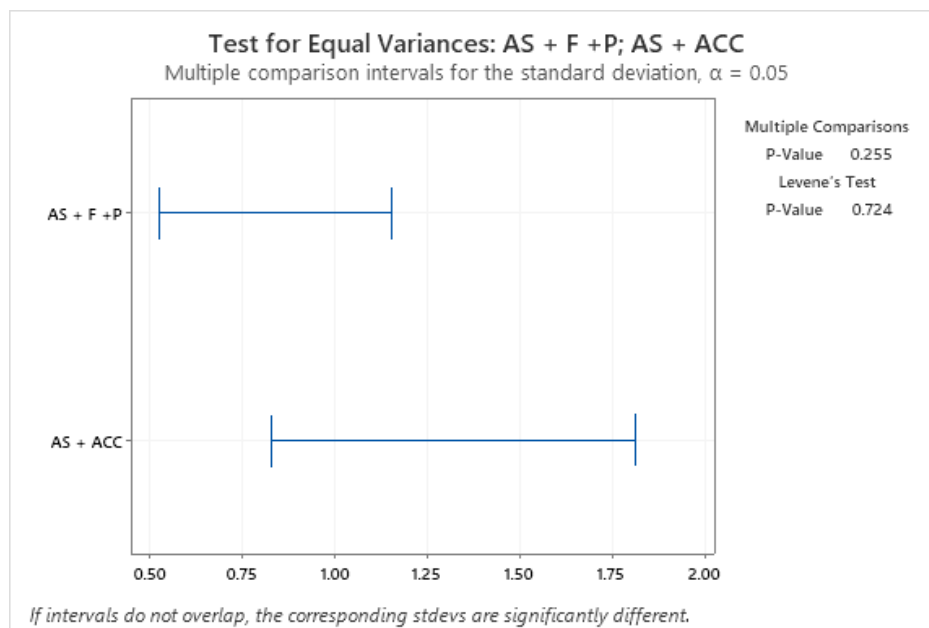
### 3.6.2.6. Floculante comercial y almidón cationizado de papa *Canchán*

Se determinó el tipo de distribución que tenían los datos. En la figura 47 se comparan los datos del floculante comercial y el ACC. El valor p resultó ser menor a 0.005, por lo que se concluye que la distribución es no normal.



**Figura 47.** Análisis de distribución entre el floculante comercial (FC) y el almidón cationizado de papa *Canchán* (ACC).

En la prueba de varianzas (Figura 48), las varianzas se sobrelapan y el valor p de la prueba de Levene es mayor a 0.05, por lo que las desviaciones estándar no son significativamente diferentes.



**Figura 48.** Análisis de precisión de varianzas entre el floculante comercial (FC) y el almidón cationizado de papa *Canchán* (ACC).

Finalmente, dado que los datos tienen una distribución no normal y que las desviaciones estándar de los tratamientos no son diferentes significativamente, se procedió a realizar un análisis de Kruskal-Wallis (Figura 49). En este análisis, el valor p es menor a 0.05, por lo que se determina que hay diferencia significativa entre los tratamientos FC y ACC.

### Test

Null hypothesis  $H_0$ : All medians are equal  
 Alternative hypothesis  $H_1$ : At least one median is different

Method	DF	H-Value	P-Value
Not adjusted for ties	1	14.29	0.000
Adjusted for ties	1	14.86	0.000

**Figura 49.** Análisis de Kruskal-Wallis entre el floculante comercial (FC) y el almidón cationizado de papa *Canchán* (ACC).

## CONCLUSIONES

1. Se logró exitosamente extraer el almidón de las papas en estudio, obteniendo un rendimiento de 96,75 g / Kg de papa var. *Canchán*; 126,75 g / Kg de papa var. *Peruanita* y 120 g / Kg de papa var. *Única*. Asimismo, se realizó el análisis del almidón de las tres variedades, encontrando que la papa var. *Canchán* tiene un contenido de amilosa del 19%, la papa var. *Peruanita* tiene un contenido de amilosa del 26.3% y la papa var. *Única* tiene un contenido de amilosa del 27.4%, considerándose los tres almidones dentro de la categoría de almidones normales.
2. Se determinó la capacidad floculante de los tres almidones cationizados con CGTA, encontrándose que, a los 30 minutos, el almidón cationizado de la papa *Canchán* disminuyó la turbidez del agua de 363 NTU a 137.33 NTU, el de la papa *Peruanita* la disminuyó de 363 NTU a 15.33 NTU y el de la papa *Única* la disminuyó de 363 NTU a 10.33 NTU.
3. Se evidenció floculación al utilizarse los almidones sin modificar, aunque con un mayor tiempo desedimentación y una menor eficiencia: A las 24 horas, el almidón de la papa *Canchán* disminuyó la turbidez del agua de 363 NTU a 138 NTU, el de la papa *Peruanita* la disminuyó de 363 NTU a 126 NTU y el de la papa *Única* la disminuyó de 363 NTU a 145 NTU.
4. Al aplicar los análisis estadísticos de Kruskal-Wallis o ANOVA según correspondía con los resultados del análisis de distribución y el análisis de precisión de varianzas, se encontró que el orden de eficacia de los tratamientos es como sigue: Floculante comercial > Almidón cationizado de papa *Única* > Almidón cationizado de papa *Peruanita* > Almidón cationizado de papa *Canchán*. Además, se corrobora de acuerdo a la conclusión 3 que la modificación del almidón no funcional con (CGTA) aumenta la capacidad floculante de este, demostrando mayor capacidad la variedad UNICA modificada.

## RECOMENDACIONES Y SUGERENCIAS

1. La metodología de cationización descrita por Wei et al<sup>67</sup> se adaptó para el presente trabajo debido a factores económicos y de tiempo. El cambio de una purificación mediante diálisis y subsecuente liofilización, por un simple secado a temperatura ambiente, pudo haber causado una diferencia en la pureza del almidón cationizado, y, por ende, en los resultados obtenidos. Por lo tanto, se sugiere repetir el experimento con la metodología original, para obtener un refinamiento de los productos.
2. Para el test de jarras se utilizó una concentración de 50 ppm de almidón cationizado de papa, sin embargo, una continuación adecuada para este proyecto podría ser la optimización de la concentración a aplicar. Se sugiere realizar ensayos a distintas concentraciones de almidón cationizado de estas tres variedades de papa (*Canchán*, *Peruanita* y *Única*), y encontrar aquella que tenga mejores resultados en la floculación.
3. El almidón extraído de la papa *Canchán* no cumplió con las expectativas de la cationización ni de la floculación, aunque organolépticamente el almidón extraído de esta era prácticamente idéntico a los obtenidos de las papas *Peruanita* y *Única*. Por ello se sugiere encontrar las condiciones de cationización de la variedad *Canchán*, teniendo como variables, por ejemplo, la concentración de reactivos, el tiempo y potencia del microondas o el método en sí.

## REFERENCIAS

1. FAO. Andean heritage [Internet]. International Year of the Potato. 2008 [cited 2021 Apr 26]. Available from: <http://www.fao.org/potato-2008/en/potato/origins.html>
2. Reader J. Potato: A history of the proitious esculent. Gran Bretaña: William Heinemann; 2008.
3. Smith DB, Roddick JG, Jones JL. Potato glycoalkaloids: Some unanswered questions. Trends FoodSci Technol. 1996;7.
4. Ugent D. The Potato. Science (80- ). 1970;170(3963):1161–6.
5. Horton D. La papa: Producción, Comercialización y Programas [Internet]. 1992. Available from: [https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=4fKZMR814I8C&oi=fnd&pg=PA1&dq=papa&ots=XkXfqczBry&sig=DKVobdyC8OldSML9PgU9QmU08bs&redir\\_esc=y#v=onepage&q=papa&f=false](https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=4fKZMR814I8C&oi=fnd&pg=PA1&dq=papa&ots=XkXfqczBry&sig=DKVobdyC8OldSML9PgU9QmU08bs&redir_esc=y#v=onepage&q=papa&f=false)
6. Hijmans RJ, Spooner DM. Geographic distribution of wild potato species. Am J Bot.2001;88(11):2101–12.
7. Hijmans RJ. Global distribution of the potato crop. Am J Potato Res. 2001;78(6):403–12.
8. Integrated Taxonomy System (ITIS). Solanum tuberosum L. [Internet]. [cited 2021 Apr 26]. Available from: [https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search\\_topic=TSN&search\\_value=505272# null](https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=505272#null)
9. Egúsquiza BR. La papa: producción, transformación y comercialización [Internet]. Lima - Perú;2000. Available from: [https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=6ciGbBX0uFwC&oi=fnd&pg=PA24&dq=papa&ots=3cWa3RZ3F5&sig=EPwbQQHIw7s\\_jTLNnMMvs9vqXaU&redir\\_esc=y#v=onepage&q=papa&f=false](https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=6ciGbBX0uFwC&oi=fnd&pg=PA24&dq=papa&ots=3cWa3RZ3F5&sig=EPwbQQHIw7s_jTLNnMMvs9vqXaU&redir_esc=y#v=onepage&q=papa&f=false)
10. Thieret JW. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardineria. L. R. Parodi. Vol. 36, The QuarterlyReview of Biology. 1961. p. 293–4.

11. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). Manual Técnico Manejo Integrado Del Cultivo De Papa. 2020;
12. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). Papa INIA 303 - Canchán. 2012;14–5.
13. Centro Internacional de la Papa (CIP). Catálogo de Variedades de Papa Nativa de Huancavelica -Perú. 2006.
14. Centro Internacional de la Papa (CIP). UNICA, una papa adaptable y productiva para los agricultores de todo el mundo [Internet]. 2018 [cited 2021 Jun 5]. Available from: <https://cipotato.org/es/blog-es/unica-papa-adaptable-productiva-agricultores-mundo/>
15. MINAGRI. FICHA TECNICA: PAPA [Internet]. 2015 [cited 2021 Apr 26]. Available from: <https://www.minagri.gob.pe/portal/especial-iv-cenagro/25-sector-agrario/papa/207-papa>
16. Seminario JF, Seminario A, Domínguez A, Escalante B. Harvest performance of seventeen potato cultivar (*Solanum tuberosum* L.) from the Phureja group. *Sci Agropecu.* 2017;8(3):181–91.
17. MINAGRI. Papa: Características de la Producción Nacional y de la Comercialización en Lima Metropolitana. Boletín [Internet]. 2017;1(1):12. Available from: <https://repositorio.minagri.gob.pe/bitstream/MINAGRI/369/1/boletin-prod-nacional-papa.pdf>
18. Haverkort AJ, Sandaña P, Kalazich J. Yield Gaps and Ecological Footprints of Potato Production Systems in Chile. *Potato Res.* 2014;57(1):13–31.
19. FAO. FAOSTAT [Internet]. 2021 [cited 2021 Apr 26]. Available from: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
20. Vreugdenhil D et al. *Potato Biology and Biotechnology: Advances and Perspectives.* 2007.
21. Singh J & KL. *Advances in Potato Chemistry and Technology.* 2009.
22. Lisinska, G.; Leszczynski W. *Potato Science and Technology* [Internet]. 1989. Available from: <https://books.google.com.pe/books?id=WYT1S7qhn4sC&printsec=frontcover&hl=es>

- &source= gbs\_ge\_summary\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
23. Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). IV Censo Nacional Agropecuario. Result Defin IV Censo Nac Agropecu [Internet]. 2012;62. Available from:  
<http://proyectos.inei.gob.pe/web/DocumentosPublicos/ResultadosFinalesIVCENAGRO.pdf>
  24. Organización de las Naciones Unidas (ONU). Resolution adopted by the General Assembly on 22 December 2005 - 60/191. International Year of the Potato, 2008. 2006.
  25. Luis J&, Chavesta M. Plan Nacional de Cultivos: Campaña Agrícola 2019-2020. 2020;
  26. Woolfe JA. The potato in the human diet. Endeavour. 1987.
  27. Gould WA. Potato Production, Processing and Technology. Potato Production, Processing and Technology. 1999.
  28. FAO. Uses of potato [Internet]. International Year of the Potato. 2008 [cited 2021 Apr 26]. Available from: <http://www.fao.org/potato-2008/en/potato/utilization.html>
  29. Wingching-Jones R. Uso de raíces y tubérculos en nutrición animal. 2015.
  30. Vlachojannis JE, Cameron M, Chrubasik S. Medicinal Use of Potato-derived Products: A Systematic Review. Phyther Res [Internet]. 2010;24:159–62. Available from: <http://www3.interscience.wiley.com/journal/117934759/abstract>
  31. Ramírez DA, Kreuze J, Amoros W, Valdivia-Silva JE, Ranck J, Garcia S, et al. Extreme salinity as a challenge to grow potatoes under Mars-like soil conditions: targeting promising genotypes. IntJ Astrobiol. 2017;18(1):1–7.
  32. Chintagunta AD, Jacob S, Banerjee R. Integrated bioethanol and biomanure production from potato waste. Waste Manag [Internet]. 2016;49(2015):320–5. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2015.08.010>
  33. Dziejczak, S.Z. & Kearsley MW. Handbook of Starch Hydrolysis Products and their Derivatives. 2012. 275 p.
  34. Hancock RD, Tarbet BJ. The Other Double Helix - The Fascinating Chemistry of Starch. J Chem Educ. 2000;77(8):988–92.

35. BeMiller, James & Whistler R. Starch: Chemistry and Technology. Third Ed. 2009.
36. Zia-ud-Din, Xiong H, Fei P. Physical and chemical modification of starches: A review. Crit Rev Food Sci Nutr [Internet]. 2017;57(12):2691–705. Available from: <http://dx.doi.org/10.1080/10408398.2015.1087379>
37. Radley JA. Industrial Uses of Starch and its Derivatives. First. 1976.
38. Sanders JPM. Biorefinery - The bridge between Agriculture and Chemistry. 2014.
39. Lynd LR, Wyman C, Laser M, Landucci R, Johnson D. Strategic Biorefinery Analysis: Analysis of Biorefineries January 24, 2002 — July 1, 2002. NREL Tech Rep. 2005;(October).
40. Alcázar-Alay SC, Meireles MAA. Physicochemical properties, modifications and applications of starches from different botanical sources. Food Sci Technol. 2015;35(2):215–36.
41. Zhongquan S, Xiangli K. Physical Modifications of Starch. 2018.
42. Chung-wai C, Solarek D. Modification of Starches. In 2009. p. 629–48.
43. Kaur B, Ariffin F, Bhat R, Karim AA. Progress in starch modification in the last decade. Food Hydrocoll. 2012;26(2):398–404.
44. Janssen, Leon & Moscicki L. Thermoplastic Starch: A Green Material for Various Industries. 2009.
45. Singh J, Kaur L, Singh N. Effect of acetylation on some properties of corn and potato starches. Starch/Staerke. 2004;56(12):586–601.
46. Kamel S, Jahangir K. Optimization of carboxymethylation of starch in organic solvents. Int J PolymMater Polym Biomater. 2007;56(5):511–9.
47. Beenackers AAC. Novel processes for the carboxymethylation of starch. Żywność Technol JakośćSupl. 1998;05(4):19–46.
48. Prado HJ, Matulewicz MC. Cationization of polysaccharides: A path to greener derivatives with many industrial applications. Eur Polym J. 2014;52(1):53–75.
49. Hellwig G, Bischoff D, Andreas-Rubo H. Production of Cationic Starch Ethers Using an ImprovedDry Process. 1992;(2).
50. Bendoraitiene J, Klimaviciute R, Zemaitaitis A. Preparation of high-substituted cationic starch inpresence of organic bases. Starch/Staerke. 2012;64(9):696–703.

51. Yook C, Sosulski F, Saskatoon PRB. Effects of Cationization on Functional Properties of Pea and Corn Starches. *Starch - Stärke*. 1994;46(10):393–9.
52. Kavaliauskaite R, Klimaviciute R, Zemaitaitis A. Factors influencing production of cationic starches. *Carbohydr Polym*. 2008;73(4):665–75.
53. Lappalainen K, Kärkkäinen J, Joensuu P, Lajunen M. Modification of potato peel waste with base hydrolysis and subsequent cationization. *Carbohydr Polym* [Internet]. 2015;132:97–103. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.05.069>
54. Pal S, Mal D, Singh RP. Characterization of Cationic Starch: An Efficient Flocculating Agent. *J Appl Polym Sci*. 2008;108:2674–81.
55. Su Y, Du H, Huo Y, Xu Y, Wang J, Wang L, et al. Characterization of cationic starch flocculants synthesized by dry process with ball milling activating method. *Int J Biol Macromol*. 2016;87:34–40.
56. Renault F, Morin-Crini N, Gimbert F, Badot PM, Crini G. Cationized starch-based material as a new ion-exchanger adsorbent for the removal of C.I. Acid Blue 25 from aqueous solutions. *Bioresour Technol*. 2008;99(16):7573–86.
57. Jiang Y, Ju B, Zhang S, Yang J. Preparation and application of a new cationic starch ether - Starch-methylene dimethylamine hydrochloride. *Carbohydr Polym* [Internet]. 2010;80(2):467–73. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2009.12.002>
58. López CM, Buitrón G, Gracia HA, Cervantes FJ. Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, modelación y diseño. 2017.
59. Orozco A. Biongeniería de aguas residuales: Teoría y Diseño. 2005. 578 p.
60. Ramalho RS. Tratamiento de aguas residuales. 2009. 705 p.
61. Santa Clara Valley Derrames Urbanos: Programa Prevención de la Contaminación. Contaminación de Aguas Pluviales [Internet]. [cited 2021 May 30]. Available from: <https://www.mywatershedwatch.org/es/about-watersheds/stormwater-pollution/>
62. UNESCO. Aguas residuales: El recurso desaprovechado. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017 AGUAS [Internet]. 2017. Available from: [http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas\\_Residuales\\_composicion.pdf](http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf)

63. Perez JA. Manual de tratamiento de aguas. UNAL; 1981.
64. Metcalf E. Ingeniería de aguas residuales, tratamiento, vertido y reutilización. Third Ed. Vol. 1; 1995.
65. Noyola A, Morgan J, Guereca L. Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales [Internet]. 2013. 1–140 p.  
Available from:  
<http://es.slideshare.net/EdwinMamaniVilcapaza/seleccion-de-tecnologias-para-el-tratamiento-de-aguas-residuales-municipales>
66. Peña Carrasco E. Extracción y caracterización fisicoquímica y funcional de almidones de cinco variedades de papas nativas procedentes de Ilave (Puno). Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM); 2017.
67. Wei Y, Cheng F, Zheng H. Synthesis and flocculating properties of cationic starch derivatives. Carbohydr Polym. 2008;74(3):673–9.
68. Singh N, Singh J, Kaur L, Sodhi NS, Gill BS. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. 2003;81:219–31.
69. Kaur L, Singh N, Sodhi NS. Some properties of potatoes and their starches. II. Morphological, thermal and rheological properties of starches. Food Chem. 2002;79(2):183–92.
70. Talja RA, Peura M, Serimaa R, Jouppila K. Effect of amylose content on physical and mechanical properties of potato-starch-based edible films. Biomacromolecules. 2008;9(2):658–63.
71. Vasanthan T, Bergthaller W, Driedger D, Yeung J, Sporns P. Starch from Alberta potatoes: Wet-isolation and some physicochemical properties. Food Res Int. 1999;32(5):355–65.
72. Noda T, Matsuura-Endo C, Ishiguro K. Physicochemical properties of potato starches manufactured in Hokkaido factories. J Food Sci Technol [Internet]. 2019; Available from: <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03727-4>
73. Sanchez-González JA, Echeverria C, Lescano L, Linares G, Arteaga-Miñano HL, Soriano- Colchado J, et al. Physico-chemical, thermal and rheological characteristics

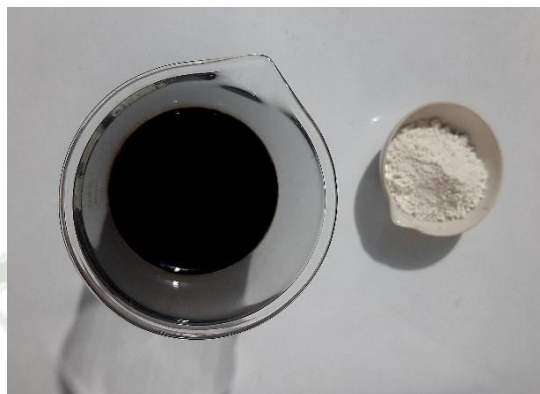
- of starch isolated from four commercial potatoes cultivars. *Sci Agropecu.* 2019;10(1):63–71.
74. Martínez P, Málaga A, Betalleluz I, Ibarz A, Velezmoro C. Functional characterization on native starch of Peruvian native potatoes (*Solanum phureja*). *Sci Agropecu.* 2015;6(4):291–301.
  75. Martínez P, Peña F, Gómez Y, Vargas G, Velezmoro C. Propiedades fisicoquímicas, funcionales y estructurales de almidones nativos y acetilados obtenidos a partir de la papa (*Solanum tuberosum*) var. ‘ÚNICA’. *Rev Soc Quim.* 2019;85(3):338–51.
  76. Tester RF, Karkalas J, Qi X. Starch - Composition, fine structure and architecture. *J CerealSci.* 2004;39(2):151–65.
  77. Bhat R. Varying amylose and total starch content in potato tubers derived from Finland and Sweden. *Sveriges lantbruksuniversitet* [Internet]. 2015;(385):1–11. Available from: [https://stud.epsilon.slu.se/8556/11/bhat\\_r\\_151021.pdf](https://stud.epsilon.slu.se/8556/11/bhat_r_151021.pdf)
  78. Haase NU, Plate J. Properties of potato starch in relation to varieties and environmental factors. *Starch/Staerke.* 1996;48(5):167–71.
  79. Simkova D, Lachman J, Hamouz K, Vokal B. Effect of cultivar, location and year on total starch, amylose, phosphorus content and starch grain size of high starch potato cultivars for food and industrial processing. *Food Chem.* 2013;141(4):3872–80.
  80. Jiménez J, Vargas M, Quirós Noemi. Estimación de la tuna (*Opuntia Cuchinilliera*) para la remoción del color en agua potable Estimation of the nopal cactus (*Opuntia cochenillifera*) for color removal in drinking water. *Tecnol en Marcha* [Internet]. 2012;42(4):55–62.
  81. Ma J, Fu K, Jiang L, Ding L, Guan Q, Zhang S, et al. Flocculation performance of cationic polyacrylamide with high cationic degree in humic acid synthetic water treatment and effect of kaolin particles. *Sep Purif Technol* [Internet]. 2017;181:201–12. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.seppur.2017.03.027>
  82. Quirós Bustos N, Vargas C. M, Jiménez A. J. “Extracción y análisis de polímeros obtenidos a partir de varios productos naturales, para ser usados como potenciales floculantes en el tratamiento de agua para consumo humano.” 2010.

83. Foroughi M, Chavoshi S, Bagheri M, Yetilmezsoy K, Samadi MT. Alum-based sludge (AbS) recycling for turbidity removal in drinking water treatment: an insight into statistical, technical, and health-related standpoints. *J Mater Cycles Waste Manag* [Internet]. 2018;20(4):1999–2017. Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s10163-018-0746-1>
84. Hubbe M. Cationic Starch [Internet]. [cited 2021 Sep 18]. Available from: <https://projects.ncsu.edu/project/hubbepaperchem/CST.htm>
85. Biduski B, Silva WMF da, Colussi R, Halal SL de M El, Lim LT, Dias ARG, et al. Starch hydrogels: The influence of the amylose content and gelatinization method. *Int J Biol Macromol* [Internet]. 2018;113:443–9. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.02.144>
86. Omoregie H. Chemical Properties of Starch and Its Application in the Food Industry. IntechOpen. 2019.
87. Iselau F, Phan Xuan T, Matic A, Persson M, Holmberg K, Bordes R. Competitive adsorption of amylopectin and amylose on cationic nanoparticles: A study on the aggregation mechanism. *Soft Matter*. 2016;12(14):3388–97.
88. Chama Cabana JR. Evaluación del poder coagulante del almidón de papa (*Solanum tuberosum*) var. *Única* y el policloruro de aluminio para la remoción de la turbidez al ingreso de las aguas a la planta de tratamiento Samegua, Moquegua 2016. Universidad José Carlos Mariátegui; 2017.
89. Aquino León K, Tovar Medina M. Eficiencia de remoción del plomo (II) de aguas residuales mineras utilizando almidón de cáscara de papa (*Solanum tuberosum*) como coagulante natural. Universidad Nacional del Centro del Perú; 2021.



# ANEXOS

## IMÁGENES ADICIONALES



Ácido húmico (izquierda) y caolinita (derecha).



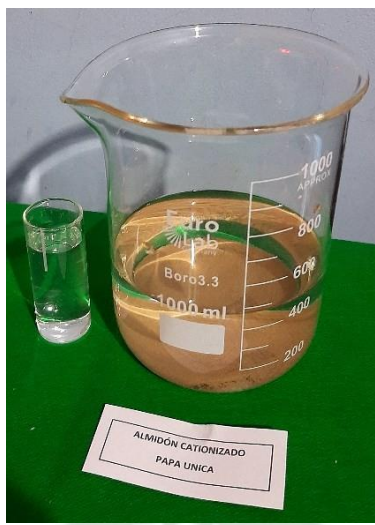
Medición de la turbidez del agua sintética sin tratamiento (363 NTU).



Agua sintética tratada con  $\text{FeCl}_3$  50 ppm / 5 min y Polímero 40 ppm / 15 min.



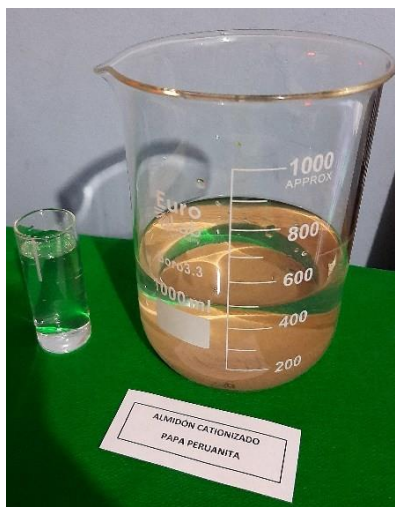
Resultados de la medición de la turbidez del agua sintética tratada con  $\text{FeCl}_3$  50 ppm / 5 min y Polímero 40 ppm / 15 min.



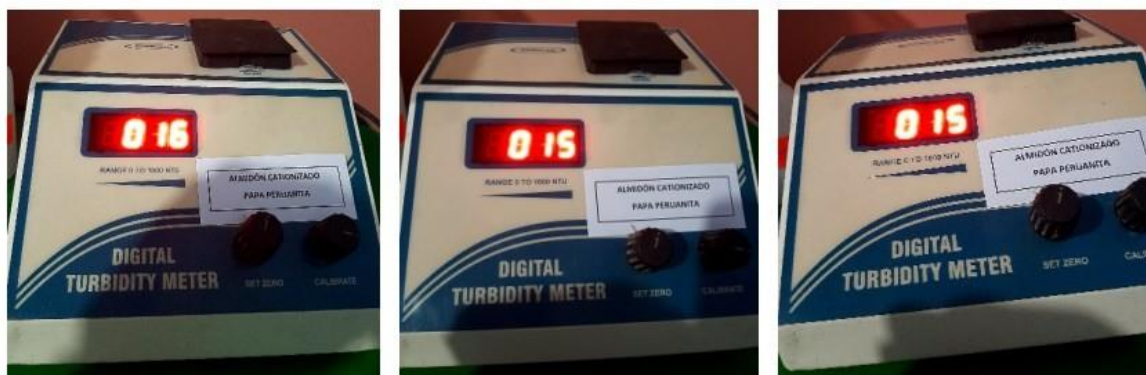
Agua sintética tratada con Almidón Cationizado de papa Única (AUC) 50 ppm / 20 min.



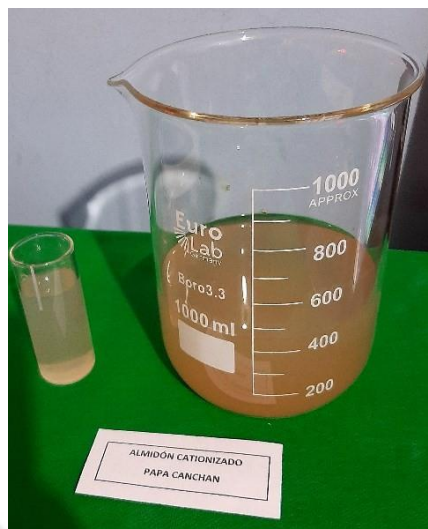
Resultados de la medición de la turbidez del agua sintética tratada con Almidón Cationizado de papa Única (AUC) 50 ppm / 20 min.



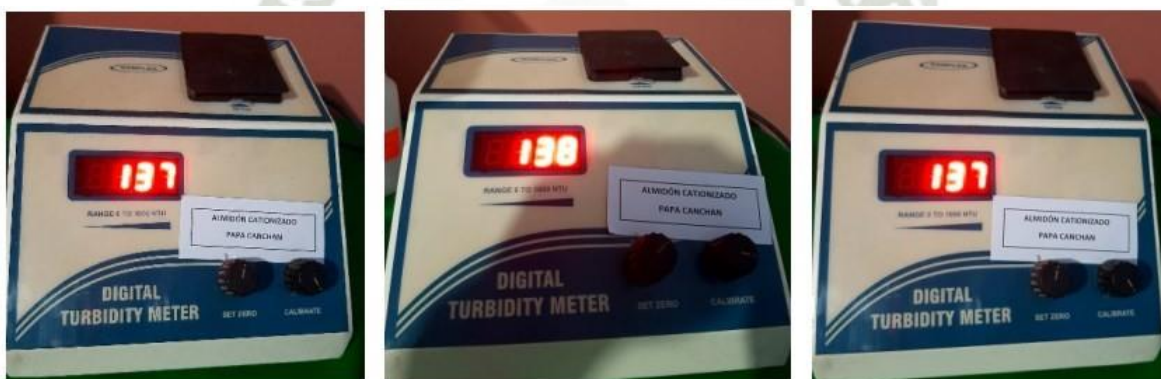
Agua sintética tratada con Almidón Cationizado de papa Peruanita (APC) 50 ppm / 20 min.



Resultados de la medición de la turbidez del agua sintética tratada con Almidón Cationizado de papa Peruanita (APC) 50 ppm / 20 min.



Agua sintética tratada con Almidón Cationizado de papa Canchán (ACC) 50 ppm / 20 min.



Resultados de la medición de la turbidez del agua sintética tratada con Almidón Cationizado de papa Canchán (ACC) 50 ppm / 20 min.



Resultados de la medición de la turbidez del agua sintética tratada con CGTA 50 ppm/ 30 min.



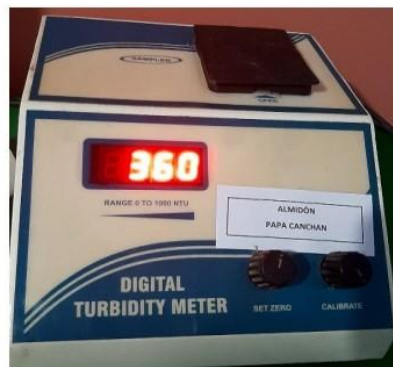
Resultados de la medición de la turbidez del agua sintética tratada con CGTMA 50 ppm/ 24 h.



Resultados de la medición de la turbidez del agua sintética tratada con almidón de papa Peruanita 50 ppm/ 30 min - 24 h



Resultados de la medición de la turbidez del agua sintética tratada con almidón de papa Única 50 ppm/ 30 min - 24 h



Resultados de la medición de la turbidez del agua sintética tratada con almidón de papa Canchán  
50 ppm/ 30 min - 24 h

