



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

**EFECTO DEL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN SOBRE EL
CONTENIDO DE OXALATO DE CALCIO Y LAS PROPIEDADES
FISICOQUÍMICAS DE DOS VARIEDADES DE PAPA CHINA
Colocasia esculenta y *Xanthosoma sagittifolium*.**

TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO(A) AGROINDUSTRIAL

Autora: VALENCIA HERRERÍA YADIRA ELIZABETH

Director: Ing. Juan Carlos de la Vega, MSc.

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Yadira Elizabeth Valencia Herrera bajo mi supervisión.



Ing. Juan Carlos de la Vega.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	0401582994		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Valencia Herrería Yadira Elizabeth		
DIRECCIÓN:	El Ángel, calle Salinas.		
EMAIL:	vadyvalencia@live.com		
TELÉFONO FIJO:	062977665	TELÉFONO MÓVIL:	0961323165

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	EFFECTO DEL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN SOBRE EL CONTENIDO DE OXALATO DE CALCIO Y LAS PROPIEDADES FISCOQUÍMICAS DE DOS VARIEDADES DE PAPA CHINA <i>Colocasia esculenta</i> y <i>Xanthosoma sagittifolium</i> .
AUTOR (ES):	Yadira Elizabeth Valencia Herrería
FECHA: DD/MM/AAAA	13 de febrero
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera agroindustrial
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Juan Carlos de la Vega

2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 9 días del mes de julio de 2020.

EL AUTOR:


Nombre: Yadira Valencia

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE FIGURAS.....	11
RESUMEN.....	14
SUMMARY	15
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN	16
1.1 Antecedentes.....	16
1.2 Problema.....	17
1.3 Justificación.....	19
1.4 Objetivos.....	21
1.4.1 Objetivo General:.....	21
1.4.2 Objetivos Específicos:.....	21
1.4.3 Hipótesis Alternativa.....	21
1.4.4 Hipótesis Nula.....	21
CAPITULO II MARCO TEORICO	22
2.1 BOTÁNICA	22
2.2 PAPA CHINA <i>colocasia esculenta</i>	22
2.2.1 Origen.....	23
2.2.2 Morfología.....	23
2.2.3 Composición nutricional	24
2.2.4 Utilización de la papa china	24

2.3	OCUMO O MALANGA <i>xanthosoma sagittifolium</i>	25
2.3.1	Origen.....	26
2.3.2	Morfología.....	26
2.3.3	Composición nutricional	27
2.3.4	Utilización de la malanga.....	27
2.4	Bioquímica del Oxalato de Calcio.....	28
2.4.1	Oxalato de Calcio y su Relación con la Salud Humana.....	29
2.4.2	Oxalatos de Calcio en la Papa China	30
2.5	Deshidratación.....	31
2.6	Transferencia de masa	35
2.7	Periodos de secado	35
2.8	Transferencia de calor	39
2.8.1	Secadores por conveccion.....	40
2.9	Secadores de bandejas o de armario.....	40
CAPITULO III.....		43
METODOLOGÍA		43
3.1	Caracterización del Área de Estudio	43
3.2	Ubicación del experimento.....	44
3.3	Materiales	47
3.3.1	Materiales y equipos de laboratorio.....	47
3.4	Métodos	47
3.4.1	Factores en estudio.....	47
3.5	Tratamientos.....	48

3.6	Diseño experimental.....	48
3.6.1	Características del experimento	48
3.6.2	Unidad experimental.....	49
3.7	Análisis Estadístico	49
3.7.1	Análisis funcional.....	49
3.8	Variables Evaluadas	49
3.8.1	Variables cuantitativas	49
3.8.2	Manejo Específico del Experimento.....	55
3.9	Descripción del proceso	56
CAPITULO IV RESULTADOS Y DISCUSIONES		59
4.1	Caracterización de Materia Prima	59
4.2	Proceso de Secado	60
4.2.1	Cinética de secado para T1 (50 °C – <i>C. esculenta</i> – 2 m/s).....	60
4.2.2	Curva de velocidad de secado T1 (50 °C – <i>C. esculenta</i> – 2 m/s).....	61
4.2.3	Cálculo tiempo total de secado.	63
4.3	Evaluación de Propiedades Fisicoquímicas del Producto Deshidratado	63
4.3.1	pH.....	65
4.3.2	Humedad final.....	65
4.3.3	Contenido de oxalatos de calcio.....	66
4.3.4	Proteína	70
4.3.5	Grasa	72
4.3.6	Cenizas	73
4.3.7	Fibra	75

4.3.8	Calcio	77
4.3.9	Potasio.....	79
4.3.10	Hierro	82
4.3.11	Fósforo	83
4.3.12	Almidón.....	86
4.3.13	Amilosa	89
4.3.14	Amilopectina.....	92
4.3.15	Vitamina B1	94
4.3.16	Vitamina B2	94
CAPITULO V		97
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		97
5.1	CONCLUSIONES.....	97
5.2	RECOMENDACIONES	98
ANEXOS.....		103

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación botánica de las Araceas (papa china)	22
Tabla 2. Composición química de 100 gramos de papa china de porción comestible.	24
Tabla 3. Composición química de la malanga en 100 gramos de porción comestible.	27
Tabla 4. Contenido de oxalato de calcio en tubérculos de papa china.....	30
Tabla 5. Condiciones ambientales de la Ciudad de Ibarra	43
Tabla 6. Condiciones ambientales de la Ciudad de Puyo	43
Tabla 7. Condiciones ambientales de la Ciudad de Santo Domingo de los Tsáchilas	44
Tabla 8. Temperatura de bulbo húmedo y bulbo seco	44
Tabla 9. Propiedades del aire en el secador a 50°C	45
Tabla 10. Propiedades del aire en el secador a 60°C	46
Tabla 11. Materia prima e insumos.....	47
Tabla 12 . Materiales y Equipos de laboratorio	47
Tabla 13. Tratamientos.....	48
Tabla 14. Análisis de varianza	49
Tabla 15. Composición proximal de malanga y papa china.	59
Tabla 16. Cálculo del tiempo de secado para T1	63
Tabla 17. Análisis de Varianza para cada una de las variables.....	64

Tabla 18. Análisis de la Varianza.....	66
Tabla 19. Prueba DMS para el factor A.....	67
Tabla 20. Prueba DMS para el factor B	67
Tabla 21. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos: Oxalatos de Calcio	68
Tabla 22. Prueba Diferencia Mínima Significativa para el factor A (temperatura de secado).....	70
Tabla 23. Prueba de Tukey para tratamientos: Proteína (%).....	70
Tabla 24. Prueba Diferencia Mínima Significativa para el factor A (temperatura de secado).....	72
Tabla 25. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos: Grasa	72
Tabla 26. Prueba Diferencia Mínima Significativa para el factor A (temperatura)...	73
Tabla 27. Prueba Diferencia Mínima Significativa para el factor C (velocidad de aire)	74
Tabla 28. Prueba de Tukey para tratamientos: Cenizas (%)	75
Tabla 29. Prueba Diferencia Mínima Significativa para el factor A (temperatura de secado).....	75
Tabla 30. Prueba Diferencia Mínima Significativa para el factor B (variedad)	76
Tabla 31. Prueba Diferencia Mínima Significativa para el factor C (velocidad de aire)	76
Tabla 32. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos: Fibra (%)	76
Tabla 33. Prueba Diferencia Mínima Significativa para el factor B (variedad)	77
Tabla 34. Prueba Diferencia Mínima Significativa para el factor C (velocidad del aire)	77
Tabla 35. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos: Calcio (mg)	78

Tabla 36. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos: Potasio	80
Tabla 37. Prueba Diferencia Mínima Significativa para el factor B (variedades)	82
Tabla 38. Prueba de tukey al 5% para tratamientos: Hierro.....	82
Tabla 39. Prueba Diferencia Mínima Significativa para el factor A (temperatura de secado).....	84
Tabla 40. Prueba Diferencia Mínima Significativa para el factor B (variedad)	84
Tabla 41. Prueba Diferencia Mínima Significativa para el factor C (velocidad de aire)	84
Tabla 42. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos: Fósforo (mg)	84
Tabla 43. Prueba Diferencia Mínima Significativa para el factor A (temperatura)...	86
Tabla 44. Prueba Diferencia Mínima Significativa para el factor B (variedad)	87
Tabla 45. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos: Almidón	88
Tabla 46. Prueba Diferencia Mínima Significativa para el factor A (temperatura de secado).....	89
Tabla 47. Prueba Diferencia Mínima Significativa para el factor B (variedad)	89
Tabla 48. Prueba Diferencia Mínima Significativa para el factor C (velocidad de aire)	90
Tabla 49. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos: Amilosa	92
Tabla 50. Prueba Diferencia Mínima Significativa para el factor B (variedad)	93
Tabla 51. Prueba Diferencia Mínima Significativa para el factor C (velocidad de aire)	93
Tabla 52. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos: Amilopectina.....	93
Tabla 53. Prueba Diferencia Mínima Significativa para el factor B (variedad)	95
Tabla 54. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos: Vitamina B2	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tubérculos y planta de colocasia esculenta	23
Figura 2. Tubérculos y planta de xanthosoma sagittifolium	25
Figura 3. Estructura química del oxalato de calcio	28
Figura 4. Diferentes morfologías de cristales de oxalato de calcio	29
Figura 5. Proceso básico de secado.....	34
Figura 6. Períodos del secado.	36
Figura 7. Periodo de velocidad constante	37
Figura 8. Influencia de la temperatura del aire de secado.....	38
Figura 9. Periodos de velocidad decreciente.....	39
Figura 10. Esquema de secador en bandejas o de armario.....	41
Figura 11. Diagrama de flujo de papa china deshidratada.	55
Figura 12. Recepción de materia prima	56
Figura 13. Selección y clasificación	56
Figura 14. Lavado	56
Figura 15. Pelado	57
Figura 16. Troceado	57
Figura 17. Pesado.....	57
Figura 18. Remojo.....	58
Figura 19. Secado.....	58

Figura 20. Comportamiento de la humedad y velocidad de secado para el tratamiento T1 (50 °C – C. esculenta – 2 m/s).....	60
Figura 21. Comportamiento de la humedad y velocidad de secado para el tratamiento T1	61
Figura 22. Sistema de eliminación de humedad	62
Figura 23. Interacción AxBxC para la variable oxalato de calcio	69
Figura24. Interacción AxBxC para la variable proteína	71
Figura 25. Interacción de los factores A (temperatura de secado) y C (velocidad de aire de secado) para la variable cenizas	74
Figura 26. Interacción AxBxC para la variable calcio.....	79
Figura 27. Interacción AxBxC para la variable potasio.....	81
Figura 28. Interacción AxBxC para la variable fósforo.....	85
Figura 29. Interacción de los factores B (variedad) y C (velocidad del aire) para la variable almidón.....	87
Figura 30. Interacción de los factores A (temperatura de secado) y B (variedad) para la variable amilosa	90
Figura 31. Interacción de los factores A (temperatura de secado) y C (velocidad del aire de secado) para la variable amilosa.....	91
Figura 32. Interacción de los factores B (variedad) y C (velocidad del aire de secado) para la variable amilosa.....	91
Figura 33. Interacción de los factores A (temperatura de secado) y B (variedad) para la variable vitamina B2	95
Figura 34. Interacción de los factores B (variedad) y C (velocidad de aire de secado) para la variable vitamina B2	96

RESUMEN

El trabajo se desarrolló en los Laboratorios de la FICAYA de la Universidad Técnica del Norte, ubicados en la ciudad de Ibarra. Para la deshidratación se determinaron tres factores de estudio con dos niveles cada uno; la temperatura de secado de 50°C y 60°C; las variedades de papa china *Colocasia esculenta* y *Xanthosoma sagittifolium* y la velocidad del aire de 2m/s y 4m/s. Se aplicó un diseño completo al azar con tres repeticiones.

El objetivo de este trabajo de investigación fue evaluar el efecto del proceso de deshidratación sobre el contenido de oxalato de calcio y las propiedades fisicoquímicas de dos variedades de papa china. De acuerdo con los resultados obtenidos la deshidratación resultó ser eficaz para la eliminación de oxalatos de calcio y conservar las propiedades fisicoquímicas de las dos variedades de papa china, siendo así que la variedad *Xanthosoma sagittifolium* posee menor cantidad de oxalatos de calcio 30,09 mg/100g. Sin embargo, se evidenció que la variedad *colocasia esculenta* posee mejores características fisicoquímicas.

SUMMARY

The work was developed in the laboratories of the FICAYA of the Technical University of the North, located in the city of Ibarra. For dehydration, three study factors were determined with two levels each; the drying temperature of 50 ° C and 60 ° C; the Chinese potato varieties *Colocasia esculenta* and *Xanthosoma sagittifolium* and the air velocity of 2m / s and 4m / s. A randomized complete design with three repetitions was applied.

The objective of this research work is to evaluate the effect of the dehydration process on the calcium oxalate content and the physicochemical properties of two varieties of Chinese potatoes. According to the results obtained, low temperature dehydration proved to be effective for the elimination of calcium oxalates and to preserve the physicochemical properties of the two varieties of Chinese potatoes, so that the *Xanthosoma sagittifolium* variety has a lower amount of calcium oxalates 30, 09 mg / 100g However, it was evidenced that the *colocasia esculenta* variety has better physicochemical characteristics.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Según Mohammed y Nnabuanyi (2009), los estudios realizados con tubérculos de papa china han revelado que tiene el potencial de ser una fuente alternativa de carbohidratos para la alimentación animal. Sanful y Darko (2010) consideran que la papa china y malanga, tienen una harina altamente digestible y se ha utilizado incluso como un ingrediente en alimentos para bebés (Sanful y Darko 2010).

Noonan y Savage (1999) menciona que todas las partes de la planta de papa china para consumo animal en estado natural tienen factores limitantes por el almacenamiento y la presencia de factores anti-nutricionales tales como oxalatos, fitatos, taninos y saponinas. Sin embargo, algunos factores anti-nutricionales pueden servir como mecanismo de defensa contra plagas y enfermedades

Según Noonan y Savage (1999) con el fin de reducir el efecto de los factores anti-nutricionales (FANs) el procesamiento antes de su consumo es necesario. Los efectos de los FANs de los tubérculos pueden minimizarse mediante la cocción, secando al sol y la fermentación. En un estudio realizado por Olajide et.al (2011) concluyeron que el tratamiento de los tubérculos (cocción) antes de suministrar a los animales mejoró el contenido calórico y redujo significativamente la matriz de los factores anti-nutricionales.

Savage, y Dubois (2006) dicen que la ebullición permite la ruptura y facilita la fuga del oxalato soluble en agua a través de la cocción. Según Savage (2002) la cocción resulta ser una medida eficaz para reducir los niveles de oxalato, el ácido oxálico y sus sales pueden tener efectos deletéreos sobre la nutrición y la salud, principalmente por la disminución de la absorción de calcio, provocando la formación de cálculos renales.

1.2 Problema

En el Ecuador existen alimentos que consumían los aborígenes y otros que llegaron con los españoles y afrodescendientes y que pasaron de ser alimentos cotidianos a alimentos subutilizados, algunos de ellos son tubérculos y raíces, flores y frutos que no se los encuentra con frecuencia en los mercados y que sin embargo valen tanto como los que normalmente se consume a diario. Tal es el caso de la papa china que incluso se la considera como mala hierba. En el mercado local, el consumo del tubérculo es casi inexistente dado el nulo conocimiento y la falta de hábito de ingesta del producto por parte del consumidor interno. Actualmente se indica que en el contexto nacional la producción se concentra en pequeños y medianos productores quienes generan alrededor del 80% de la producción nacional.

La papa china es un tubérculo rico en nutrientes y valioso en los países de clima tropical y subtropical. Sin embargo, sufre de la presencia de factores que provocan picor e inflamación considerable de los tejidos de algunos consumidores, debido a los factores anti-nutricionales que presenta, como el caso de los oxalatos, que están presentes en una concentración entre el 2.5 y 4.21% de materia seca. Siendo estos últimos responsables de la acritud del tubérculo, generando una limitación en su consumo.

Noonan SC, Savage GP y Reg NZ. (1999) mencionan que el oxalato dificulta la biodisponibilidad de minerales; debido a que el oxalato puede unirse al Calcio presente en los alimentos, provocando que este último no se encuentre disponible para el papel fisiológico y bioquímico normal. Evitando que se genere el correcto crecimiento o mantenimiento de huesos y dientes, o que el Calcio actúe como cofactor en la reacción enzimática, la transmisión del impulso nervioso y el factor como la coagulación en la sangre. Umaru HA, Adamu R, Dahiru D, Nadro MS. (2007) indican que el Oxalato de calcio, es insoluble, y puede precipitar alrededor de los tejidos blandos tales como el riñón, causando cálculos renales. Haciendo que el consumo del mismo sea perjudicial para la salud.

Allí radica el problema del consumo de la papa china, a pesar de los beneficios nutricionales que presenta. En tal sentido se busca generar una alternativa de procesamiento que permita aprovechar las bondades del tubérculo, minimizando su efecto anti-nutricional.

1.3 Justificación

Los tubérculos son importantes fuentes de hidratos de carbono como fuente de energía y se utilizan como alimentos básicos en los países tropicales y subtropicales. Rekhaand Padmaja (2002) afirma que el uso de tubérculos que contienen hidratos de carbono en lugar de gluten pueden ayudar en la reducción de la incidencia de la enfermedad celíaca u otras reacciones alérgicas, a causa de pequeños granos de almidón, y sus cualidades hipo alérgicas que lo convierten en un producto único. Amon et al. (2011) mencionan que, nutricionalmente, la papa china tiene más amplio complemento de vitaminas y nutrientes que los otros tubérculos.

Nip (1997) afirma que los granos de almidón de la papa china son muy pequeños y van en diámetro de 1 a 4 milimicras, que genera como resultado que el almidón de la papa china sea rápidamente digerible. Además de su alto contenido de almidón, la papa china tiene un volumen alto de proteína y aminoácidos que otras raíces y tubérculos tropicales. Amon et al. (2011) mencionan que también como contenido de calcio, magnesio, potasio, zinc, hierro y aminoácidos.

El contenido de proteína del cormo de la papa china es ligeramente más alto que el de los ñames, yuca, o la patata dulce. La proteína tiene la mayoría de los aminoácidos esenciales, pero es bastante bajo en histidina, lisina, isoleucina, triptofano y methionina. Las raíces y los tubérculos generalmente son procesados en diversas formas antes de su consumo. (Ekwu y Ugwu 2000) mencionan que lo cual hace que el alimento sea digerible y agradable al paladar, extendiendo la vida útil y reduciendo las pérdidas posteriores a la cosecha.

Los tubérculos pelados, después de la pre-cocción y el secado, se pueden utilizar para producir una harina, similar a la harina de papa, que se utiliza en la preparación de sopas, galletas, pan, bebidas, alimentos infantiles y pudines.

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad el estudio de la eficiencia de la deshidratación mediante aire caliente, para la eliminación de oxalato de calcio presente en la papa china, el cual hace que no se pueda aprovechar todo el calcio que

ésta tiene; evitando degradar las propiedades nutricionales del tubérculo, para así poder ser aprovechados.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General:

Evaluar el efecto del proceso de deshidratación sobre el contenido de oxalato de calcio y las propiedades fisicoquímicas de dos variedades de papa china *Colocasia esculenta* y *Xanthosoma sagittifolium*.

1.4.2 Objetivos Específicos:

- Evaluar las propiedades fisicoquímicas y el contenido de oxalato de calcio de las dos variedades de papa china.
- Evaluar el efecto de la temperatura y velocidad del aire sobre el contenido de oxalato de calcio de las dos variedades de papa china.
- Evaluar las propiedades fisicoquímicas y el contenido de oxalato de calcio del producto deshidratado.

1.4.3 Hipótesis Alternativa

Hi: Los parámetros de deshidratación y las variedades de papa china *Colocasia esculenta* y *Xanthosoma sagittifolium* influyen en el contenido de oxalato de calcio y propiedades fisicoquímicas de la papa china.

1.4.4 Hipótesis Nula

Ho: Los parámetros de deshidratación y las variedades de papa china *Colocasia esculenta* y *Xanthosoma sagittifolium* no influyen en el contenido de oxalato de calcio y propiedades fisicoquímicas de la papa china.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 BOTÁNICA

Engler (1991) indica que la clasificación de las aráceas productoras de rizomas, cormos o cornelos comestibles más importante, se representa según los datos de la Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación botánica de las *Araceas* (papa china)

Familia: <i>Araceas</i>	
Subfamilia: <i>lasoideas</i>	Subfamilia: <i>colocasideas</i>
<i>Lasieas</i>	<i>Colocasieas</i>
<i>Cyrtosperma</i>	<i>Alocasia</i>
<i>Amorphophalleas</i>	<i>Colocasia</i>
<i>Amorphophallus</i>	<i>Xanthosoma</i>

Fuente: Montaldo (1991).

2.2 PAPA CHINA *colocasia esculenta*

En la figura 1 se muestra los tubérculos y las plantas de papa china. Montaldo (1991) menciona que la papa china tiene diferentes nombres en los países donde se la consume como se muestra a continuación: Papa china (Ecuador, Colombia, Venezuela) Ocumo culin (Venezuela), Quiquisque (Guatemala), Pituca (Perù), Malanga, guagui (Cuba), Malangay, Bore, Chonque (Colombia), Taiboa (Brasil), Chinese tayer (Guyana), Taro, Dasheen, Chinese eddoe (Trinidad y Tobago), Coco (Jamaica), Old cocoyam (Africa Occidental), Chou dachine, Madere (Antillas Francesas). Tato, Dalo (Fiji), Taro, entre otros.



a)



b)

Figura 1. a) Tubérculos y b) planta de colocasia esculenta

(Montaldo, 1991)

2.2.1 Origen

Montaldo (1991) indica que la papa china se encuentra entre los primeros cultivos domesticados por el hombre. Su historia puede seguirse hasta las culturas neolíticas más primitivas. El sitio en que se inició este cultivo con más frecuencia es el sudeste de Asia, entre la India e Indonesia. Oyengua (1967) afirma que la Colocasia es nativa de las áreas boscosas de Ghana y otros lugares de África Occidental

2.2.2 Morfología

Montaldo (1991) describe que la papa china es una herbácea suculenta, sin tallo aéreo y con hojas de peciolos largos laminas verde oblongo ovado, cortado. Flores en espádice unisexuales. Flores pistiladas en la base del espádice y flores estaminadas en el extremo, con un grupo de flores estériles entre ambas zonas. Produce un cormo central comestible, grande, esférico, elipsoidal o cónico, o un cormo central que se ramifica en cornelos laterales, que son mayores que el central. Estos cormos o cornelos están recubiertos exteriormente por escamas fibrosas o pueden ser lisos. El color de la pulpa es por lo general blanco, pero también pueden presentarse clones coloreados hasta llegar al morado.

Esta planta generalmente no produce semillas, quizá debido a que, por selección clonal, a través de cientos de años de cultivo sólo se hayan seleccionado los clones infértiles, o bien a que como la cosecha se hace antes del año o al año. Las inflorescencias no

tienen la oportunidad de formarse. Las plantas presentan cantidad de tubos lactíferos que contienen un líquido blanco o amarillento, rico en taninos. Todas las partes de la planta son comestibles, pero como todas las aráceas, contiene oxalato de calcio lo cual limita el consumo de algunas variedades.

2.2.3 Composición nutricional

La composición nutricional de la papa china se detalla a continuación en la tabla 2.

Tabla 2. Composición química de 100 gramos de papa china de porción comestible.

COMPOSICION	CORMO	HOJAS	PECIOLO
Humedad %	74,90	79,60	93,80
Proteína	1,70	4,70	0,20
Grasa	0,20	1,80	0,20
Carbohidratos	30,9	12,20	4,60
Fibra	0,60	3,40	0,60
Cenizas	1,18	1,20	0,70
Calcio mg	32,00	268,00	57,00
Fósforo mg	64,00	78,00	23,00
Hierro mg	0,80	4,30	1,40
Vitamina C mg	10,00	142,00	8,00
Tiamina mg	0,18	0,10	0,01
Riboflavina	0,04	0,33	0,03

Fuente: Instituto Nacional de Nutrición de Venezuela 1983; FAO 1993.

2.2.4 Utilización de la papa china

2.2.4.1 Alimentación animal

Montaldo (1991) menciona que en Hawaii, se prepara ensilaje de hojas y peciolo de taro para uso en alimentación animal. El material ensilado es alto en proteína y carece de sabor acre. Este alimento es aceptado satisfactoriamente por cabras y búfalos.

2.2.4.2 Alimentación humana

Con el cornelo de taro se prepara: “poi” (pasta fresca o fermentada), harinas, pastas, polvo para bebidas, hojuelas. Las hojas nuevas y los peciolos de taro son preparados junto a carnes y pescados.

2.2.4.3 Almidón y alcohol

El tamaño de los gránulos de almidón de taro varía entre 1-6.5 micras. El almidón comercial (de grano mas pequeño) es el de arroz con 5 micras de promedio de diámetro. Se considera que mientras menor es el tamaño de los gránulos de almidón, tanto más digestivo es éste.

2.3 OCUMO O MALANGA *xanthosoma sagittifolium*

Montaldo (1991) menciona que esta especie al ser conocida en diferentes países tiene un nombre característico como son los siguientes: Malanga (Ecuador) Ocumo, ocumo común (Venezuela); Mafafa, Rascadera (Colombia); yautiía brava (Puerto Rico); Tiquisque, Quequexque (Costa Rica); Otó (Panama); Quequesque, Tekixcamote, Rejalgar, Colomo, Lampaza, Macal (México); Yautía (Filipinas y Antillas españolas); Tarua (Islas del Pacífico); Tania, Yautía (Trinidad y Tobago); Tayobe, Taye, Tajer (Guayanas); Mangarito (Brasil); Tania, Tanier, Coco, New cocoyam (inglés). En la figura 2 se muestra los tubérculos y plantas de malanga.



a)



b)

Figura 2. a) Tubérculos y b) planta de *xanthosoma sagittifolium*

(Montaldo, 1991)

2.3.1 Origen

Barrett (1930) indica que es probable que estas plantas fueron desarrolladas localmente. En las Antillas se conoce mayor número de tipos que en los países de América Central o del Sur, se considera que las yautías son el cultivo más antiguo en Puerto Rico, heredado de los aborígenes Arawak. En épocas recientes, la planta fue llevada a las Islas del Pacífico, al Sureste de Asia y África donde por su semejanza con el taro *Colocasia esculenta* a menudo se la confunde con esta especie.

De acuerdo con Warid (1970) el ocumo se introdujo en Ghana en 1843. Se ha comprobado que en los últimos años ha reemplazado progresivamente al taro en África y en Asia; esto debido a que presenta mayor rendimiento, más resistencia a enfermedades y sus cormos contienen menos oxalatos.

Morton (1973) sostiene que hay cerca de 40 especies nativas de América Tropical y se las considera las plantas cultivadas más antiguas del mundo. Patiño (1964) explica que el ocumo era un cultivo importante en Centroamérica, Colombia, Venezuela y Antillas en la época del descubrimiento de América.

2.3.2 Morfología

Montaldo (1991) menciona que se considera una planta herbácea de aproximadamente 2 m de altura, suculenta, sin tallos aéreos. Las hojas provienen directamente de un cormo subterráneo, el cual es más o menos vertical, donde se forman los cornelos laterales y horizontales que son los comestibles. Los cornelos poseen una corteza color marrón oscuro, pulpa blanca o amarilla, tienen anillos o nudos y en cada uno de ellos van insertas yemas. Hojas grandes, sagitadas, de base cordiforme. Flores en espiga o espádices, cubiertas de una espata de color verde pálido; en la parte femenina la base es casi tan larga como la masculina. La inflorescencia es toda fértil. El fruto es una baya, considerándose su producción más bien escasa.

El cormo corresponde al tallo de la planta y es cilíndrico-esférico; los cornelos tienen forma de maza y se pueden considerar ramificaciones.

2.3.3 Composición nutricional

La malanga tiene la composición nutricional descrita en la tabla 3.

Tabla 3. Composición química de la malanga en 100 gramos de porción comestible.

COMPOSICION	UNIDAD	CORNELO CRUDO	CORNELO COCIDO
Humedad	g	71,90	72,00
Proteína	g	1,70	1,00
Grasa	g	0,80	0,20
Carbohidratos	g	23,80	25,70
Fibra	g	0,60	0,40
Cenizas	g	1,20	0,70
Calcio	mg	22,00	26,00
Fósforo	mg	72,00	32,00
Hierro	mg	0,90	0,60
Vitamina A	mg	3,00	-
Tiamina	mg	0,12	0,08
Riboflavina	mg	0,02	0,01

Fuente: Instituto Nacional de Nutrición de Venezuela 1983; Montaldo 1991

2.3.4 Utilización de la malanga

Los cornelos de malanga constituyen un excelente alimento y las hojas se pueden consumir hervidas como espinacas. Además, se pueden preparar tostones (ocumos en rodajas) pero en este caso sería recomendable sancocharlos antes de freírlos. Dicho autor enfatiza la gran variación de palatabilidad en las variedades de ocumo, y expresa que se prefiere generalmente a las de papa china.

Los mayas pelan, cocinan, amasan y mezclan el ocumo con miel. Cuando hay escasez de granos (maíz) aumentan la masa de éste con ocumo crudo molido, con lo que preparan tortillas. En República Dominicana es muy común el pudín de malanga y en Cuba las frituras. En Filipinas se prepara una harina fina que se mezcla con coco raspado que se utiliza en la elaboración de pasteles.

2.4 Bioquímica del Oxalato de Calcio

El oxalato de calcio es un compuesto químico que en algunas plantas nocivas forma cristales con forma de agujas llamados rafidios. Su fórmula química es CaC_2O_4 o $\text{Ca}(\text{COO})_2$. La figura 3 muestra la estructura química del oxalato de calcio.

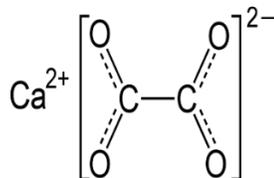


Figura 3. Estructura química del oxalato de calcio

Rui, Ward y Saltz (2002) afirman que la formación de oxalato de calcio es un proceso esencial en la mayoría de las especies de plantas conocidas y en algunos casos cerca del 90% del calcio total en la planta puede encontrarse secuestrado en forma de cristales de oxalato de calcio; lo que parece indicar que su formación representa el mayor mecanismo de regulación de los niveles de calcio en la planta.

Franceschi V (2001) menciona que las plantas producen los cristales de oxalato de calcio en una gran variedad de formas y tamaños, aunque la mayoría de los cristales pueden clasificarse dentro de cuatro tipos principales en base a su morfología: rafidios (cristales aciculares en agregados), drusas (agregados cristalinos esféricos), estiloides (cristales aciculares) y prismas. Generalmente la morfología de los cristales y su distribución dentro de los tejidos de la planta son especie específicos. El tipo de polimorfo del oxalato de calcio presente en las plantas también es especie-específico y puede ser la whewellita (oxalato de calcio monohidratado) o la weddellita (oxalato de calcio dihidratado). En la figura 4 se muestra las morfologías de cristales de oxalato de calcio

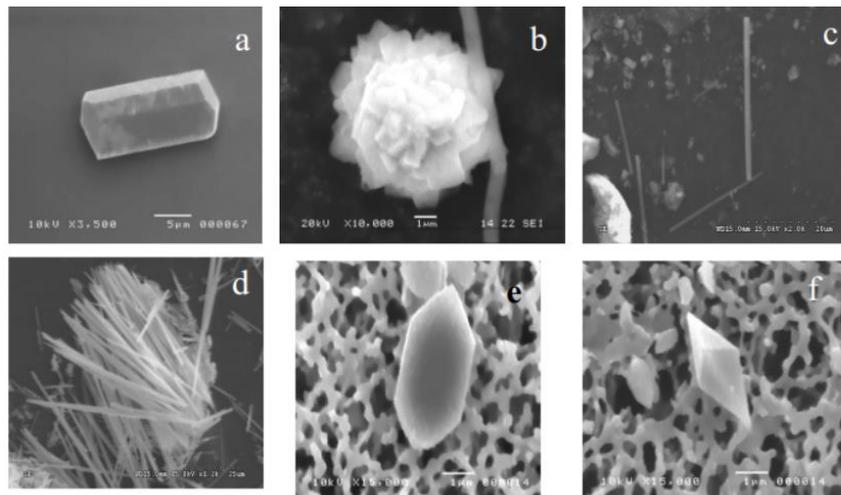


Figura 4. Diferentes morfologías de cristales de oxalato de calcio

a) prisma formado en la testa del frijol común. *Phaseolus vulgaris*, b) drusa formada en la semilla de la uva, c) estiloide formado en las hojas de *Ditrichia viscosa*, d) Rafidios formados en las hojas de *Vitis vinifera*, e) Cristal de oxalato de calcio monohidratado sintético, f) Cristal de oxalato de calcio dihidratado sintético.

2.4.1 Oxalato de Calcio y su Relación con la Salud Humana

Stewart, Duncan y Cave (2004) indican que los oxalatos forman complejos con las proteínas e inhiben su absorción y digestión, afectando de esta manera el normal crecimiento del individuo. El oxalato soluble es altamente oxidante, corrosivo y posee una gran actividad quelante, por lo cual puede ser muy tóxico. En humanos el oxalato es ingerido con muchos alimentos comunes (por ejemplo, el nopal, el chocolate, la espinaca, el frijol, etc.) como ácido oxálico u oxalato de calcio, adicionalmente es producido internamente como producto de desecho del metabolismo. La homeostasis del oxalato es mantenida por la degradación del oxalato por la acción de enzimas endógenas como la oxalato oxidasa y principalmente por la acción bacteriana. Las bacterias responsables de la degradación residen en el tracto gastrointestinal y pertenecen principalmente al género *Oxalobacter formigenes*. Stewart, Duncan y Cave (2004) mencionan que cuando se excede la capacidad de degradación del oxalato de las bacterias o enzimas endógenas, ya sea por un exceso en el consumo de alimentos ricos en oxalato o por desórdenes metabólicos, es excretado en la orina. La

consecuencia más adversa de un alto contenido de oxalato en la orina es la formación de cálculos renales (Nefrolitiasis).

Noonan, Savage y Reg (1999) indican que el oxalato de calcio dificulta la biodisponibilidad de minerales; mayor contenido de oxalato puede unirse al Calcio presentes en los alimentos, lo que hace de este modo al Calcio disponibles para el papel fisiológico y bioquímico normal, como el mantenimiento de huesos fuertes, dientes, cofactor en la reacción enzimática, la transmisión del impulso nervioso y el factor como la coagulación en la sangre.

2.4.2 Oxalatos de Calcio en la Papa China

Caicedo, Rodríguez, Valle (2013) indican que todas las partes de la planta de papa china y malanga tienen un alto contenido de cristales de oxalato de calcio que son la causa de irritación y sensación de ardor en la boca y en la garganta cuando los tubérculos, peciolos y hojas se consumen en estado natural. El contenido de oxalato de calcio varía con la especie y cultivares como se presenta en la tabla 4.

Tabla 4. Contenido de oxalato de calcio en tubérculos de papa china.

COMPONENTE	mg/100 g
Oxalato total	65
Oxalato soluble	35
Oxalato de calcio	43
Calcio libre	10

Fuente: Bradbury y Holloway (1988)

En un estudio realizado por Olajide, R., A.O. Akinsoyinu, O.J. Babayemi, A.B. Omojola, A.O. Abu and K.D. Afolabi. (2011), se concluyó que el tratamiento de los tubérculos (cocción) antes de suministrar a los animales mejoró el contenido calórico y redujo significativamente la matriz de los FANs. Badifu (2001) indica que a través de la cocción se produce una reducción de 16 a 78% el nivel de oxalato, 28 a 61% de taninos y 17 a 41% el contenido de fitatos. Mientras que Muinat eat alAdebola y Afolayan (2009) mencionan que se mejora la digestibilidad y aumenta la disponibilidad de nutrientes. La ebullición permite la ruptura y facilita la fuga del oxalato soluble en

agua a través de la cocción. La irritación y picazón causada por el factor de acritud no puede ser observado cuando el tubérculo está bien cocido.

Savage (2002) afirma que la cocción resulta ser una medida eficaz para reducir los niveles de oxalato, el ácido oxálico y sus sales pueden tener efectos deletéreos sobre la nutrición y la salud, principalmente por la disminución de la absorción de calcio, provocando la formación de cálculos renales. La FAO (1990) menciona que, aunque la cocción ayuda a reducir el contenido de los FANs, también puede producir pérdidas y cambios significativos en los principales nutrientes fósforo, potasio y zinc durante el proceso, mientras que el calcio, magnesio, sodio, cobre y hierro no sufren transformaciones.

2.5 Deshidratación

Orrego (2003) manifiesta que la deshidratación o secado es un sistema de preservación que además de proporcionar un ambiente difícil para el crecimiento microbiano, reduce el costo de transporte y almacenamiento por la disminución del peso y volumen de los productos. Paralelamente con estos beneficios se producen efectos secundarios que afectan la calidad del producto, que deben ser minimizados en una operación bajo condiciones adecuadas.

Según Muratore et al. (2008) la eficiencia del transporte de humedad desde el alimento está determinada por la resistencia interna del tejido al movimiento del agua y una resistencia externa, que se presenta entre la superficie sólida y el fluido deshidratante, el cual en la mayoría de los casos es aire. Las principales variables que modulan la velocidad del movimiento del agua en el alimento son el tiempo y la temperatura. Conforme se incrementa la temperatura, la deshidratación se acelera, pero los atributos cualitativos iniciales del alimento cambiarán drásticamente.

Según McCabe, Smith y Harriot (2002) para poder entender los fundamentos teóricos del secado a continuación se describen los principales conceptos:

Humedad: El contenido de humedad de un sólido puede expresarse sobre base seca o base húmeda; pero en el secado de sólidos es más conveniente referir la humedad sobre base seca (masa de agua que acompaña al sólido seco).

Humedad de equilibrio (X^*): Cuando un sólido húmedo se pone en contacto, con aire de temperatura y humedad determinadas y constantes, se alcanzarán las condiciones de equilibrio entre el aire y el sólido húmedo. Se logran las condiciones de equilibrio cuando la presión parcial del agua que acompaña al sólido húmedo es igual a la presión de vapor del agua en el aire.

Cuerpos húmedos y cuerpos higroscópicos: Para una temperatura determinada, la presión de vapor del agua contenida en el sólido húmedo aumenta con su humedad para todas las sustancias, hasta alcanzar el valor de la tensión de vapor del agua pura a la temperatura considerada. Se llama sólido higroscópico cuando la presión de vapor del agua que acompaña al sólido es menor que la tensión de vapor del agua a la misma temperatura. Y si esta presión de vapor del agua del sólido es igual que la tensión de vapor, se llama sólido húmedo.

Humedad libre: Es la diferencia entre la humedad del sólido y la humedad de equilibrio con el aire en las condiciones dadas: $F=X - X^*$. Es la humedad que puede perder el sólido después de un tiempo de contacto con el aire en las condiciones dadas y constantes.

Humedad ligada o agua ligada: Es el valor de la humedad de equilibrio del sólido en contacto con aire saturado; o bien la humedad mínima del sólido necesaria para que este deje de comportarse como higroscópico.

Humedad desligada o agua desligada: Es la diferencia entre la humedad del sólido y la humedad ligada; o bien la humedad libre del sólido en contacto con aire saturado. Si el sólido tiene humedad desligada se comportará como húmedo.

Humedad crítica: La humedad crítica de un sólido es el punto que separa los dos períodos de secado antecrítico y postcrítico.

Período antecrítico: Es el período de tiempo en el que la velocidad de secado es constante, desde la humedad inicial hasta la humedad crítica.

Para determinar el tiempo en el período anticrítico se utiliza la ecuación 1.

$$\text{Tiempo antecrítico} = \frac{S}{A_s} \left(\frac{X_0 - X_c}{W_c} \right) \quad (1)$$

Período postcrítico: Es el período de tiempo en el que la velocidad de secado disminuye hasta llegar a un valor de cero. Este período empieza con la humedad crítica hasta la humedad de equilibrio.

Para determinar el tiempo en el período postcrítico se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Tiempo proscritico} = \left(\frac{S}{A_s} \right) \left(\frac{X_c - X_f}{W_c - W_f} \right) \left(\ln \frac{W_c}{W_f} \right) \quad (2)$$

Casp y Abril (2003) manifiesta que el agua se elimina de los alimentos por medio de su difusión, en fase líquida y/o vapor, a través de su estructura interior. Al movimiento del agua líquida le seguirá su evaporación en algún punto del alimento, para lo cual es necesario calor, por lo tanto, el proceso supone realmente un transporte simultaneo de materia y calor.

Casp, y Abril (2003) mencionan que la transmisión de calor tiene lugar en el interior del alimento y está relacionada con el gradiente de temperatura existente entre su superficie y la correspondiente a la superficie del agua en el interior del alimento. Si se suministra al agua suficiente energía para su evaporación, el vapor producido se transportará desde la superficie de la capa húmeda en el interior del producto hacia la superficie de éste. El gradiente de presión existente entre la superficie del agua en el interior y en el aire exterior al alimento, es el que provoca la difusión del vapor de agua hacia la superficie de éste.

Según Casp y Abril (2003) durante el secado se producen cuatro procesos de transporte:

- 1. Transmisión de calor desde el gas hasta la superficie del producto:** Puede realizarse por conducción, convección o radiación.

2. **Transmisión de calor desde la interfase sólido-gas hasta el interior del sólido:** Sólo puede tener lugar por conducción, en régimen no estacionario (las condiciones en cualquier punto varía con el tiempo).
3. **Transmisión de materia a través del sólido:** Se puede producir por difusión o capilaridad, aprovechando los capilares existentes. La difusión tiene lugar en secado de productos con humedades del orden de 25% (base húmeda) o inferiores, mientras que la capilaridad se presenta para niveles altos de humedad (65% o más), siempre y cuando en la estructura interna del producto existan capilares.
4. **Transferencia de vapor desde la interfase sólido-gas hacia el seno del gas.** Los equipos de deshidratación utilizarán por tanto para la transferencia de energía, procesos basados en la convección, conducción o radiación desde la fuente de calor hasta el alimento. Los sistemas más usuales emplean la convección como mecanismo de transferencia de calor y aire como vehículo de esta energía, por lo tanto, la transferencia de calor dependerá, en este caso, de la temperatura del aire, de su humedad, de su caudal, de la superficie expuesta del alimento y de la presión. La Fig. 5 muestra el esquema básico de un proceso de secado de alimentos.

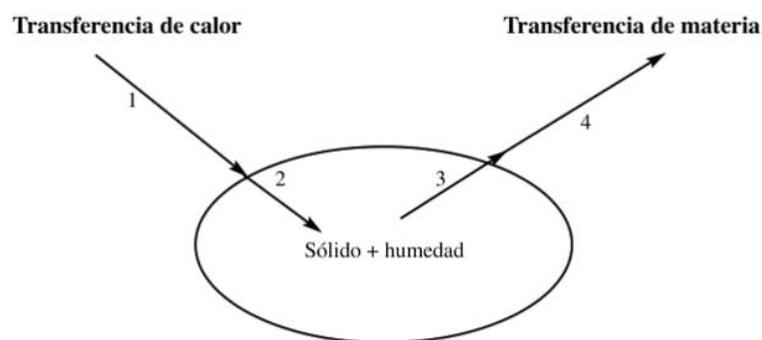


Figura 5. Proceso básico de secado

(Casp y Abril, 2003)

2.6 Transferencia de masa

Heldman & Singh (2014) indican que para estudiar las operaciones que dependen de los procesos de transferencia de materia es importante comprender el significado del término 21 transferencia de materia, por lo tanto, la utilización del término transferencia de materia se restringe al desplazamiento de un constituyente de un fluido o de un componente de una mezcla, por otra parte, el movimiento se produce debido a una diferencia de concentraciones, de tal manera que puede producirse dentro de una fase o entre diferentes fases. Por ello, la velocidad de transferencia de masa puede expresarse mediante la ecuación.

$$q = hm A(X_s - X_a) \quad (3)$$

Dónde:

hm: Coeficiente de transferencia de masa

A: Área que se está secando

X_s: Humedad en la superficie del producto, que equivale a la humedad de saturación del aire a la temperatura de la superficie del producto (kg de agua / kg de aires seco)

X_a: Humedad del aire seco.

2.7 Periodos de secado

Casp y Abril (2003) dicen que el proceso de secado está normalmente dividido en tres fases: una fase inicial de precalentamiento, seguido de otra de velocidad de secado constante y una o más fases de velocidad de secado decreciente. En la Fig. 6 se muestra la curva de secado obtenida cuando se representa el contenido de humedad contra el tiempo de secado.

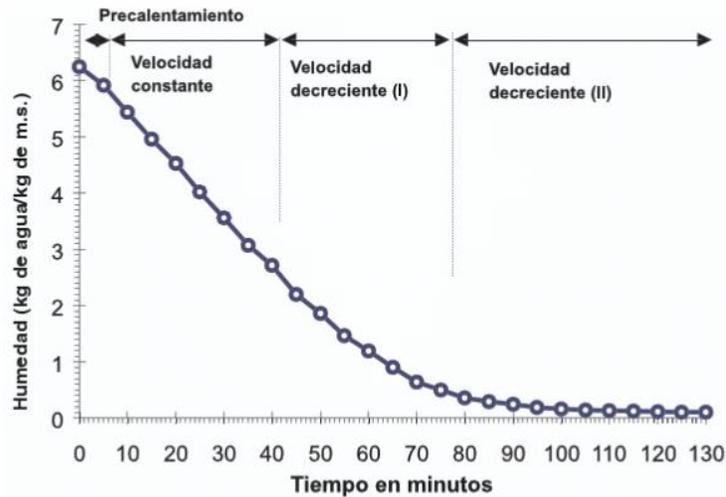


Figura 6. Períodos del secado.

En el secado por convección, por lo tanto, se pueden distinguir las siguientes etapas clásicas, diferenciadas entre sí por la velocidad de secado.

- *Un periodo de precalentamiento*, que transcurre mientras el producto y el agua en él contenida se calienta ligeramente, hasta alcanzar la temperatura de bulbo húmedo característica de ambiente secante. El producto a secar al principio está frío, su presión de vapor es igualmente baja, por lo tanto, la velocidad de transferencia de masa es muy lenta. Por el contrario, el gradiente de temperatura entre el aire caliente y la superficie fría del producto es elevada, en consecuencia, la transferencia de calor es alta. La cantidad de calor transferida a la superficie del producto es netamente superior a la cantidad de calor arrastrada por la poca agua evaporada, existe un desequilibrio. El excedente de calor se utiliza entonces en calentar la superficie del producto, lo cual produce una disminución del gradiente temperatura, que cesará cuando se alcance el equilibrio estacionario. Este periodo es muy corto en comparación con el tiempo total de secado.
- *Un periodo de velocidad constante*, durante el cual se produce una reducción importante del contenido de agua, el agua de imbibición se elimina con un flujo másico constante. La evaporación se efectúa en la superficie del producto, a

temperatura constante, siendo ésta la de bulbo húmedo del aire. Durante este periodo, el flujo de calor intercambiado entre el aire y el producto se utiliza enteramente para la evaporación del agua. Este periodo continúa mientras que la superficie del producto esté alimentada por agua libre líquida desde el interior, fundamentalmente por capilaridad. En la mayoría de los casos esta etapa de velocidad de secado constante finalizará cuando el contenido medio de humedad del producto alcance el valor de la humedad crítica como se observa en la Fig. 7. Por lo tanto, en la curva de secado este periodo se deberá ajustar a una recta (la humedad crítica coincide con el punto en que la recta ajustada se separa de la curva de secado.)

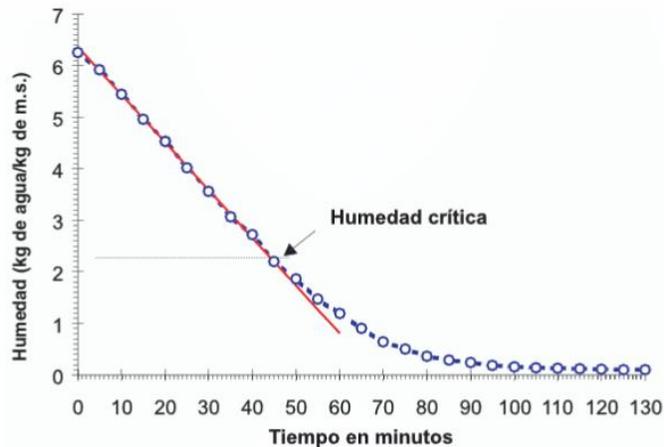


Figura 7. Periodo de velocidad constante

Casp y Abril (2003) indican que la humedad crítica no es una propiedad del alimento, sino que depende del tamaño de partícula y de las condiciones del aire de secado.

En el periodo de velocidad constante, el principal mecanismo de transporte de masa es el flujo capilar de agua líquida, aunque puede existir alguna difusión de líquido. El mecanismo interno de flujo de la humedad no afecta a la velocidad de secado en este periodo, es el entorno secante, el aire, el que impone la velocidad de secado, que se incrementa al hacerlo la temperatura (Fig.8). Lo mismo ocurre con la velocidad del aire de secado, cuando mayor es esta mayor es la velocidad del secado.

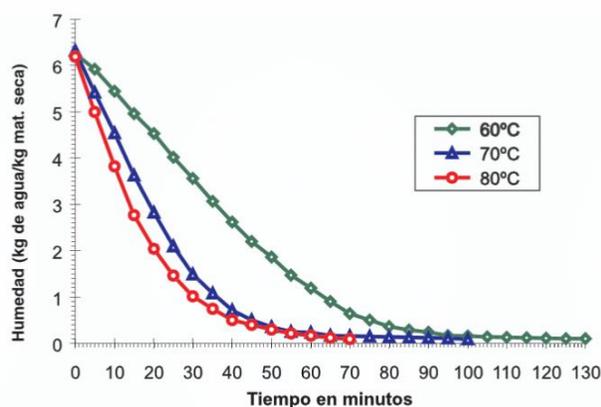


Figura 8. Influencia de la temperatura del aire de secado

Casp y Abril (2003) mencionan que el diámetro de los poros y de los capilares disminuye y la pérdida de peso es aproximadamente igual al volumen de agua evaporada. El flujo de agua líquida arrastra solutos que se depositan en la superficie si no son volátiles, produciendo el fenómeno llamado “case hardening” que afecta a la eliminación de agua en los periodos posteriores. Cuando la superficie externa del producto deja de estar saturada, comienzan uno o varios periodos de velocidad de secado decreciente y la temperatura se incrementa continuamente desde la del bulbo húmedo hasta la del fluido calefactor.

- *Un periodo de velocidad decreciente*, que comienza cuando la superficie del producto en contacto con el aire de secado alcanza el umbral de higroscopicidad (para materiales higroscópicos). Desde el punto de vista macroscópico, esto corresponde a alcanzar la humedad crítica. La zona de evaporación “frente de secado” que se encontraba en la superficie, se desplaza hacia el interior del producto. La brusca reducción de la superficie efectiva de transferencia, debida a una alimentación insuficiente de agua libre es la causa de la disminución de la velocidad de secado. La migración del agua es cada vez más difícil y como consecuencia la transferencia de masa se convierte en el factor limitante. Los depósitos de solutos obstruyen los poros, el agua ligada migra bajo forma de vapor y la distancia a recorrer por el frente de vapor es cada vez mayor, todos estos factores frenan rápidamente la transferencia interna de agua.

En el primer periodo de velocidad decreciente, el mecanismo de transporte de masa que predomina es la difusión de vapor, desde la zona de evaporación hasta la superficie del producto.

- *Un segundo periodo de velocidad decreciente, o periodo de velocidad final.* Este periodo sólo existe para los materiales higroscópicos. El flujo másico se reduce más rápidamente que en el periodo anterior. En este periodo, el conjunto del producto está en el dominio de la higroscopia. En el alimento no queda más que agua ligada que se evacua muy lentamente (difusión-sorción). Esta fase se termina cuando el producto alcanza su humedad de equilibrio.

Los periodos de velocidad decreciente se aprecian claramente si se representa la velocidad de secado (dx/dt : variación de la humedad con respecto del tiempo) contra la humedad por encima del equilibrio (fig. 9). En dicha gráfica puede verse el tramo horizontal correspondiente a la velocidad constante y los tramos de velocidad decreciente. La humedad crítica coincide con el punto de intersección de la recta de velocidad constante con la del primer tramo de velocidad decreciente.

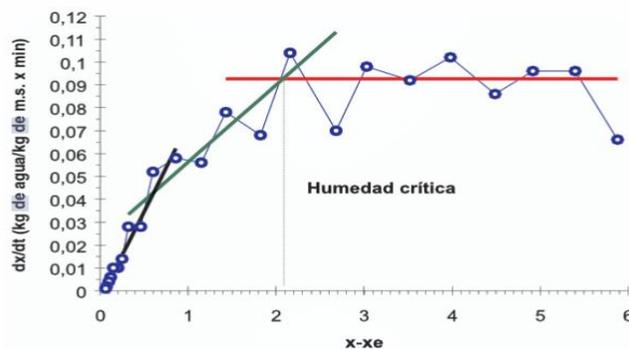


Figura 9. Periodos de velocidad decreciente

2.8 Transferencia de calor

Nonhebel (2002) menciona que la transferencia de calor se produce predominantemente por convección o por conducción, pues, aunque es cierto que en todos los secadores se transfiere calor por radiación, es raro que éste sea el mecanismo que predomina. El secado por conducción difiere del secado por convección. En el

primer caso el sólido húmedo se sitúa en un recipiente calentado externamente, que tiene una salida para eliminar el vapor; frecuentemente se mantiene el recipiente a presión reducida con el objeto de aumentar la fuerza impulsora térmica. En el caso de secado por convección, el gas caliente se sopla sobre la superficie del sólido húmedo proporcionando los dos efectos, entregar calor y eliminar el vapor formado.

2.8.1 Secadores por conveccion

Mujumdar (2000) dice que este tipo de secadores es utilizado para secar partículas y alimentos en forma laminar o en pasta. El aire se suministra a través de aire caliente o gas, el cual fluye sobre la superficie del sólido. El aire, los gases inertes, el vapor sobrecalentado, o gases de combustión directa pueden ser utilizados en sistemas de secado convectivos.

Alguns ejemplos de secadores convectivos o directos son:

- Secadores en charolas o bandejas
- Secadores de túnel
- Secadores rotatorios
- Secadores or aspersión

2.9 Secadores de bandejas o de armario

Casp y Abril (2003) mencionan que están formados por una cámara metálica rectangular (armario), en cuyo interior se disponen unos bastidores móviles. Cada bastidor lleva un cierto número de bandejas poco profundas, montadas una sobre otras con una separación conveniente, colocándose sobre ellas el producto a secar. El ventilador colocado en la parte superior hace circular el aire por los calentadores y después entre las bandejas, con la ayuda de unos deflectores montados convenientemente. El calentador está constituido por un haz de tubos en cuyo interior circula normalmente vapor de agua. Por el conducto de salida se evacua constantemente aire húmedo, mientras que a través de la abertura entra aire fresco. Al

final del ciclo de secado, que habitualmente es largo, se sacan al secador los bastidores para proceder a la descarga del producto seco y a una nueva carga de producto húmedo. Casp y Abril (2003) manifiestan que el calor del medio de secado (aire caliente) se transmite al producto por convección; la corriente de convección pasa sobre el producto, no a través del mismo. El aire debe circular sobre la superficie del producto, como se ha dicho, a relativamente alta velocidad para aumentar la eficacia de la transmisión de calor y de la transferencia de masa. La Fig. 10 muestra un esquema sencillo de un secador por bandejas.

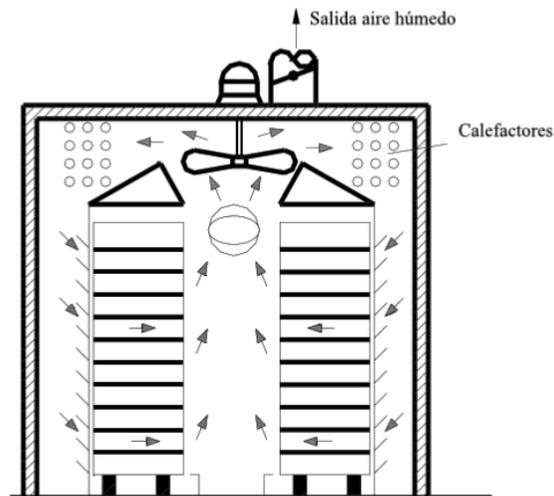


Figura 10. Esquema de secador en bandejas o de armario.

Casp y Abril (2003) afirman que la velocidad de aire entre las bandejas varía con el tipo de producto, oscilando normalmente entre 1 y 10 $\text{m}\cdot\text{seg}^{-1}$. Se consiguen velocidades de evaporación de 0,1 a 1 $\text{kg de agua}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^2$. Con espesores de lecho entre 10 y 100 mm.

Cuando las características del material y su manejo lo permiten, se utilizan bandejas perforadas, en las que el aire circula a través de la capa de sólidos, son lo que se consigue aumentar la superficie de producto expuesta a la acción del aire, disminuyéndose así el tiempo de secado. A pesar de que de esta forma la velocidad de

paso del aire a través del sólido se reduce a $0,6-1 \text{ m}\cdot\text{seg}^{-1}$. La eficiencia del secado aumenta y se consigue la evaporación de 1 a 10 kg de agua.h.m⁻².

Casp y Abril (2003) indican que los rendimientos térmicos de estos secadores suelen estar comprendidos entre el 20% y el 60%, pudiendo ser más bajos. Para mejorar este rendimiento se recircula la mayor parte del aire, introduciéndose aire fresco hasta un 15% del total de aire recirculado.

Casp y Abril (2003) sostienen que los secadores de bandejas son útiles para secar pequeñas cargas de productos valiosos. En general se aplican cuando la capacidad necesaria no excede de 25 a 50 kg.h⁻¹ de producto seco. Los secadores por bandeja son muy utilizados a pequeña escala, en laboratorio y en plantas piloto. Es relativamente fácil ajustar y controlar las condiciones óptimas de secado en el interior del armario, por esta razón se pueden utilizar para deshidratar productos sensibles al calor en pequeñas cargas. Tienen la desventaja de no secar el producto de forma uniforme, dependiendo de su posición en el secadero, por ello, puede ser necesario girar las bandejas durante el proceso para conseguir un secado uniforme.

Casp y Abril (2003) manifiestan que en este tipo de secadores se puede tratar prácticamente cualquier producto, alimentos de cualquier tamaño y forma, pero a causa de la mano de obra requerida para la carga y descarga, su operación resulta costosa para su baja capacidad de producción. Sin embargo, su polivalencia y la buena calidad de los productos obtenidos los hacen utilizables para deshidratar: zanahorias, espinacas, ajo, perejil, judías, verdes, champiñones, cebollas, guisantes, frutas, carne y sus productos, etc.

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1 Caracterización del Área de Estudio

La presente investigación se realizó en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería de Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Técnica del Norte (Unidades Edu-productivas de la Escuela de Ingeniería Agroindustrial). Las Condiciones ambientales de la Ciudad de Ibarra se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Condiciones ambientales de la Ciudad de Ibarra

Provincia	Imbabura
Canton	Ibarra
Parroquia	El sagrario
Lugar	Unidades Edu-productivas de la Escuela de Ingeniería Agroindustrial
Latitud geográfica	00° 19' 47" N
Longitud geográfica	78° 07' 56" W
Temperatura media	18°C
Altitud	2250 m.s.n.m
HR. Promedio	62%
Pluviosidad	503 – 1000 mm. Año

Fuente: INHAMI

La materia prima utilizada para la investigación fueron la papa china (*colocasia esculenta*) y malanga (*xanthosoma sagittifolium*). La papa china (*colocasia esculenta*) fue recolectada en el Puyo y la malanga en Santo Domingo de los Tsáchilas. Las condiciones ambientales para cada ciudad donde se recolectó la papa china y malanga se muestran en las tablas 6 y 7.

Tabla 6. Condiciones ambientales de la Ciudad de Puyo

Provincia	Pastaza
Cantón	Pastaza

Sitio/Sector	Puyo
Altitud	950 m.s.n.m
Temperatura	20°C

Tabla 7. Condiciones ambientales de la Ciudad de Santo Domingo de los Tsáchilas

Provincia	Santo Domingo de los Tsáchilas
Cantón	Santo Domingo
Sitio/Sector	Santo Domingo
Altitud	625 msnm
Temperatura	23 a 34°C

Fuente: INHAMI

3.2 Ubicación del experimento

La presente investigación se realizó en la ciudad de Ibarra. El desarrollo de la fase experimental se realizó en el laboratorio de deshidratación de la Escuela de Ingeniería Agroindustrial de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales.

La caracterización de las condiciones ambientales del aire de secado y del secador de bandejas se muestra en la tabla 8.

Tabla 8. Temperatura de bulbo húmedo y bulbo seco

Día	Tratamiento	°T bulbo húmedo	°T bulbo seco
1	1	23	19
2	2	24	20
3	3	23	17
4	4	22	18
5	5	23	18
6	6	24	19
7	7	22	20
8	8	23	18
		$\Sigma= 184$	$\Sigma=149$
		$X=23$	$X=18.63$

Para la caracterización del aire en el secador se determinó las propiedades psicrométricas del aire para las temperaturas de entrada y salida con la ayuda de la carta psicrométrica. En la tabla 9 y 10 se describen las propiedades del aire a 50°C Y 60°C.

Tabla 9. Propiedades del aire en el secador a 50°C

	Entrada	Salida
Temperatura bulbo seco	50.0°C	48.0°C
Temperatura bulbo húmedo	23.0°C	23.0°C
Punto de rocío	12.4°C	13.5°C
Humedad relativa	11.6%	13.8%
Humedad absoluta	0.0115kg/kg	0.0123kg/kg
Entalpía	80.0kJ/kg	80.1kJ/kg
Densidad	0.851kg/m ³	0.856kg/m ³
Volumen específico	1.188m ³ /kg	1.183m ³ /kg
Presión	79495.1Pa	79495.1Pa
Caudal	540m ³ /h	540m ³ /h

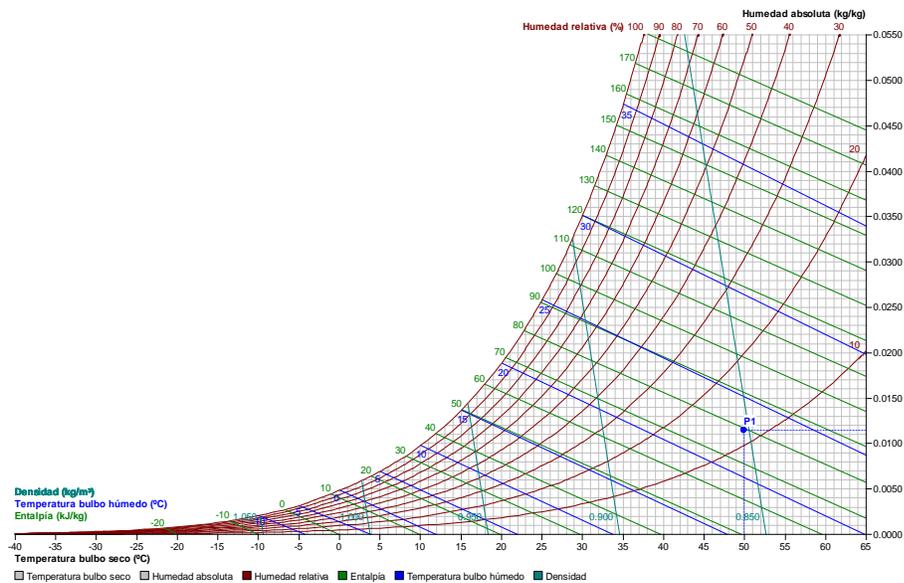
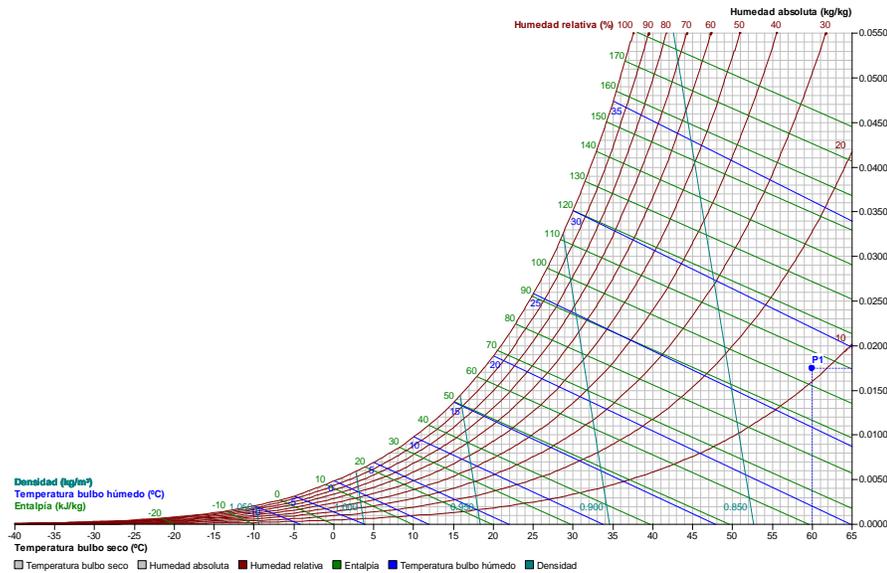


Tabla 10. Propiedades del aire en el secador a 60°C

	Entrada	Salida
Temperatura bulbo seco	60.0°C	55.0°C
Temperatura bulbo húmedo	28.0°C	28.0°C
Punto de rocío	18.8°C	20.6°C
Humedad relativa	10.9%	15.3%
Humedad absoluta	0.0174kg/kg	0.0195kg/kg
Entalpía	105.9kJ/kg	106.1kJ/kg
Densidad	0.823kg/m ³	0.834kg/m ³
Volumen específico	1.237m ³ /kg	1.222m ³ /kg
Presión	79495.1Pa	79495.1Pa
Caudal	540m ³ /h	540m ³ /h



3.3 Materiales

Tabla 11. Materia prima e insumos

Materia prima	Insumos
Papa china	Eritorbato de sodio
Malanga	

3.3.1 Materiales y equipos de laboratorio

Tabla 12 . Materiales y Equipos de laboratorio

Materiales	Equipos de laboratorio
Cuchillos	Balanza gramera
Recipientes de acero inoxidable	Balanza infrarroja
Coladores	Secador de bandejas
Rallador	

3.4 Métodos

Se cortó la materia prima en rodajas de espesor de 5 mm, para someter al proceso de deshidratación previo un remojo en una solución de eritorbato de sodio al 1% p/v para evitar el pardeamiento enzimático.

3.4.1 Factores en estudio

Los factores en estudio son: temperatura de secado, dos variedades de papa china y el flujo de aire de secado, los cuales permitieron establecer el mejor tratamiento para el secado de la papa china y malanga y evitar pérdidas de componentes fisicoquímicos.

3.4.1.1 Detalle de factores

FACTOR A: Temperatura de secado

A1: 50°C

A2: 60°C

FACTOR B: Variedades

B1: *Colocasia esculenta*

B2: *Xanthosoma sagittifolium*

FACTOR C: Velocidad de aire

C1: 2m/s

C2: 4m/s

3.5 Tratamientos

De la combinación de los factores en estudio (AxBxC) se obtienen 8 tratamientos los cuales se detallan en la tabla 13.

Tabla 13. Tratamientos

N°	Tratamientos	Temperatura °C	Variedad	Flujo de aire
1	A1B1C1	50	<i>C. esculenta</i>	2m/s
2	A1B1C2	50	<i>C. esculenta</i>	4m/s
3	A1B2C1	50	<i>X. sagittifolium</i>	2m/s
4	A1B2C2	50	<i>X. sagittifolium</i>	4m/s
5	A2B1C1	60	<i>C. esculenta</i>	2m/s
6	A2B1C2	60	<i>C. esculenta</i>	4m/s
7	A2B2C1	60	<i>X. sagittifolium</i>	2m/s
8	A2B2C2	60	<i>X. sagittifolium</i>	4m/s

3.6 Diseño experimental

El diseño experimental a utilizar es un diseño completamente al azar con arreglo factorial AxBxC.

3.6.1 Características del experimento

Numero de Tratamientos: ocho (8)

Numero de bloques: tres (3)

Total unidades experimentales: veinticuatro (24)

3.6.2 Unidad experimental

La unidad experimental fue de 500 g de papa china y malanga.

3.7 Análisis Estadístico

Tabla 14. Análisis de varianza

FUENTE DE VARIACIÓN	GL
TOTAL	23
Tratamientos	7
Factor A	1
Factor B	1
Factor C	1
AxB	1
AxC	1
BxC	1
AxBxC	1
Error experimental	16

3.7.1 Análisis funcional

Coefficiente de variación.

Prueba de Tukey al 5% para tratamientos

Prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS) al 5% para factores.

3.8 Variables Evaluadas

3.8.1 Variables cuantitativas

Las variables cuantitativas fueron determinadas en el Laboratorio de Uso Múltiple de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Técnica del Norte. Se determinará la composición proximal en la materia prima y en el producto deshidratado realizando los siguientes análisis:

Humedad: La humedad es un parámetro que influye en la vida útil de productos. La determinación de la humedad de papa china y malanga se realizó con el fin de conocer la cantidad de agua que contiene al inicio del proceso y se determinó con la ayuda de una balanza infrarroja.

Actividad de agua: Para el análisis de dicha variable se realizó en el equipo marca Aw-WERT - MESSER, para cada especie. La actividad de agua tiene un valor máximo de 1 y mínimo de 0.

pH: El pH es un símbolo que indica si una sustancia es ácida, neutra o básica. El pH se calculó mediante un phmetro por triplicado para cada tratamiento.

Contenido de Proteína: La determinación de proteína se realizó mediante el método de Kjeldhal.

Contenido de grasa: La determinación de ácidos grasos (extracto etéreo) se realizó por el método de Soxhlet. A continuación, se define el procedimiento.

- ✓ Se transfirió 2.0 g de muestra finamente dividida en el cartucho o dedal; se cubrió con una porción de algodón. Se colocó el cartucho dentro del extractor Soxhlet. En la parte inferior se ajustó un matraz con cuerpos de ebullición (llevados previamente a peso constante por calentamiento a 100 – 110°C).
- ✓ Colocar el refrigerante. Añadir éter por el extremo superior del refrigerante en cantidad suficiente para tener 2 ó 3 descargas del extractor (alrededor de 80 ml). Hacer circular el agua por el refrigerante y calentar hasta que se obtenga una frecuencia de unas 2 gotas por segundo.
- ✓ Efectuar la extracción durante 4 a 6 horas. Suspender el calentamiento, quitar el extractor del matraz y dejar caer una gota de éter del extractor a un papel o vidrio de reloj, si al evaporarse el éter se observa una mancha de grasa, ajustar el Soxhlet de nuevo al matraz y continuar la extracción.
- ✓ Evaporar suavemente el éter del matraz y secar a 100°C hasta peso constante.

CALCULOS:

$$\% \text{ Grasa} = \frac{P - p}{M} \times 100 \quad (4)$$

Donde:

P = Masa en gramos del matraz con grasa.

p = Masa en gramos del matraz sin grasa.

M = Masa en gramos de la muestra.

Contenido de cenizas: El contenido de cenizas se cuantificó por medio de incineración seca, quemando la sustancia orgánica de la muestra problema en la mufla a una temperatura de $550^{\circ}\text{C} \pm 25^{\circ}\text{C}$, con esto la sustancia orgánica se combustiona y se forma el CO_2 agua y la sustancia inorgánica (sales minerales) se queda en forma de residuos, la incineración se lleva a cabo hasta obtener una ceniza color gris o gris claro.

Contenido de oxalatos de calcio: Se determinó en la materia prima y en el producto deshidratado mediante el método AOAC 976.09 en el laboratorio LABOLAB de la ciudad de Quito.

Contenido de calcio: La determinación de calcio se llevó a cabo mediante espectrofotometría de absorción atómica (AAS), mediante el siguiente procedimiento.

- ✓ Se preparó varias disoluciones de Ca, entre 1 y 5 ppm, en matraces de 50 ml, conteniendo todas ellas un 0.25% de La y 1%(v/v) de HCl. Para este fin se utilizó una disolución intermedia de calcio de 50 ppm, preparada a partir de la de 500 ppm. Se enrazó con agua. Se preparó un blanco de la misma forma.
- ✓ En un matraz de 50 ml se pipeteó 4 ml de agua, los volúmenes necesarios de disolución de La y de HCl 3M para que al final la concentración de estos sea la misma que en los patrones y completar hasta el enrase con agua. Se preparó tres réplicas.

- ✓ Encender el espectrofotómetro de AA e introducir los parámetros de trabajo para medir en condiciones óptimas, ajustar el cero de absorbancia con agua. Aspirar las disoluciones patrón y la muestra problema, y medir sus absorbancias.

Contenido de hierro: Se determinó en la materia prima y en el producto terminado mediante espectrofotometría de absorción atómica. El procedimiento se presenta a continuación:

- ✓ Se preparó una dilución de 5mg/L a partir de la solución patrón (1000mg de Fe en 1L de HCl al 15%).
- ✓ Se preparó una solución estándar de 0,1mg/L a partir de la solución 5mg/L, tomando 50 uL de la solución y llevando el aforo hasta 50ml.
- ✓ Se preparó una solución estándar de 1mg/L a partir de la solución patrón tomando 100uL de la solución y llevando el aforo hasta 50ml.
- ✓ Se preparó una solución estándar de 2mg/L a partir de la solución patrón tomando 150uL de la solución y llevando el aforo hasta 50ml.
- ✓ Se preparó una solución estándar de 3mg/L a partir de la solución patrón de 5mg/L tomando 1ml de la solución y llevando el aforo hasta 50ml. Se preparó el equipo de absorción para las lecturas.

Contenido de potasio: A continuación, se describe el procedimiento para la determinación de potasio mediante AOAC 985.35:

A. SOLUCIÓN DE CLORURO DE CESIO

- ✓ Se Pesó 12,7 g cloruro de cesio.
- ✓ Aforar a 100 mL utilizando agua desmineralizada. Solución estable por seis meses.

B. SOLUCIÓN MADRE

- ✓ Utilizar el estándar de calcio de concentración 100 mg/L.

✓ Medir 10 mL y aforar a 100 mL utilizando ácido nítrico 0,1 M. 58

C. CURVA DE CALIBRACIÓN

✓ Pipetear la cantidad exacta para obtener estándares de 0,125 mg/L, 0,250 mg/L, 0,500 mg/L, 0,750 mg/L, 1,000 mg/L y 1,125 mg/L de concentración.

✓ Agregar el 0,5 % de cloruro de cesio (utilizar 5 mL cuando el volumen de aforo es 100 mL) Preparar el blanco agregando 0,5 % de cloruro de cesio en un balón aforado de 100 mL.

✓ ⊕ Aforar todos los balones (blanco y curva) con ácido nítrico 0,1 M.

✓ Diluir las muestras agregando 1 mL de volumen de los balones provenientes de la digestión, agregar 0,5% de cloruro de cesio y aforar hasta 25 mL utilizando ácido nítrico 0,1 M.

✓ Se realizó las lecturas respectivas.

Vitamina B1: Se determinó en la materia prima y en el producto deshidratado para verificar la reducción o no de este elemento mediante método de HPLC en el laboratorio LABOLAB de la ciudad de Quito.

Vitamina B2: Se determinó en la materia prima y en el producto deshidratado mediante método de HPLC en el laboratorio LABOLAB de la ciudad de Quito.

Contenido de almidón: Preparación de la muestra. a. En un mortero de porcelana se pesó 4g de muestra si no es azucarada, o 10 g si es azucarada, adicionar 25 ml de éter y moler. b. Después de que se asienten las partículas gruesas separar el éter junto con el material finalmente suspendido, sobre un papel filtro para retener el almidón crudo. c. Repetir el tratamiento hasta que no queden partículas gruesas. d. Después que el éter se evapore del filtro, transferir el residuo libre de grasa al mortero, por medio de un chorro de agua y frotar para formar una pasta tersa, filtrar sobre el papel utilizado anteriormente. e. Repetir este proceso hasta remover todo el azúcar (con productos azucarados, el filtrado debe medir no menos de 500 ml). 28 2.4.4.2. Procedimiento. a) Realizar un reflujo del residuo insoluble durante 2.5 horas con 200 ml de agua y 20 ml de ácido clorhídrico gravedad específica 1.125 en un matraz Erlenmeyer de 500 ml

provisto de refrigerante. b) Enfriar y neutralizar con hidróxido de sodio, primero con unas lentejas y ya para acercarse a la neutralidad con NaOH 1 N. c) Transferir a un matraz aforado de 250 ml, completar el volumen con agua, filtrar y determinar glucosa.

Contenido de amilosa y amilopectina: El contenido de amilosa se realizó mediante el método MO-LSAIA-O4 en LABONOR y el contenido de amilopectina se realizó mediante cálculo.

Curvas de secado: El análisis de la curva de velocidad de secado se realizó mediante el control de la pérdida de peso durante el secado cada 10 minutos hasta terminar el proceso en cada tratamiento, la pérdida cuantitativa de agua de las hojuelas deshidratadas se realizó mediante pérdida de peso esto se medirá con una balanza electrónica. Las curvas de mayor interés en la cinética de secado que se midieron fueron: la humedad libre vs tiempo y velocidad de secado vs humedad libre.

3.8.2 Manejo Específico del Experimento

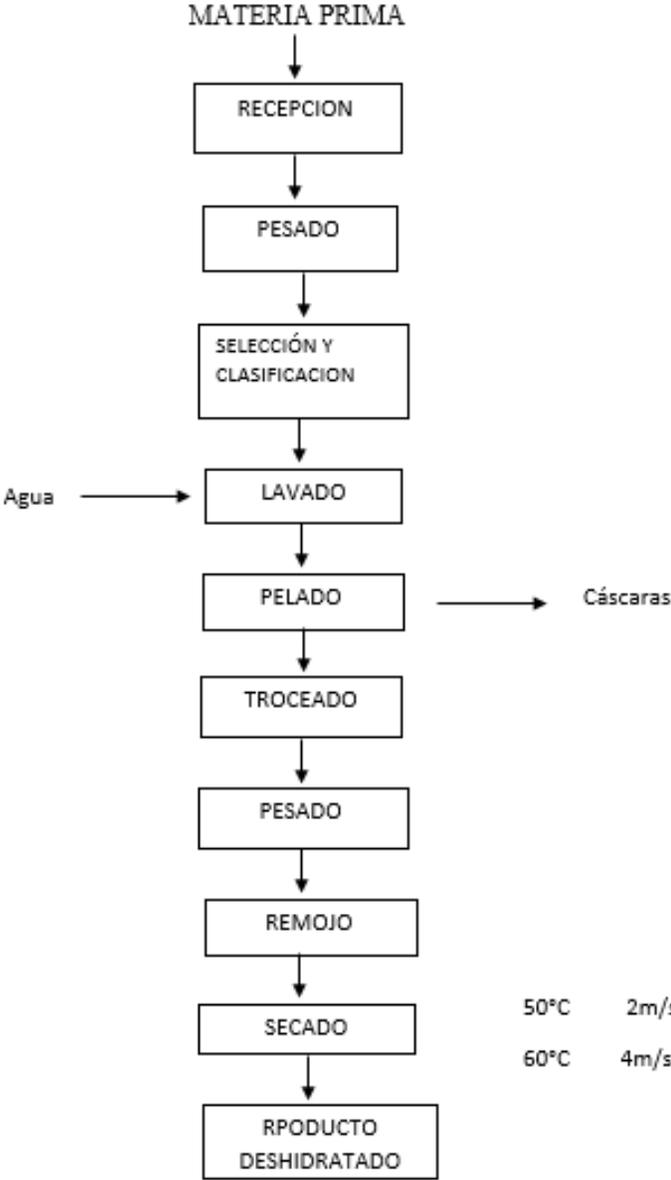


Figura 11. Diagrama de flujo de papa china deshidratada.

3.9 Descripción del proceso

Recepción de materia prima: La materia prima se la recolectó en gavetas de plástico para evitar contaminación.



Figura 12. Recepción de materia prima

Selección y clasificación: Se escogieron los tubérculos más grandes y que no tengan muchos daños.



Figura 13. Selección y clasificación

Lavado: Se lavó con abundante agua corriente para que salga la mayor cantidad de tierra. Al agua se le puede añadir un poco de cloro.



Figura 14. Lavado

Pelado: Se realiza manualmente y con guantes para evitar picor en las manos.



Figura 15. Pelado

Troceado: Se corta los tubérculos en rodajas de 5mm de espesor.



Figura 16. Troceado

Pesado: Se pesó 500 g de papa china y malanga para cada una de las repeticiones de los ocho tratamientos.



Figura 17. Pesado

Remojo: Se realizó con una solución de eritorbato de sodio 1% p/v para evitar el pardeamiento enzimático.



Figura 18. Remojo

Secado: Se sometió a temperaturas de 50 y 60°C en un secador de bandejas.



Figura 19. Secado

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Caracterización de Materia Prima

En la tabla 15 se presentan los resultados del análisis proximal de la papa china y malanga utilizada en el secado. Como se puede observar, el contenido de oxalato de calcio varia significativamente en cada variedad.

Tabla 15. Composición proximal de malanga y papa china.

	<i>Xanthosoma sagittifolium</i>	<i>Colocasia esculenta</i>
Humedad (%)	75,54	71,02
Materia seca (%)	24,36	28,98
Proteína (%)	5,72	7,87
Grasa (%)	0,12	0,19
Cenizas (%)	5,44	5,66
Fibra (%)	1,95	2,01
Calcio (mg/100g)	30,00	40,00
Potasio (mg/100g)	350,00	570,00
Hierro (mg/100g)	10,68	33,03
Fósforo (mg/100g)	190,00	260,00
Vit. B1 (mg/100g)	0,05	0,04
Vit. B2 (mg/100g)	0,025	0,020
Oxalatos de calcio (mg/100g)	141,48	391,71
Almidón (%)	68,50	72,23
Amilosa (%)	26,17	25,11
Amilopectina (%)	42,33	47,12

El análisis proximal descrito en la tabla 15 reveló que las dos variedades estudiadas tienen características similares en lo que se refiere a humedad, proteína, grasa, cenizas y fibra reportadas para todos los tubérculos. Sin embargo, en la parte mineral la variedad *colocasia esculenta* o papa china destaca ante la *Xanthosoma sagittifolium* o

malanga. Las vitaminas también presentaron valores similares, pero en cuanto al contenido de oxalatos de calcio se pudo observar una marcada diferencia entre las dos variedades siendo así que *colocasia esculenta* o papa china contiene el doble del contenido de oxalato de calcio que *xanthosoma sagitifolium* o malanga.

4.2 Proceso de Secado

Las curvas de secado se realizaron para cada tratamiento hasta la obtención de la humedad de equilibrio, en condiciones controladas de laboratorio, dado que el comportamiento es similar en todos los tratamientos evaluados, se presenta la discusión de uno sólo de ellos (T1), los demás se encuentran en el área de anexos.

4.2.1 Cinética de secado para T1 (50 °C – *C. esculenta* – 2 m/s)

En la cinética de secado de malanga a 50 °C se alcanzó una humedad de equilibrio luego de 4 horas de procesamiento. La curva de secado se desarrolló tras evaluar periódicamente la humedad presente en el tubérculo, para ello se pesó el mismo y mediante diferencia de peso se determinó el valor deseado. La figura 20 muestra la curva que relaciona la humedad del tubérculo ante el paso del tiempo, hasta llegar a la humedad de 0,142 kg H₂O/kgss.

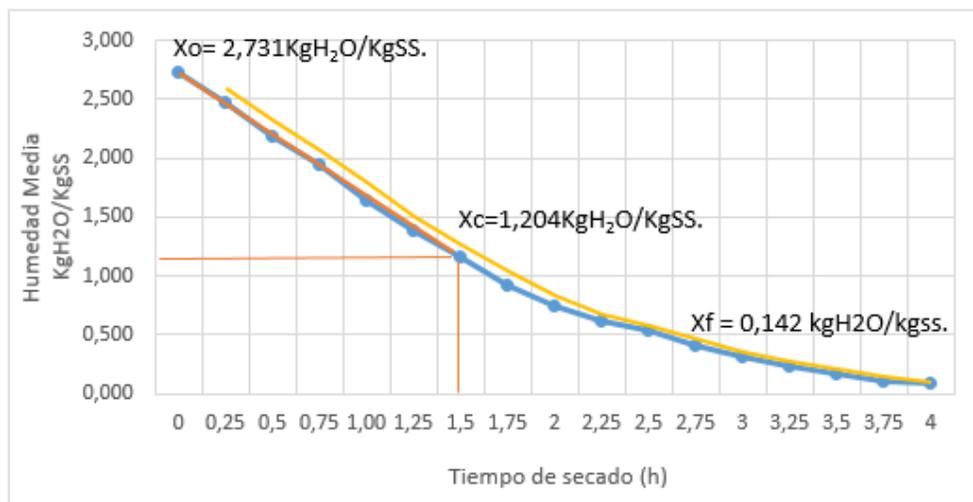


Figura 20. Comportamiento de la humedad y velocidad de secado para el tratamiento T1 (50 °C – *C. esculenta* – 2 m/s)

La figura 20 muestra además los diferentes periodos de secado que se generan durante el procesamiento. Se inicia con un periodo de velocidad constante, donde la evaporación del agua se efectúa en la superficie del producto a temperatura constante, desde su contenido de humedad inicial $X_0 = 2,731 \text{ KgH}_2\text{O/KgSS}$ formando una pendiente hasta la humedad crítica $X_c = 1,204 \text{ KgH}_2\text{O/KgSS}$. En la última etapa la velocidad decreciente concluye con una humedad final de $X_f = 0,142 \text{ kgH}_2\text{O/kgss}$, la cual se alcanzó luego de 4,0 horas de procesamiento continuo.

4.2.2 Curva de velocidad de secado T1 (50 °C – *C. esculenta* – 2 m/s)

Para los cálculos de la cinética del proceso de secado, el contenido de humedad se enuncia en base seca ($\text{kgH}_2\text{O/kg}$ solidos secos) y la velocidad de secado en $\text{kgH}_2\text{O/hm}^2$, con el objetivo de obtener los cálculos respectivos.

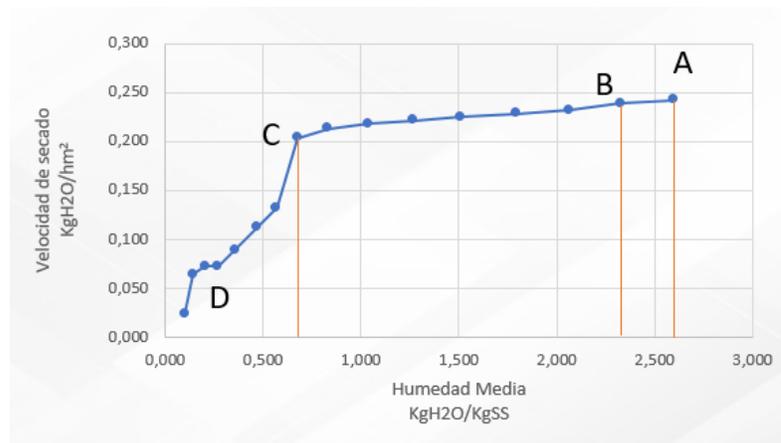


Figura 21. Comportamiento de la humedad y velocidad de secado para el tratamiento T1

En la figura 21 se puede evidenciar una etapa de calentamiento inicial (A-B) de las rodajas de papa china, el cual normalmente es de corta duración. En esta etapa el sólido se calienta desde la temperatura ambiente hasta la temperatura de bulbo húmedo del gas, momento en el cual se alcanza el equilibrio entre el enfriamiento por evaporación y la absorción de calor de los gases.

En el período de velocidad de secado constante (B-C), las rodajas de papa china contienen humedad en la superficie y al entrar en contacto con aire caliente esta agua

se evapora y se mezcla en la corriente de aire, en este periodo se elimina el agua libre, la cual es muy fácil de eliminar. (Casp & Abril, 2003) mencionan que el periodo de velocidad constante continúa mientras que la superficie del producto esté alimentada por agua libre desde el interior, fundamentalmente por capilaridad. Por tanto, este período empieza desde la humedad libre inicial hasta alcanzar el valor de humedad crítica.

Finalmente, se observa un periodo de velocidad decreciente (C-D), que inicia cuando la película de agua en la superficie desaparece debido a una insuficiente alimentación de agua libre, ya que en las rodajas de papa china queda agua débilmente ligada y agua ligada. Cabe destacar, que en este período la pérdida de humedad del producto puede ser baja, mientras que el tiempo puede ser más largo, debido a que la velocidad de secado disminuye.

Para conocer el mecanismo real por el cual se elimina la humedad del producto se graficó el cociente $(X_o - X_e / X_c - X_e)$ contra el tiempo de secado. Según Colina, Irezabal, 2010 en la figura 22 se muestra que el mecanismo de difusión gobierna el proceso de secado debido a la naturaleza del producto y condiciones de secado, la línea se hace asintótica conforme aumenta el tiempo de secado.

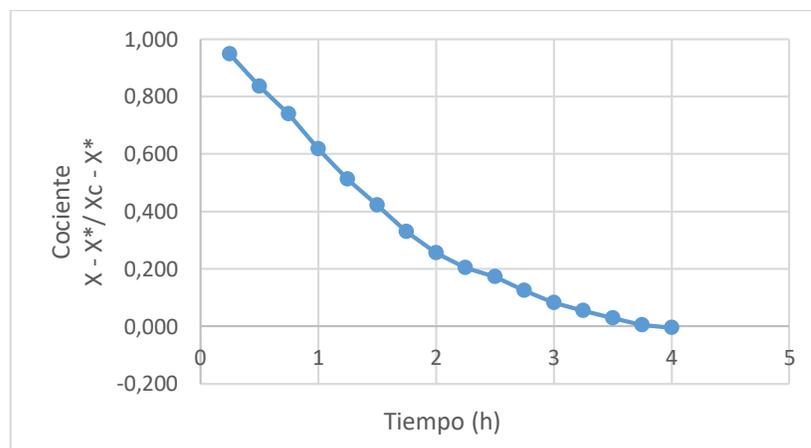


Figura 22. Sistema de eliminación de humedad

4.2.3 Cálculo tiempo total de secado.

Para la determinación del tiempo total de secado dentro de un periodo anticrítico y un período proscrítico para el tratamiento 1 y los demás tratamientos, se utilizaron las ecuaciones 1 y 2 que se encuentran en el capítulo 2. En la tabla 16 se muestra el cálculo del tiempo de secado para cada periodo.

Tabla 16. Cálculo del tiempo de secado para T1

Tiempo Ante crítico		Tiempo Pos crítico		
S/As*Wc	Xo-Xc	S/As	Xc-Xf/Wc-Wf	Ln Wc/Wf
0,075	0,13	0,268	11,372	1,315
Ta=1,605		Tp= 2,469		
Tt= 4,074				

En la tabla 16 se determinó el tiempo total de secado el cual no varió con el tiempo tomado experimentalmente se debe a que se precalentó el secador hasta llegar a la temperatura para este tratamiento y luego se procedió a ingresar a las muestras al secador.

4.3 Evaluación de Propiedades Físicoquímicas del Producto Deshidratado

Para realizar la evaluación de las propiedades fisicoquímicas del producto deshidratado se tomó datos por triplicado de cada tratamiento y se procedió a realizar el análisis estadístico correspondiente. En la tabla 17 se puede apreciar el Análisis de Varianza para cada una de las variables estudiadas.

Tabla 17. Análisis de Varianza para cada una de las variables

	Prot.	grasa	cenizas	fibra	calcio	potasio	hierro	fósforo	almidón	Amilo	amilop	vit. B2
F.V	F. cal	F. cal	F. cal	F. cal	F. cal	F. cal	F. cal	F. cal	F. cal	F. cal	F. cal	F. cal
Total												
Trat.	22 **	3 *	18,03 **	32 **	4425,31 **	32042 **	144,76 **	17923,22 **	202,42 **	225,87 **	61,25 **	35,5 **
FA	54,25 **	14 **	74,12 **	124,75 **	0,63 ns	89577,33 **	0,59 ns	50398,33 **	7,20 **	22,63 **	0,76 **	1,5 ns
FB	1,5 ns	1 ns	3,44 ns	53,25 **	30835,24 **	14629,08 **	1011,29 **	7884,44 **	1343,56 **	235,68 **	395,02 **	240 **
FC	4,75 *	1 ns	28,07 **	43,25 **	16,99 **	18701,83 **	0,05 ns	10242,44 **	1,09 **	1007,57 **	23,56 **	0 ns
IAB	9 **	0 ns	3,37 ns	0,5 ns	0,29 ns	16707,92 **	0,68 ns	9358,78 **	0,06 ns	27,19**	3,33 **	242 **
IAC	0 ns	-1 ns	18,05 **	1,25 ns	25,88 **	33,75 **	0,1 ns	12,44 **	0,02 ns	17,26 **	3,03 *	5,25 *
IBC	69,5 **	4 ns	0,37 ns	0,25 ns	24,03 **	57890,67 **	0,36 ns	32555,67 **	63,12 **	269,33 **	1,64 ns	240,25 **
IABC	14,75 **	5 *	-1,19 ns	0 ns	74,09 **	26753,67 **	0,25 ns	15010,11 **	1,88 ns	1,45 ns	1,38 ns	-481,25 ns
CV	4,27	10,75	5,45	6,90	1,37	0,13	11,19	0,18	0,41	1,33	0,51	3,2

4.3.1 pH

La determinación de pH se realizó con un potenciómetro, por triplicado a cada uno de los tratamientos. El análisis estadístico para la variable pH demuestra que no existe significancia estadística debido a que todos los tratamientos llegaron a un mismo valor de pH. El pH como la temperatura y la humedad, son importantes para la conservación de los alimentos. De ahí que generalmente, disminuyendo el valor de pH de un producto, aumente el período de conservación. Un valor de pH entre 4,6 y 6,4 prolonga la conservación de la mayoría de las verduras y hortalizas.

4.3.2 Humedad final

Con el fin de determinar el porcentaje de humedad, se tomó una muestra de papa china y malanga deshidratada y se colocó en la balanza infrarroja, la cual arroja el porcentaje de humedad presente en el producto, el proceso se realizó por triplicado para realizar el análisis estadístico.

Los resultados del análisis estadístico de la variable humedad demuestran que no existe significancia estadística para los tratamientos y ninguno de los factores así también para ninguna interacción. Esto demuestra que los tratamientos son iguales ya que todos llegaron a un mismo rango de humedad. Los resultados obtenidos de la humedad del producto deshidratado se compararon con los requisitos de la norma INEN 2996. Este análisis paramétrico se realizó con el fin de conocer las variaciones de humedad final de los tratamientos. Al obtener una baja humedad se inhibe la proliferación de microorganismos y el producto se conserva mejor. Según Geankoplis (1998), los microorganismos dejan de ser activos cuando el contenido de agua se reduce por debajo del 10% en peso, sin embargo, generalmente es necesario reducir este contenido de humedad por debajo del 5% en peso, para preservar el sabor y su valor nutritivo.

4.3.3 Contenido de oxalatos de calcio

Los análisis se realizaron por triplicado a cada uno de los tratamientos en el laboratorio LABOLAB de la ciudad de Quito, mediante el método AOAC 976.09. En la tabla 18 se presenta el análisis de varianza para esta variable.

Tabla 18. Análisis de la Varianza

F.V	SC	GL	CM	F. cal	F. Tab 5%	F. Tab 1%
Total	189455,17	23				
Trat.	189260,93	7	27037,28	2227,12 **	2,66	4,03
FA	2807,79	1	2807,79	231,28 **	4,49	8,53
FB	172620,57	1	172620,57	14219,16 **	4,49	8,53
FC	1,16	1	1,16	0,1 ns	4,49	8,53
IAB	12,52	1	12,52	1,03 ns	4,49	8,53
IAC	7705,25	1	7705,25	634,7 **	4,49	8,53
IBC	0,02	1	0,02	0 ns	4,49	8,53
IABC	6113,62	1	6113,62	503,59 **	4,49	8,53
Error	194,24	16	12,14			

CV: 2,74%

** : Alta significancia

* : Significancia

NS: no significancia

Realizado el análisis de la varianza para la variable oxalato de calcio como se detalla en la tabla 18, se observó una alta significancia estadística para tratamientos, así como también para el factor A (temperatura de secado) y factor B (variedades de papa china) lo que quiere decir que el contenido de oxalatos de calcio se ve afectado por la temperatura de secado y la variedad de papa china. También existió alta significación estadística en la interacción Ax C (temperatura de secado y velocidad de aire de secado) y en la interacción Ax B x C (temperatura de secado, variedad de papa china y velocidad de aire de secado) demostrándose que la combinación de los factores influyó en la variable estudiada.

El coeficiente de variación es de 2,74% el cual es un valor aceptable para investigaciones a nivel experimental realizado en condiciones controladas de laboratorio, este valor se debe a los cambios de temperatura y tiempos de secado en cada uno de los tratamientos. Al existir significación estadística se procedió a realizar las pruebas correspondientes de Tukey al 5 % para tratamientos y Diferencia mínima significativa para los factores.

En el análisis de la interacción AxBxC se demostró que la temperatura de secado en conjunto con la velocidad del aire juegan un papel importante en la eliminación de oxalatos de calcio, es decir a mayor temperatura de secado y mayor velocidad de aire se eliminan considerablemente los oxalatos de calcio presentes en cada una de las variedades en estudio, siendo así que la variedad *xanthosoma sagittifolium* obtuvo un contenido menor de oxalatos de calcio con la combinación de los factores en estudio.

Tabla 19. Prueba DMS para el factor A

Tratamientos	Medias	DMS
A1 (50°C)	137,97	A
A2 (60°C)	116,33	B

Al realizar la prueba de diferencia mínima significativa (DMS) para el factor A descrita en la tabla 19, se puede apreciar que A2 (temperatura de secado 60°C) presenta la menor media y le corresponde el rango “b”, que expresa que la temperatura de secado influye en el contenido de oxalatos de calcio. En este caso la temperatura de 60°C hace que se reduzcan el contenido de oxalatos de calcio, es decir a mayor temperatura menor contenido de oxalatos de calcio. Según DedehandKofi-AgyirSackey (2004). El mayor porcentaje de reducción de oxalato durante la cocción también puede ser debido a su solubilidad en agua. Los oxalatos de calcio son sensibles a temperaturas altas.

Tabla 20. Prueba DMS para el factor B

Tratamientos	Medias	DMS
B1 (<i>colocasia esculenta</i>)	211,96	a
B2 (<i>xanthosoma sagittifolium</i>)	42,34	b

Al realizar la prueba de diferencia mínima significativa (DMS) detallada en la tabla 20 para el factor B, se puede apreciar que B2 (*Xanthosoma sagittifolium*) presenta la menor media y le corresponde el rango “b”, que expresa que la variedad de papa china influye en el contenido de oxalatos de calcio. La diferencia de contenido de oxalato de calcio entre las dos variedades es amplia por lo que el factor B2 (*Xanthosoma sagittifolium*) es el mejor debido a un menor contenido de oxalato de calcio inicial y final. En un estudio de la Food Chemistry 85 (2004) Se ha observado que la composición mineral de un cultivo de alimentos está directamente relacionada con su origen genético y las condiciones geográficas del suelo.

Tabla 21. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos: Oxalatos de Calcio

TRATAMIENTOS	MEDIAS	TUKEY
T2 (A1B1C2)	257,14	a
T1 (A1B1C1)	234,54	b
T5 (A2B1C1)	189,86	c
T6 (A2B1C2)	166,3	d
T4 (A1B2C2)	54,19	e
T3 (A1B2C1)	50,68	e
T7 (A2B2C1)	34,41	f
T8 (A2B2C2)	30,09	f

Al analizar los resultados de la prueba de Tukey de la tabla 21 se encontró significación estadística entre tratamientos donde se observan 6 rangos, es decir todos los tratamientos son diferentes, de los cuales los que poseen el rango “f” son los que tienen una mejor media, ya que generaron la menor cantidad de oxalato en el producto deshidratado, de esta manera, los tratamientos T7 y T8 son los más destacados. Esto se debe a que estos dos tratamientos se caracterizan por trabajar con la variedad (*xanthosoma sagittifolium*) que presentó la menor cantidad inicial de oxalatos de calcio y se procesaron a la mayor temperatura.

Bhandari MR, Kawabata J. (2004) manifiestan que el contenido reducido de oxalato de calcio en los tubérculos cocidos o procesados podría tener un impacto positivo en la salud de los consumidores. Se espera que la reducción de los niveles de oxalato de

calcio mejore la biodisponibilidad de los minerales esenciales de la dieta de los tubérculos.

Por otro lado, el análisis sobre el porcentaje obtenido de oxalato de calcio, resultó ser significativo (p valor $< 0,05$) $A \times B \times C$, esto en concordancia al análisis de varianza (Tabla 18). El análisis de presenta en la siguiente figura.

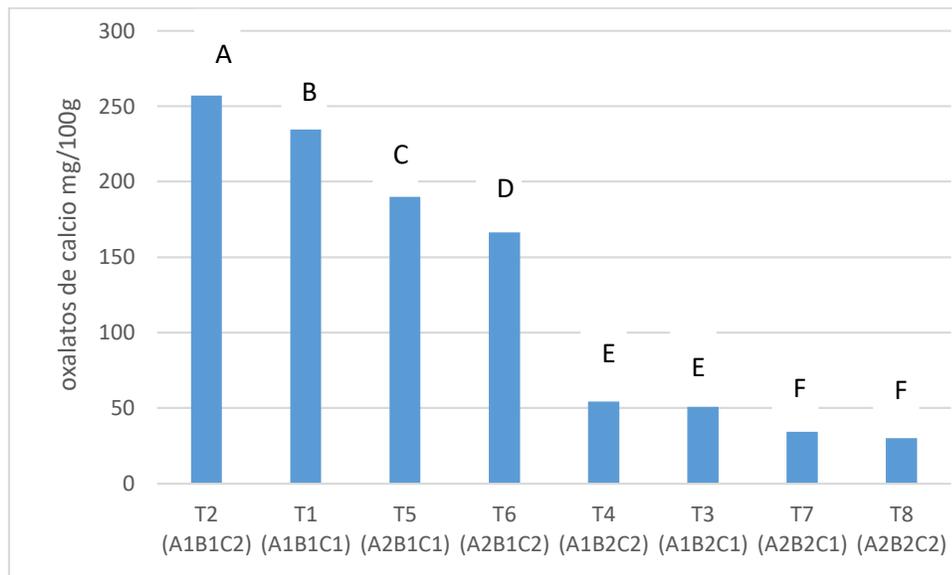


Figura 23. Interacción $A \times B \times C$ para la variable oxalato de calcio

A partir de la figura 23, se infiere que la variedad de papa china incide en mayor significancia respecto a los otros efectos principales, es importante destacar en este punto que se ha observado que la composición mineral de un cultivo de alimentos está directamente relacionada con su origen genético y las condiciones geográficas del suelo. (Food Chemistry 85, 2004). El contenido de oxalato de calcio varía con la especie y variedades cultivadas (Osisiogu et al 1974; Agwunobi et al 2000). Además la Temperatura, y Velocidad de aire son un componente decisivo a tomar en cuenta en este parámetro para obtener valores inferiores de oxalato de calcio, ya que de estos dependerá que los rangos se mantenga en la escala “F” (tabla 21), caso contrario los niveles altos de oxalatos en el organismo, inducirán problemas como: efectos

corrosivos en la boca y en el tracto gastrointestinal, y hasta desbalances tales como convulsiones por efecto de la baja de calcio en el plasma sanguíneo (Dassanayake & Gnanathasan, 2012).

4.3.4 Proteína

La determinación de la proteína se realizó mediante el método Kjeldahl en los laboratorios de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Técnica del Norte. El análisis estadístico se muestra en la tabla 17.

El análisis estadístico realizado a la variable proteína descrita en la tabla 17 determina que existe alta significación estadística para los tratamientos y el factor A (temperatura de secado) así como también para la interacción AxBxC. Lo que indica que el contenido de proteína de los tratamientos es diferente y se debe a la temperatura de secado. Según Pérez (2007), el contenido de proteína tiende a ser mayor en productos deshidratados a bajas temperaturas, coincidiendo con reportes que indican alto valor biológico.

Tabla 22. Prueba Diferencia Mínima Significativa para el factor A (temperatura de secado)

Tratamientos	Medias	DMS
(50°C) A1	4,98	a
(60°C) A2	4,38	b

El análisis para el factor A (temperatura de secado) descrito en la tabla 22 demuestra que los niveles de temperatura influyen en el contenido de proteína. El factor A1 (50°C) conserva mayor cantidad de proteína en el producto deshidratado. Según Devlin (2004), las proteínas empiezan a desestabilizarse a temperaturas mayores de 40 °C, es decir a mayor temperatura mayor pérdida de proteína.

Tabla 23. Prueba de Tukey para tratamientos: Proteína (%)

Tratamientos	Medias	Tukey
T2 (A1B1C2)	5,25	a
T3 (A1B2C1)	5,08	a b
T1 (A1B1C1)	5,06	a b
T4 (A1B2C2)	5,03	a b c

T6 (A2B1C2)	4,72	b c d
T7 (A2B2C1)	4,53	d
T5 (A2B1C1)	3,9	e
T8 (A2B2C2)	3,86	e

Al analizar los resultados de la prueba de tukey que se muestra en la tabla 23, se encontró que existe alta significación estadística para los tratamientos, existen cuatro rangos. Sin embargo, con los tratamientos del rango “E” se observa que existe una gran diferencia y esto se debe a que estos tratamientos fueron sometidos a temperaturas de 60°C. Por tal motivo se puede entender que disminuye el contenido de proteína al aumentar la temperatura, esto se debe a la desnaturalización de la proteína.

Desde este punto de vista, sobre el porcentaje obtenido de proteína resultó ser significativo (p valor < 0,05) interacción (AxBxC), esto en concordancia al análisis de varianza (Tabla 21). El análisis se muestra en la figura 24.

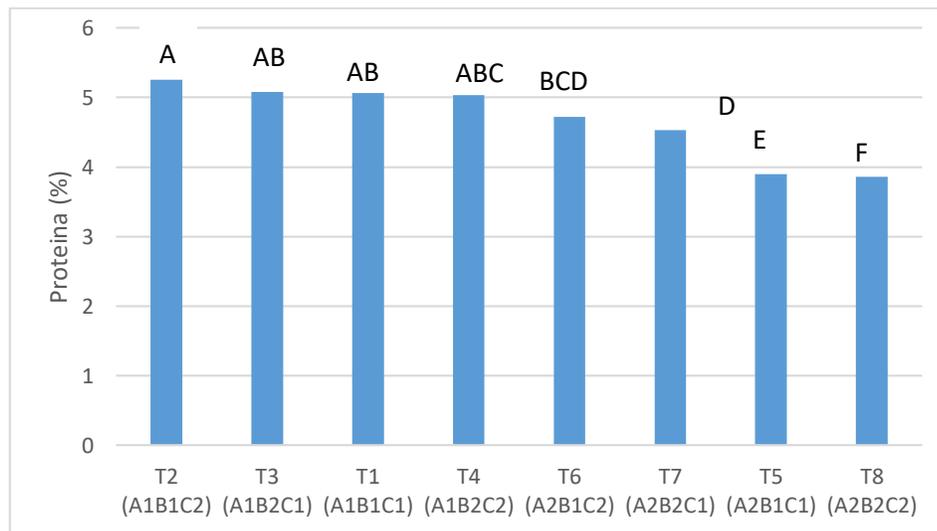


Figura24. Interacción AxBxC para la variable proteína

A partir de la figura 24 se puede deducir que el factor “temperatura” es un elemento decisivo para tomar en cuenta en este parámetro para obtener valores más estables de proteína de acuerdo con Pérez (2007) y Devlin (2004). El análisis de cada uno de los factores con respecto al contenido de proteína, coincide con lo antes señalado; se obtiene un menor porcentaje de proteína para los niveles más altos de los factores

estudiados (Temperatura 60 °C, variedad 2 y velocidad de aire 4 m/s), esto de acuerdo con Juntamay (2010) y se debe principalmente a la desnaturalización de las proteínas por las altas temperaturas empleadas en el proceso de secado, ocasionando daños no enzimáticos como oscurecimiento, pérdida de turgencia, y una alteración de la textura que caracteriza a un determinado alimento. De modo que no recupera su forma y tamaño original. Por otro lado, existe una mayor estabilidad proteica para niveles de temperatura < 50 °C y velocidad de aire en el proceso de 2 m/s, lo cual genera un equilibrio para mantener las características de un alimento deshidratado.

4.3.5 Grasa

La determinación del contenido de grasa se realizó mediante el método AOAC 920.39 en los laboratorios de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Técnica del Norte. El análisis estadístico se muestra en la tabla 17.

Según el análisis estadístico realizado a la variable grasa que se muestra en la tabla 24, existe alta significación estadística para el factor A (temperatura de secado) de acuerdo a esto se puede decir que el contenido de grasa se ve afectado por la temperatura ya que al eliminarse la mayor cantidad de agua se concentra la cantidad de grasa.

Tabla 24. Prueba Diferencia Mínima Significativa para el factor A (temperatura de secado)

Tratamientos	Medias	DMS
(60°C) A2	1,01	a
(50°C) A1	0,86	b

Al realizar el análisis de DMS que se muestra en la tabla 24, se puede verificar que el factor A (temperatura de secado) influye en el contenido de grasa. El contenido de extracto etéreo es muy bajo en tubérculos y autores refieren que es la grasa de la membrana celular que puede estar entre 0,11 y 0,88%.

Tabla 25. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos: Grasa

Tratamientos	Medias	Tukey
T5 (A2B1C1)	1,1	a
T8 (A2B2C2)	1,08	a
T6 (A2B1C2)	0,95	a b
T7 (A2B2C1)	0,93	a b

T4 (A1B2C2)	0,91	a b
T3 (A1B2C1)	0,87	a b
T1 (A1B1C1)	0,83	b
T2 (A1B1C2)	0,82	b

Al analizar los resultados de la prueba de Tukey descritos en la tabla 25, se obtiene dos rangos "a" y "b". El mejor tratamiento fue el T5 (A2B1C1), se evidencia que el factor con más significación es la temperatura de secado (A2: 60°C). El contenido de grasa de los tratamientos obtenidos es similar al reportado por Pérez, (2007) de 0,38 a 1,13 g/100 g que son afines para la mayoría de los tubérculos.

4.3.6 Cenizas

La determinación de la proteína se realizó mediante el método AOAC 923.03 en los laboratorios de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Técnica del Norte. El análisis estadístico se muestra en la tabla 17.

El análisis estadístico realizado a la variable ceniza mostrado en la tabla 17, reveló que existe alta significancia estadística para tratamientos, el factor A (temperatura de secado), el factor C (velocidad de secado) y la interacción Ax C (temperatura de secado vs velocidad del aire). De acuerdo con los resultados se puede decir que el contenido de cenizas se ve influenciado por la velocidad del aire en el proceso de deshidratación. Las cenizas son la medida total de todos los minerales presentes en el alimento. De la interacción Ax C (temperatura de secado x velocidad del aire) se puede decir que el contenido de cenizas depende de la temperatura de secado al someterlas a determinada velocidad de aire.

Tabla 26. Prueba Diferencia Mínima Significativa para el factor A (temperatura)

Tratamientos	Medias	Tukey
A2 (60°C)	1,04	a
A1 (50°C)	0,84	b

La tabla 26 indica que el factor A influye en la concentración de las cenizas, lo cual significa que a temperaturas altas de secado se expondrá con mayor facilidad los solutos disueltos en agua y con una alta velocidad del aire de secado se elimina

rápidamente el vapor de agua superficial, facilitando la difusión interna de los solutos disueltos en agua hacia la superficie del alimento.

Tabla 27. Prueba Diferencia Mínima Significativa para el factor C (velocidad de aire)

Tratamientos	Medias	DMS
(4m/s) C2	3,4	A
(2m/S) C1	2,95	B

Al realizar el análisis de DMS que se muestra en la tabla 27, se verifica que el factor C influye en la mayor concentración de cenizas, es decir el factor C2 (4m/s) aumenta el contenido de cenizas al ayudar a eliminar la mayor cantidad del agua. En base a la investigación de Michael Baker (1992) se considera que a mayor velocidad de secado el porcentaje de cenizas aumenta, en general cualquier alimento natural tendrá menos de 5 por ciento de cenizas en el contenido, mientras que algunos alimentos procesados pueden tener un contenido de cenizas de más del 10 por ciento.

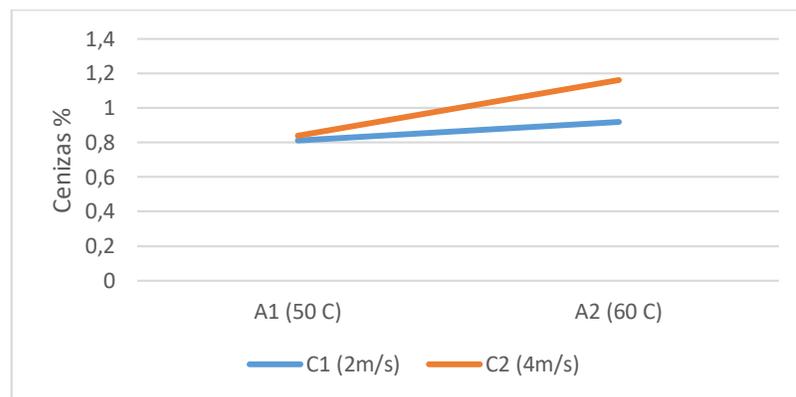


Figura 25. Interacción de los factores A (temperatura de secado) y C (velocidad de aire de secado) para la variable cenizas

En la figura 25 se muestra la interacción de los factores A (temperatura de secado) y C (velocidad de aire de secado) mostrando que el factor C2 (4m/s) concentra su contenido de cenizas al pasar de un factor a otro, es decir al pasar de A1 (50°C) a A2 (60°C). La mayor velocidad del aire de secado y la mayor temperatura de secado concentra mayor cantidad de cenizas.

Tabla 28. Prueba de Tukey para tratamientos: Cenizas (%)

Tratamientos	Medias	Tukey
T8 (A2B2C2)	1,2	a
T6 (A2B1C2)	1,13	a
T7 (A2B2C1)	0,97	b
T5 (A2B1C1)	0,88	b c
T2 (A1B1C2)	0,87	b c
T4 (A1B2C2)	0,87	b c
T3 (A1B2C1)	0,82	b c
T1 (A1B1C1)	0,8	c

De acuerdo con el análisis de tukey que se muestra en la tabla 28 se determina tres rangos los cuales demuestran que existe una variación entre los tratamientos. Siendo así que el tratamiento T8 (60°C-X. *sagitifolium*-4m/s) y T6 (50°C-X. *sagitifolium*-4m/s) son los mismos estadísticamente. Los tratamientos expuestos a mayor temperatura de secado y con mayor velocidad de aire secado concentran mayor cantidad de cenizas. El factor que presenta mayor significancia para la variable cenizas fue la temperatura (60°C).

4.3.7 Fibra

La determinación de fibra se realizó mediante el método gravimétrico en los laboratorios de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Técnica del Norte. El análisis estadístico se muestra en la tabla 17.

El análisis estadístico realizado a la variable fibra mostrada en la tabla 14 determina que existe alta significancia estadística para los tratamientos, el factor A (temperatura de secado), el factor B (variedad) y el factor C (velocidad de aire).

Tabla 29. Prueba Diferencia Mínima Significativa para el factor A (temperatura de secado)

Tratamientos	Medias	DMS
A2 (60°C)	1,58	a
A1 (50°C)	1,33	b

De acuerdo al DMS de la tabla 29 realizado para el factor A (temperatura de secado) se afirma que la temperatura influye en el contenido de fibra. Comparando el valor inicial de fibra para las dos variedades y el valor obtenido después del secado se puede decir que disminuye el contenido de fibra y esto se atribuye al factor A2 (60°C).

Algunos compuestos de la fibra son solubles en agua como los mucílagos que con temperaturas elevadas se pierden.

Tabla 30. Prueba Diferencia Mínima Significativa para el factor B (variedad)

Tratamientos	Medias	Tukey
B2 (<i>xanthosoma sagittifolium</i>)	1,59	a
B1 (<i>colocasia esculenta</i>)	1,4	b

El DMS realizado al factor B muestra que la variedad influye en la concentración de fibra debido a que cada variedad posee diferente estado vegetativo que afecta el grado de lignificación de las paredes celulares. Siendo así que B2 destaca con relación a la variable fibra.

Tabla 31. Prueba Diferencia Mínima Significativa para el factor C (velocidad de aire)

Tratamientos	Medias	Tukey
C2 (4m/s)	1,58	a
C1 (2m/s)	1,41	b

El DMS realizado al factor C demuestra que C2 posee la mayor media lo que quiere decir que a mayor velocidad de aire se concentra en mayor proporción la fibra.

Tabla 32. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos: Fibra (%)

Tratamientos	Medias	Tukey
T8 (A2B2C2)	1,82	a
T7 (A2B2C1)	1,66	b
T6 (A2B1C2)	1,66	b
T5 (A2B1C1)	1,53	b c
T4 (A1B2C2)	1,43	c d
T3 (A1B2C1)	1,37	d
T2 (A1B1C2)	1,33	d e
T1 (A1B1C1)	1,2	e

El análisis de tukey detallado en la tabla 32 realizado a los tratamientos demuestra que existe alta significación estadística para los tratamientos y cinco rangos. El tratamiento T8 (60°C-*xanthosoma sagittifolium*-4m/s) posee mayor media por lo que se dice que es el mejor tratamiento. El factor que incide en mayor significancia es la temperatura (A2: 60°C). Según Martínez (2004) El contenido de fibra es una de las características que

más varía en cultivos tropicales, debido a los diferentes estados vegetativos que afectan el grado de lignificación de las paredes celulares.

4.3.8 Calcio

La determinación de calcio se realizó mediante el método de espectrofotometría de absorción atómica en los laboratorios de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Técnica del Norte. El análisis estadístico se muestra en la tabla 17.

Al analizar los resultados estadísticos mostrados en la tabla 17, para el contenido de calcio se demuestra que existe alta significancia para tratamientos, el factor B (variedades), el factor C (velocidad del aire de secado) y la interacción AxBxC. De acuerdo con los resultados se puede decir que el contenido de calcio está en función de la variedad y la velocidad del aire en el proceso de deshidratación.

Tabla 33. Prueba Diferencia Mínima Significativa para el factor B (variedad)

Tratamientos	Medias	DMS
(Colocasia esculenta) B1	239,83	A
(Xanthosoma sagittifolium) B2	82,12	B

La prueba DMS detallada en la tabla 33 para el factor B (variedad) demuestra que el factor B1 variedad *colocasia esculenta* presenta mayor cantidad de calcio. En la mayoría de las especies de plantas conocidas y en algunos casos cerca del 90 % del calcio total en la planta puede encontrarse secuestrado en forma de cristales de oxalato de calcio. Lo anterior parece indicar que su formación representa el mayor mecanismo de regulación de los niveles de calcio en la planta.

Tabla 34. Prueba Diferencia Mínima Significativa para el factor C (velocidad del aire)

Tratamientos	Medias	DMS
(4m/s) C2	162,83	a
(2m/S) C1	159,12	b

El análisis DMS mostrado en la tabla 34 para el factor C (velocidad del aire de secado) demuestra que los niveles son diferentes y que a mayor velocidad del aire de secado aumenta el contenido de calcio, ya que la mayoría de los minerales no se pueden

disolver en agua o eliminarse con tratamientos térmicos. Al ser un macromineral no se elimina del todo siendo así que con la eliminación del agua tiende a concentrarse.

Tabla 35. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos: Calcio (mg)

Tratamientos	Medias	Tukey
T2 (A1B1C2)	244,87	a
T6 (A2B1C2)	242,9	ab
T5 (A2B1C1)	237,96	bc
T1 (A1B1C1)	233,6	c
T3 (A1B2C1)	88,5	d
T8 (A2B2C2)	88,03	d
T7 (A2B2C1)	76,43	e
T4 (A1B2C2)	75,5	e

El análisis de Tukey mostrado en la tabla 35 realizado a los tratamientos, demuestra que existe una gran variabilidad entre ellos. Se encontró alta significancia estadística para los tratamientos. El tratamiento T2 (50°C-*colocasia esculenta*-4m/s) y T6 (60°C-*colocasia esculenta*-4m/s) son los mismos estadísticamente. El contenido de calcio aumenta con relación al contenido inicial debido que las dos variedades estudiadas poseen oxalatos que se unen a minerales presentes en cada variedad en este caso el calcio. Al ser sometido a un proceso térmico el oxalato de calcio se solubiliza en el agua y por ende libera al calcio, como lo menciona Savage (2002), la cocción resulta ser una medida eficaz para reducir los niveles de oxalato que pueden tener efectos deletéreos sobre la nutrición y la salud, principalmente por la disminución de la absorción de calcio. En un estudio realizado por la EFSA Journal (2012) menciona que los oxalatos presentes en los vegetales disminuyen la biodisponibilidad del calcio. Así, por ejemplo, para aportes dietéticos similares, se absorbe un 5,1% de calcio de las espinacas y un 26,7% de la leche, mientras que la absorción es mucho mayor en los vegetales cuyos contenidos de oxalatos son bajos, caso de la col rizada, estimándose que el calcio se absorbe en un 41%.

Sobre el porcentaje obtenido de calcio resultó ser significativo (p valor $< 0,05$) el efecto producido por su interacción (AxBxC), esto en concordancia al análisis de varianza (Tabla 33). El análisis se presenta en la figura 26.

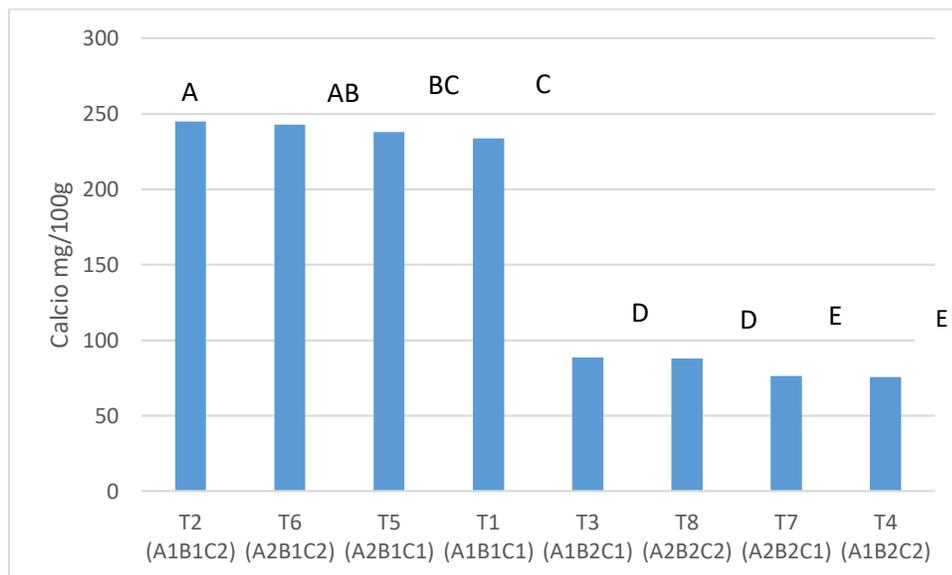


Figura26. Interacción AxBxC para la variable calcio

En la figura 26 se puede deducir que el factor B (Variedad) inciden en mayor significancia respecto a los otros efectos principales estudiados, siendo este un parámetro decisivo a tomar en cuenta para obtener valores más estables de calcio en producto terminado, esto debido a que el calcio resiste altas temperaturas en el proceso de secado. Es decir, que el calcio del producto terminado depende de la temperatura de secado, lo que significa que a una menor temperatura de secado se elimina una menor cantidad de agua, facilitando la exposición de los minerales hacia la superficie del alimento, generando una mayor concentración de calcio en el producto deshidratado.

4.3.9 Potasio

La determinación de la proteína se realizó mediante el método de espectrofotometría de absorción atómica en los laboratorios de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Técnica del Norte. El análisis estadístico se muestra en la tabla 17.

El análisis estadístico realizado al contenido de potasio detallado en la tabla 17 revela que existe alta significancia estadística para tratamientos, factor A (Temperatura de secado), factor B (Variedades) y factor C (Velocidad de secado) y todas sus

interacciones. Es decir que el proceso de deshidratación con todas sus variables afecta al contenido de potasio como lo menciona Caicedo, Q.W (2013) dice que, aunque la cocción ayuda a reducir el contenido de los factores anti-nutricionales, también puede producir pérdidas y cambios significativos en los principales nutrientes como el potasio. La variedad influye mucho en el contenido de potasio. En un estudio de la Food Chemistry 85 (2004) Se ha observado que la composición mineral de un cultivo de alimentos está directamente relacionada con su origen genético origen y las condiciones geográficas del suelo. Por lo tanto, la comparación de los contenidos minerales, de papa china y malanga muestra que existe una amplia variación en el contenido de minerales.

Tabla 36. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos: Potasio

Tratamientos	Medias	Tukey
T1 (A1B1C1)	305,37	a
T2 (A1B1C2)	297,74	b
T3 (A1B2C1)	280,88	c
T7 (A2B2C1)	280,78	c
T6 (A2B1C2)	259,45	d
T4 (A1B2C2)	251,46	e
T5 (A2B1C1)	222,45	f
T8 (A2B2C2)	203,46	g

El análisis de Tukey mostrado en la tabla 36 demuestra que se encontró alta significancia estadística para los tratamientos, existen 8 rangos los cuales demuestran que los tratamientos son diferentes estadísticamente. El tratamiento con mayor contenido de potasio es el T1 (50°C-*colocasia esculenta*-2m/s). Como se sabe la deshidratación a bajas temperaturas y con bajos flujos de aire conservan mejor las características fisicoquímicas de los alimentos. La biodisponibilidad del potasio es muy alta, este pasa a la sangre en la que circula libremente y se elimina por los riñones. El 90% del potasio consumido se absorbe.

En referencia a lo antes mencionado y basado en el análisis de los efectos estudiados se puede argumentar que sobre el porcentaje obtenido de potasio la resultante fue

significativa (p valor $< 0,05$) para su interacción $A \times B \times C$, esto en concordancia al análisis de varianza (Tabla 37). Como se muestra en la figura 27.

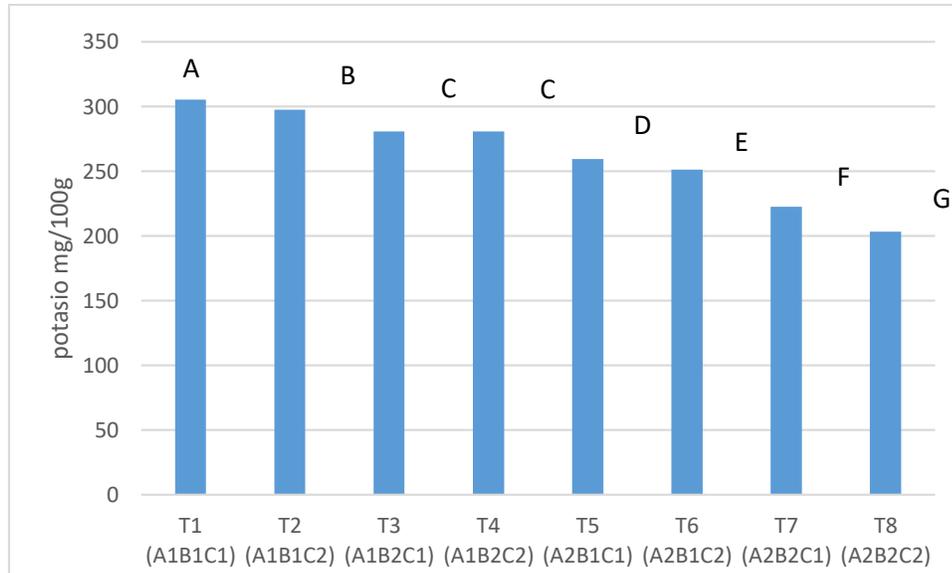


Figura27. Interacción $A \times B \times C$ para la variable potasio

En la figura 27 se puede deducir que el factor (Temperatura) incide en mayor significancia respecto a los otros efectos principales estudiados, siendo este un parámetro decisivo a tomar en cuenta para obtener valores más estables de potasio. Es decir, que el potasio del producto terminado depende de la temperatura en el interior del secador y de la velocidad del aire de secado. Puesto que según Cobo y Demitrio (2013) expresa que a temperaturas bajas de secado se elimina una menor cantidad de humedad en forma de vapor, permitiendo que los minerales disueltos en agua sean transportados fácilmente del interior del alimento hacia la superficie de este, por difusión, donde se concentraran.

Por otro lado, se obtiene un mayor porcentaje de potasio para los niveles más bajos de los factores estudiados (Temperatura 50 °C, variedad 1 y velocidad de aire 2 m/s), existiendo una mayor estabilidad del potasio para niveles de temperatura < 50 °C y una velocidad de secado de 2 m/s.

4.3.10 Hierro

La determinación de hierro se realizó mediante el método de espectrofotometría de absorción atómica en los laboratorios de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Técnica del Norte. El análisis estadístico se muestra en la tabla 17.

El análisis estadístico detallado en la tabla 17 realizado a la variable hierro demuestra que existe alta significancia estadística para tratamientos y el factor B (variedades). Esto demuestra que la variedad influye en el contenido de hierro.

Tabla 37. Prueba Diferencia Mínima Significativa para el factor B (variedades)

Tratamientos	Medias	DMS
(Colocasia esculenta) B1	23,06	a
(Xanthosoma sagittifolium) B2	3,75	b

De acuerdo con el análisis del DMS mostrado en la tabla 37 se puede afirmar que el factor B1 (*colocasia esculenta*) posee una media alta demostrando que es el mejor factor. En un estudio de la Food Chemistry (2004) Se ha observado que la composición mineral de un cultivo de alimentos está directamente relacionada con su origen genético y las condiciones geográficas del suelo. El contenido de hierro de la variedad *colocasia esculenta* es similar al de la papa, superior al de la arracacha, la batata, la yuca y el bore.

Tabla 38. Prueba de tukey al 5% para tratamientos: Hierro

Tratamientos	Medias	Tukey
T5 (A2B1C1)	23,53	a
T6 (A2B1C2)	23,53	a
T2 (A1B1C2)	23,07	a b
T1 (A1B1C1)	22,1	a b
T3 (A1B2C1)	3,93	c
T7 (A2B2C1)	3,8	c
T8 (A2B2C2)	3,67	c
T4 (A1B2C2)	3,6	c

El análisis de tukey detallado en la tabla 38 demuestra que existen tres rangos con comportamiento variable. Se puede ver en la tabla que los tratamientos que poseen el rango “A” tienen alto contenido de hierro y pertenecen a la variedad *colocasia*

esculenta, por otro lado, los tratamientos que pertenecen al rango “C” poseen una cantidad baja de hierro y pertenecen a la variedad *xanthosoma sagitifolium*. Por lo tanto, el factor que posee mayor significancia para esta variable es la variedad. El hierro de origen vegetal no es biodisponible para el organismo en su totalidad debido a que no se presenta en la misma forma que se encuentra en nuestra sangre o que nuestro cuerpo utiliza para producir glóbulos rojos. El porcentaje de absorción del hierro de origen vegetal es del 5%. También se debe mencionar que los alimentos de origen vegetal tienen componentes que disminuyen la absorción del hierro. Estos componentes son la fibra, los oxalatos, fitatos, taninos y otros antinutrientes. Todas estas sustancias capturan los minerales como el hierro y calcio e impiden o inhiben su absorción.

4.3.11 Fósforo

La determinación de fósforo se realizó mediante el método colorimétrico PEE/-B/11 en los laboratorios de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Técnica del Norte. El análisis estadístico se muestra en la tabla 17.

Al realizar el análisis estadístico a la variable fósforo detallado en la tabla 17 se determinó que existe alta significancia estadística para tratamientos, el factor A (temperatura de secado), factor B (variedades), factor C (velocidad de secado) y para sus respectivas interacciones. Del análisis a esta variable se dice que el proceso de secado influye en el contenido de fósforo. De la interacción AxBxC se afirma que cada uno de los factores afecta al contenido de fósforo es decir a temperaturas elevadas de secado se puede perder como lo menciona Caicedo, Q.W (2013) la cocción puede producir pérdidas y cambios significativos en los principales nutrientes como el fósforo. La variedad es otro factor importante ya que cada variedad tiene características fisicoquímicas propias es así que *colocasia esculenta* posee mayor contenido de fósforo después de todo el proceso de secado y la velocidad del aire de secado puede o no interactuar directamente con la temperatura de secado pero ayuda al secado a realizarse en un menor o mayor tiempo.

Tabla 39. Prueba Diferencia Mínima Significativa para el factor A (temperatura de secado)

Tratamientos	Medias	DMS
(50°C) A1	184,26	a
(60°C) A2	156,75	b

El análisis DMS mostrado en la tabla 39 para el factor A (temperatura de secado) indica que el nivel A1 (50°C) es el factor adecuado para preservar el contenido de fósforo es decir a temperatura bajas mayor concentración de fósforo.

Tabla 40. Prueba Diferencia Mínima Significativa para el factor B (variedad)

Tratamientos	Medias	DMS
(Colocasia esculenta) B1	175,95	a
(Xanthosoma sagittifolium) B2	165,06	b

El análisis DMS detallado en la tabla 40 para el factor B (variedad) indica que el nivel B1 (*colocasia esculenta*) posee mayor contenido de fósforo que la otra variedad en estudio. Según la Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas menciona que el contenido de fósforo aumenta con la variedad y la edad de la planta.

Tabla 41. Prueba Diferencia Mínima Significativa para el factor C (velocidad de aire)

Tratamientos	Medias	DMS
(2m/s) C1	176,7	a
(4m/s) C2	164,31	b

El análisis DMS mostrado en la tabla 41 para el factor C (velocidad del aire de secado) demuestra que la variación en la velocidad del aire influye en el contenido de fósforo. A menor velocidad del aire de secado mayor concentración de fósforo.

Tabla 42. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos: Fósforo (mg)

Tratamientos	Medias	Tukey
T1 (A1B1C1)	198,05	a
T2 (A1B1C2)	193,18	b
T3 (A1B2C1)	182,42	c
T4 (A1B2C2)	182,21	c
T5 (A2B1C1)	168,41	d
T6 (A2B1C2)	163,37	e
T7 (A2B2C1)	144,14	f
T8 (A2B2C2)	132,28	g

Según el análisis de tukey mostrado en la tabla 42 realizado a la variable fósforo, se determinó que existe alta significancia estadística para los tratamientos. Existen 7 rangos con comportamiento variable en contenido de fósforo. El tratamiento que tiene mayor contenido de fósforo es el T1 (50°C-*colocasia esculenta*-2m/s). El deshidratado a baja temperatura y menor velocidad de secado conserva la gran mayoría de los alimentos con las mismas vitaminas y minerales, nutrientes y enzimas que su equivalente fresco, y con sabores más concentrados. En comparación al contenido inicial la variedad que posee mayor contenido de fósforo (260mg) es *colocasia esculenta* mientras que *xathosoma sagitifolium* (190mg) posee menos contenido lo que explica que la variedad tiene mucho que ver con el contenido final. La biodisponibilidad del fósforo va del 60 a 70% o. Aproximadamente un 85% se encuentra combinado con el calcio en huesos y dientes, interviniendo, por tanto, en su adecuada mineralización. El fósforo forma parte de todas las células.

En la figura 28 se puede argumentar que sobre el porcentaje obtenido de fósforo la resultante fue significativa (p valor $< 0,05$) para la interacción (AxBxC), esto en concordancia al análisis de varianza (Tabla 17).

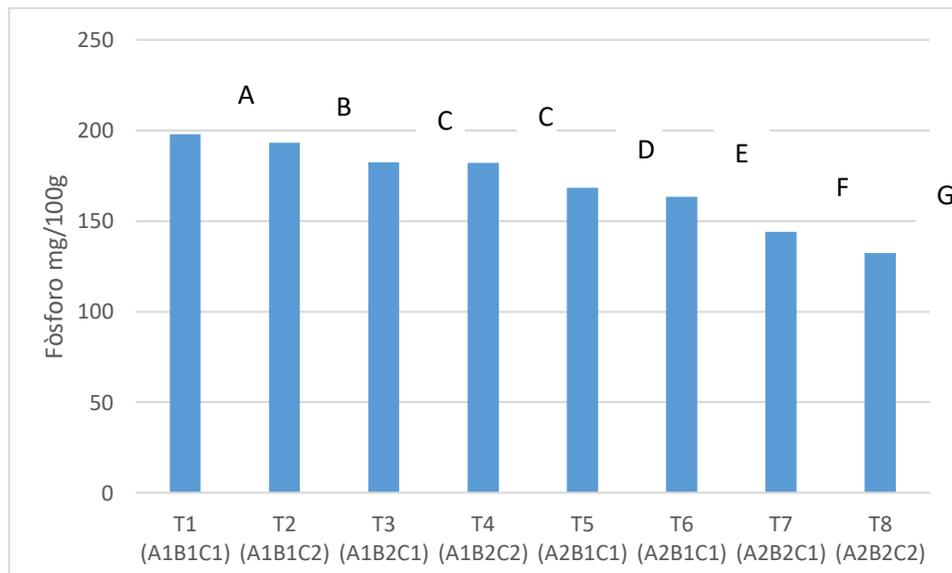


Figura28. Interacción AxBxC para la variable fósforo

En la figura 28 se puede deducir que el factor A (Temperatura) inciden en mayor significancia respecto a los otros efectos principales de estudio, siendo este un parámetro determinante a tomar en cuenta para obtener valores más estables de fósforo, es importante destacar en este punto que la Variedad y Velocidad de aire son parámetros que afectan directamente el proceso, ya que dependiendo del estado de madurez, edad de la planta, variedad y el flujo de aire del proceso de secado, dependerá que los rangos se mantenga en la escala “A” (tabla 46), caso contrario los niveles de fósforo se verán afectados. Corroborando lo antes señalado; se obtiene un mayor porcentaje de fósforo para los niveles más bajos de los factores estudiados (Temperatura 50 °C, variedad 1 y velocidad de aire 2 m/s), existiendo una mayor estabilidad del fósforo para niveles de temperatura < 50 °C y una velocidad de secado de 2 m/s, con respecto a la variedad dependerá intrínsecamente del estado de madurez y la edad de la planta.

4.3.12 Almidón

La determinación de almidón se realizó mediante el método Fellingh en los laboratorios de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Técnica del Norte. El análisis estadístico se muestra en la tabla 17.

Al analizar los resultados del estudio estadístico mostrado en la tabla 17 para la variable almidón se demuestra existe alta significación estadística para los tratamientos, el factor B (variedades), el factor C (velocidad de secado), la interacción AxB (temperatura de secado vs variedad) y BxC (variedad vs velocidad de aire de secado) Entonces se puede decir que la variedad y la velocidad de secado influyen en el contenido de almidón.

Tabla 43. Prueba Diferencia Mínima Significativa para el factor A (temperatura)

Tratamientos	Medias	DMS
(50°C) A1	65,61	a
(60°C) A2	65,11	b

La prueba DMS mostrada en la tabla 43 realizada al factor A demuestra que los factores no son iguales, lo que indica que la temperatura de secado influye en el contenido de almidón. Es decir que a menor temperatura de secado mayor concentración de almidón.

Tabla 44. Prueba Diferencia Mínima Significativa para el factor B (variedad)

Tratamientos	Medias	DMS
(Colocasia esculenta) B1	68,80	a
(Xanthosoma sagittifolium) B2	61,92	b

El análisis DMS detallado en la tabla 44 realizado al factor B (variedad) demuestra que el nivel B1 (*colocasia esculenta*) tiene gran variación de medias en relación con el nivel B2 (*xanthosoma sagittifolium*). Esto demuestra que la variedad influye en el contenido de almidón. Al comparar con el contenido inicial de almidón se verifica que *colocasia esculenta* tiene mayor cantidad de almidón (72,23%) que *xanthosoma sagittifolium* (68,50%). La menor concentración de almidón en el producto deshidratado se podría deber a que existió una previa gelatinización del almidón en donde las moléculas se juntan y este contenido se pierde. En un estudio de Sefa-Dedeh; Pérez y otros, (2005) menciona que los contenidos de almidón de las harinas para *Colocasia esculenta* y *Xanthosoma sagittifolium* son inferiores a los mostrados por las harinas de trigo, así como sus propiedades funcionales.

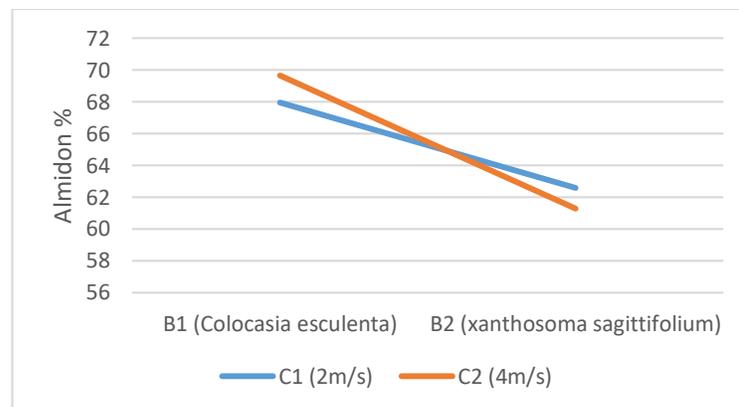


Figura29. Interacción de los factores B (variedad) y C (velocidad del aire) para la variable almidón

En la figura 29 la interacción de los factores BxC (variedad vs. Velocidad del aire) demuestran que existe una fuerte interacción de la velocidad del aire con las variedades

en estudio. Siendo así que el factor C2 (4m/s) hace aumentar la concentración de los valores de la variable almidón del factor B2 (*xanthosoma sagittifolium*) hacia el factor B1 (*colocasia esculenta*). Con esto también se entiende que cada variedad posee una cantidad definida de almidón que se ve afectada por la velocidad del aire. El factor B1 (*colocasia esculenta*) posee mayor cantidad de almidón.

Tabla 45. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos: Almidón

Tratamientos	Medias	Tukey
T2 (A1B1C2)	70,06	a
T6 (A2B1C2)	69,23	a
T1 (A1B1C1)	68,09	b
T5 (A2B1C1)	67,82	c
T3 (A1B2C1)	62,91	d
T6 (A2B2C1)	62,22	e
T4 (A1B2C2)	61,38	e
T8 (A2B2C2)	61,16	e

Al analizar los resultados para la prueba de Tukey de la tabla 45 se determina que existe alta significación estadística para tratamientos por lo que se observa 5 rangos. Los tratamientos T2 (50°C-*colocasia esculenta*-4m/s) y T6 (60°C-*colocasia esculenta*-4m/s) son estadísticamente iguales. El factor variedad es el que incide en mayor significancia respecto a los demás factores en estudio, pues se evidencia que los 4 primeros rangos presentes en la tabla 45 son de una misma variedad o se agrupan principalmente por este factor, comportamiento que no se evidencia para la temperatura o la velocidad. Según Pérez et, al (2005). Los contenidos de almidón de las harinas de *Colocasia esculenta* y *Xanthosoma sagittifolium* (69.50% a 61.57%) respectivamente son inferiores a los mostrados por las harinas de trigo, pero sus propiedades funcionales son también diferentes. Nip (1997) afirma que los granos de almidón de la papa china son muy pequeños y van en diámetro de 1 a 4 milimicras, que genera como resultado que el almidón de la papa china sea rápidamente digerible, y se ha utilizado incluso como un ingrediente en alimentos para bebés (Sanful y Darko, 2010).

4.3.13 Amilosa

La determinación de amilosa se realizó mediante el método colorimétrico PEE/-B/11 en los laboratorios de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Técnica del Norte. El análisis estadístico se muestra en la tabla 17.

El análisis estadístico detallado en la tabla 17 realizado a la variable amilosa demuestra que existe alta significación estadística para tratamientos, el factor A (temperatura de secado), factor B (variedad), el factor C (velocidad de aire de secado) además de las interacciones AxB (temperatura de secado vs variedad), AxC (temperatura de secado vs velocidad de aire de secado) y BxC (variedad vs velocidad de aire de secado).

Tabla 46. Prueba Diferencia Mínima Significativa para el factor A (temperatura de secado)

Tratamientos	Medias	DMS
(50°C) A1	21,36	a
(60°C) A2	20,98	b

Al realizar el análisis DMS mostrado en la tabla 46 para el factor A (temperatura de secado) se dice que los niveles de temperatura son y actúan de diferente manera sobre el contenido de amilosa. Según esto a menor temperatura de secado mayor contenido de amilosa. Esto se debe a la temperatura de gelatinización del almidón que es elevada y por consiguiente al elevar la temperatura pasando la de gelatinización una fracción de amilosa se libera, si la proporción de amilosa es elevada, habrá menos gelatinización y, por lo tanto, el almidón no se transformará tanto en glucosa y su índice glucémico será más bajo.

Tabla 47. Prueba Diferencia Mínima Significativa para el factor B (variedad)

Tratamientos	Medias	DMS
(colocasia esculenta) B1	22,44	a
(xanthosoma sagittifolium) B2	19,89	b

El análisis DMS mostrado en la tabla 47 realizado al factor B (variedad) indica que las variedades son diferentes, la variedad *colocasia esculenta* contiene mayor contenido de amilosa después del secado. Al contrario al contenido inicial en el cual se evidencia que *colocasia esculenta* (25,11%) posee menor contenido de amilosa con relación a

xanthosoma sagittifolium (26,17%) esto se debería su origen, tipo de suelo y clima donde fueron cultivadas.

Tabla 48. Prueba Diferencia Mínima Significativa para el factor C (velocidad de aire)

Tratamientos	Medias	DMS
(4m/s) C2	21,78	a
(2m/s) C1	20,55	b

La prueba DMS mostrada en la tabla 48 realizada al factor C (velocidad del aire de secado) demuestra que los factores no son iguales, lo que indica que la velocidad del aire de secado influye en el contenido de amilosa. Es decir que a mayor velocidad del aire de secado se elimina la mayor parte del agua por ende se concentra en mayor cantidad la amilosa.

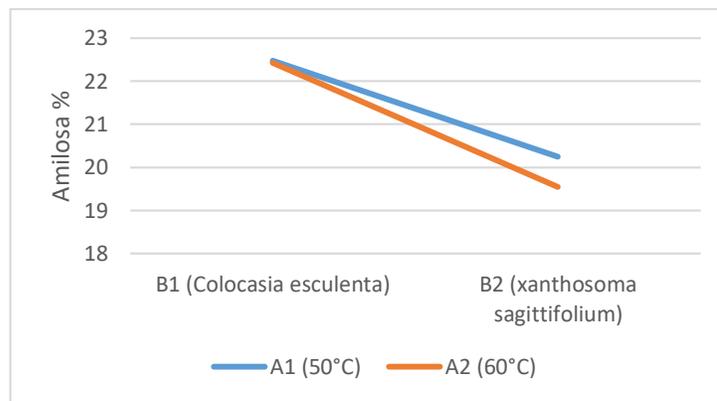


Figura30. Interacción de los factores A (temperatura de secado) y B (variedad) para la variable amilosa

En la figura 30 se muestra la interacción AxB (Temperatura de secado vs. Variedad) donde la temperatura de secado influye de manera asilada para cada variedad siendo así que llega a un punto donde interactúan las dos. Se puede decir que A1 (50°C) aumenta el valor de la variable amilosa en el factor B1 (*colocasia esculenta*) mientras que para B2 (*xanthosoma sagittifloium*) lo disminuye. Por lo tanto, *colocasia esculenta* posee mayor cantidad de amilosa a 50°C.

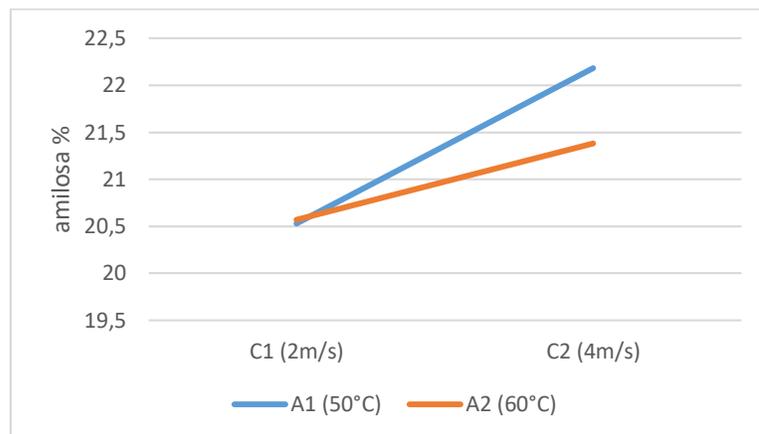


Figura31. Interacción de los factores A (temperatura de secado) y C (velocidad del aire de secado) para la variable amilosa.

En la figura 31 de la interacción Ax C (temperatura de secado vs. variedad) se demuestra que la temperatura de secado y la velocidad del aire de secado interactúan en conjunto sobre la variable amilosa. Se puede observar que A1 (4m/s) a 50°C aumenta su concentración al pasar de C1 (2m/s) a C2 (4m/s).

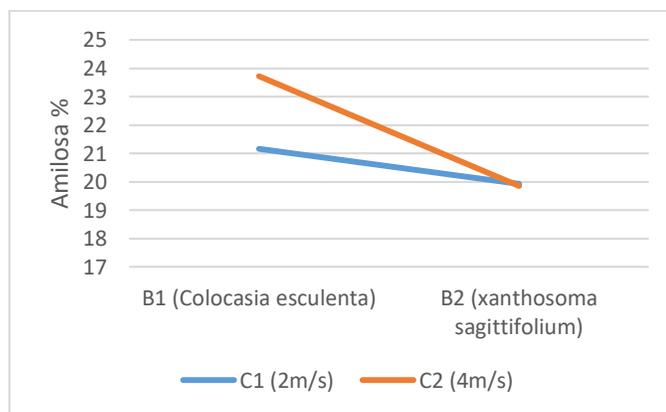


Figura32. Interacción de los factores B (variedad) y C (velocidad del aire de secado) para la variable amilosa

En la figura 32 la interacción de los factores en estudio; B (variedad) y C (Velocidad de aire de secado) en función de la variable amilosa de las rodajas deshidratadas, demuestra que C1 (2m/s) no produce ningún efecto sobre la variable amilosa en ninguna de los factores B1 y B2, sin embargo, el factor C2 (4m/s) hace que los valores del factor B2 (*xanthosoma sagittifolium*) disminuyan en relación al factor B1

(*colocasia esculenta*). Es decir a 4m/s de aire de secado la variedad *colocasia esculenta* posee mayor concentración de amilosa.

Tabla 49. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos: Amilosa

Tratamientos	Medias	Tukey
T2 (A1B1C2)	23,90	a
T6 (A2B1C2)	23,53	a
T5 (A2B1C1)	21,30	b
T1 (A1B1C1)	21,03	bc
T4 (A1B2C2)	20,04	c
T3 (A1B2C1)	20,12	d
T7 (A2B2C1)	19,84	d
T8 (A2B2C2)	19,24	e

Realizada la prueba de Tukey para la variable amilosa se determina que existe alta significación estadística para tratamientos y se observa 5 rangos los cuales tienen un comportamiento variable. Los tratamientos T2 (50°C-colocasia esculenta-4m/s) y T6 (60°C-colocasia esculenta-4m/s) son iguales estadísticamente. Se deduce que el factor con mayor significancia es la variedad (B1: *Colocasia esculenta*). En un estudio de Benedito (1994) señala que el menor contenido de amilosa presente en las harinas permite recomendar su utilización en la elaboración de productos de panadería, ya que bajos contenidos de esta enzima se asocian con una menor tendencia a la retrogradación del almidón y, por consiguiente, a una menor tendencia del pan a sufrir ‘envejecimiento’.

4.3.14 Amilopectina

La determinación de la amilopectina se realizó mediante el cálculo por diferencia al 100% del contenido de amilosa en los laboratorios de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Técnica del Norte. El análisis estadístico se muestra en la tabla 17.

Al analizar los resultados presentado en la tabla 17 para la variable amilopectina se demuestra que existe alta significación estadística para tratamientos, factor B (variedad), factor C (velocidad de aire de secado) y para la interacción AxB (temperatura vs variedad).

Tabla 50. Prueba Diferencia Mínima Significativa para el factor B (variedad)

Tratamientos	Medias	DMS
(Colocasia esculenta) B1	44,26	A
(Xanthosoma sagittifolium) B2	44,07	B

El análisis DMS mostrado en la tabla 50 realizada para el factor B demuestra que el factor B1 (*colocasia esculenta*) presenta la mayor media lo que quiere decir que este factor influye en el contenido de amilopectina. Según Betancur-Ancona et al. (2004), menciona que la tendencia actual es buscar fuentes no convencionales como alternativas para obtener almidones que presenten diversas características fisicoquímicas, estructurales y funcionales, que amplíen la gama de usos en la industria. Entre las materias primas que pueden ser utilizadas como nuevas fuentes de extracción de este polímero se encuentran los tubérculos como son la yuca (*Manihot esculenta*), batata (*Ipomea batata*), papa (*Solanum tuberosum*), ñame (*Dioscorea spp.*), papa china (*Colocasia esculenta*) y malanga (*Xanthosoma spp.*).

Tabla 51. Prueba Diferencia Mínima Significativa para el factor C (velocidad de aire)

Tratamientos	Medias	DMS
(2m/s) C1	44,69	a
(4m/s) C2	43,63	b

La prueba DMS detallada en la tabla 51 realizada al factor C (velocidad del aire de secado) demuestra que los factores no son iguales, lo que indica que la velocidad del aire de secado influye en el contenido de amilopectina. Es decir que a menor velocidad del aire de secado mayor contenido de amilopectina.

Tabla 52. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos: Amilopectina

Tratamientos	Medias	Tukey
T1 (A1B1C1)	47,06	a
T5 (A2B1C1)	46,35	a
T2 (A1B1C2)	46,16	a
T6 (A2B1C2)	45,70	a
T3 (A1B2C1)	42,88	b
T7 (A2B2C1)	42,45	b
T8 (A2B2C2)	41,75	b c
T4 (A1B2C2)	40,91	c

El análisis realizado a la prueba de Tukey demuestra que existe alta significación estadística para los tratamientos. Se observa 3 rangos, los cuales son significativamente diferentes. Los mejores tratamientos son los que pertenecen a la variedad *Colocasia esculenta*, por lo que se puede decir que el factor que incide más es la variedad. Según Foster-Powell K, (2002) cuando se somete a un calentamiento en exceso de agua (cocción), la estructura del almidón se modifica, los granos de almidón se hinchan progresivamente y una fracción de amilopectina se desprende en el agua.

4.3.15 Vitamina B1

La determinación de la vitamina B1 se realizó mediante el método HPLC en el laboratorio de análisis de alimentos, aguas y afines LABOLAB de la ciudad de Quito. El análisis estadístico se muestra en la tabla 17.

La tabla 17 muestra los resultados del análisis estadístico realizado a la variable vitamina B1 donde se muestra que no existe significancia estadística para tratamientos, factores o alguna de las interacciones, es decir todos los tratamientos son iguales. Los factores en estudio como la temperatura de secado, la variedad y la velocidad del aire de secado no influyen de manera directa sobre el contenido de vitamina B1. En cambio, existen otros factores que hacen que tienda a destruirse. La tiamina tiene una estructura de uniones débiles y se descompone con facilidad en un medio alcalino. Resiste temperaturas de hasta 100°C, pero tiende a destruirse si se calienta en exceso (por ejemplo, sí se fríe en sartén caliente o si se cuece a presión). Uno de los grandes problemas de la tiamina es que su contenido se va reduciendo y alterando con el almacenamiento por períodos prolongados, lavado, hervor y cocción en microondas. La deshidratación la afecta mínimamente excepto en frutas, y su contenido en vegetales generalmente no se ve gravemente afectado.

4.3.16 Vitamina B2

La determinación de la vitamina B1 se realizó mediante el método HPLC en el laboratorio de análisis de alimentos, aguas y afines LABOLAB de la ciudad de Quito. El análisis estadístico se muestra en la tabla 17.

En la tabla 17 se muestra el resultado del análisis estadístico realizado a la variable vitamina B2 donde existe alta significación estadística para tratamientos, el factor B (variedad), y las interacciones AxB (temperatura de secado x variedad) y BxC (variedad x velocidad de aire de secado).

Tabla 53. Prueba Diferencia Mínima Significativa para el factor B (variedad)

Tratamientos	Medias	DMS
(<i>Colocasia esculenta</i>)B1	0,023	a
(<i>Xanthosoma sagittifolium</i>)B2	0,022	b

La tabla 53 demuestra que el factor B1(*Colocasia esculenta*) posee la mayor media lo que indica que la variedad influye sobre el contenido de vitamina B2. Villareal (1982) ha estimado que una hectárea de tierra sembrada con batata proporciona alrededor de once veces más vitamina B2 que una hectárea cultivada con arroz.

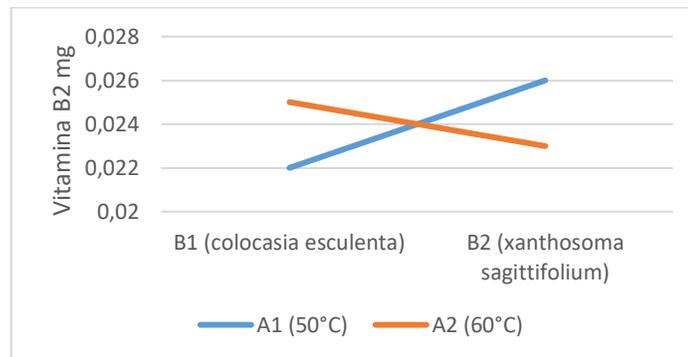


Figura33. Interacción de los factores A (temperatura de secado) y B (variedad) para la variable vitamina B2

La figura 33 muestra que en la interacción para la variable vitamina B2, el factor A1(50°C) hace aumentar al pasar de B1 (*colocasia esculenta*) a B2 (*xanthosoma sagittifolium*), es decir la temperatura de 50°C concentra en mayor cantidad la vitamina B2 en la variedad *xanthosoma sagittifolium*.

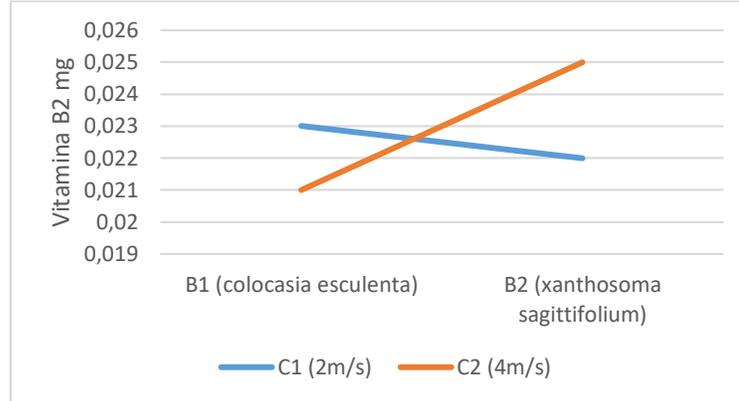


Figura34. Interacción de los factores B (variedad) y C (velocidad de aire de secado) para la variable vitamina B2

En la figura 34 se muestra la interacción para la variable vitamina B2, donde el factor C2 (4m/s) hace aumentar el valor al pasar de B1 a B2, es decir la mayor velocidad de aire de secado hace que se concentre en mayor cantidad la vitamina B2 en la variedad *xanthosoma sagittifolium*.

Tabla 54. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos: Vitamina B2

Tratamientos	Medias	Tukey
A1B2C1	0,023	a
A1B2C2	0,022	b
A2B2C1	0,021	c
A2B2C2	0,021	c
A1B1C1	0,019	d
A1B1C2	0,019	d
A2B1C1	0,018	e
A2B1C2	0,018	e

En la tabla 54 se muestra el análisis de Tukey donde muestra que existen diferentes rangos, es decir los tratamientos no son iguales. Siendo así que el tratamiento 3 (A1B2C1) posee la mayor concentración de vitamina B2 debido a que la temperatura de deshidratación es baja (50°C) y la vitamina B2 resiste altas temperaturas, siendo así que la variedad *xanthosoma sagittifolium* concentra mayor porcentaje de vitamina B2. Es decir, el factor con mayor significancia es la variedad (B2: *Xanthosoma sagittifolium*)

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Sobre la base de los resultados obtenidos después de la fase experimental y las variables evaluadas se establecen las siguientes conclusiones:

El análisis proximal realizado a las dos variedades de papa china en fresco demostró que éstas poseen valores similares en los componentes nutricionales. Sin embargo, en la cantidad de oxalatos de calcio, la variedad *colocasia esculenta* presenta mayor concentración de oxalatos de calcio.

La malanga y papa china son tubérculos que poseen gran cantidad de carbohidratos los cuales son muy digeribles debido que sus partículas son más pequeñas que otros tipos de almidón.

El deshidratado resultó ser una buena opción para reducir el contenido de oxalatos de calcio y conservar las propiedades fisicoquímicas de las dos variedades de papa china. La proteína, grasa, cenizas, fibra, minerales y vitaminas obtuvieron valores cercanos a los reportados en diferentes estudios de estos tubérculos.

En el proceso de secado de la papa china se evidenció que prevalece el período de velocidad decreciente, ya que el agua que permanece en la superficie se eliminó rápidamente. En el periodo de velocidad decreciente el mecanismo de eliminación de agua es por difusión permitiendo que los solutos salgan a la superficie.

Se acepta la hipótesis alternativa de trabajo planteada ya que a mayor temperatura a 60°C y con una velocidad de aire de 4m/s se reduce el contenido de oxalatos de calcio, los cuales limitan el consumo de estos tubérculos. Además, la variedad de papa china influye en el contenido de oxalatos de calcio y las propiedades fisicoquímicas.

5.2 RECOMENDACIONES

Una vez definidas las conclusiones sobre las variables evaluadas se establecen las siguientes recomendaciones:

Ampliar el rango de temperaturas de secado para evidenciar mejor los cambios en las propiedades fisicoquímicas de las dos variedades de papa china.

Realizar investigaciones sobre los usos industriales que podría tener el almidón de estas dos variedades de papa china.

Utilizar todas las partes de la planta de la papa china, como son las hojas y tallos, para evaluar sus propiedades fisicoquímicas.

BIBLIOGRAFIA

- Acosta Matlock, H. 2000. *Aspectos básicos de la extrusión. Memorias del seminario taller. Extrusión de alimentos enriquecidos con soya*. Chihuahua, México, 1990, pp. 8-23.
- Haley, T. A. Food Control 11 (2): 121-129,
- Agwunobi, L. N., Okafor, E. P. and Ohazurike, N. 2000. *Tannia cocoyam tuber (Xanthosoma sagittifolium) as a replacement for maize grain in the diets of rabbits. Global Journal of Pure and Applied Science* 6:419-423
- Amon AS, Yade SR, Bony KPK, Ahipo DE, Lucien KP (2011a) Biochemical characteristics of flours from Ivorian Taro (*Colocasia esculenta* cv Yatan) corm as affected by boiling time. *Adv J Food Sci Technol* 3(6):424–435
- Badifu, G.I.O. 2001. *Effect of processing on proximate composition, antinutritional and toxic contents of kernels from Cucurbitaceae species grown in Nigeria*. *Journal of Food Composition and Analysis* 14:153–166.
- Barrett, O, W, 1930. *Los cultivos tropicales, la Habana*, Cultural.
- Caicedo Q. W., Rodriguez B.R. . (2013). Una reseña sobre el uso de tuberculos de papa china colocasia esculenta conservados en forma de ensilaje para alimentar cerdos. *REDVET* 278,280.
- Casp Vanaclocha, Ana, and Abril Requena, José. 2003. *Procesos de conservación de alimentos (2a. ed.)*. Madrid, ES: Mundi-Prensa, 2003. ProQuest ebrary. Web. 24 July 2016.
- Castillo, J, J. 1982. *Método de secado al vacío para estudiar con microscopio electrónico de barrido la morfología in situ de almidones de tuberosas tropicales*. Maracay, Instituto de Agronomía ucv. 58 p. (Tesis Prof. Agregado).
- Cheftel, J. C. 1990. *Extrusion cooking: operating principles, research trends and food applications*. Processing and quality of foods. Vol. 1. Ed. Zeuthen y col. , p. 60.

- Domínguez, M. 2000. *Uso de almidones modificados en confitería*. La Habana, Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia.
- Eka, O. U. 1985. The chemical composition of yam tubers. In Osuji, C. (ed.). *Advances in Yam Research. The Biochemistry and Technology of Yam Tubers. Vol. 1. Biochemical Society of Nigeria in Collaboration with Anambra State University of Technology (ASUTECH)*, Enugu, Nigeria, pp. 51-57.
- Engler, S. 1879. *Araceae in Candollea de monographic phanerogamarum*. París v. 1.
- Enríquez, A. M. 2004. *Extrusión en la industria alimentaria*. La Habana, Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia.
- FAO. 1990. *Roots, Tubers, Plantain and Bananas in Human Nutrition*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Gutkoski, L. C. 1999. *Journal Food Scien. Nutrition* 4 (3): 159-162.
- Harper, J. 1979. *Food extrusion*. CRC Critical reviews in food science and nutrition, p. 155. Harper, J. 1990. *Formulación de productos, ventajas nutricias y control de calidad de cereales y soya extrudidos. Departament of Agricultural & Chemical Engineering*. Colorado State University, USA. Memorias del seminario taller. Extrusión de alimentos enriquecidos con soya. Chihuahua, México. pp. 63-81.
- Harper, J. *Food extruders and their applications. Extrusion cooking*. AACC. St Paul. Minn, 1989.
- Harper, J. 1990. *Experiencias con plantas de extrusión en América Latina bajo la asistencia del programa "Extrusión a bajo costo". Memorias del seminario taller. Extrusión de alimentos enriquecidos con soya*. Chihuahua, México, pp. 82-100.
- Hsieh, F.; Li, Y. 1996. *Food Engineering* 27 (4): 353-375.
- Larsson, M., Rossander-Hulthen, L., Sandstrom, B. and Sandberg, A. 1996. *Improved zinc and iron absorption from breakfast meals containing malted oats with reduced phytate content*. *British Journal of Nutrition* 76:677-688.

Miller, C. R. *Característica del producto terminado*. Oficina Regional para México, Centro América y El Caribe. Consultado en el año 2005 en <http://www.aces.uiuc.edu/asamex/extrusión.html>.

Mohammed, A. and Nnabuenyi, L. 2009. *Taro cocoyam (Colocasia esculenta) meal as feed ingredient in poultry*. Pakistan Journal of Nutrition, 8 (5): 668 -673

Montaldo, A. 1991. *Cultivo de raíces y tubérculos*. 2da. Ed. Rev. San José. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 408 p.

Muinat, N. L., Adebola, P.O. and Afolayan, A.J. 2009. *Effect of cooking on the mineral and antinutrient contents of the leaves of seven accessions of Colocasia esculenta (L.) Schott growing in South Africa*. Journal of Food, Agriculture & Environment Vol.7 (3&4) :359-363.

Nip WK (1997) In: Smith DS, Cash JN, Nip WK, Hui YH (eds) *Taro: processing vegetable and technology*. Technomic Publishing, Pennsylvania, pp 355–387

Noonan SC, Savage GP, Reg Nutr NZ. 1999 Oxalate content of foods and its effect on “humans”. *Asia Pac J Clin Nutr*;8: 64–74.

Oberleas, D. 1983. *The determination of phytate and inositol phosphates*. In Glick, D. (ed.). *Methods of Biochemical Analysis*. Wiley, New York

Ocio, M.J. 2001 *Food Science & Technology International*. Vol. 7 Issue 2, p185. 1/4p

Olajide, R., A.O. Akinsoyinu, O.J. Babayemi, A.B. Omojola, A.O. Abu and K.D. Afolabi. 2011. *Effects of processing on energy values, nutrient and anti-nutrient components of wild cocoyam [Colocasia esculenta (L.) Schott] corm*. Pakistan Journal of Nutrition 10(1):29-34

Orrego A, C, E. 2003. *Procesamiento de Alimentos*. Colombia, Universidad Nacional de Colombia sede Manizales. 175 p.

Oyenuga, V, A. 1967. *Agriculture in Nigeria: a introduction*. Rome. FAO. 309 p.

- Plaami, S. 1997. *Myoinositol phosphates: Analysis, content in foods and effects in nutrition*. Lebensmittel-Wissenschaft und - Technologie 30(7):633–647.
- Savage, G. P. 2002. *Oxalates in human foods*. Proc. Nutr. Soc. NZ 27:4-24
- Savage, G. P. and Dubois, M. 2006. *The effect of soaking and cooking on the oxalate content of taro leaves*. International Journal of Food Science and Nutrition 57(5/6):376-381.
- Smith, B. O. y BEN, G. I. 1979. *The application of high temperature short time extrusion cooking in the food industry*. Missouri, Wenger International, Inc. Kansas City.
- Tiep, P. S., Nguyen Van Luc, Trinh Quang Tuyen, Nguyen Manh Hung and Tran Van Tu. 2006. *Study on the use of Alocasia macrorrhiza (roots and leaves) in diets for crossbred growing pigs under mountainous village conditions in northern Vietnam. Workshop - seminar "Forages for Pigs and Rabbits"* MEKARNCelAgrid, Phnom Penh, Cambodia.
- Umaru HA, Adamu R, Dahiru D, Nadro MS. 2007 Levels of antinutritional factors in some wild edible fruits of northern Nigeria. Afr J Biotechnol ;6: 1935–8.
- Wang, J, K. 1983. *Taro. A review of Colocasia esculenta and its potential*. Honolulu, University of Hawaii, Press 400 p.
- Warid, W, A. 1970. *Production and improvement of edible aroids inAfrica. In 2nd International Symposium on Tropical Root Crops*. Honolulu, Hawaii, University of Hawaii, College of Tropical Agriculture Proceedings. 9 p.
- Williams, M. A. 1977. *Cereal Food World*. 22 (4): 152,

ANEXOS

 AGROCALIDAD AGENCIA ECUATORIANA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGRO	LABORATORIO DE BROMATOLOGÍA Y MICROBIOLOGÍA Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf: 02-2372-842/2372-844/2372-845	PGT/B/09-FO01
	INFORME DE ANÁLISIS	Rev. 3
	Hoja 1 de 1	

Informe N°: LN-B-E17-229

Fecha emisión Informe: 14/08/2017

DATOS DEL CLIENTE

Persona o Empresa solicitante: Jadira Valencia

Dirección: El Ángel Calle Salinas

Teléfono: 9751740

Correo Electrónico: yadyvalencia@live.com

Provincia: Carchi

Cantón: Espejo

N° Orden de Trabajo: 10-2017-004

N° Factura/ Memorando: 2949

DATOS DE LA MUESTRA:

Tipo de muestra: Malanga	Conservación de la muestra: Ambiente
Lote: --	Tipo de envase: Funda plástica
Provincia: Carchi	Coordenadas: X:--- Y:---- Altitud:----
Cantón: Espejo	
Parroquia: El Ángel	
Responsable de toma de muestra: Jadira Valencia	
Fecha de toma de muestra: 24-07-2017	Fecha de inicio de análisis: 27-07-2017
Fecha de recepción de la muestra: 24-07-2017	Fecha de finalización de análisis: 14-08-2017

RESULTADOS DEL ANÁLISIS BROMATOLÓGICO

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA	PARÁMETRO	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADO	ESPECIFICACIÓN/ REFERENCIA
B170863	MALANGA	Humedad	%	Gravimétrico	75,64	---
		Materia Seca	%	PEE/B/01	24,36	---
		Proteína (Nx6,25)	%	Kjeldahl PEE/B/02	5,72	---
		Grasa	%	Soxhlet PEE/B/03	0,12	---
		Cenizas	%	Gravimétrico PEE/B/04	5,44	---
		Fibra	%	Gravimétrico PEE/B/05	1,95	---
		Calcio	%	AA (Llama) PEE/- B/10	0,03	---
		Potasio	%	AA (Llama) PEE/- B/10	0,15	---
		Hierro	mg/kg	AA (Llama) PEE/- B/10	10,68	---
		Fósforo	%	Colorimétrico PEE/-B/11	0,16	---

ENN*: Elementos No Nitrogenados

Analizado por: Quim. A. Patricia Obando y Quim. A. Paola Flores

Observaciones: Los resultados se expresan en materia seca.

Anexo Gráficos: NA

Anexo Documentos: NA


 Lic. Jorge Trujabal
 Responsable Técnico
 Laboratorio de Bromatología y Microbiología

AGROCALIDAD
 AGENCIA ECUATORIANA
 DE ASEGURAMIENTO
 DE LA CALIDAD DEL AGRO
 LABORATORIO DE BROMATOLOGÍA
 TUMBACO - ECUADOR

Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha. Está prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin autorización del Laboratorio.

 AGROCALIDAD AGENCIA ECUATORIANA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGRO	LABORATORIO DE BROMATOLOGÍA Y MICROBIOLOGÍA Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf: 02-2372-842/2372-844/2372-845	PGT/B/09-FO01
	INFORME DE ANÁLISIS	Rev. 3
		Hoja 1 de 1

Informe N°: LN-B-E17-228

Fecha emisión Informe: 14/08/2017

DATOS DEL CLIENTE

Persona o Empresa solicitante: Jadira Valencia

Dirección: El Ángel Calle Salinas

Provincia: Carchi

Cantón: Espejo

Teléfono: 9751740

Correo Electrónico: yadyvalencia@live.com

N° Orden de Trabajo: 10-2017-004

N° Factura/ Memorando: 2949

DATOS DE LA MUESTRA:

Tipo de muestra: Papa china	Conservación de la muestra: Ambiente
Lote: --	Tipo de envase: Funda plástica
Provincia: Carchi	Coordenadas: X:--- Y:---- Altitud:----
Cantón: Espejo	
Parroquia: El Ángel	
Responsable de toma de muestra: Jadira Valencia	
Fecha de toma de muestra: 24-07-2017	Fecha de inicio de análisis: 27-07-2017
Fecha de recepción de la muestra: 24-07-2017	Fecha de finalización de análisis: 14-08-2017

RESULTADOS DEL ANÁLISIS BROMATOLÓGICO

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA	PARÁMETRO	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADO	ESPECIFICACIÓN/ REFERENCIA
B170862	PAPA CHINA	Humedad	%	Gravimétrico	71,02	---
		Materia Seca	%	PEE/B/01	28,98	---
		Proteína (Nx6,25)	%	Kjeldahl PEE/B/02	7,87	---
		Grasa	%	Soxhlet PEE/B/03	0,19	---
		Cenizas	%	Gravimétrico PEE/B/04	5,66	---
		Fibra	%	Gravimétrico PEE/B/05	2,01	---
		ENN*	%	Cálculo	84,26	---
		Calcio	%	AA (Llama) PEE/- B/10	0,04	---
		Potasio	%	AA (Llama) PEE/- B/10	1,57	---
		Hierro	%	AA (Llama) PEE/- B/10	33,03	---
		Fósforo	%	Colorimétrico PEE/-B/11	0,26	---

ENN*: Elementos No Nitrogenados

Analizado por: Quím. A. Patricia Obando y Quím. A. Paola Flores

Observaciones: Los resultados se expresan en materia seca.

Anexo Gráficos: NA

Anexo Documentos: NA


 Lic. Jorge Izquierdo
 Responsable Técnico
 Laboratorio de Bromatología y Microbiología

AGROCALIDAD
 AGENCIA ECUATORIANA
 DE ASEGURAMIENTO
 DE LA CALIDAD DEL AGRO

LABORATORIO DE BROMATOLOGÍA
 TUMBACO - ECUADOR

Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha.
 Está prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin autorización del Laboratorio.

LABONOR - IBARRA

7 de noviembre de 2018

Srta. Yadira Valencia -UTN

T1	N total	%	0,87
	P total	mg/100 g	198,0
	K	mg/100 g	305,3
	Residuos lignocelulíticos	%	1,2
T3	N total	%	0,80
	P total	mg/100 g	182,11
	K	mg/100 g	280,74
	Residuos lignocelulíticos	%	1,30
T5	N total	%	0,63
	P total	mg/100 g	144,0
	K	mg/100 g	222,0
	Residuos lignocelulíticos	%	1,7
T7	N total	%	0,80
	P total	mg/100 g	182,1
	K	mg/100 g	280,7
	Residuos lignocelulíticos	%	1,3

T2	N total	%	0,85
	P total	mg/100 g	193,2
	K	mg/100 g	297,9
	Residuos lignocelulíticos	%	1,2
T4	N total	%	0,72
	P total	mg/100 g	163,3
	K	mg/100 g	251,8
	Residuos lignocelulíticos	%	1,45
T6	N total	%	0,74
	P total	mg/100 g	168,5
	K	mg/100 g	259,8
	Residuos lignocelulíticos	%	1,45
T8	N total	%	0,6
	P total	mg/100 g	132,0
	K	mg/100 g	203,5
	Residuos lignocelulíticos	%	1,8


FIRMA





UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

UNIVERSIDAD ACREDITADA RESOLUCIÓN 002 - CONEA - 2010 - 129 - DC.
Resolución No. 001 - 073 - CEAAES - 2013 - 13

FICAYA

Laboratorio de Análisis Físicos, Químicos y Microbiológicos

Informe Nº:	54 - 2018
Análisis solicitado por:	Sra. Yadiria Valencia
Empresa:	Particular
Muestreado:	Propietario
Fecha de recepción:	06 de noviembre de 2018
Fecha de entrega informe:	13 de noviembre de 2018
Ciudad:	Ibarra
Provincia:	Imbabura
Muestra:	Papa china y malanga deshidratadas
No. de Lote	No aplica
No. Unidades Analizadas	8

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado				Metodo de ensayo
		T1	T2	T3	T4	
Extracto etéreo	%	0,8	0,82	0,87	0,97	AOAC 920.39
Cenizas	%	3,62	3,00	2,49	3,96	AOAC 923.03
Almidón	%	46,14	50,00	49,40	59,80	Feligh

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado				Metodo de ensayo
		T5	T6	T7	T8	
Extracto etéreo	%	1,1	0,94	0,87	1,20	AOAC 920.39
Cenizas	%	4,25	2,68	2,46	3,90	AOAC 923.03
Almidón	%	61,95	49,16	62,04	53,00	Feligh

Atentamente:

Bioq. José Luis Moreno
Técnico de Laboratorio



Visión Institucional

La Universidad Técnica del Norte en el año 2020, será un referente en ciencia, tecnología e innovación en el país, con estándares de excelencia institucionales.

Av. 17 de Julio S-21 y José María
Córdova. Barrio El Olivo.
Teléfono: (06)2997800
Fax: Ext. 7711
Email: utn@utn.edu.ec
www.utn.edu.ec
Ibarra - Ecuador



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

UNIVERSIDAD ACREDITADA RESOLUCIÓN 002 – CONEA – 2010 – 129 – DC.
Resolución No. 001 – 073 – CEAACES – 2013 – 13

FICAYA

Laboratorio de Análisis Físicos, Químicos y Microbiológicos

Informe N°:	038-2018
Análisis solicitado por:	Srta. Yadira Valencia
Empresa:	No aplica
Muestreado:	Srta. Yadira Valencia
Fecha de recepción:	10 de abril de 2018
Fecha de entrega informe:	24 de abril de 2018
Ciudad:	Ibarra
Provincia:	Imbabura

#	Muestra	# de Lote
---	Malanga deshidratada	no aplica

Parámetro Analizado	Unidad	RESULTADO						Metodo de ensayo
		T2R1	T2R2	T2R3	T3R1	T3R2	T3R3	
Calcio (Ca)	mg/100 g	67,1	88,5	88,5	88,5	88,5	88,5	Espectrofotometría de Absorción Atómica
Hierro (Fe)	mg/100 g	3,2	4,2	3,6	3,7	4,3	3,8	

Parámetro Analizado	Unidad	RESULTADO						Metodo de ensayo
		T6R1	T6R2	T6R3	T7R1	T7R2	T7R3	
Calcio (Ca)	mg/100 g	88,3	75,5	75,5	75,5	75,5	75,5	Espectrofotometría de Absorción Atómica
Hierro (Fe)	mg/100 g	4,2	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	

Los resultados obtenidos pertenecen exclusivamente para las muestras analizadas

Atentamente:

Bioq. José Luis Moreno
Técnico de Laboratorio



Visión Institucional

La Universidad Técnica del Norte en el año 2020, será un referente en ciencia, tecnología e innovación en el país, con estándares de excelencia institucionales.

Av. 17 de Julio S-21 y José María
Córdova. Barrio El Olivo
Teléfono: (06)2997800
Fax: Ext. 7711
Email: utn@utn.edu.ec
www.utn.edu.ec
Ibarra - Ecuador



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

UNIVERSIDAD ACREDITADA RESOLUCIÓN 002 – CONEA – 2010 – 129 – DC.
Resolución No. 001 – 073 – CEAACES – 2013 – 13

FICAYA

Laboratorio de Análisis Físicos, Químicos y Microbiológicos

Informe N°:	011-2018
Análisis solicitado por:	Srta. Yadira Valencia
Empresa:	No aplica
Muestreado:	Srta. Yadira Valencia
Fecha de recepción:	14 de febrero de 2018
Fecha de entrega informe:	20 de febrero de 2018
Ciudad:	Ibarra
Provincia:	Imbabura

#	Muestra	# de Lote
---	Papa china deshidratada	no aplica

Parámetro Analizado	Unidad	RESULTADO						Metodo de ensayo
		T1R1	T1R2	T1R3	T4R1	T4R2	T4R3	
Calcio (Ca)	mg/100 g	203,6	268,6	231,6	234,6	272,2	241,9	Espectrofotometría de Absorción Atómica
Hierro (Fe)	mg/100 g	19,2	25,3	21,8	22,1	25,7	22,8	

Parámetro Analizado	Unidad	RESULTADO						Metodo de ensayo
		T5R1	T5R2	T5R3	T8R1	T8R2	T8R3	
Calcio (Ca)	mg/100 g	266,1	227,4	241,1	259,67	238,7	226,2	Espectrofotometría de Absorción Atómica
Hierro (Fe)	mg/100 g	25,1	21,4	22,7	24,5	22,5	23,6	

Los resultados obtenidos pertenecen exclusivamente para las muestras analizadas

Atentamente:

Bioq. José Luis Moreno
Técnico de Laboratorio



Visión Institucional

La Universidad Técnica del Norte en el año 2020, será un referente en ciencia, tecnología e innovación en el país, con estándares de excelencia institucionales.

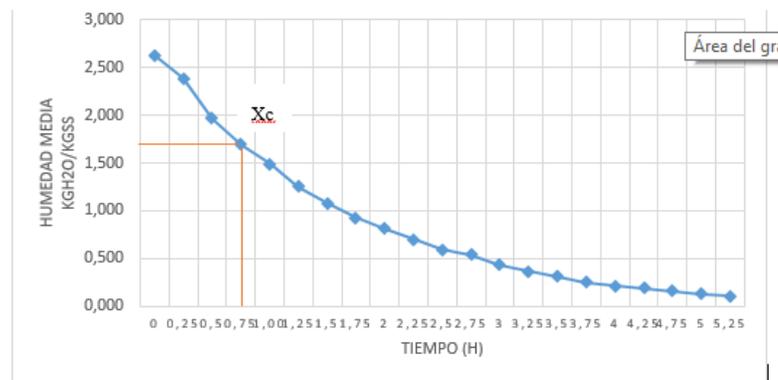
Av. 17 de Julio S-21 y José María
Córdova. Barrio El Olivo.
Teléfono: (06)2997800
Fax: Ext. 7711
Email: utn@utn.edu.ec
www.utn.edu.ec
Ibarra - Ecuador

Cinética de secado T2 (50 °C – *C. esculenta* – 4m/s)

En la cinética de secado de malanga a 50 °C mediante condiciones controladas de acuerdo al tratamiento T2, el proceso de secado tuvo una duración de 5,25 horas. Para la obtención de estos datos se utilizó la norma INEN 2996.

Curva de secado T2 (50 °C – *C. esculenta* – 4m/s)

La curva de secado se efectuó para cada tratamiento hasta la obtener la humedad de equilibrio, en condiciones controladas de laboratorio.



Comportamiento de la humedad y velocidad de secado para el tratamiento T2 (50 °C – *C. esculenta* – 4m/s)

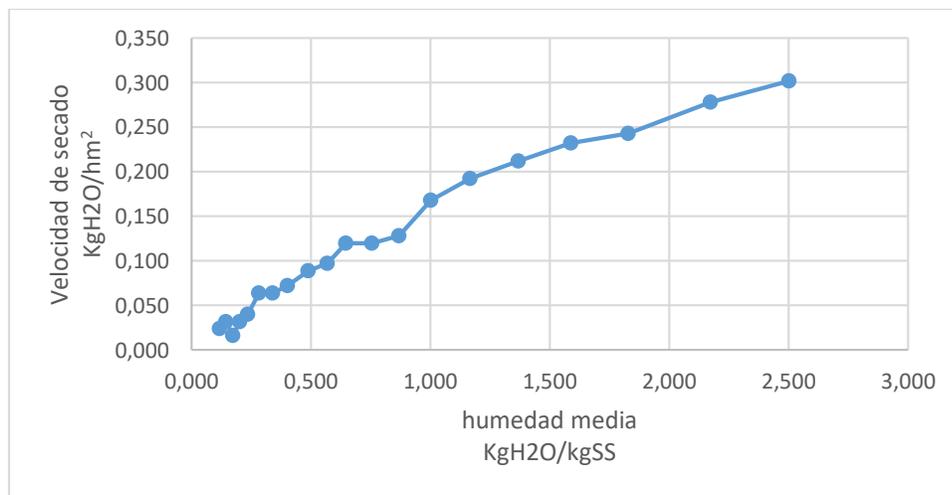
El gráfico muestra la curva X_c de secado, en el cual se logran diferenciar los periodos de secado, en el periodo de velocidad constante la evaporación del agua se efectúa en la superficie del producto a temperatura constante, desde su contenido de humedad inicial $X_0 = 2,623 \text{ KgH}_2\text{O/KgSS}$ formando una pendiente hasta la humedad crítica $X_c = 1,696 \text{ KgH}_2\text{O/KgSS}$ y una velocidad crítica $W_c = 0,296 \text{ KgH}_2\text{O/hm}^2$. En la última etapa la velocidad decreciente concluye con una humedad final $X_f = 0,145 \text{ KgH}_2\text{O/KgSS}$ con una velocidad de secado $W_f = 0,032 \text{ KgH}_2\text{O/hm}^2$. El tiempo total de secado fue de 5,25 horas.

(García, Alvis, & Mongollon, 2015). El agua es el elemento básico para la vida humana, pero también para la vida microbiana, por lo que, al retirarla, ayuda a darle una vida útil y más prolongada al alimento, el desecado provoca que el alimento en

cuestión se reduzca en tamaño debido a que ha perdido gran parte de su volumen (agua), y como resultado se obtiene un alimento de consistencia más liviana y pequeña de un buen sabor y olor el cual es muy resistente y de fácil transportación.

Curva de velocidad de secado T2 (50 °C – *C. esculenta* – 4m/s)

Para los cálculos de la cinética del proceso de secado, el contenido de humedad se enuncia en base seca en otras palabras en función de los sólidos de la muestra ($\text{KgH}_2\text{O}/\text{Kg}$ solidos secos) y la velocidad de secado en $\text{KgH}_2\text{O}/\text{hm}^2$, con el objetivo de establecer los cálculos respectivos.



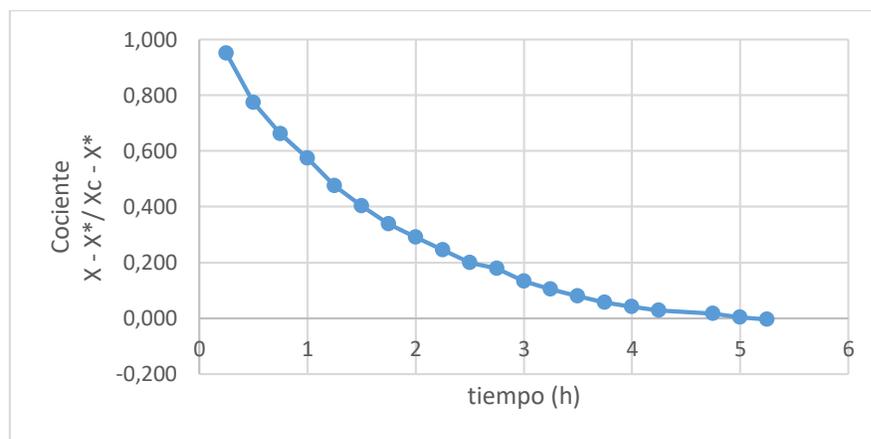
Comportamiento de la humedad y velocidad de secado para el tratamiento T2

De acuerdo al gráfico se puede observar un periodo de velocidad decreciente en un tiempo de 3,00 horas. En la curva de secado de papa china a 50 °C La humedad disminuye continuamente desde el valor inicial y finalmente se aproxima como límite a la humedad de equilibrio con las condiciones existentes del aire. Cuando la pendiente de la curva cambia se denomina punto crítico. Esto indica que la velocidad de secado está sujeta a la variación del contenido de humedad en función del tiempo.

Casp Vanaclocha & Abril Renquena, (2008). En el periodo de velocidad decreciente el mecanismo de transporte de masa es difusión de vapor desde la zona de evaporación hasta la superficie del producto. El punto de inflexión es levemente constante lo que

supone que la velocidad de condensación es igual a la velocidad de evaporación en la superficie del producto y permite que no exista acumulación de agua en los poros cerca de la superficie (Keqing, 2004), en el alimento no queda más que agua ligada que se evacua muy lentamente la cual termina cuando el producto alcanza la humedad de equilibrio que depende de las condiciones de secado.

Para conocer el mecanismo real por el cual se elimina la humedad del producto se graficó el cociente $(W - W_e) / (W_c - W_e)$ contra el tiempo de secado.



Sistema de eliminación de humedad

(Colina, Irezabal, 2010). El gráfico 6 muestra que el mecanismo de difusión gobierna el proceso de secado debido a la naturaleza del producto y condiciones de secado, la línea se hace asintótica conforme aumenta el tiempo de secado.

Cálculo tiempo total de secado.

Para la determinación del tiempo total de secado dentro de un periodo antecrítico y un período postcrítico para el tratamiento 2 y los demás tratamientos, se utilizaron las ecuaciones 1 y 2 que se encuentran en el capítulo 2. En la tabla se muestra el cálculo del tiempo de secado para cada periodo.

Cálculo del tiempo de secado para T2

Tiempo Anticrítico		Tiempo Pos crítico		
S/As*Wc	Xo-Xc	S/As	Xc-Xf/Wc-Wf	Ln Wc/Wf
0,073	0,119	0,276	9,1566	2,243

$$T_a=0.008$$

$$T_t= 5,683$$

$$T_p= 5,675$$

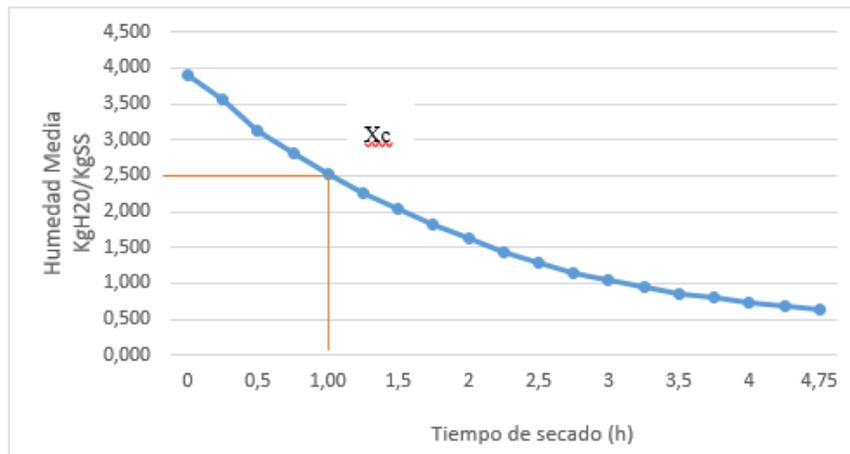
El tiempo vario 0,43 horas, se concluye que la diferencia con el tiempo tomado experimentalmente se debe a que se precalentó el secador hasta llegar a la temperatura para este tratamiento y luego se procedió a ingresar a las muestras al secador.

CINÉTICA DE SECADO T3 (50 °C – *X. sagitifolium*– 2 m/s)

En la cinética de secado de malanga a 50 °C mediante condiciones controladas de acuerdo al tratamiento T3, el proceso de secado tuvo una duración de 4,75 horas. Para la obtención de estos datos se utilizó la norma INEN 2996.

Curva de secado T3 (50 °C – *X. sagitifolium*– 2 m/s)

La curva de secado se efectuó para cada tratamiento hasta la obtener la humedad de equilibrio, en condiciones controladas de laboratorio.



Comportamiento de la humedad y velocidad de secado para el tratamiento T3 (50 °C – *X. sagitifolium*– 2 m/s)

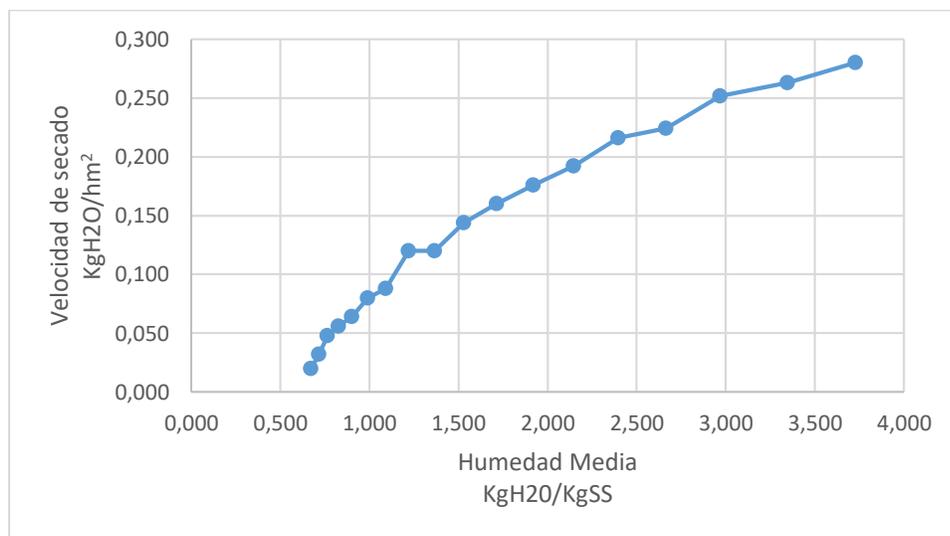
El gráfico muestra la curva de seca X_c el cual se logran diferenciar los periodos de secado, en el periodo de velocidad constante la evaporación del agua se efectúa en la superficie del producto a temperatura cnstante, desde su contenido de humedad inicial $X_o= 3,902$ kgH2O/kgss formando una pendiente hasta la humedad crítica $X_c=2,529$ kgH2O/kgss y una velocidad crítica $W_c=0,224$ kgH2O/hm². En la última etapa la

velocidad decreciente concluye con una humedad final $X_f = 0,716 \text{ KgH}_2\text{O/KgSS}$ con una velocidad de secado $W_f = 0,032 \text{ kgH}_2\text{O/hm}^2$. El tiempo total de secado fue de 4,75 horas

(Moya, 2017) La modificación macroscópica más evidente es la contracción y deformación de las piezas de papa. La pérdida de agua y la separación de los componentes que ocurren durante el secado pueden provocar rigidez, daño y alteración de las paredes celulares, e incluso el colapso del tejido celular (Moya, 2017).. Estos cambios se asocian con la reducción del volumen del producto. Además, el secado induce la formación de poros.

Curva de velocidad de secado T3 (50 °C – *X. sagitifolium*– 2 m/s)

Para los cálculos de la cinética del proceso de secado, el contenido de humedad se enuncia en base seca en otras palabras en función de los sólidos de la muestra ($\text{KgH}_2\text{O/Kg}$ solidos secos) y la velocidad de secado en $\text{KgH}_2\text{O/hm}^2$, con el objetivo de proveer los cálculos concernientes.



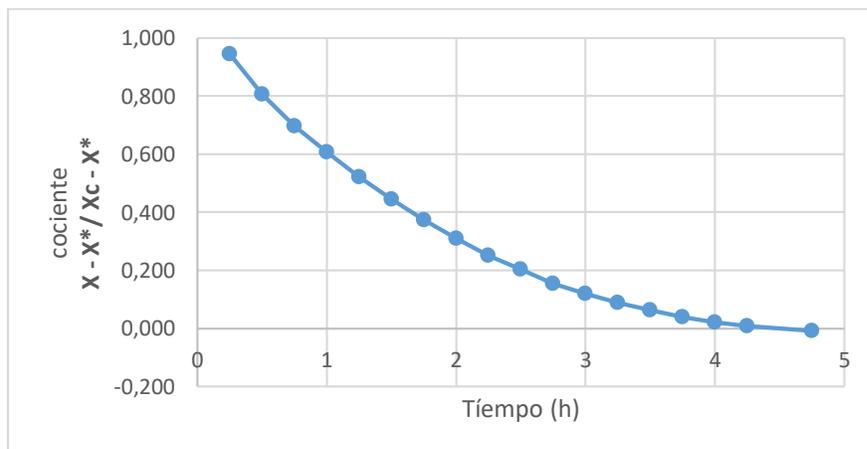
Comportamiento de la humedad y velocidad de secado para el tratamiento T3

Según el gráfico se puede observar un periodo de velocidad decreciente en un tiempo de 4,00 horas, el cual empieza a partir de la humedad crítica $X_c = 3,730 \text{ KgH}_2\text{O/kgSS}$,

con una velocidad de secado $W_c = 0.280 \text{ KgH}_2\text{O}/\text{hm}^2$. Casp Vanaclocha & Abril Renquena, (2008). En el periodo de velocidad decreciente el mecanismo de transporte de masa es difusión de vapor desde la zona de evaporación hasta la superficie del producto. El punto de inflexión es levemente constante lo que supone que la velocidad de condensación es igual a la velocidad de evaporación en la superficie del producto y permite que no exista acumulación de agua en los poros cerca de la superficie (Keqing, 2004), en el alimento no queda más que agua ligada que se evacua muy lentamente la cual termina cuando el producto alcanza la humedad de equilibrio que depende de las condiciones de secado.

El período de velocidad de secado decreciente; donde se evapora la humedad ligada del material y predominan las condiciones internas y externas simultáneamente. En estas condiciones el sólido tiene un comportamiento higroscópico. Durante el período, la temperatura del material sobrepasa la de bulbo húmedo debido a que el descenso de la velocidad de secado rompe el equilibrio térmico que mantiene estable la temperatura y una parte considerable del calor se emplea en un calentamiento del sólido. Ahora la humedad deberá ser extraída del interior del material con el consiguiente incremento de la resistencia a la evaporación.

Para conocer el mecanismo real por el cual se elimina la humedad del producto se graficó el cociente $(W - W_e / W_c - W_e)$ contra el tiempo de secado.



Sistema de eliminación de humedad

(Colina, Irezabal, 2010). El gráfico muestra que el mecanismo de difusión gobierna el proceso de secado debido a la naturaleza del producto y condiciones de secado, la línea se hace asintótica conforme aumenta el tiempo de secado.

Cálculo tiempo total de secado.

Para la determinación del tiempo total de secado dentro de un periodo antecrítico y un período postcrítico para el tratamiento 3 y los demás tratamientos, se utilizaron las ecuaciones 1 y 2 que se encuentran en el capítulo 2. En la tabla se muestra el cálculo del tiempo de secado para cada periodo.

Cálculo del tiempo de secado para T3

Tiempo Antecrítico		Tiempo Postcrítico		
S/As*Wc	Xo-Xc	S/As	Xc-Xf/Wc-Wf	Ln Wc/Wf
0,057	0.172	0,204	11,143	2,19
Ta=0.009		Tp= 4,93		
Tt= 4,93				

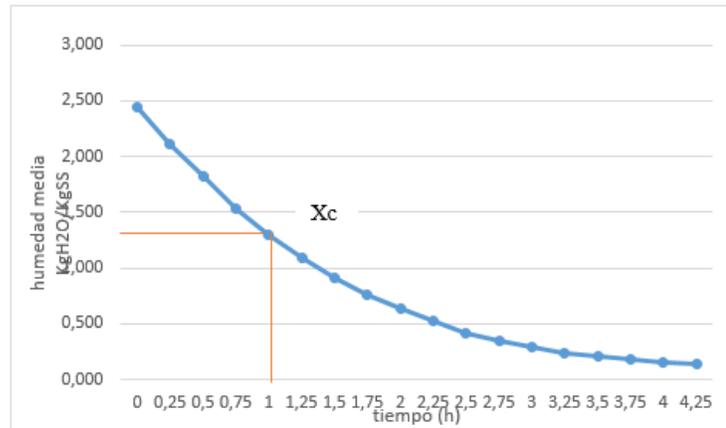
El tiempo vario 0,18 horas, se concluye que la diferenciación se debe a los puntos de inflexión concurrencias en la velocidad decreciente derivados por perdidas de calor al cerrar y abrir el secador para la toma de información.

CINÉTICA DE SECADO T4 (50 °C – X. sagitifolium – 4m/s)

En la cinética de secado para el T4 mediante condiciones controladas de laboratorio, el proceso de secado tuvo una duración de 4,25 horas. Para la obtención de estos datos se utilizó la norma INEN 2996.

Curva de secado T4 (50 °C – X. sagitifolium – 4m/s)

La curva de secado se efectuó para cada tratamiento hasta la obtener la humedad de equilibrio, en condiciones controladas de laboratorio.



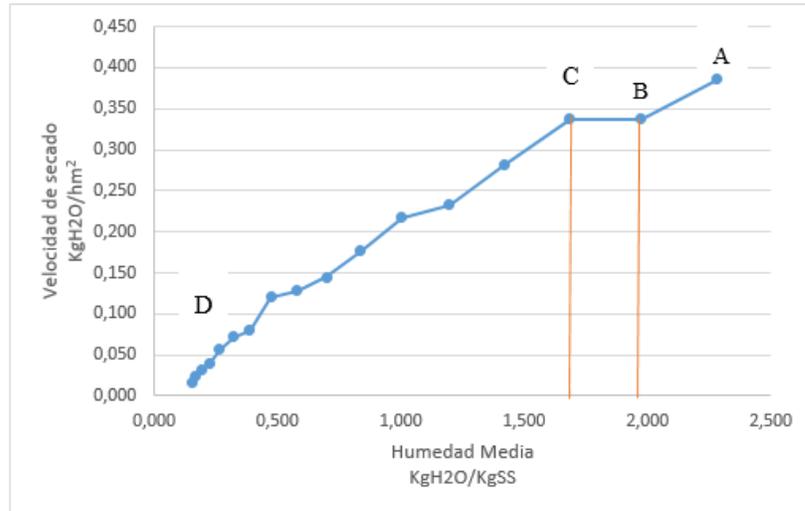
Comportamiento de la humedad y velocidad de secado para el tratamiento T4 (50°C – X. sagitifolium – 4m/s)

El gráfico muestra la curva de secado, en el cual se logran diferenciar los periodos de secado, en el periodo de velocidad constante la evaporación del agua se efectúa en la superficie del producto a temperatura X_c constante, desde su contenido de humedad inicial $X_o= 2,448 \text{ KgH}_2\text{O/KgSS}$ formando una pendiente hasta la humedad crítica $X_c=1,417 \text{ KgH}_2\text{O /KgSS}$ y una velocidad crítica $W_c=0,281 \text{ KgH}_2\text{O/hm}^2$. Durante este periodo, el principal mecanismo de transporte de masa es el flujo capilar, debido a que su estructura celular está intacta, el agua se desplaza a través de los capilares hacia la superficie donde es eliminada. La pérdida de agua y la separación de los componentes que ocurren durante el secado pueden provocar rigidez, daño y alteración de las paredes celulares, e incluso el colapso del tejido celular. Estos cambios se asocian con la reducción del volumen del producto. Además, el secado induce la formación de poros. Finalmente, en la última etapa la velocidad decreciente concluye con una humedad final $X_f = 0,169 \text{ KgH}_2\text{O /KgSS}$ y una velocidad de secado $W_f= 0,024 \text{ KgH}_2\text{O/hm}^2$.

Curva de velocidad de secado T4 (50 °C – X. sagitifolium – 4m/s)

Para los cálculos de la cinética del proceso de secado, el contenido de humedad se enuncia en base seca en otras palabras en función de los sólidos de la muestra

(KgH₂O/Kg solidos secos) y la velocidad de secado en KgH₂O/hm²), con el objetivo de proveer los cálculos respectivos.



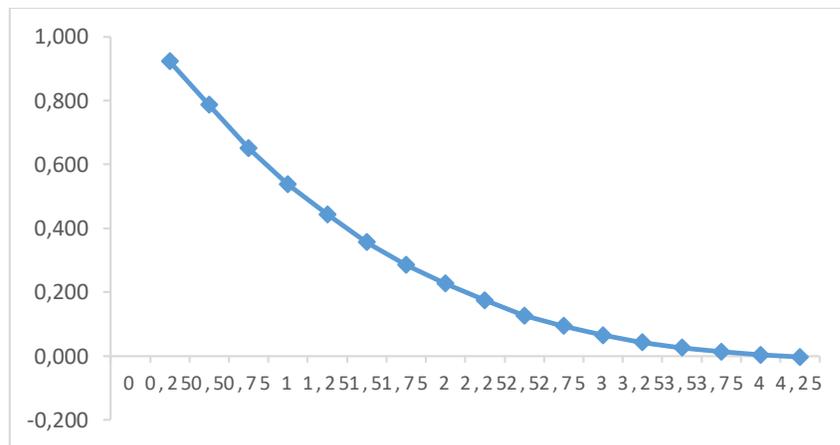
Comportamiento de la humedad y velocidad de secado para el tratamiento T4

En el gráfico 11 se puede evidenciar una etapa de calentamiento A-B inicial del sólido normalmente de poca duración en la cual la evaporación no es significativa por su intensidad ni por su cantidad. En esta etapa el sólido se calienta desde la temperatura ambiente hasta que se alcance el equilibrio entre el enfriamiento por evaporación y la absorción de calor de los gases. Este equilibrio se alcanza a la temperatura de bulbo húmedo del aire.

En el período de velocidad de secado constante B-C, se evapora la humedad libre o no ligada del material y predominan las condiciones externas. En este período el sólido tiene un comportamiento no higroscópico. La velocidad de secado se mantiene constante si el aire tiene un estado estacionario y en general depende solo de las propiedades y velocidad del mismo. Si durante el proceso, el aire se enfría, la velocidad de secado decrece, pero sigue en esta zona dependiendo de factores externos al sólido. Durante este período la temperatura del sólido se mantiene igual a la de bulbo húmedo del aire, ya que se mantiene el equilibrio alcanzado al final de la etapa de calentamiento.

Casp Vanaclocha & Abril Renquena, (2008). En el periodo de velocidad decreciente el mecanismo de transporte de masa es difusión de vapor desde la zona de evaporación hasta la superficie del producto. El punto de inflexión es levemente constante lo que supone que la velocidad de condensación es igual a la velocidad de evaporación en la superficie del producto y permite que no exista acumulación de agua en los poros cerca de la superficie (Keqing, 2004), en el alimento no queda más que agua ligada que se evacua muy lentamente la cual termina cuando el producto alcanza la humedad de equilibrio que depende de las condiciones de secado.

Para conocer el mecanismo real por el cual se elimina la humedad del producto se graficó el cociente $(W - W_e) / (W_c - W_e)$ contra el tiempo de secado.



Sistema de eliminación de humedad

(Colina, Irezabal, 2010). El gráfico muestra que el mecanismo de difusión gobierna el proceso de secado debido a la naturaleza del producto y condiciones de secado, la línea se hace asintótica conforme aumenta el tiempo de secado.

Cálculo tiempo total de secado.

Para la determinación del tiempo total de secado dentro de un periodo antecrítico y un período postcrítico para el tratamiento 4 y los demás tratamientos, se utilizaron las

ecuaciones 1 y 2 que se encuentran en el capítulo 2. En la tabla se muestra el cálculo del tiempo de secado para cada periodo.

Cálculo del tiempo de secado para T4

Tiempo Anticrítico		Tiempo Pos crítico		
S/As*Wc	Xo-Xc	S/As	Xc-Xf/Wc-Wf	Ln Wc/Wf
0,112	0,165	0,291	5,539	2,777
Ta=0.018		Tp= 4,476		
Tt= 4.494				

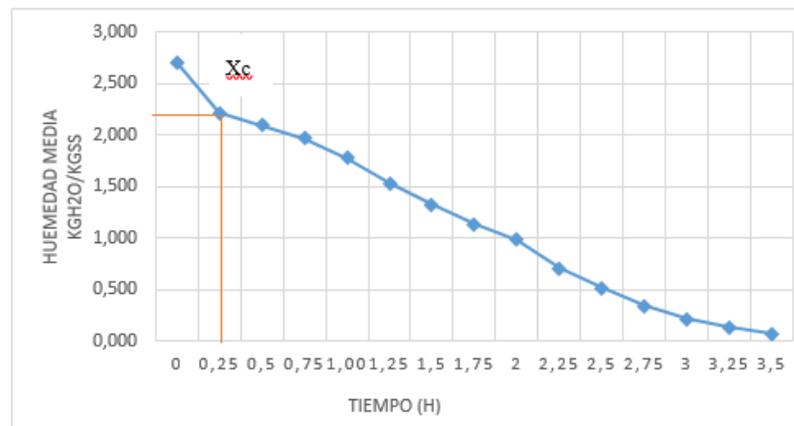
El tiempo varió 0,25 horas, se concluye que la diferencia con el tomado experimentalmente se debe a que se precalentó el secador hasta llegar a la temperatura para este tratamiento y luego se procedió a ingresar a las muestras al secador.

CINÉTICA DE SECADO T5 (60 °C – *C.esculenta* -2 m/s)

En la cinética de secado de malanga a 60 °C mediante condiciones controladas de acuerdo al tratamiento T5, el proceso de secado tuvo una duración de 3,5 horas, hasta llegar a la humedad de equilibrio. Para la obtención de estos datos se utilizó la norma INEN 2996.

Curva de secado T5 (60 °C – *C.esculenta* -2 m/s)

La curva de secado se efectuó para cada tratamiento hasta la obtener la humedad de equilibrio, en condiciones controladas de laboratorio.

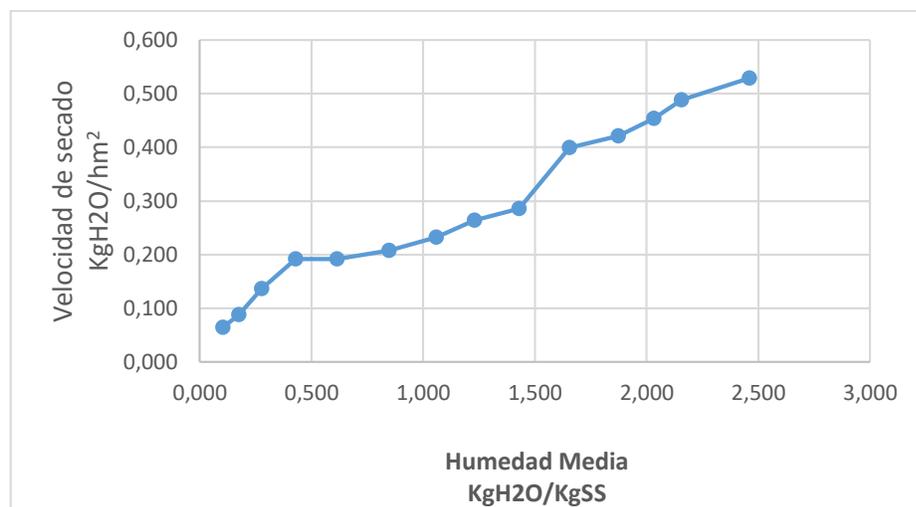


Comportamiento de la humedad y velocidad de secado para el tratamiento T5 (60 °C
– *C.esculenta* -2 m/s)

El gráfico muestra la curva de secado, en el cual se logran diferenciar los periodos de secado, en el periodo de velocidad constante la evaporación del agua se efectúa en la superficie del producto a temperatura constante, desde su contenido de humedad inicial $X_0 = 2,704 \text{ KgH}_2\text{O/KgSS}$ formando una pendiente hasta la humedad crítica $X_c = 2,215 \text{ KgH}_2\text{O/KgSS}$ y una velocidad crítica $W_c = 0,529 \text{ KgH}_2\text{O/hm}^2$. Esto indica que la velocidad de secado está sujeta a la variación del contenido de humedad en función del tiempo. En la última etapa la velocidad decreciente concluye con una humedad final $X_f = 0,174 \text{ KgH}_2\text{O/KgSS}$ con una velocidad de secado $W_f = 0,088 \text{ KgH}_2\text{O/hm}^2$. El tiempo total de secado fue de 3,5 horas.

Curva de velocidad de secado T5 (60 °C – *C.esculenta* -2 m/s)

Para los cálculos de la cinética del proceso de secado, el contenido de humedad se enuncia en base seca en otras palabras en función de los sólidos de la muestra ($\text{KgH}_2\text{O/Kg}$ sólidos secos) y la velocidad de secado en $\text{KgH}_2\text{O/hm}^2$, con el objetivo de proveer los cálculos concernientes.

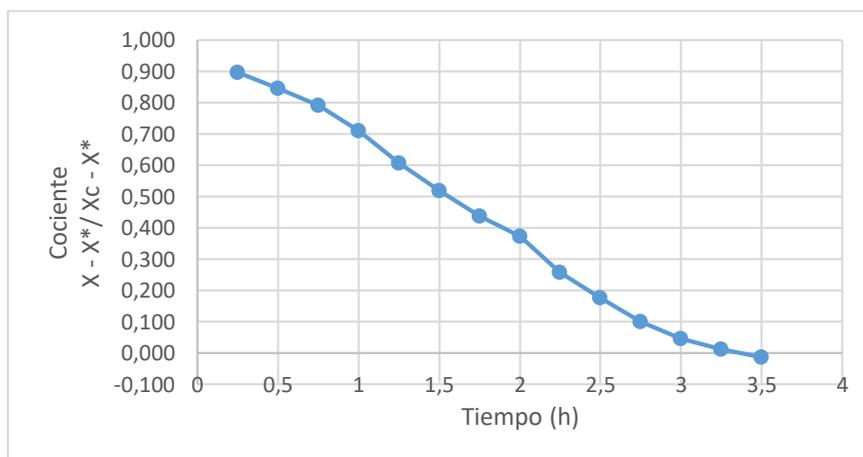


Comportamiento de la humedad y velocidad de secado para el tratamiento T5

De acuerdo a la curva de velocidad de secado, se puede observar que predomina un periodo de velocidad decreciente que está controlado por el mecanismo de difusión interna del líquido a través del sólido presentando tres puntos de inflexión, en el primero se observa una disminución de la velocidad de secado en donde se produce una difusión de líquido debido al aumento de temperatura y velocidad de aire en el proceso de secado, en el segundo punto de inflexión se observa un incremento de velocidad de secado en donde existe una difusión del líquido adsorbido en la superficie de los componentes sólidos produciéndose una difusión de vapor de agua en los espacios de aire internos causados por gradientes de presión de vapor hacia la superficie externa.

En el periodo de velocidad decreciente el producto está en dominio de la higroscopia y en el alimento no queda más agua ligada que se evacue muy lentamente (difusión desorción). Esta fase se termina cuando el producto alcanza su humedad de equilibrio. (Casp A., 2011)

Para conocer el mecanismo real por el cual se elimina la humedad del producto se graficó el cociente $(W - W_e) / (W_c - W_e)$ contra el tiempo de secado.



Sistema de eliminación de humedad

(Colina, Irezabal, 2010). El gráfico muestra que el mecanismo de difusión gobierna el proceso de secado debido a la naturaleza del producto y condiciones de secado, la línea se hace asintótica conforme aumenta el tiempo de secado.

Cálculo tiempo total de secado.

Para la determinación del tiempo total de secado dentro de un periodo antecrítico y un período postcrítico para el tratamiento 5 y los demás tratamientos, se utilizaron las ecuaciones 1 y 2 que se encuentran en el capítulo 2. En la tabla se muestra el cálculo del tiempo de secado para cada periodo.

Cálculo del tiempo de secado para T5

Tiempo Anticrítico		Tiempo Pos crítico		
S/As*Wc	Xo-Xc	S/As	Xc-Xf/Wc-Wf	Ln Wc/Wf
0,143	0.245	0,270	7,188	1,792
Ta=0.035		Tp= 3,481		
Tt=3,516				

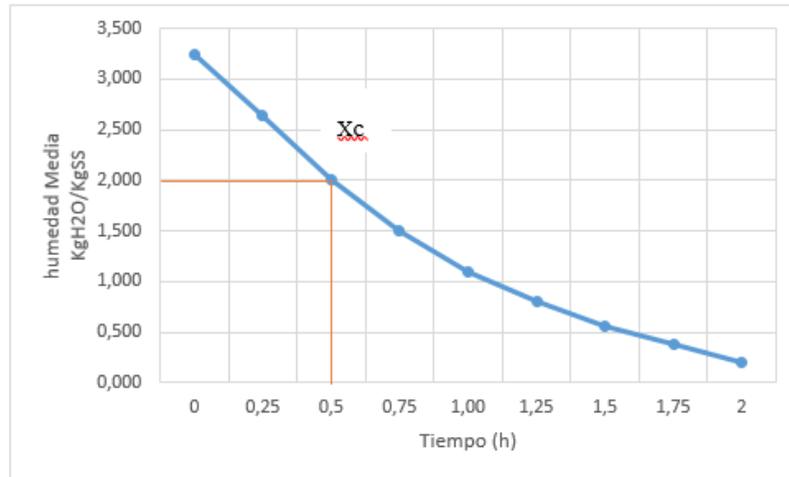
El tiempo no varió, con el tiempo tomado experimentalmente se debe a que se precalentó el secador hasta llegar a la temperatura para este tratamiento y luego se procedió a ingresar a las muestras al secador.

CINÉTICA DE SECADO T6 (60 °C – C. esculenta – 4 m/s)

En la cinética de secado de papa china a 60 °C mediante condiciones controladas de acuerdo al tratamiento T6, el proceso de secado tuvo una duración de 2 horas, hasta llegar a la humedad de equilibrio. Para la obtención de estos datos se utilizó la norma INEN 2996.

Curva de secado T6 (60 °C – C. esculenta – 4 m/s)

La curva de secado se efectuó para cada tratamiento hasta la obtener la humedad de equilibrio, en condiciones controladas de laboratorio.

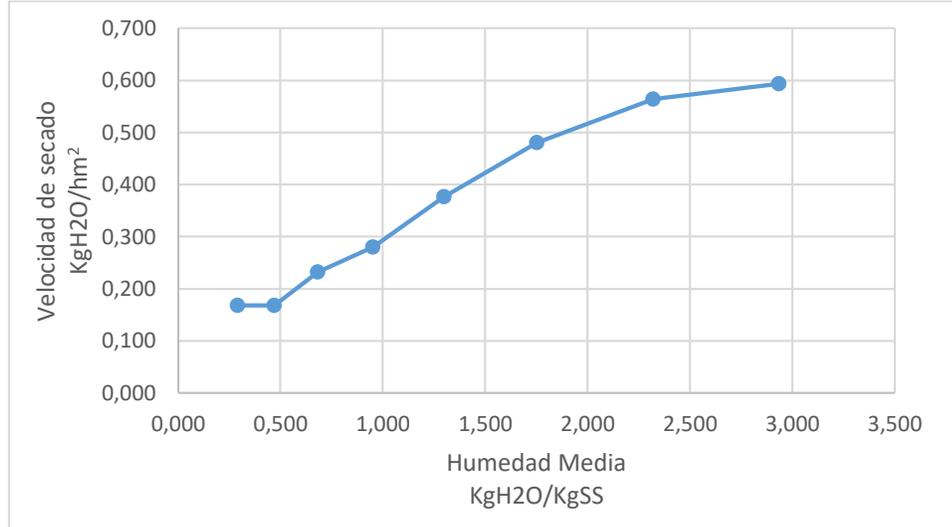


Comportamiento de la humedad y velocidad de secado para el tratamiento T6 (60 °C – C. esculenta – 4 m/s)

El gráfico muestra la curva de secado, en el cual se logran diferenciar los periodos de secado, en el periodo de velocidad constante la evaporación del agua se efectúa en la superficie del producto a temperatura constante, desde su contenido de humedad inicial $X_0 = 3,237 \text{ KgH}_2\text{O} / \text{KgSS}$ formando una pendiente hasta la humedad crítica $X_c = 2,008 \text{ KgH}_2\text{O} / \text{KgSS}$ y una velocidad crítica $W_c = 0,593 \text{ KgH}_2\text{O} / \text{hm}^2$. En la última etapa la velocidad decreciente concluye con una humedad final $X_f = 0,470 \text{ KgH}_2\text{O} / \text{KgSS}$ con una velocidad de secado $W_f = 0,168 \text{ KgH}_2\text{O} / \text{hm}^2$. El tiempo total de secado fue de 2 horas.

Curva de velocidad de secado T4 (60 °C – C. esculenta – 4 m/s)

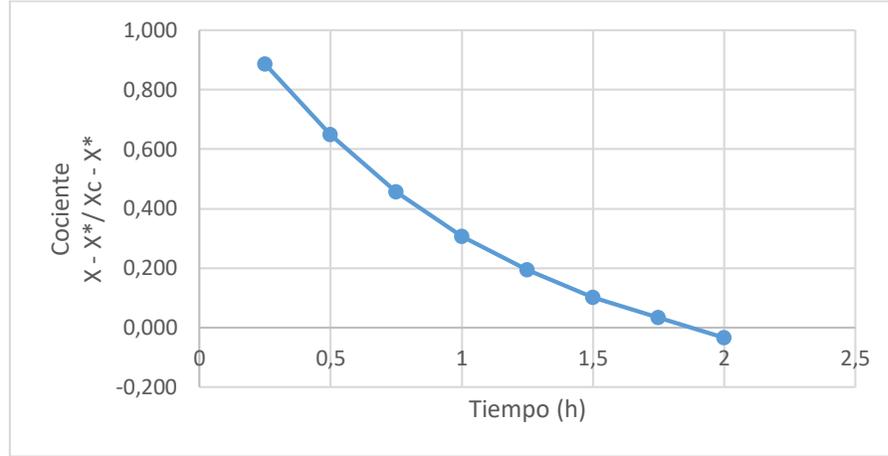
Para los cálculos de la cinética del proceso de secado, el contenido de humedad se enuncia en base seca en otras palabras en función de los sólidos de la muestra ($\text{KgH}_2\text{O} / \text{Kg sólidos secos}$) y la velocidad de secado en $\text{KgH}_2\text{O} / \text{hm}^2$, con el objetivo de proveer los cálculos concernientes.



Comportamiento de la humedad y velocidad de secado para el tratamiento T4

De acuerdo con el gráfico, el periodo de la velocidad de secado está caracterizado por el periodo de velocidad decreciente, donde se consiguió un tiempo de 3,5 horas. (Casp & Abril, 2016). Un periodo de velocidad decreciente, que comienza cuando la superficie del producto en contacto con el aire de secado alcanza el umbral de higroscopicidad (para materiales higroscópicos). Desde el punto de vista macroscópico, esto corresponde a alcanzar la humedad crítica. La zona de evaporación “frente de secado” que se encontraba en la superficie, se desplaza hacia el interior del producto. La brusca reducción de la superficie efectiva de transferencia, debida a una alimentación insuficiente de agua libre es la causa de la disminución de la velocidad de secado. La migración del agua es cada vez más difícil y como consecuencia la transferencia de masa se convierte en el factor limitante. Los depósitos de solutos obstruyen los poros, el agua ligada migra bajo forma de vapor y la distancia a recorrer por el frente de vapor es cada vez mayor, todos estos factores frenan rápidamente la transferencia interna de agua

Para conocer el mecanismo real por el cual se elimina la humedad del producto se graficó el cociente $(W - W_e / W_c - W_e)$ contra el tiempo de secado.



Sistema de eliminación de humedad

(Colina, Irezabal, 2010). El gráfico muestra que el mecanismo de difusión gobierna el proceso de secado debido a la naturaleza del producto y condiciones de secado, la línea se hace asintótica conforme aumenta el tiempo de secado.

Cálculo tiempo total de secado.

Para la determinación del tiempo total de secado dentro de un periodo anticrítico y un período postcrítico para el tratamiento 6 y los demás tratamientos, se utilizaron las ecuaciones 1 y 2 que se encuentran en el capítulo 2. En la tabla se muestra el cálculo del tiempo de secado para cada periodo.

Cálculo del tiempo de secado para T6

Tiempo Anticrítico		Tiempo Pos crítico		
S/As*Wc	Xo-Xc	S/As	Xc-Xf/Wc-Wf	Ln Wc/Wf
0,134	0,301	0,236	5,804	1,260
Ta=0,04		Tp= 1,772		
Tt= 1,812				

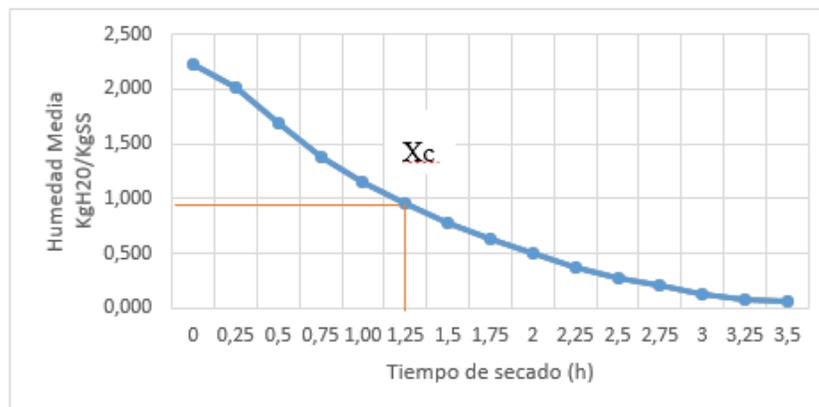
El tiempo vario 0,20 horas, se concluye que la diferencia con el tiempo tomado experimentalmente se debe a que se precalentó el secador hasta llegar a la temperatura para este tratamiento y luego se procedió a ingresar a las muestras al secador.

Cinética de secado T7 (60 °C – X. sagitifolium – 2m/s)

En la cinética de secado de malanga a 60 °C mediante condiciones controladas de acuerdo al tratamiento T7, el proceso de secado tuvo una duración de 3,5 horas.

Curva de secado T7 (60 °C – *X. sagitifolium* – 2m/s)

La curva de secado se efectuó para cada tratamiento hasta la obtener la humedad de equilibrio, en condiciones controladas de laboratorio.



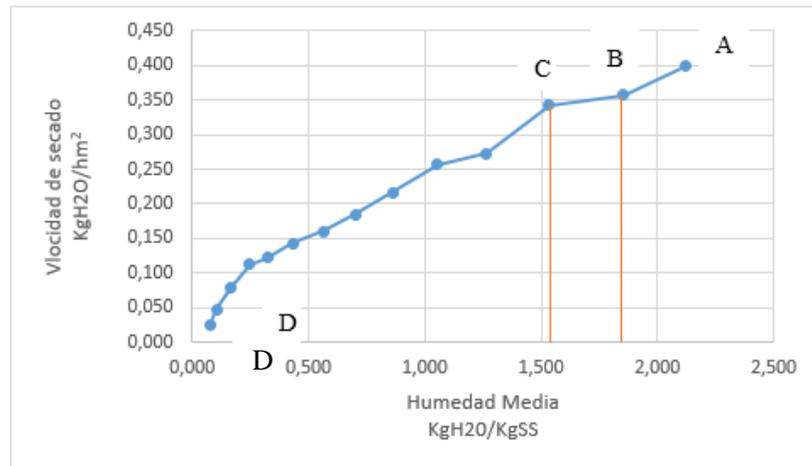
Comportamiento de la humedad y velocidad de secado para el tratamiento T7 (60 °C – *X. sagitifolium* – 2m/s)

El gráfico muestra la curva de secado, en el cual se logran diferenciar los periodos de secado, en el periodo de velocidad constante la evaporación del agua se efectúa en la superficie del producto a temperatura constante, desde su contenido de humedad inicial $X_0 = 2,226 \text{ KgH}_2\text{O} / \text{KgSS}$ formando una pendiente hasta la humedad crítica $X_c = 0,948 \text{ KgH}_2\text{O} / \text{KgSS}$ y una velocidad crítica $W_c = 0,256 \text{ KgH}_2\text{O}/\text{hm}^2$. Finalmente, en la etapa de velocidad decreciente se concluye con una humedad final $X_f = 0,103 \text{ KgH}_2\text{O}/\text{KgSS}$ con una velocidad de secado $W_f = 0,048 \text{ KgH}_2\text{O}/\text{hm}^2$. El tiempo total de secado fue de 3,5 horas.

Curva de velocidad de secado T7 (60 °C – *X. sagitifolium* – 2m/s)

Para los cálculos de la cinética del proceso de secado, el contenido de humedad se enuncia en base seca en otras palabras en función de los sólidos de la muestra

(KgH₂O/Kg solidos secos) y la velocidad de secado en KgH₂O/hm²), con el objetivo de proveer los cálculos concernientes.



Comportamiento de la humedad y velocidad de secado para el tratamiento T7

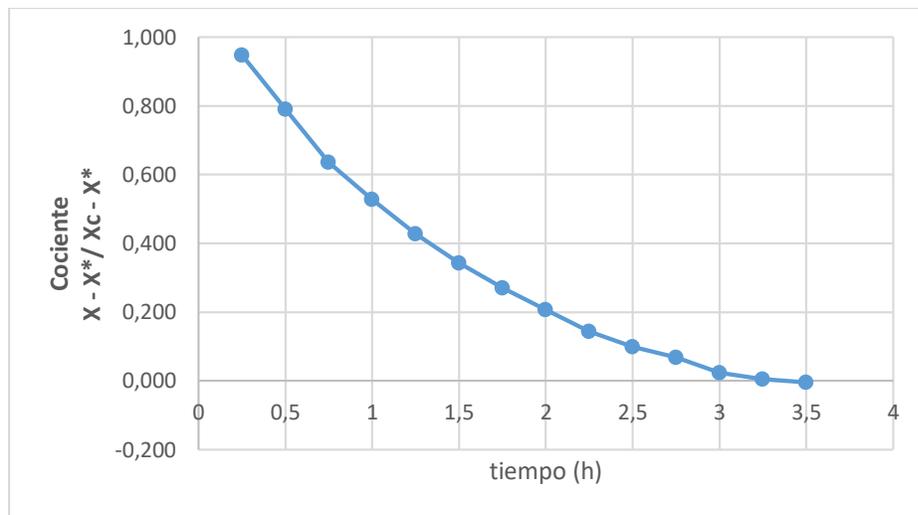
En el gráfico se puede evidenciar una etapa de calentamiento A-B inicial del sólido normalmente de poca duración en la cual la evaporación no es significativa por su intensidad ni por su cantidad. En esta etapa el sólido se calienta desde la temperatura ambiente hasta que se alcance el equilibrio entre el enfriamiento por evaporación y la absorción de calor de los gases. Este equilibrio se alcanza a la temperatura de bulbo húmedo del gas.

(Colina, Irezabal, 2010) durante el periodo de velocidad constante B-C la evaporación se efectúa de manera constante, este periodo se mantiene hasta que la superficie del producto se encuentre alimentada por agua libre desde el interior fundamentalmente por capilaridad, el diámetro de los poros y los capilares disminuyen a medida que se elimina más cantidad de agua.

En el período de velocidad de secado decreciente C-D; donde se evapora la humedad ligada del material y predominan las condiciones internas y externas simultáneamente. En estas condiciones el sólido tiene un comportamiento higroscópico. Durante el período, la temperatura del material sobrepasa la de bulbo húmedo debido a que el descenso de la velocidad de secado rompe el equilibrio térmico que mantiene estable

la temperatura y una parte considerable del calor se emplea en un calentamiento del sólido. Ahora la humedad deberá ser extraída del interior del material con el consiguiente incremento de la resistencia a la evaporación. Este período de velocidad decreciente puede dividirse en dos partes, con diferentes comportamientos de la velocidad de secado, la cual decrece cada vez más al disminuir la humedad del sólido. Esto implica dos modelos de secado diferente en dicha zona.

Para conocer el mecanismo real por el cual se elimina la humedad del producto se graficó el cociente $(W - W_e / W_c - W_e)$ contra el tiempo de secado.



Sistema de eliminación de humedad

(Colina, Irezabal, 2010). El gráfico muestra que el mecanismo de difusión gobierna el proceso de secado debido a la naturaleza del producto y condiciones de secado, la línea se hace asintótica conforme aumenta el tiempo de secado.

Cálculo tiempo total de secado.

Para la determinación del tiempo total de secado dentro de un periodo antecrítico y un período postcrítico para el tratamiento 7 y los demás tratamientos, se utilizaron las ecuaciones 1 y 2 que se encuentran en el capítulo 2. En la tabla se muestra el cálculo del tiempo de secado para cada periodo.

Cálculo del tiempo de secado para T7

Tiempo Anticrítico		Tiempo Post crítico		
S/As*Wc	Xo-Xc	S/As	Xc-Xf/Wc-Wf	Ln Wc/Wf
0,0819	0.107	0,310	5,761	2,114
Ta=0.0087		Tp= 3,780		
Tt= 3,789				

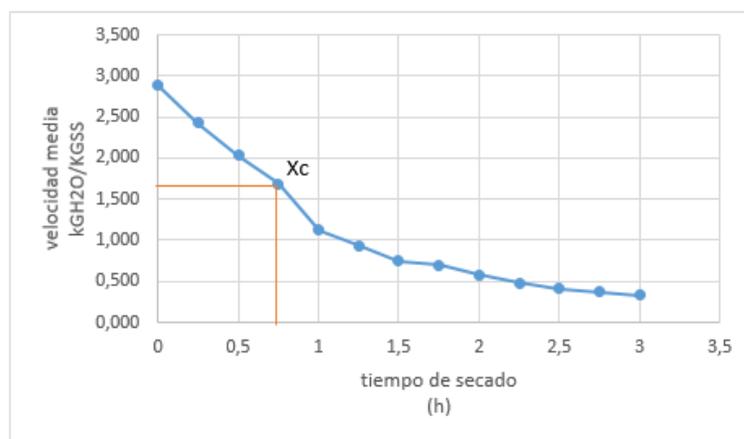
El tiempo vario 0,28 horas, se concluye que la diferencia con el tiempo tomado experimentalmente se debe a que se precalentó el secador hasta llegar a la temperatura para este tratamiento y luego se procedió a ingresar a las muestras al secador.

CINÉTICA DE SECADO T8 (60 °C – *X. sagitifolium* – 4m/s)

En la cinética de secado de malanga a 60 °C mediante condiciones controladas de acuerdo al tratamiento T8, el proceso de secado tuvo una duración de 3 horas. Para la obtención de estos datos se utilizó la norma INEN 2996.

Curva de secado T8 (60 °C – *X. sagitifolium* – 4m/s)

La curva de secado se efectuó para cada tratamiento hasta la obtener la humedad de equilibrio, en condiciones controladas de laboratorio.



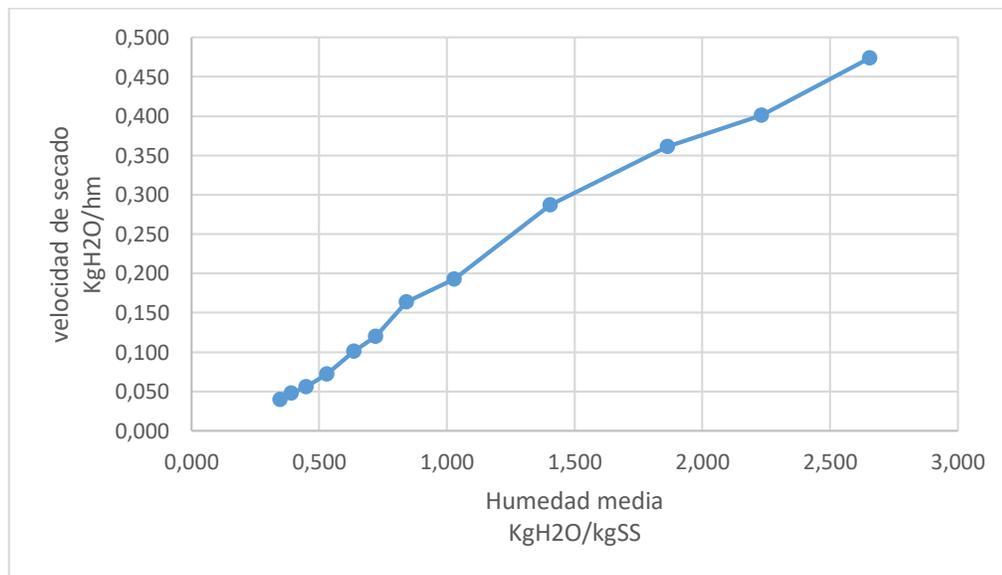
Comportamiento de la humedad y velocidad de secado para el tratamiento T8 (60 °C – *X. sagitifolium* – 4m/s)

El gráfico muestra la curva de secado, en el cual se logran diferenciar los periodos de secado, en el periodo de velocidad constante la evaporación del agua se efectúa en la

superficie del producto a temperatura constante, desde su contenido de humedad inicial $X_0 = 2,885 \text{ KgH}_2\text{O} / \text{KgSS}$ formando una pendiente hasta la humedad crítica $X_c = 1,688 \text{ KgH}_2\text{O} / \text{KgSS}$ y una velocidad crítica $W_c = 0,361 \text{ KgH}_2\text{O} / \text{hm}^2$. Finalmente, en la etapa de velocidad decreciente se concluye con una humedad final $X_f = 0,391 \text{ KgH}_2\text{O} / \text{KgSS}$ con una velocidad de secado $W_f = 0,048 \text{ KgH}_2\text{O} / \text{hm}^2$. (García, Alvis, & Mongollon, 2015) El desecado provoca que el alimento en cuestión se reduzca en tamaño debido a que ha perdido gran parte de su volumen (agua), y como resultado se obtiene un alimento de consistencia más liviana y pequeña de un buen sabor y olor el cual es muy resistente y de fácil transportación.

Curva de velocidad de secado T8 (60 °C – *X. sagitifolium* – 4m/s)

Para los cálculos de la cinética del proceso de secado, el contenido de humedad se enuncia en base seca en otras palabras en función de los sólidos de la muestra ($\text{Kg H}_2\text{O} / \text{Kg}$ solidos secos) y la velocidad de secado en $\text{KgH}_2\text{O} / \text{hm}^2$, con el objetivo de obtener los cálculos respectivos.



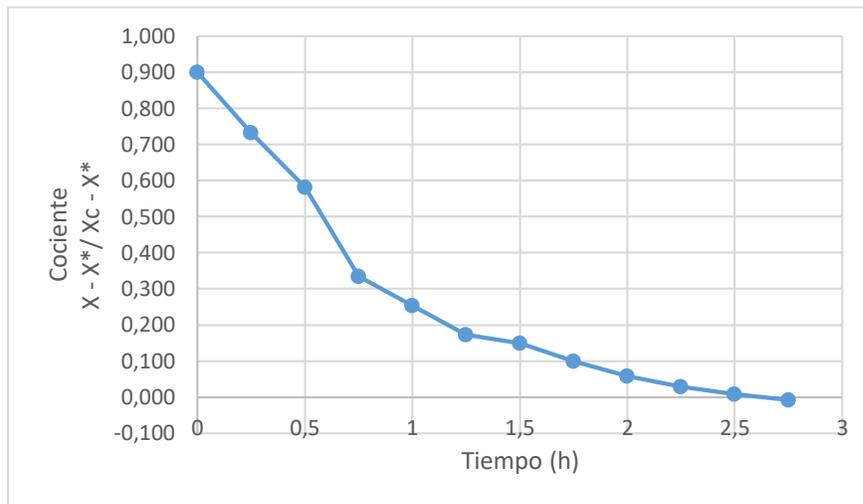
Comportamiento de la humedad y velocidad de secado para el tratamiento T8

De acuerdo con el gráfico, se puede observar un periodo de velocidad decreciente en un tiempo de 3,00 horas, el cual empieza a partir de la humedad crítica $X_c = 2,656$. En

la curva de velocidad de secado del T8 Casp y Abril (2003) el periodo de velocidad decreciente, comienza cuando la superficie del producto en contacto con el aire de secado alcanza el umbral de higroscopicidad (para materiales higroscópicos). Desde el punto de vista macroscópico, esto corresponde a alcanzar la humedad crítica. La zona de evaporación “frente de secado” que se encontraba en la superficie, se desplaza hacia el interior del producto. La brusca reducción de la superficie efectiva de transferencia, debida a una alimentación insuficiente de agua libre es la causa de la disminución de la velocidad de secado. La migración del agua es cada vez más difícil y como consecuencia la transferencia de masa se convierte en el factor limitante. Los depósitos de solutos obstruyen los poros, el agua ligada migra bajo forma de vapor y la distancia a recorrer por el frente de vapor es cada vez mayor, todos estos factores frenan rápidamente la transferencia interna de agua.

Casp Vanaclocha & Abril Renquena, (2008). En el periodo de velocidad decreciente el mecanismo de transporte de masa es difusión de vapor desde la zona de evaporación hasta la superficie del producto. El punto de inflexión es levemente constante lo que supone que la velocidad de condensación es igual a la velocidad de evaporación en la superficie del producto y permite que no exista acumulación de agua en los poros cerca de la superficie (Keping, 2004), en el alimento no queda más que agua ligada que se evacua muy lentamente la cual termina cuando el producto alcanza la humedad de equilibrio que depende de las condiciones de secado.

Para conocer el mecanismo real por el cual se elimina la humedad del producto se graficó el cociente $(W - W_e / W_c - W_e)$ contra el tiempo de secado.



Sistema de eliminación de humedad

(Colina, Irezabal, 2010). El gráfico muestra que el mecanismo de difusión gobierna el proceso de secado debido a la naturaleza del producto y condiciones de secado, la línea se hace asintótica conforme aumenta el tiempo de secado.

Cálculo tiempo total de secado.

Para la determinación del tiempo total de secado dentro de un periodo antecrítico y un período postcrítico para el tratamiento 8 y los demás tratamientos, se utilizaron las ecuaciones 1 y 2 que se encuentran en el capítulo 2. En la tabla se muestra el cálculo del tiempo de secado para cada periodo.

Cálculo del tiempo de secado para T8

Tiempo Anticrítico		Tiempo Pos crítico		
$S/As \cdot Wc$	$Xo - Xc$	S/As	$Xc - Xf / Wc - Wf$	$\ln Wc / Wf$
0,123	0,229	0,258	5,324	2,285
Ta=0,028		Tp= 3,138		
Tt= 3,166				

El tiempo vario 0,16 horas, se concluye que la diferenciación se debe a los puntos de inflexión en la velocidad decreciente derivados por perdidas de calor al cerrar y abrir el secador para la toma de información.