

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO – PUNO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



“EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DE OCA (*Oxalis
tuberosa* Mol) EN EL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN A BAJAS
TEMPERATURAS ASISTIDO POR ULTRASONIDO”

TESIS

PRESENTADA POR:

JENNY MARIBEL HANCCO ZAGA
PEDRO NICOYANI MAMANI ORDOÑEZ

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

PROMOCIÓN: 2014-I, 2014-II

PUNO - PERÚ

2017

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO – PUNO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

“EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DE OCA (*Oxalis tuberosa*
Mol) EN EL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN A BAJAS TEMPERATURAS
ASISTIDO POR ULTRASONIDO”

TESIS

PRESENTADA POR:

JENNY MARIBEL HANCCO ZAGA
PEDRO NICOYANI MAMANI ORDOÑEZ

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 01 DE FEBRERO DE 2017

APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE	:	 Ing. M. Sc. Pablo PARI HUARCAYA
PRIMER MIEMBRO	:	 Ing. M. Sc. Florentino Víctor CHOQUEHUANCA CÁCERES
SEGUNDO MIEMBRO	:	 Ing. M. Sc. Marielena CALSIN CUTIMBO
DIRECTOR DE TESIS	:	 Ing. Edgar GALLEGOS ROJAS
ASESOR DE TESIS	:	 Ing. Whany QUISPE CHAMBI

PUNO - PERÚ

2017

Área: Ingeniería y tecnología
Tema: Propiedades físicas y estructurales

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos en primer lugar a Dios por permitirnos a seguir adelante, fortaleciendo nuestro desempeño para realizar ésta investigación.

A nuestras familias por el amor y gran apoyo que nos brindan.

Al Ing. Edgar Gallegos Rojas, nuestro Director de Tesis, por su apoyo incondicional, por sus apreciados y relevantes aportes, por sus comentarios y sugerencias durante el desarrollo de ésta investigación.

A la Ing. Whany Quispe Chambi, asesor de nuestra Tesis, por su constante apoyo, comentarios y sugerencias durante la realización de ésta investigación.

Al Ing. José Manuel Prieto y al Ing. Thomas Ancco Vizcarra, por su apoyo incondicional, por compartir sus experiencias y aportes, por alentarnos a seguir en marcha con nuestra investigación.

A la Universidad Nacional del Altiplano, a la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, por acogernos en sus aulas y laboratorios para llevar acabo adelante esta investigación.

A nuestros amigos y compañeros por su apoyo moral e intelectual, especialmente a Paulina y Amparo.

A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, por sus enseñanzas y motivación.

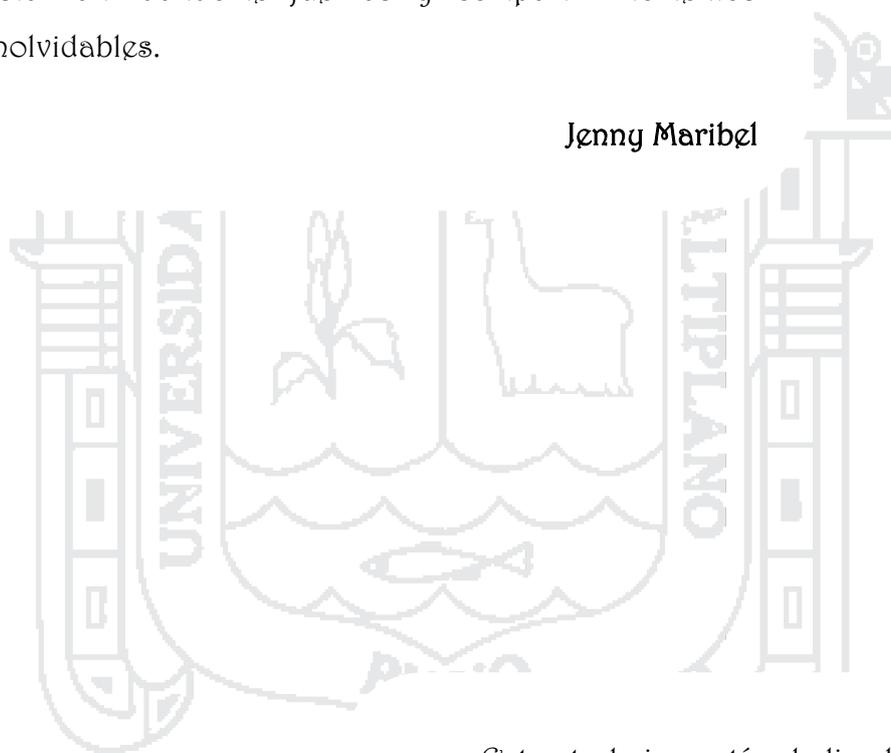
A los laboratoristas de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, por su disposición y labor que desempeñan en favor de nuestra formación profesional.

A todos quienes nos prestaron su ayuda y apoyo, a quienes nos criticaron, e hicieron posible la realización de ésta investigación.

DEDICATORIA

Dedicado a mis padres Sr. Roger y Sra. Sabina, por apoyo incondicional, moral y económica en mi formación profesional, por sus consejos, su ejemplo, por confiar en mi sobre todas las adversidades, a mis hermanos Beny, Luz, Walter y Nataly, a mi pequeña princesita Dafne que siempre estuvieron para motivarme, a mi gran amor y compañero de trabajo por estar ahí dándome fuerzas y compartir momentos inolvidables.

Jenny Maribel



Este trabajo está dedicado a la memoria de mi madre Teresa Ordoñez, por su amor, apoyo y ser mi maestra, guía y tutor en mi formación personal y profesional.

Pedro Nicoyani

NOMENCLATURA

US	: ultrasonidos
INEI	: Instituto Nacional de Estadística e Informática
MINSA	: Ministerio de Salud
g	: gramos
Mg	: miligramos
a_w	: actividad de agua
W	: contenido de humedad de monocapa (kg de agua/ kg solidos secos)
W_m	: contenido de humedad de monocapa (kg de agua/ kg solidos secos)
S	: constante del modelo BET correspondiente a la forma sigmoideal de la curva de sorción
W_c	: humedad crítica del producto
W_o	: humedad inicial del producto
W_f	: humedad final del producto
W_e	: humedad de equilibrio del producto
hbs	: humedad en base seca
hbh	: humedad en base húmeda
D_e	: difusividad efectiva (m^2/s)
AA	: ácido ascórbico
kHz	: kilo Hertz
CAS N°	: número de registro único de compuestos químicos CAS (Chemical Abstracts Service)
rpm	: revoluciones por minuto
ANVA	: análisis de varianza
%CV	: porcentaje de variabilidad
SC	: suma de cuadrados
GL	: grados de libertad
CM	: cuadrado medio

ÍNDICE

RESUMEN	11
I. INTRODUCCIÓN	12
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	14
2.1. GENERALIDADES OCA (Oxalis tuberosa Mol).....	14
2.1.1. Taxonomía	14
2.1.2. Composición química	15
2.2. DESHIDRATACIÓN DE ALIMENTOS	15
2.2.1. Actividad de agua (a_w)	15
2.2.2. Isoterma de sorción	16
2.2.3. Mecanismos de la deshidratación	17
2.2.4. Factores que influyen en la velocidad de deshidratación.....	20
2.2.5. Efectos en los alimentos durante la deshidratación	21
2.3. DESHIDRATACIÓN ASISTIDO POR ULTRASONIDOS.....	23
III. MATERIALES Y MÉTODOS	25
3.1. LUGAR EXPERIMENTAL	25
3.2. MATERIA PRIMA	25
3.3. INSUMOS Y REACTIVOS	25
3.4. MATERIALES Y EQUIPOS.....	26
3.4.1. Materiales.....	26
3.4.2. Equipos.....	26
3.4.3. Software empleado.....	27
3.5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	27
3.5.1. Sistema de deshidratación	27
3.5.2. Cinética de deshidratación	34
3.5.3. Evaluación de las Propiedades fisicoquímicas.....	35
3.6. MÉTODOS DE ANÁLISIS.....	40

3.6.1. Cinética de deshidratación	40
3.6.2. Evaluación de las Propiedades fisicoquímicas.....	44
3.7. FACTORES DE ESTUDIO	44
3.7.1. Cinética de deshidratación	44
3.7.2. Propiedades fisicoquímicas.....	45
3.8. DISEÑO EXPERIMENTAL	45
3.8.1. Cinética de deshidratación	45
3.8.2. Evaluación de las Propiedades fisicoquímicas.....	46
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES	47
4.1. SISTEMA DE SECADO ULTRASÓNICO	47
4.2. CINÉTICA DE DESHIDRATACIÓN	49
4.2.1. Isotermas de Sorción.....	49
4.2.2. Influencia de la temperatura del aire de secado	52
4.2.3. Influencia de los ultrasonidos de potencia en la cinética de secado	54
4.2.4. Coeficiente de Difusividad efectiva.....	58
4.3. EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS	59
4.3.1. Análisis proximal	59
4.3.2. Contenido de ácido ascórbico	60
4.3.3. Variación de color.....	61
4.3.4. Textura	62
4.3.5. Valores de densidad y volumen	64
CONCLUSIONES	68
RECOMENDACIONES.....	69
BIBLIOGRAFÍA	70
ANEXOS	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1 Composición Química de la oca (por cada 100g de muestra).....	15
Tabla N° 2 Sales utilizadas para la determinación de las isothermas de sorción.	34
Tabla N° 3 Ecuaciones de los modelos matemáticos.	40
Tabla N° 4 Valores de coeficientes del modelado de isothermas y R ²	49
Tabla N° 5 Valores de humedad de equilibrio para cada experiencia.....	51
Tabla N° 6 Análisis de varianza para tiempo (segundos).....	56
Tabla N° 7 Valores de difusividad efectiva (De m ² /s) en la cinética de secado.....	58
Tabla N° 8 Análisis proximal (oca - Oxalis tuberosa Mol).	59
Tabla N° 9 Contenido de Ácido ascórbico por 100g de muestra.....	60
Tabla N° 10 Análisis de varianza para contenido de ácido ascórbico.....	61
Tabla N° 11 Análisis de varianza para variación del color (ΔE*).....	62
Tabla N° 12 Análisis de varianza para textura (dureza).....	63
Tabla N° 13 Análisis de varianza para la densidad	65
Tabla N° 14 Análisis de varianza para la variación de volumen.....	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1 <i>Oxalis tuberosa</i> Mol.	14
Figura N° 2 Isoterma típico para alimentos secos.	16
Figura N° 3 Curvas típicas de deshidratado.....	19
Figura N° 4 Sistema de deshidratación a bajas temperaturas asistido por ultrasonidos. 28	
Figura N° 5 Disposición de las muestras de oca en la cámara de secado.....	29
Figura N° 6 Diagrama de conexión para el sensor de temperatura DS18B20.....	29
Figura N° 7 Diagrama de conexión para relé.	29
Figura N° 8 Diagrama de conexión para control de velocidad de motor de 12v.....	30
Figura N° 9 Diagrama de conexión del generador de ultrasonidos.	30
Figura N° 10 Diagrama de conexión celda de carga, amplificador HX711.	31
Figura N° 11 Conexiones para el sensor de temperatura y humedad DHT22.....	32
Figura N° 12 Diagrama de conexión del módulo microSD.....	32
Figura N° 13 Diagrama de tarjeta de adquisición de datos.....	33
Figura N° 14 Diagrama de flujo para cinética de deshidratación.....	35
Figura N° 15 Componentes del prototipo y tarjeta de adquisición de datos.....	47
Figura N° 16 Detalles del sistema de frío acondicionado y bandejas de secado.....	47
Figura N° 17 Sistema de control de datos.....	48
Figura N° 18 Ajuste de los modelos matemáticos para las isotermas de oca.....	50
Figura N° 19 Curvas para isotermas de oca, experimental y modelado	50
Figura N° 20 Cinéticas de secado sin aplicación de ultrasonidos a 5, 10 y 15 °C	52
Figura N° 21 Cinética de secado a 25 kHz.	53
Figura N° 22 Cinética de secado a 50 kHz.	53
Figura N° 23 Cinética de secado a 75 kHz.	54
Figura N° 24 Cinética de secado a 5 °C.	54

Figura N° 25 Cinética de secado a 10 °C. 55

Figura N° 26 Cinética de secado 15 °C. 55

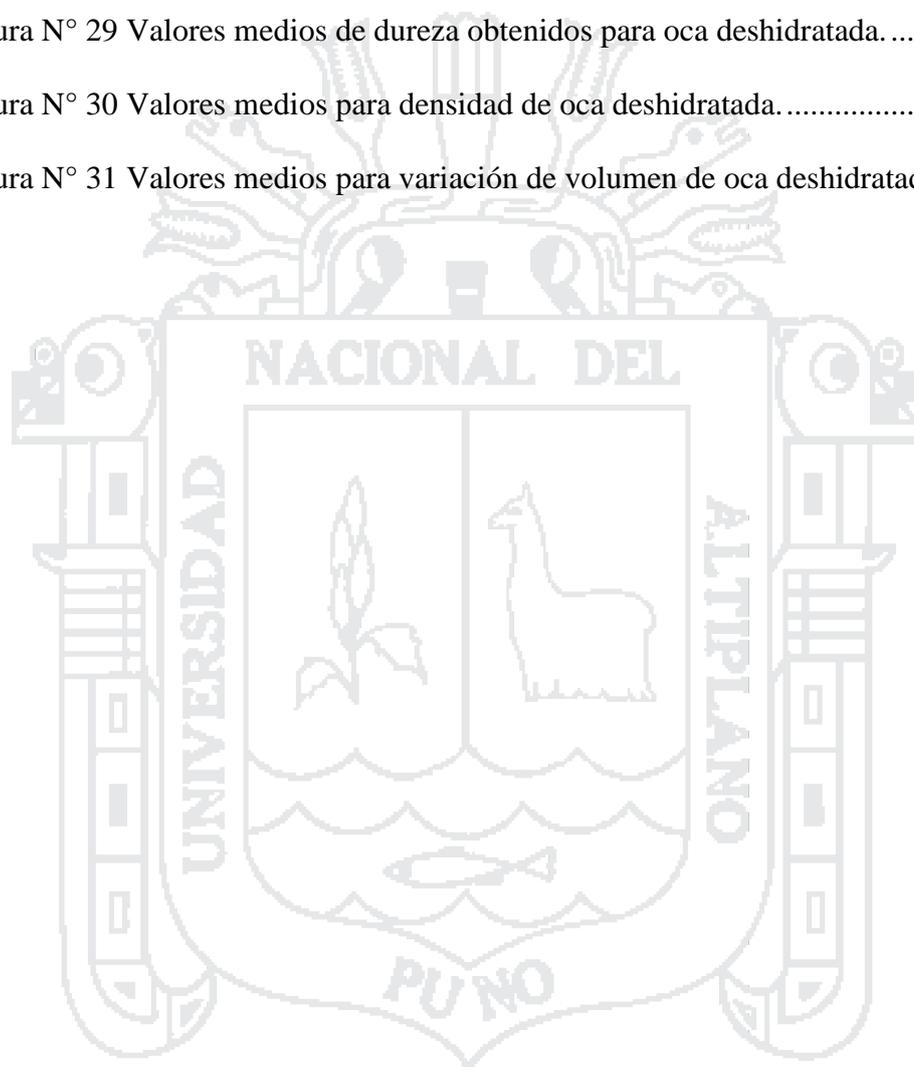
Figura N° 27 Media de tiempos de secado a frecuencias y temperaturas de estudio. 57

Figura N° 28 Valores de variación de color (ΔE^*), en el deshidratado de oca. 61

Figura N° 29 Valores medios de dureza obtenidos para oca deshidratada. 63

Figura N° 30 Valores medios para densidad de oca deshidratada. 65

Figura N° 31 Valores medios para variación de volumen de oca deshidratada. 66



RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar las propiedades fisicoquímicas de oca (*Oxalis tuberosa* Mol), variedad keni rosada, en el proceso de deshidratación a bajas temperaturas asistido por ultrasonidos, para ello se implementó un sistema de deshidratación con una tarjeta de adquisición de datos, utilizando el microcontrolador ATmega2560 de la placa electrónica Arduino MEGA, éste sistema registra automáticamente los datos de pérdida de peso, temperatura, humedad relativa y frecuencia ultrasónica a intervalos de tiempo programables. Inicialmente se determinó la humedad en equilibrio de la oca a 20°C mediante las isotermas de sorción, ajustado por los modelos matemáticos: Oswin, Halsey modificado, Guggenheim-Anderson-DeBoer (GAB) y Brunauer, Emmet y Teller (BET), de los cuales, el modelo que presentó mejor ajuste, fue el modelo de BET con un R^2 de 0.9708 cuyo valor de la monocapa (W_m) fue de 0.03598 kg H_2O /kg de s.s. Los tratamientos de deshidratación, se realizaron en rodajas de oca con dimensiones 0.008215 m de radio y 0.002 m de espesor, con una velocidad de flujo de aire de 3 ± 0.5 m/s, con temperaturas de 15 °C, 10 °C, 5 °C, y frecuencias de ultrasonido de 75 kHz, 50 kHz, 25 kHz y 0 kHz. La aplicación de los ultrasonidos de potencia permitió reducir significativamente ($p < 0.05$) el tiempo de deshidratación en todos los tratamientos, siendo de 4h 56m para el tratamiento de 15 °C con 0 kHz (sin ultrasonido) y 3h 8m para los tratamientos de 15 °C con 50 kHz de frecuencia ultrasónica, lo que representa una reducción del 36% en comparación con el tratamiento sin ultrasonido (0 kHz). En la evaluación de las propiedades fisicoquímicas no se halló efecto significativo ($p > 0.05$) de los ultrasonidos ni de la temperatura sobre contenido de ácido ascórbico, ni sobre la variación de color de oca deshidratada, sin embargo, sobre la textura, el volumen y la densidad, si se halló efecto significativo ($p < 0.05$) de los ultrasonidos y temperatura, sobre las muestras de oca deshidratada. Por lo tanto, la aplicación de ultrasonido a bajas temperaturas, influyen significativamente en la reducción del tiempo de deshidratación, sin afectar de manera significativa las propiedades fisicoquímicas de la oca.

Palabras claves: *Oxalis tuberosa*, cinética de deshidratación, isotermas, ultrasonidos de potencia, propiedades fisicoquímicas.

I. INTRODUCCIÓN

La oca (*Oxalis tuberosa* Mol) es un tubérculo andino con alto contenido de nutrientes, tales como ácido ascórbico (Vitamina C), es el segundo producto más cultivado después de la papa, dicha producción, según el INEI, en el 2014 ascendió a 91,000 Tm a nivel nacional, de los cuales, 31,560 Tm corresponden a la producción de la región Puno; la mayor parte de ésta producción es destinada para el consumo directo (INEI, 2015). Por otro lado, es un producto de cultivo anual, disponible entre los meses de marzo y julio de cada año (Tapia & Fries, 2007).

Uno de los modos de promover la disponibilidad continua, es utilizando métodos de conservación como la deshidratación, existen diversos métodos de deshidratación, siendo el más usado y ventajoso, la deshidratación por convección con aire caliente (Singh & Heldman, 2009), sin embargo, al someter los alimentos a altas temperaturas se pueden alterar las propiedades fisicoquímicas del mismo, provocando cambios indeseables como la pérdida de elementos volátiles, cambios en la textura, encogimiento, disminución de componentes bioactivos, cambios de color, etc. (Colina, 2010), para optimizar ésta técnica de deshidratación, se emplean tecnologías combinadas que permiten reducir el tiempo de deshidratación y disminuir la variación de las propiedades fisicoquímicas, dentro de ellos se encuentran los ultrasonido de potencia, utilizado en combinación con la deshidratación y/o secado por convección a bajas temperaturas (Colina, 2010), (Contreras & García, 2014). La incidencia de las ondas ultrasónicas sobre los alimentos, producen cambios rápidos y localizados de presión y temperatura provocando la cavitación de las moléculas de agua dentro de la matriz sólida, favoreciendo la eliminación de humedad (Awad & Moharram, 2012).

Por ello se determinó los parámetros de deshidratación a bajas temperaturas asistido por ultrasonido para la oca, variando la temperatura y frecuencia ultrasónica, evaluando el cambio producido en las propiedades fisicoquímicas, así como la evaluación de la cinética de secado, planteando los siguientes objetivos:

1. Implementar un sistema de deshidratación con aire convectivo a bajas temperaturas asistido por ultrasonidos de potencia.
2. Evaluar la influencia de la temperatura del aire de secado y de la frecuencia

- ultrasónica, en la cinética de deshidratación de oca.
3. Determinar y evaluar la influencia de los ultrasonidos de potencia y la temperatura en las propiedades fisicoquímicas de oca deshidratada.



II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. GENERALIDADES OCA (*Oxalis tuberosa* Mol)

La oca (*Oxalis tuberosa* Mol) (Figura N° 1) es un cultivo originario de los andes, cultivado principalmente en las tierras altas de Ecuador, Perú y Bolivia, pero también se encuentra en algunas partes de Chile, Argentina, Colombia y Venezuela. La forma del tubérculo se extiende de forma ovoide a cilíndrica y claviformes. El color de la superficie varía de blanco a crema, amarillo, naranja, rosa y morado. Es considerada como una buena fuente de carbohidratos, así como ácido ascórbico o vitamina C (Flores, et al. 2003). Se almacena a temperatura ambiente, los tubérculos se mantienen en buen estado durante un tiempo aproximado de 14 días. Luego de este tiempo son perceptibles los daños por hongos y otros factores fisiológicos (Tapia & Fries, 2007). (Flores, Walker, Guimaraes, & Vivanco, 2003)



Figura N° 1 *Oxalis tuberosa* Mol.

Fuente: Molina s/a.

2.1.1. Taxonomía

Nombre científico: *Oxalis tuberosa* Mol,

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Geraniales

Familia: Oxalidaceae

Género: *Oxalis*

Especie: *tuberosa*

Fuente: (Nieto, 2004)

2.1.2. Composición química

En la Tabla N° 1 se detalla la composición química de la oca fresca, según se establece en la Tabla Peruana de composición de los alimentos (MINSAL, 2009), así como los resultados obtenidos por Cajamarca (2010), León y Villacorta (2011).

Tabla N° 1 Composición Química de la oca (por cada 100g de muestra)

Componente	MINSAL (2009)	Cajamarca (2010)	León y Villacorta (2011)
Humedad (g)	84.1	80.10	86.79
Proteínas (g)	1.0	1.10	0.77
Grasa total (g)	0.6		0.47
Cenizas (g)	1.0	3.90	0.78
Fibra cruda (g)	1.0	0.80	0.78
Carbohidratos (g)	13.3		10.41
Vitamina C (mg)	38.40		39.68

Fuente: Recopilación propia, (León & Villacorta, 2011).

2.2. DESHIDRATACIÓN DE ALIMENTOS

La deshidratación y/o secado se define como aquella operación unitaria mediante la cual se elimina la mayor parte del agua de los alimentos, el objetivo principal consiste en prolongar la vida útil de los alimentos por reducción de su actividad de agua (Fellows, 2000). Al reducir el contenido de agua de un alimento hasta un nivel muy bajo se elimina la posibilidad de su deterioro biológico y se reducen apreciablemente las velocidades de otros mecanismos de deterioro. Además del efecto conservante, mediante la deshidratación se reducen el peso y el volumen del alimento, aumentando la eficacia de los procesos de transporte y almacenaje (Singh & Heldman, 2009).

2.2.1. Actividad de agua (a_w)

El término (a_w) determina el grado de interacción del agua con los demás constituyentes de un alimento y es una medida indirecta del agua disponible para realizar las diferentes reacciones químicas y bioquímicas que pueden suscitarse en dicho alimento, la (a_w) puede determinarse mediante la relación entre la presión de vapor de agua contenida en un alimento a una temperatura dada y la presión de vapor de agua pura a la misma temperatura, como la presión está relacionado con la humedad relativa, la

actividad de agua se define como la humedad relativa de equilibrio dividida por 100 (Colina, 2010), (Singh & Heldman, 2009).

2.2.2. Isoterma de sorción

Se denomina isoterma de sorción a las representaciones que interrelacionan el contenido de agua (expresado en masa de agua por unidad de materia seca) de un alimento con su actividad de agua a temperatura constante y bajo condiciones de equilibrio, de la cual resultan dos curvas de velocidad de sorción, donde en el eje de las x se coloca la a_w , y en el eje de las y la humedad en base seca. El estado de equilibrio isoterma, depende del método en que ha sido alcanzado; si es ganancia de agua, se denomina adsorción; y al contrario si hay una reducción de esta humedad (pérdida de agua), se denomina desorción (Vélez, 2001). Además, permite predecir el comportamiento del producto si se conocen las condiciones a las que va a ser almacenado (Chenoll, 2008).

En la Figura N° 2 se muestra la relación existente entre la humedad y la actividad de agua para la mayoría de los alimentos, la forma sigmoïdal de la isoterma es típica en los alimentos secos (Singh & Heldman, 2009).

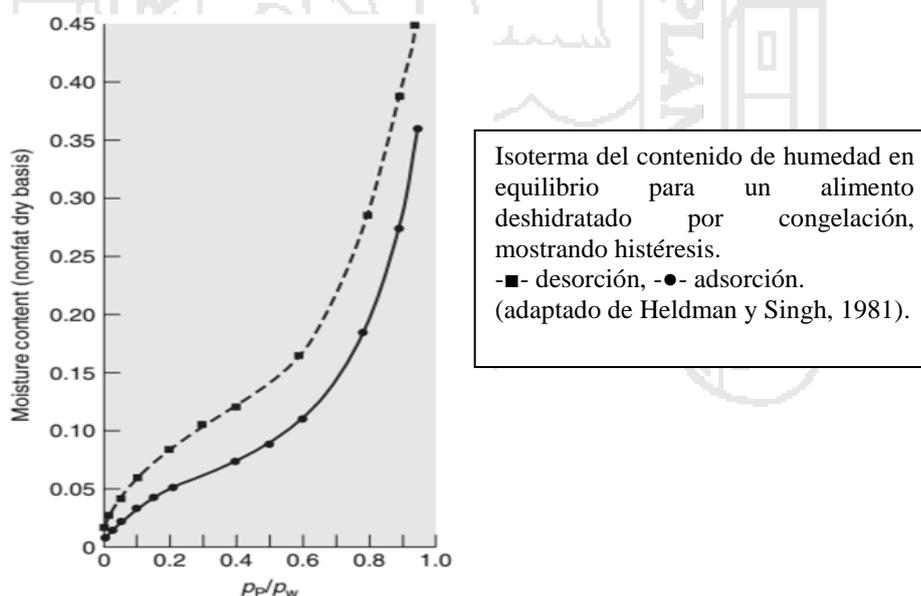


Figura N° 2 Isoterma típico para alimentos secos.

Fuente: Singh y Heldman (2009).

A. Monocapa de BET

Es utilizada para estimar el contenido de humedad final que le confiere estabilidad fisicoquímica y microbiológica a un producto deshidratado, que puede considerarse como

equivalente al agua adsorbida a las moléculas por grupos oxidrilos, carbonilos, amino, en la superficie del producto. El valor de “humedad de monocapa” (W_m) es específico para cada producto y condiciones de almacenamiento y puede ser estimado mediante una relación matemática conocida como Modelo BET (Brunawer, Emmet y Teller) (Colina, 2010). Esta relación se expresa:

$$\frac{a_w}{W(1 - a_w)} = \frac{1}{W_m S} + \frac{S - 1}{W_m S} a_w$$

Donde:

- a_w : Actividad de agua.
- W : Contenido de humedad (kg agua/kg solidos secos).
- W_m : Contenido de humedad de monocapa (kg agua/kg solidos secos).
- S : Constante correspondiente a la forma sigmoidea de la curva de sorción.

Chenoll (2008), determinó las isoterma de sorción de yuca fresca a 30 °C, obteniendo valores de la monocapa de 0.044 kgH₂O/kg s.s., $C = -12.15$ con un R^2 de 0.98 para el modelo de BET, mientras que los valores de la monocapa fue 0.048 kgH₂O/kg s.s., $C = -20.83$ y un R^2 de 0.92 para el modelo de GAB. Las curvas de la humedad kgH₂O/kg s.s. con la a_w resultaron con la forma sigmoideal, típica para isotermas de sorción en los alimentos.

Liendo y Zapata (2000), determinaron las isotermas de sorción de papa y camote a 15, 20, 25, y 30°C, usando el método gravimétrico, obtuvo que el modelo de GAB tuvo mejor ajuste con un R^2 de 0.99, el valor de la monocapa fue de 0.044 (kg H₂O/kg s.s.) y valor de la constante $C = 8.19$ para la papa, mientras que para el camote el valor de la monocapa fue de 0.088 (kg H₂O/kg s.s.) y valor de la constante $C = 3.58$; para el modelo de BET el valor de la monocapa fue 0.038 (kg H₂O/kg s.s.) y valor de la constante $C = 10.73$ en el caso de papa y 0.073 (kg H₂O/kg s.s.), valor de la constante $C = 3.51$ para el camote.

2.2.3. Mecanismos de la deshidratación

Al secar un sólido húmedo con aire caliente, el aire aporta al producto tanto calor sensible como el calor latente de evaporación, y también actúa como acarreador de la humedad que se está evaporando del sólido. Cuando se coloca un producto sólido húmedo en contacto con una corriente de aire caliente y se mantiene constante la temperatura,

humedad, velocidad y dirección del flujo de aire sobre el sólido, se logrará deshidratar el sólido. Si el cambio en el contenido de humedad del producto expresado en base seca (kg agua/kg de sólidos secos) se va registrando a intervalos pequeños de tiempo durante todo el proceso de deshidratación (Colina, 2010), los datos se obtienen experimentalmente y se grafican en las llamadas curvas típicas de deshidratación, que se distinguen en varias etapas del proceso de deshidratación:

A) Curvas típicas de deshidratación

La determinación de las curvas permite representar gráficamente la variación de diversos parámetros a medida que transcurre el proceso de deshidratación. Las curvas de mayor interés en la descripción de la cinética de deshidratación son: humedad en base seca - tiempo, y velocidad de deshidratación - humedad en base seca (Colina, 2010). En la Figura N° 3 Curvas típicas de deshidratado.

se muestran las curvas típicas en el proceso de deshidratación.

- 1) **Etapas A-B (periodo de estabilización de las condiciones)**, es decir, la superficie del sólido se equilibra con el aire de deshidratación y alcanza a su temperatura de evaporación. Normalmente esta etapa suele despreciarse en el proceso total, aunque en algunos casos puede ser importante (Colina, 2010).
- 2) **Etapas B-C (periodo de velocidad constante)**, en esta etapa lo que evapora es el agua libre que se elimina fácilmente, en tanto que la superficie del producto se mantiene saturada de agua, debido a que el movimiento de agua desde el interior del producto hasta la superficie ocurre a la misma velocidad que la de evaporación en la superficie. La deshidratación tiene lugar por el movimiento del vapor de agua, desde la superficie saturada del producto hacia la corriente de aire de deshidratado. Durante esta etapa la velocidad de transferencia de masa se equilibra con la transferencia de calor de forma que la temperatura en la superficie se mantiene constante y corresponde a la temperatura de bulbo húmedo del aire de deshidratado (Colina, 2010).
- 3) **Etapas C-D y D-E (velocidad decreciente)**, debido a que muchas veces no se distinguen entre sí, se le consideraba como una sola etapa. Cuando el contenido de agua del alimento desciende por debajo de la humedad crítica, la velocidad de la deshidratación se hace paulatinamente más lenta, acercándose a cero al alcanzarse el contenido de agua en equilibrio. Es decir, el alimento se equilibra con el aire.

Los alimentos no higroscópicos poseen un solo periodo de velocidad decreciente (etapa C-D), mientras que en los higroscópicos poseen dos (etapa D-E) o más (Colina, 2010).

4) Humedad crítica (Wc)

Es el contenido de humedad que tiene el producto a secarse en el momento en que hay una transición en la velocidad de deshidratado a velocidad constante pasa a velocidad decreciente. El punto en el cual termina la intensidad de la desecación se llama contenido crítico de humedad (Colina, 2010).

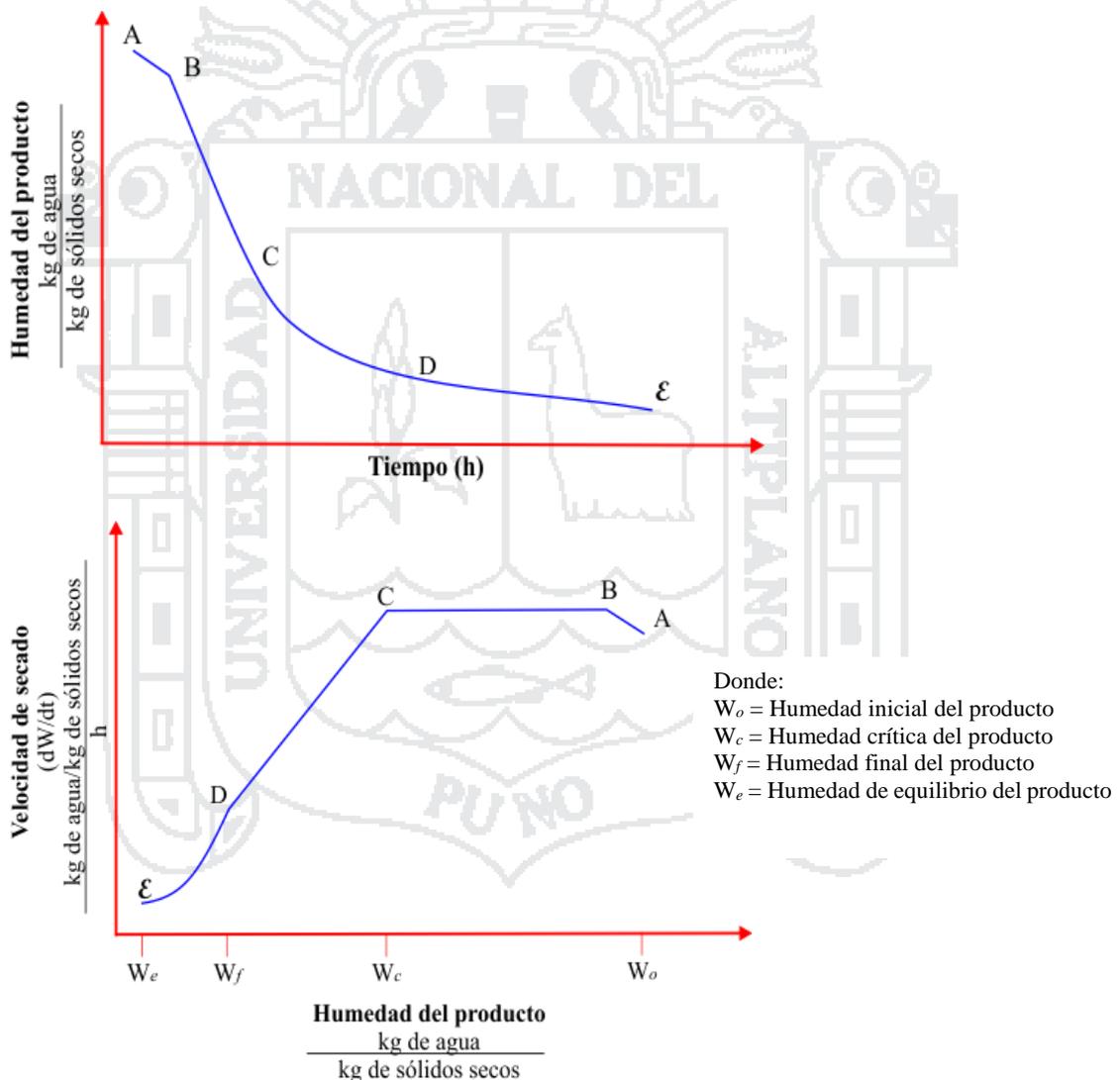


Figura N° 3 Curvas típicas de deshidratado.

Fuente: (Colina, 2010)

B) Coeficiente de difusividad efectiva

La determinación del coeficiente de difusión del agua o difusividad efectiva es importante para analizar o modelizar un sistema de deshidratación, con el fin de cuantificar, analizar y controlar las operaciones de transferencia de materia que tienen lugar en la deshidratación (Clemente, 2003).

2.2.4. Factores que influyen en la velocidad de deshidratación

Existen diversos factores que influyen en el proceso de deshidratación, entre ellos predominan:

- ✓ **Temperatura del aire:** Cuando se emplea aire a altas temperaturas se incrementa la velocidad de transferencia de calor, lo cual trae como consecuencia mayor velocidad de evaporación. Por otra parte, la humedad relativa del aire decrece conforme aumenta la temperatura del mismo, lo cual aumenta el gradiente de la humedad entre el aire y la superficie del producto y acelera la remoción del agua del producto. Así mismo la difusión interna del agua del producto se incrementa a altas temperaturas debido a que las moléculas de agua migran con mayor rapidez conforme aumenta la temperatura, por lo que la velocidad de deshidratación tanto en el periodo de velocidad constante y decreciente se ven favorecidas, por las altas temperaturas del proceso (Colina, 2010).
- ✓ **Velocidad del aire:** Un incremento en la velocidad del aire, y su consecuente aumento en la turbulencia de la corriente, aumenta la velocidad de la transferencia de masa por convección y, por consiguiente, aumenta la velocidad de deshidratación (Colina, 2010).
- ✓ **Humedad relativa del aire:** El gradiente de humedad entre el aire de deshidratación y la superficie del producto es la fuerza impulsora para transferencia externa de masa, en este caso la remoción del agua del producto. Cuanto menor sea la humedad relativa del aire mayor será dicho gradiente y, por ende, mayor la velocidad de deshidratación. Tiene mayor efecto en el periodo de velocidad constante porque es controlado por la resistencia superficial a la evaporación, la cual se reduce cuando se emplea un aire con una baja humedad relativa. La humedad relativa del aire al final del proceso

también determina la humedad de equilibrio del producto, una vez alcanzada el equilibrio el alimento no puede deshidratarse más (Colina, 2010).

2.2.5. Efectos en los alimentos durante la deshidratación

Todos los productos sufren cambios durante la deshidratación y almacenamiento, éstos cambios se traducen en una reducción de su calidad comparada con la del producto fresco. El objetivo de las mejoras en las tecnologías de deshidratación consiste en minimizar estos cambios maximizando la eficiencia del proceso (Fellows, 2000).

Entre los cambios fisicoquímicos es pueden mencionar los siguientes:

A. Textura

En los alimentos las pérdidas de textura están provocadas por la gelatinización del almidón, la cristalización de la celulosa y por tensiones internas provocadas por variaciones localizadas en el contenido en agua durante la deshidratación. Estas tensiones dan lugar a roturas y compresiones que provocan distorsiones permanentes en las células, relativamente rígidos, confiriendo al alimento un aspecto arrugado (Fellows, 2000).

La temperatura y la velocidad de deshidratación ejercen un efecto determinante sobre la textura de los alimentos. Así, las velocidades de deshidratación rápidas y las temperaturas más elevadas provocan mayores cambios, que velocidades de deshidratación más lentas y temperaturas más bajas (Cajamarca, 2010).

B. Color

Los cambios químicos experimentados por los pigmentos derivados, el caroteno y la clorofila, están producidos por el calor y la oxidación que tienen lugar durante la deshidratación. Por lo general, cuanto más de largo es el proceso de deshidratación y más elevada la temperatura, mayores son las pérdidas de estos pigmentos (Cajamarca, 2010).

La variación de color en los alimentos durante su deshidratación se debe, también, al pardeamiento producido por las reacciones enzimáticas (Baltes, 2006). En actividades de agua menores de 0.75 se inhibe la actividad enzimática por lo que dichas reacciones no constituyen un problema en los alimentos deshidratados. Sin embargo, durante las etapas iniciales de la deshidratación, cuando el alimento aún no posee un nivel de

actividad de agua suficientemente bajo, deben evitarse algunas reacciones enzimáticas indeseables (Colina, 2010).

C. Efectos en la composición química

La deshidratación en alimentos provoca la concentración de solutos debido a la eliminación de la humedad (Colina, 2010), en el estudio realizado por Cajamarca (2010), determinó la composición química de la oca fresca, encontrando resultados para humedad 80.10%, cenizas 3.90%, proteína 1.10%, fibra 0.80%, y para oca deshidratada a 80 °C: humedad 15.10%, cenizas 7.30%, proteína 8.60%, fibra 6.80%. Por otra parte, Monar (2014) estudió los efectos de secado solar (4 horas diarias por 8 días) sobre la composición química de oca fresca variedad lluch'u oqa, obteniendo los valores: humedad 71.51%, cenizas 1.32%, proteína 1.40%, fibra 4.23%, carbohidratos 21.54%, y para oca seca: humedad 44.96%, cenizas 2.18%, proteína 3.23%, grasa 0.24%, fibra 3.62%, carbohidratos 45.77% (Monar, 2014).

D. Destrucción de nutrientes

Las degradaciones de nutrientes en los alimentos generalmente siguen una reacción de primer orden, siendo la temperatura uno de los factores que influyen de manera directa en la velocidad de reacción. La deshidratación puede reducir la digestibilidad y el valor biológico de las proteínas, así como ocasionar pérdida de algunas vitaminas como tiamina, ácido fólico, y vitamina C (Colina, 2010).

- **Pérdida de vitamina C (ácido ascórbico):** El ácido ascórbico (AA) se presenta en forma de cristales incoloros o débilmente amarillentos de olor peculiar y sabor ácido. Es muy soluble en agua, sobre todo en forma de sal sódica, moderadamente soluble en alcohol e insoluble en disolventes orgánicos. Es estable en ambientes ácidos como ciertas frutas y en su forma sólida, pero en solución se oxida con facilidad, aún más cuando se expone al calor y en presencia de catalizadores como el hierro y cobre. Por su capacidad de captar y liberar hidrógeno, su papel metabólico se ha relacionado con los fenómenos de óxido-reducción, lo que asegura una mejor absorción del hierro, ya que la forma ferrosa se absorbe preferentemente a nivel del intestino, esta vitamina se sintetiza a partir de la glucosa y galactosa (Cuamatzi, 2004). El ácido ascórbico se mantiene disuelto hasta que el contenido en agua del alimento es muy bajo y reacciona con

los solutos a mayor velocidad a medida que el proceso progresa, siendo también sensible al calor y la oxidación. Por ello, los tiempos de deshidratación deben ser cortos, las temperaturas bajas durante el almacenamiento, el contenido en agua y la concentración de oxígeno deben también mantenerse bajos (Cajamarca, 2010). Arroyo et al. (2010) determinaron el contenido de ácido ascórbico de oca fresca, encontrando el valor de 37.80 mg/100g de materia fresca. Por su parte, Cajamarca (2010) realizó la evaluación nutricional de oca fresca para el secado en bandejas a temperaturas de 70 °C, 80 °C y 90 °C, reportó un contenido de ácido ascórbico inicial de 187 mg/100g en base seca para oca fresca, obtuvo valores en porcentaje de pérdida de ácido ascórbico ascendentes a 82.01%, 61.57% y 68.55% respectivamente. (Arroyo, Arteaga, & Siche, 2010) (Cajamarca, 2010).

2.3. DESHIDRATACIÓN ASISTIDO POR ULTRASONIDOS

Los ultrasonidos (US) son una forma de energía que viajan en ondas de sonido iguales o mayores a 20000 vibraciones por segundo (20 kHz). Las aplicaciones de las ondas ultrasónicas se dividen por lo general en dos grupos: baja y alta intensidad. Las aplicaciones de US de baja intensidad ($< 1 \text{ Watt/cm}^2$), que comprenden frecuencias entre 100 kHz y 1 MHz, son aquellas cuya función principal es la de obtener información acerca del alimento (medio de propagación) sin producir cambio alguno en su estado. Por otro lado, las aplicaciones de alta intensidad ($> 1 \text{ Watt/cm}^2$), que comprenden frecuencias entre 20 kHz y 100 kHz se utilizan para producir cambios permanentes en el medio tratado, mediante la energía ultrasónica (Robles & Ochoa, 2012), (Corona & Benedito, 2014). La intensidad o potencia ultrasónica se relacionan de manera inversa, es decir que a mayor frecuencia se obtiene menor potencia y viceversa (Robles & Ochoa, 2012).

La incidencia de las ondas ultrasónicas en la superficie del alimento, genera una fuerza, si ésta es perpendicular a la superficie, se produce una onda de compresión que se mueve a través del alimento, mientras que, si la fuerza es paralela a la superficie, se produce una onda cortante. Ambos tipos de onda se atenúan conforme se propagan en el interior del alimento (Awad & Moharram, 2012). Los ultrasonidos producen cambios rápidos y localizados de presión y temperatura que provocan rupturas, cavitación de las moléculas de agua dentro de la matriz sólida favoreciendo la eliminación de humedad, adelgazamiento de las membranas celulares, calentamiento localizado y generación de

radicales libres, los cuales tienen un efecto letal sobre los microorganismos (Fellows, 2000), (Awad & Moharram, 2012).

Al atravesar un material, la onda ultrasónica, induce una serie de compresiones y descompresiones alternas en el alimento que facilitan la salida del agua al reducir la resistencia interna al transporte de materia, este fenómeno es conocido como “efecto esponja”; así mismo, disminuye la resistencia externa a la transferencia de materia, la cual controla el movimiento del agua entre la superficie del sólido y el aire, dependiendo del espesor de la capa límite de convección; para ello, la onda ultrasónica, provoca variaciones de presión en la superficie sólido-gas y crean micro corrientes y cambios en la turbulencia del aire (Awad & Moharram, 2012).

García y Carcel (2007), estudiaron la cinética de secado por convección en caqui, zanahoria y cáscara de limón, con ultrasonido (US experimentos 21,8 kHz, 75 W) y sin la aplicación de ultrasonidos, con velocidades de aire que oscilan entre 0.5 a 12 m/s, sus resultados demuestran que la velocidad del aire y las características de las materias primas juegan un papel importante en la cinética de secado de convección asistida por ultrasonidos de potencia, puesto que, estos aumentan la difusividad efectiva donde, en deshidratado de zanahorias a velocidades de 2.5 m/s obtuvieron un valor de $1.90E-10$ m²/s para tratamientos con aplicación de ultrasonidos y $1.61E-10$ m²/s para tratamientos sin ultrasonidos. Adicionalmente, para el caso de la cáscara de limón, el ultrasonido también mejoró la tasa de secado a altas velocidades del aire.

Contreras y García (2014), estudiaron la influencia de la aplicación de ultrasonidos de potencia durante el secado de manzana en la calidad del producto deshidratado. Los tratamientos de secado fueron realizadas a 2 m/s, a 10 °C y -10 °C, sin aplicación (0Watt) y con aplicación de ultrasonidos (21.9kHz) a distintas potencias (25, 50 y 75Watt). Sus resultados demostraron que la aplicación de ultrasonidos de potencia aceleró el proceso de secado, con reducciones del tiempo de secado de hasta 81.5% para la experiencia de 75Watt y -10 °C, también obtuvo una reducción de 42.2% para una potencia de 25Watt y 10 °C, comparada con los tratamientos sin ultrasonido (0 Watt). Concluyó, además, que cuanto mayor fue la potencia acústica aplicada, mayor fue la velocidad de secado (Contreras & García, 2014).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR EXPERIMENTAL

El proceso de deshidratación de la Oca (*Oxalis tuberosa* Mol) con aire convectivo aplicando ultrasonido a bajas temperaturas, así como la evaluación de la cinética de deshidratación se realizó en el Laboratorio de Ingeniería, el análisis proximal y evaluación de textura en los laboratorios de Evaluación nutricional y Pos cosecha de la EPIAI – UNA Puno, provincia y departamento de Puno, ubicado a 3825 m.s.n.m.

3.2. MATERIA PRIMA

La materia prima utilizada en este proyecto fue oca (*Oxalis tuberosa* Mol) de la variedad keni rosada, proveniente del distrito de Ilave, se utilizó 7 kg de oca fresca. Para la deshidratación se tomaron rodajas de 0.8215 cm de radio y 0.2014 cm de espesor para cada tratamiento.

3.3. INSUMOS Y REACTIVOS

A continuación, se describen los insumos y reactivos utilizados en el desarrollo y ejecución del presente trabajo.

- ✓ Agua destilada, H₂O: Laboratorio de Ingeniería EPIAI – UNA Puno, pH = 7.
- ✓ Hipoclorito de sodio, NaClO: CLOROX, concentración 4% p/p, peso molecular 74.44 g/mol, CAS-Nº: 7681-52-9.
- ✓ 2,6 diclorofenolindofenol, sal sódica hidratada, C₁₂H₆Cl₂NNaO₂.xH₂O: SIGMA ALDRICH, soluble en agua, color azul a azul profundo, peso molecular 290.08 g/mol, CAS Nº: 620-45-1.
- ✓ Ácido ascórbico, C₆H₈O₆: cristal incoloro, inodoro, sólido, soluble en agua, peso molecular 176.12 g/mol, CAS Nº: 50-81-7.
- ✓ Ácido oxálico (HOCCOOH.2H₂O): SIGMA ALDRICH, cristales blancos, inodoro, pureza 99.5%, peso molecular 126.7 g/mol, CAS Nº: 144-62-7.
- ✓ Cloruro de Litio, CLi: SOLUTEST – Lab Chem, peso molecular 42.39 g/mol, CAS Nº: 7447-41-8.
- ✓ Acetato de potasio, CH₃COOK: SOLUTEST – Lab Chem, peso molecular 98.14 g/mol, CAS-Nº: 127-08-2.

- ✓ Cloruro de Magnesio, $MgCl_2 \cdot 6H_2O$: SOLUTEST – Lab Chem, peso molecular 203.30 g/mol, CAS-Nº: 7791-18-6.
- ✓ Nitrato de Sodio, $NaNO_3$: SOLUTEST – Lab Chem, peso molecular 84.99 g/mol, CAS-Nº: 7631-99-4.
- ✓ Cloruro de Sodio, $NaCl$: SOLUTEST – Lab Chem, peso molecular 58.44 g/mol, CAS-Nº: 7647-14-5.
- ✓ Sulfato de Amonio, $(NH_4)_2SO_4$: SOLUTEST – Lab Chem, peso molecular 132.14 g/mol, CAS-Nº: 7783-20-2.
- ✓ Cloruro de Potasio, KCl : SOLUTEST – Lab Chem, peso molecular 74.55 g/mol, CAS-Nº: 7447-40-7.
- ✓ Cloruro de Bario, $BaCl_2 \cdot 2H_2O$: SOLUTEST – Lab Chem, peso molecular 244.97 g/mol, CAS-Nº: 10326-27-9.

3.4. MATERIALES Y EQUIPOS

3.4.1. Materiales

- ✓ Envases herméticos de vidrio transparente: 8 unidades con capacidad de 1L, de forma cilíndrica.
- ✓ Lunas de reloj de vidrio: 20 unidades de diámetro de 3cm aprox.
- ✓ Vasos precipitados de vidrio: BOECO®, SCHOTT Duran®, con capacidades de 20, 50 y 100ml.
- ✓ Pipetas de vidrio: HIRSCHMANN®, con capacidades de 1, 5 y 10ml.
- ✓ Erlenmeyer de vidrio: SCHOTT Duran®, con capacidades de 100 y 250ml.
- ✓ Fiolas de vidrio: SCHOTT Duran®, con capacidades de 100ml.
- ✓ Probetas de vidrio: SCHOTT Duran®, con capacidades de 100 y 250ml.
- ✓ Mortero y pilón: de material porcelana.
- ✓ Recipientes para lavado de material plástico.
- ✓ Cortador en rodajas y sacabocado de acero inoxidable
- ✓ Campana de desecación con silica-gel: de capacidad de 6 lunas de reloj.

3.4.2. Equipos

- ✓ Equipo secador por aire convectivo con ultrasonido con velocidad de aire de $3m/s \pm 0.5$, con rangos de control de temperatura de $5\text{ }^\circ\text{C}$ a $15\text{ }^\circ\text{C}$, con

rangos de generación ultrasónica de frecuencias entre 25 kHz a 75 kHz y potencia nominal de 20W.

- ✓ Estufa de bandejas: Laboratorio de Ingeniería EPIAI UNA Puno, máxima temperatura de operación hasta 65 °C.
- ✓ Balanza analítica: METTLER TOLEDO® PB3002-S, precisión de 0.01g, con capacidad máxima de 1000.00g.
- ✓ Texturómetro: BROOKFIELD® CT3, exactitud $\pm 0.5\%$ FSR (Full Scale Range), salida RS232 compatible con puerto serie USB.
- ✓ Refractómetro analógico: rango de lectura de 0 a 32% Brix, temperatura de referencia 20 °C, precisión $\pm 0.2\%$ Brix.

3.4.3. Software empleado

- ✓ Microsoft Excel® 2016 Trial versión.
- ✓ Arduino IDE® 1.6
- ✓ Fritzing© v0.9.3
- ✓ Visual Studio® 2015 Community Edition.
- ✓ Statgraphics Centurion XVI®.
- ✓ MatLab 2015®.

3.5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.5.1. Sistema de deshidratación

El sistema de deshidratación a bajas temperaturas asistido por ultrasonidos de potencia, está basado principalmente en el modelo empleado por García y Carcel (2007), el cual consta de una cámara de deshidratación y/o secado de forma cilíndrica, transductores piezoeléctricos los cuales actúan como emisores de los ultrasonidos de potencia, además de un sistema de flujo de aire que es enfriado previamente (García & Carcel, 2007). El sistema cuenta también con un sensor de peso (celda de carga) ubicado en la parte superior de la cámara de secado, las muestras a deshidratar son colocadas en las bandejas, éstas a su vez están dispuestas en un soporte el cual queda suspendido sobre dicho sensor de peso. Para efectuar las lecturas del sensor de peso, es necesario detener el flujo de aire, así como de las ondas ultrasónicas, de manera momentánea mientras se realizan las lecturas, con el fin de evitar interferencias en el proceso de lectura (García & Carcel, 2007).

En la Figura N° 4, se muestra el esquema del sistema de deshidratación ensamblado y empleado en la presente investigación.

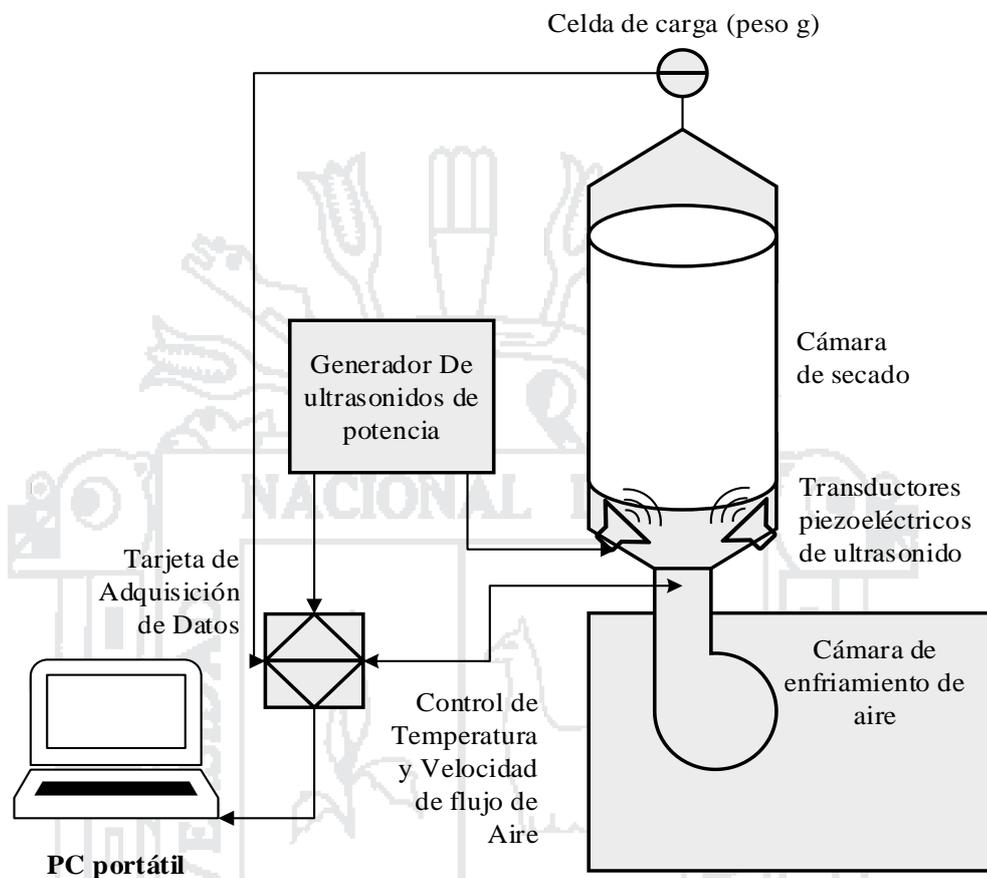


Figura N° 4 Sistema de deshidratación a bajas temperaturas asistido por ultrasonidos.

Fuente: Elaboración propia, basado en García y Carcel (2007).

A. Cámara de secado

La cámara de secado tiene forma cilíndrica, de material acero inoxidable, en su interior se ubican bandejas de mallas circulares donde se colocan las, a su vez éstas bandejas se encuentran dispuestas sobre un soporte como se observa en la Figura N° 5, éste soporte se coloca suspendido sobre la celda de carga o sensor de peso. En la parte inferior de la cámara de secado, se ubican los transductores piezoeléctricos que emiten las ondas ultrasónicas. A la entrada de la cámara de secado, se encuentra el ventilador de alta velocidad el cual fluidifica el aire frío desde la cámara de enfriamiento de aire hacia la cámara de secado (García & Carcel, 2007).

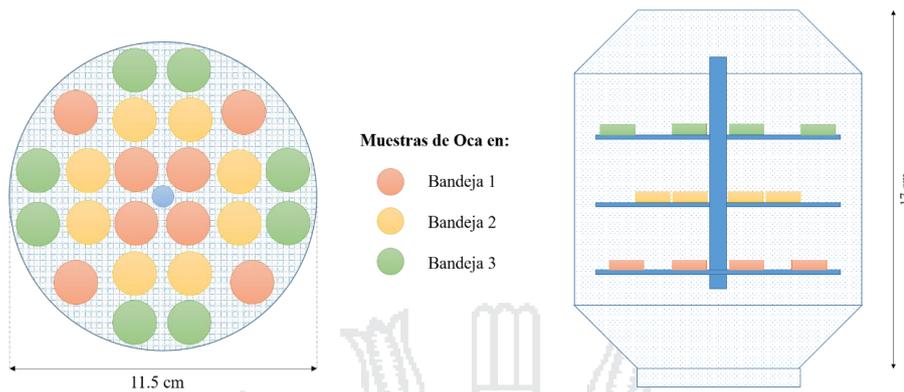


Figura N° 5 Disposición de las muestras de oca en la cámara de secado.

Fuente: Elaboración propia

B. Sistema de enfriamiento de aire

El componente principal del sistema de enfriamiento de aire, es la unidad de refrigeración por compresión, que permite trabajar a las temperaturas requeridas por el presente trabajo de investigación (5 °C, 10 °C y 15 °C). El enfriamiento del aire se lleva cabo en la cámara de enfriamiento, que se ubica previo a la cámara de secado (García & Carcel, 2007), en el interior de la dicha cámara de enfriamiento, se encuentra el serpentín del evaporador de la unidad de frío, éste compartimiento cumple, a la vez, la función de base y/o soporte para la cámara de secado. El control de la temperatura del flujo del aire de secado, se lleva a cabo a través del sensor de temperatura DS18B20 (Anexo 1.6) y un relé (Anexo 1.7) el cual se encarga de realizar el encendido y/o apagado de la mencionada unidad de refrigeración, en función al valor de temperatura obtenido (Henrys Bench, 2015) (Johnny Five Community, 2013), en las Figura N° 6 y Figura N° 7 se muestran los diagramas de conexión empleados.

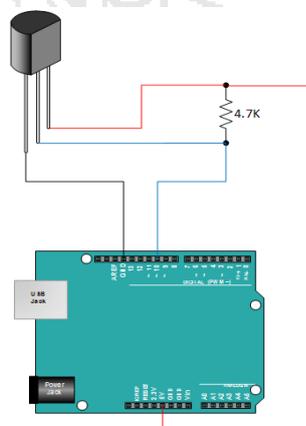


Figura N° 6 Diagrama de conexión para el sensor de temperatura DS18B20.

Fuente: Henrys Bench (2015)

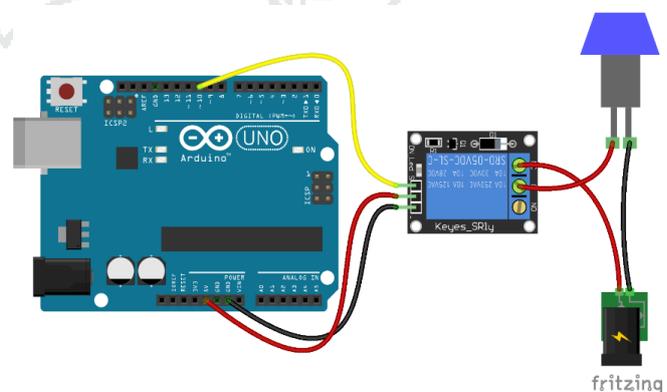


Figura N° 7 Diagrama de conexión para relé.

Fuente: Johnny Five Community (2013)

C. Sistema de fluidificación del aire frío

El sistema de fluidificación del aire frío, consiste en un ventilador conformado, a su vez, por un motor de corriente directa de alta velocidad (1500 revoluciones por minuto). Para el control de la velocidad del flujo del aire, se empleó un circuito compuesto por: un transistor TIP120, una resistencia de 1kOhm, un diodo 1N4004 y un capacitor cerámico de 1 μ F, el cual cumple la función de incrementar o disminuir la velocidad del motor; el montaje realizado se detalla en la Figura N° 8 (Arduino, 2014).

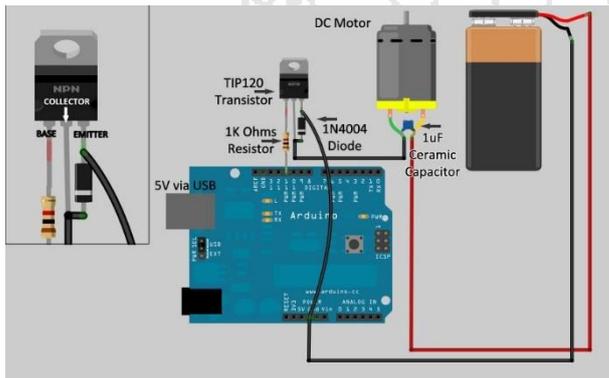


Figura N° 8 Diagrama de conexión para control de velocidad de motor de 12v.

Fuente: Arduino (2014)

D. Sistema de generación de ultrasonido

El sistema de generación de ultrasonidos consta de tres componentes principales, un generador de funciones AD9850 (Anexo 1.1), un amplificador de potencia TDA2003 (Anexo 1.2) y dos transductores piezoeléctricos. La salida del AD9850 se acopló a la entrada del circuito amplificador con TDA2003, finalmente la salida del circuito amplificador se acopló con los transductores piezoeléctricos, como se muestra en la Figura N° 9 (Owen, 2015).

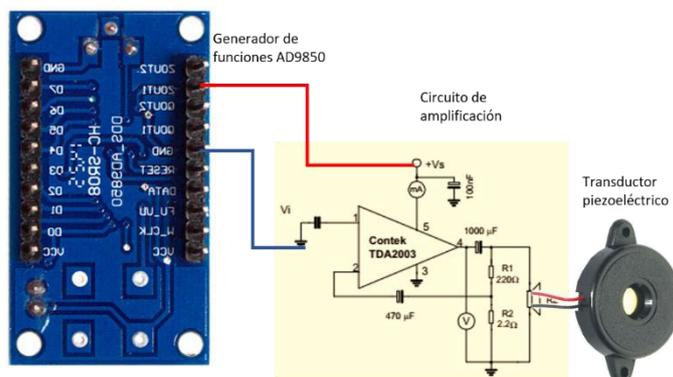


Figura N° 9 Diagrama de conexión del generador de ultrasonidos.

Fuente: Owen (2015).

E. Sistema de control y adquisición de datos

Consta de los siguientes componentes:

- Tarjeta electrónica Arduino MEGA® (Anexo 1.3), programado (Anexo 4.5).
- Celda de carga o galga extensiométrica (Anexo 1.4).
- Transmisor a 24 bits para celda de carga HX711 (Anexo 1.5)
- Control para el encendido y apagado del sistema de frío: sensor de temperatura DS18B20 (Anexo 1.6), y relé 12V 10A (Anexo 1.7).
- Lectura de temperatura y humedad: sensor DHT22 (Anexo 1.8).
- Módulo de lectura y escritura para memoria micro-SD MOD-MSDC (Anexo 1.9).
- Tarjeta de memoria micro-SD.
- Fuente de alimentación ATX, 12v y 5v (Anexo 1.10).
- Programa para la adquisición de datos: Programado en lenguaje C#, Visual Studio 2015 Community Edition (Anexo 4.6).

Para la lectura de peso (celda de carga) (Figura N° 10), lectura de temperatura y humedad (sensor DHT22) (Figura N° 11), escritura de datos en memoria microSD (Figura N° 12) se empleó los diagramas respectivos mostrados a continuación.

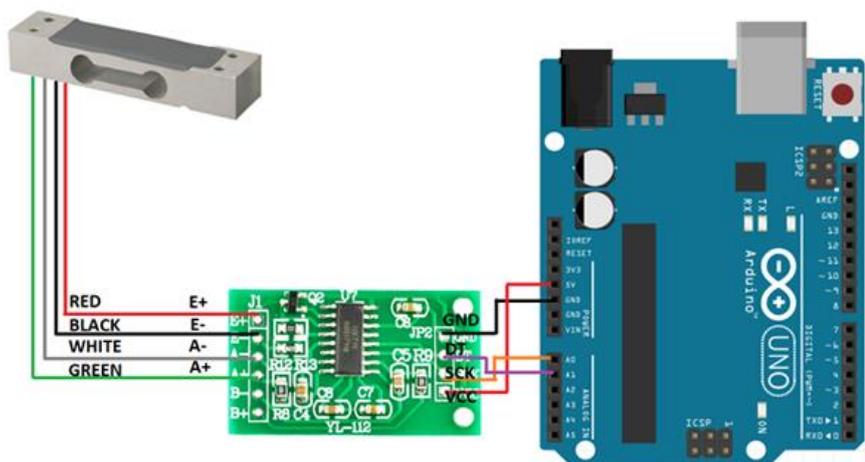


Figura N° 10 Diagrama de conexión celda de carga, amplificador HX711.

Fuente: Arduino (2016)

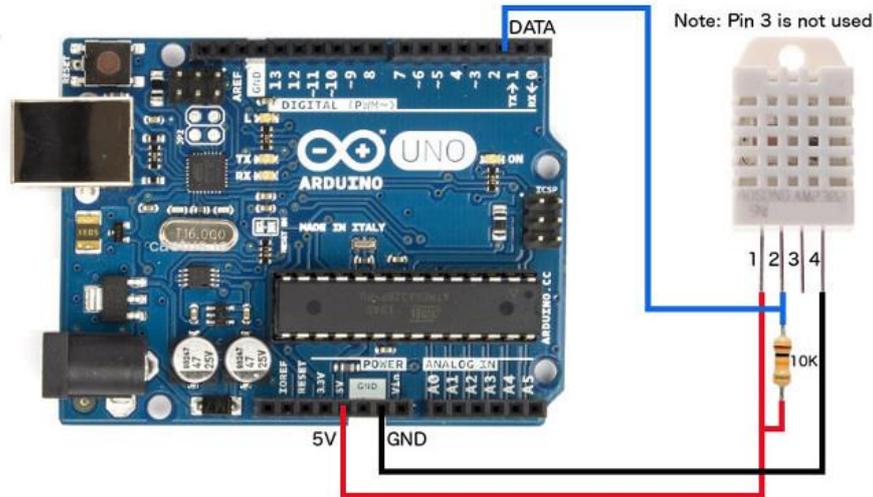


Figura N° 11 Conexiones para el sensor de temperatura y humedad DHT22.
Fuente: Nevixa Pty Ltd. (2014)

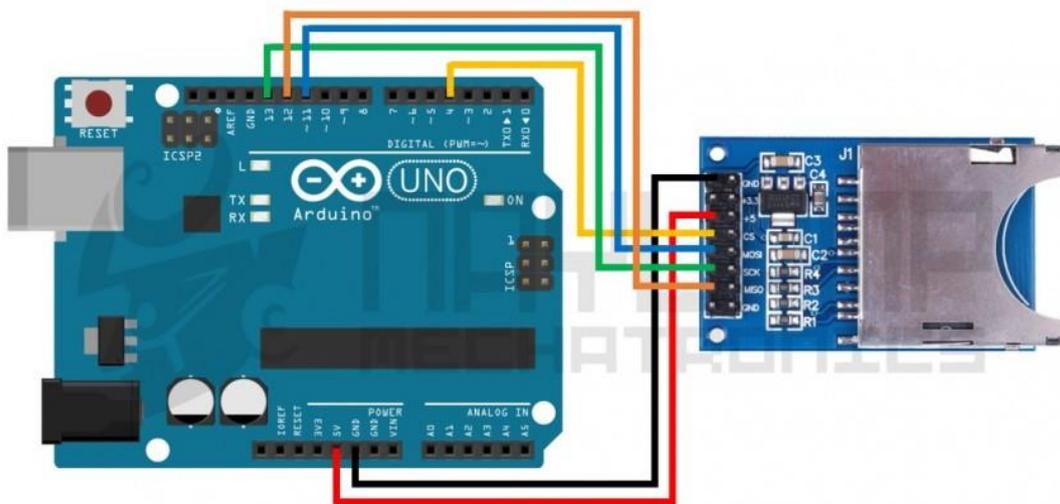


Figura N° 12 Diagrama de conexión del módulo microSD.
Fuente: Naylamp Mechatronics (2015)

F. Tarjeta de adquisición de datos

Consta de una tarjeta electrónica Arduino Mega, la cual está basada en el microcontrolador ATmega2560 (Anexo 1.3), además de cada uno de los circuitos descritos anteriormente; para la integración y/o ensamblaje de dichos componentes (Anexo 1.11), se empleó un circuito electrónico, cuyo diagrama se muestra en la Figura N° 13.

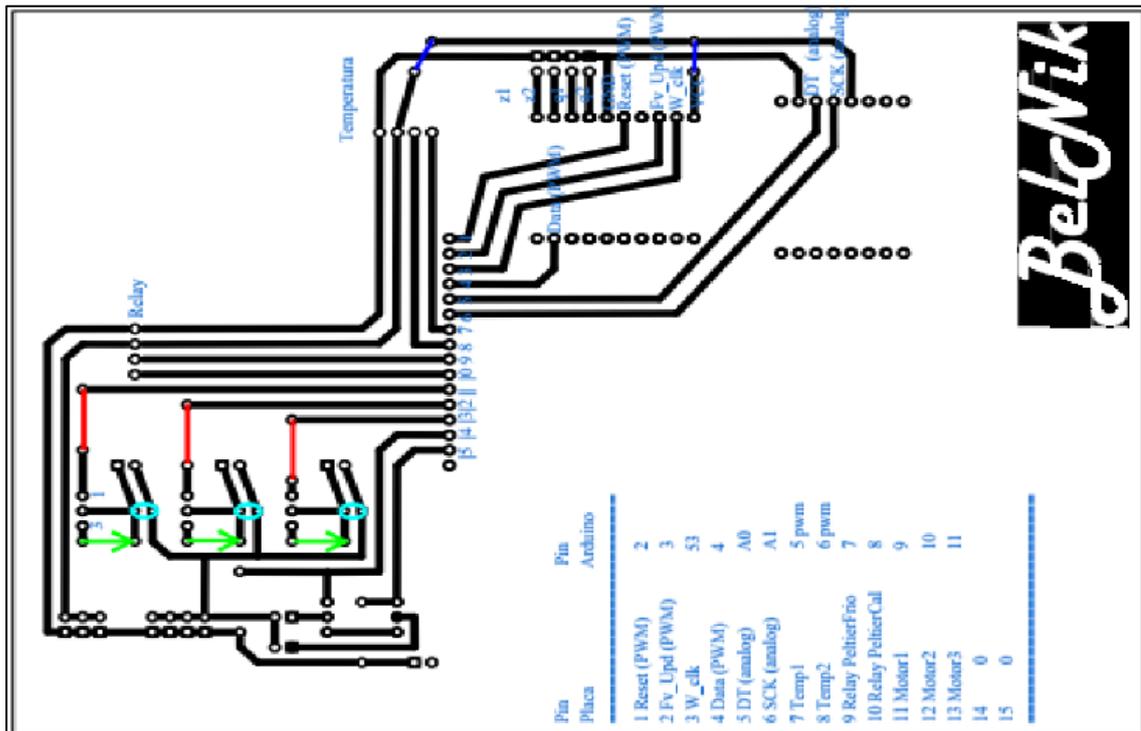


Figura N° 13 Diagrama de tarjeta de adquisición de datos.

Fuente: Elaboración propia.

G. Programación

La programación para la tarjeta de adquisición de datos (Arduino Mega), se realizó con el software Arduino IDE v1.6.5 (Anexo 1.13), con lenguaje de programación C++, los respectivos listados se detalla en el Anexo 4.5. Por otro lado, el software para la adquisición de datos, fue programado con el lenguaje de programación C# en Visual Studio 2015 Community Edition, cuyos listados respectivos se detallan en el Anexo 4.6, adicionalmente, el manual del uso del software para la adquisición de datos se detalla en el Anexo 1.14. (Arduino, 2016).

3.5.2. Cinética de deshidratación

Las operaciones realizadas para la evaluación de la cinética de deshidratación se muestran en el diagrama de flujo de la Figura N° 14. Primeramente se determinó la humedad de equilibrio, mediante las isotermas de sorción, colocando las muestras de oca fresca en lunas de reloj, que a su vez fueron colocadas en envases herméticos de vidrio que contenían la solución salina sobresaturada a una a_w conocida a temperatura de 20°C (ver Tabla N° 2), se registró el peso de dichas muestras de manera periódica (intervalos de 7 días) hasta que alcanzaron un peso constante (diferencia en peso menor a 1 mg/g de sólido). Se generó la isoterma de sorción con la representación gráfica del contenido de humedad (kg H₂O/g de sólido seco) frente a la a_w existente (Vélez , 2001).

Tabla N° 2 Sales utilizadas para la determinación de las isotermas de sorción.

Sal	Fórmula química	a_w (20 °C)
Cloruro de Litio	CLi	0.112
Acetato de Potasio	CH ₃ COOK	0.234
Cloruro de Magnesio	MgCl ₂ .6H ₂ O	0.333
Nitrato de Sodio	NaNO ₃	0.693
Cloruro de Sodio	NaCl	0.756
Sulfato de Amonio	(NH ₄) ₂ SO ₄	0.817
Cloruro de Potasio	KCl	0.859
Cloruro de Bario	BaCl ₂ .2H ₂ O	0.910

Fuente: SOLUTESTS- Lab Chem (2016).

Para los tratamientos de deshidratación se colocaron las muestras de oca fresca en la cámara de secado del sistema de deshidratado con ultrasonido, registrando los valores de los parámetros de secado establecidos (Temperatura, frecuencia ultrasónica), así como la humedad relativa y pérdida de peso en intervalos de tiempo programados.

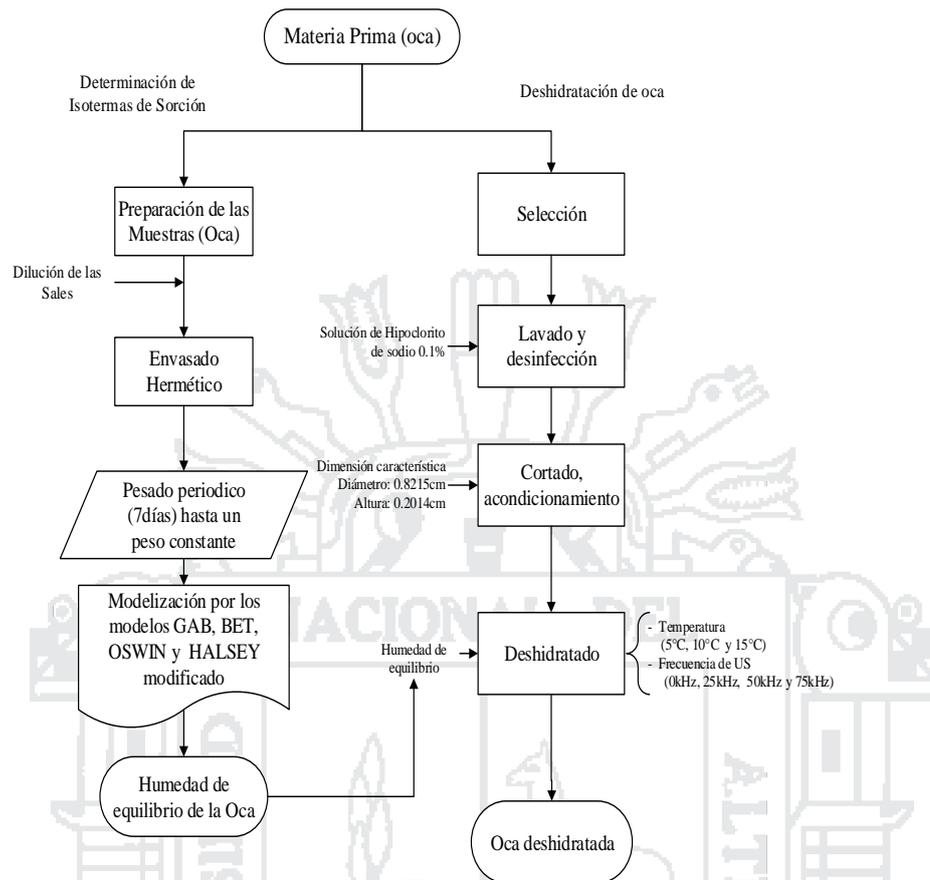


Figura N° 14 Diagrama de flujo para cinética de deshidratación.

Fuente: Elaboración propia.

3.5.3. Evaluación de las Propiedades fisicoquímicas

A) Análisis proximal

- ✓ **Determinación de humedad:** La determinación de humedad se realizó por el método estufa a 60°C por 24 horas, método N° 950.46B (A.O.A.C., 2005), para el cálculo del contenido porcentual de humedad se realizó mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso total} - \text{Peso final}}{\text{Peso muestra}} * 100$$

Dónde: Peso total = peso luna + peso muestra húmeda

 Peso final = Peso luna + peso muestra seca

- ✓ **Determinación de Proteína:** Se determinó por el método micro Kjeldahl, usando el factor 6.25, para llevar el nitrógeno a proteína total. El proceso comprende tres fases: digestión, destilación y titulación. Método N° 928.03 (A.O.A.C., 2005), el

cálculo de contenido porcentual de proteína se realizó utilizando las siguientes fórmulas:

$$\% \text{ Nitrogeno} = \frac{\text{ml de HCl} * \text{Normalidad} * \text{meq}}{\text{gramos de muestra}} * 100$$

$$\% \text{ Proteína} = 6.25 * \% \text{ Nitrogeno}$$

Dónde: ml de HCl : gasto de HCl en la titulación.
Normalidad : normalidad del HCl.
meq : mili equivalente del Nitrógeno.

- ✓ **Determinación de Cenizas:** Se determinó por el método de calcinación en mufla a una temperatura de 650°C por 4 horas, para quemar todo el material orgánico. Método N° 923.03 (A.O.A.C., 2005), el cálculo del contenido porcentual de ceniza se efectuó con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Ceniza} = \frac{\text{Peso del crisol y la ceniza} - \text{Peso del crisol}}{\text{Peso muestra}} * 100$$

- ✓ **Determinación de Grasa:** Realizado con el método Soxhlet, Método N° 920.39C (A.O.A.C., 2005), para lo cual se pesó dos gramos de muestra, se empaquetó en un papel filtro Whatman N° 2, se colocó el paquete en el cuerpo del aparato Soxhlet, previamente tratado libre de humedad, luego se agregó el hexano, seguidamente se conectó una fuente de calor, al calentarse el hexano, se evaporó y ascendió a la parte superior del cuerpo Soxhlet, allí se condensó por refrigeración y cayó nuevamente sobre la muestra, regresando al balón por sifón. Se evaporó, el hexano remanente en el balón en una estufa a 60°C para luego enfriar en una campana de desecación. Los cálculos se realizaron con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Grasa} = \frac{(\text{Peso del balón} + \text{grasa}) - (\text{Peso del balón vacío})}{\text{Peso muestra}} * 100$$

- ✓ **Fibra Bruta:** Se procedió de la siguiente manera:

Digestión ácida. Se pesó 3g de muestra (exenta de grasa) en un vaso de 600ml, se dejó hervir por 30 minutos con 200ml de H₂SO₄ al 1.25%, luego se filtró y lavó con agua destilada caliente hasta neutralizar la acidez (A.O.A.C., 2005).

Digestión alcalina. Se añadió 200ml de NaOH 1.25% y se hirvió por 30 minutos, se filtró al vacío en una cápsula de cerámica porosa, lavando con agua destilada caliente, posteriormente se puso en la estufa por 2 horas para luego pesar, éste peso se denominó Peso1, seguidamente se puso a la mufla para eliminar la materia orgánica y obtener las cenizas, se pesó nuevamente denominándolo como Peso2.

Método N° 962.09 (A.O.A.C., 2005), el cálculo para el contenido de fibra bruta se efectuó con las siguientes fórmulas:

$$Fibra\ neta = Peso1 - Peso2$$

$$\% Fibra\ bruta = \frac{Peso1 - Peso2}{Peso\ muestra} * 100$$

- ✓ **Carbohidratos totales:** Se calculó por diferencia (A.O.A.C., 2005), restando de 100, los porcentajes de humedad, proteína, grasa, fibra y cenizas, como se muestra en la formula siguiente:

$$\% Carbohidratos = 100 - (\% humedad + \% prote\i na + \% cenizas + \% grasa + \% fibra)$$

- ✓ **Solidos solubles:** Método de refractómetro (A.O.A.C., 2005), utilizando un refractómetro digital y expresado en grados °Brix.

B) Contenido de ácido ascórbico

Se determinó mediante el método de titulación volumétrica con el reactivo 2,6 diclorofenolindofenol, (N° 967.21 A.O.A.C., 2005), éste método, se basa en la reducción del colorante 2,6 diclorofenolindofenol por una solución de ácido ascórbico. Para ello, inicialmente se preparó la solución estándar, disolviendo 100 mg de ácido de ascórbico en 100 ml de una solución de ácido oxálico al 0.05% en una fiola de 100 ml, seguidamente se preparó la solución de 2,6 diclorofenolindofenol disolviendo 100 mg de 2,6 diclorofenolindofenol en 100 ml de agua destilada. Primeramente, se tituló la solución estándar con la solución de 2,6 diclorofenolindofenol, para ello se diluyó un 1 ml de la solución estándar en 10 ml en solución de ácido oxálico al 0.05%, hasta que la solución se tornó a un color rosa pálido persistente por 10 a 15 segundos. Posteriormente, para oca fresca, oca deshidratada de cada tratamiento y oca deshidratada a 50 °C (en estufa), se diluyo 5 g de muestra en 50 ml de agua destilada (1:10), de ésta dilución se tomó 2 ml para diluirla con 10 ml de la solución de ácido oxálico al 0.05%, ésta alícuota se tituló con la solución de 2,6 diclorofenolindofenol, siguiendo el mismo criterio de cambio de color a rosa pálido persistente por 10 a 15 segundos. Para el cálculo del contenido de ácido ascórbico, se utilizó la siguiente ecuación:

$$mg\ de\ acido\ asc\orbico/100g = \frac{V * T * 100}{W}$$

$$T = \frac{\text{mg de ácido ascórbico}}{\text{ml de solución con 2,6 diclorofenolindofenol}}$$

- Donde: V : ml de 2,6 diclorofenolindofenol, utilizada para titular una alícuota de muestra.
- T : Equivalente de ácido ascórbico de la solución 2,6 diclorofenolindofenol, expresado en mg por ml del colorante.
- W : Gramos de muestra en la alícuota analizada.

C) Variación de color

La medición de color se realizó utilizando la técnica de medición por captación de imagen digital (Vignoni, Césari, Forte, & Mirábile, 2006), con computadora y cámara digital Nikon D7000 AF-SD 40mm, se tomó fotografías, tanto a la muestra inicial como a la muestra deshidratada, posteriormente, éstas imágenes se analizaron con el programa MatLab 2015®, obteniendo los valores del color en RGB y su equivalente en L*, a*, b*. Para determinar la variación de color (ΔE^*) entre la muestra inicial (oca fresca) y la muestra final (oca deshidratada) de cada tratamiento en estudio, se realizó mediante la siguiente fórmula (Pereira, 2010).

Sean dos colores con respectivos valores de L*, a*, b*: Color1 (L₁*, a₁*, b₁*) y Color2 (L₂*, a₂*, b₂*), la variación de color entre éstos colores está dada por la ecuación:

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{0.5}$$

- Donde:
- ΔE^* : Variación de color entre Color1 y Color2.
 - ΔL^* : Diferencial de Luminosidad, (L₁* - L₂*).
 - Δa^* : Diferencial de Cromo a*, (a₁* - a₂*).
 - Δb^* : Diferencial de Cromo b*, (b₁* - b₂*).

Pereira (2010), menciona que, si el valor de ΔE^* se aproxima a 2.3 (siendo en todo caso inferior a 3), se define como una diferencia apenas perceptible o una diferencia de color muy difícilmente apreciable por el ojo humano; para valores de ΔE^* superiores a 5, indica que la diferencia de color es especialmente evidente.

D) Textura

Para la evaluación de la textura se determinó la dureza de las muestras deshidratadas, puesto que es la propiedad textural de mayor relevancia en alimentos secos

(Alvarado & Aguilera, 2001), haciendo uso del **Texturómetro Brookfield CT3** (Anexo N° 2.5) disponible en el Laboratorio de Pos cosecha EPIAI-UNA Puno, con sonda de bola (Castro, 2008), y de acuerdo con las especificaciones del fabricante y características de las muestras, se consideró los siguientes parámetros de evaluación: Fuerza de disparo inicial 24g, deformación 0.5mm, velocidad del instrumento 0.9mm/s (Brookfield Engineering Laboratories, INC., 2012).

E) Volumen, densidad

La determinación del volumen y densidad de la oca, fue por el método del picnómetro basado en el principio de Arquímedes consiste en determinar el empuje (E), el cual se halla realizando la diferencia entre el peso del sólido (oca) en el aire (Ps) y el peso aparente del sólido sumergido en el líquido (Pa). El volumen del líquido desalojado corresponde al volumen del sólido sumergido (Alvarado & Aguilera, 2001).

$$d_s = \frac{P_s}{V} = \frac{P_s}{(P_T - P_b)} d_L$$

- Donde:
- ds : Densidad del sólido, a determinar.
 - Ps : Peso del sólido.
 - V : Volumen del sólido.
 - PT : Peso picnómetro + agua + sólido
 - Pb : Peso picnómetro + agua
 - dL : Densidad del agua (0.99919 g/cm3)

Seguidamente el Volumen se determinó con la siguiente fórmula:

$$V = \frac{W_s}{d_s}$$

Para el determinar la variación porcentual del volumen entre el volumen de la muestra seca y el volumen de la muestra deshidratada, se resolvió la siguiente fórmula, para cada tratamiento en estudio:

$$\% \Delta Volumen = \left(\frac{V_{inicial} - V_{final}}{V_{inicial}} \right) * 100$$

- Donde:
- % Δ Volumen : Variación porcentual del volumen.
 - Vinicial : Volumen de la oca fresca.

Vfinal : Volumen de la oca deshidratada.

3.6. MÉTODOS DE ANÁLISIS

3.6.1. Cinética de deshidratación

La evaluación de la cinética de deshidratación fue conducida mediante el siguiente procedimiento y/o metodología:

A) Determinación de isotermas de sorción

Para determinar las isotermas de sorción se utilizó el método gravimétrico, en el que se asume que la superficie del alimento no ofrece resistencia a la transferencia de masa, basada en la ecuación de difusión de Fick (Clemente, 2003). Los modelos matemáticos utilizados para el ajuste de las isotermas de sorción de oca, se muestran en la Tabla N° 3.

Tabla N° 3 Ecuaciones de los modelos matemáticos.

Modelo	Ecuación	Parámetros
GAB (van den Berg, y Bruin, 1981)	$W = \frac{Wm * C * K * a_w}{(1 - K * a_w)((1 + (C - 1) * K * a_w))}$	Wm: Humedad del producto correspondiente a la situación en que los puntos de sorción primarios están saturados por moléculas de agua. C: Constante de Guggenheim, característica del producto y relacionada con el calor de adsorción de la monocapa. K: Factor de corrección relacionado con el calor de sorción de la multicapa.
BET (Brunauer et al., 1938)	$W = \frac{Wm * C * a_w}{(1 - a_w) * (1 + (C - 1) * a_w)}$	Wm: Humedad del producto correspondiente a una capa monomolecular de agua absorbida. C: Constante característica del material relacionada con el calor desprendido en el proceso de sorción.
SMITH (Smith, 1947)	$W = B + A * \log(1 - a_w)$	A y B: Constantes del modelo y características para cada alimento.
OSWIN (Oswin, 1946)	$W = A \left[\frac{a_w}{1 - a_w} \right]^B$	A y B: Constantes del modelo y características para cada alimento.
HALSEY modificado (Iglesias y Chirife, 1976)	$W = \left(\frac{k}{\ln(c/a_w)} \right)^{1/r}$	W: Contenido de humedad (g/100g s.s.) a y b; parámetros de la ecuación (para a _w entre 0.1 a 0.8)

Fuente: Chenoll (2008).

La ganancia o pérdida de peso está relacionada con la actividad de agua proporcionada por las sales en solución acuosa saturada. La Isoterma habría alcanzado su equilibrio cuando las muestras llegan a peso constante (Vélez , 2001). Para realizar la isoterma se tomó en cuenta:

- ✓ Humedad en base seca (hbs).
- ✓ Actividades de agua de las sales.

La determinación de la humedad en base seca, se realizó a partir de la humedad en base húmeda del producto, a través de la siguiente ecuación (Singh & Heldman, 2009).

$$\%hbh = \frac{P_o - P_f}{P_o - P_{tn}} * 100$$

$$hbs = \frac{\%H}{100 - \%H} = \frac{P_o - P_f}{P_f - P_{tn}}$$

Donde:

- %hbh : Porcentaje de humedad en base húmeda.
- hbs : Humedad en base seca.
- P_o : Peso inicial de muestra + peso de luna de reloj.
- P_f : Peso final de muestra + peso de luna de reloj.
- P_{tn} : Peso de luna de reloj.

El ajuste se realizó por diferentes modelos matemáticos empíricos, (modelo de Oswin), semiempírico, (modelo de HALSEY modificado modificado) y teóricos, (modelo de GAB y el modelo de BET). Para ajustar cada modelo se formuló un problema de optimización, en el que las variables decisorias fueron los parámetros de los modelos y la función objetivo el promedio de los residuos cuadráticos relativos. La resolución del problema de optimización se llevó a cabo utilizando la herramienta SOLVER© de la hoja de cálculo Microsoft Excel® 2016. Con el fin de evaluar la bondad de cada ajuste, se procedió a calcular el coeficiente de determinación R², como se describe en la siguiente ecuación (Clemente, 2003).

$$R^2 = \frac{SSRm}{SSTm} * 100$$

Además:

$$SSR_m = \frac{\left[\sum W_{cal} W_{exp} - \left(\frac{\sum W_{cal} \sum W_{exp}}{n} \right) \right]^2}{\frac{\sum W_{cal}^2 - (\sum W_{cal})^2}{n}}$$

$$SST_m = \sum_{i=1}^{n=8} W_{exp}^2 - \frac{(\sum W_{exp})^2}{n}$$

$$SSE = SSR_m - SST_m$$

Donde:

SSR_m : Suma de cuadrados de la regresión

SST_m : Suma de cuadrados del total

SSE : Suma de cuadrados del error.

W_{exp} : Humedad experimental hallada.

W_{cal} : Humedad calculada.

n : Número de pruebas

B) Determinación de las Curvas de deshidratación

A continuación, se describen los métodos utilizados para la determinación de las curvas de secado:

✓ Humedad en base seca - tiempo

La Humedad en Base Seca se define con la relación entre la cantidad de agua del alimento y la cantidad de sólidos secos, y se calculó mediante la siguiente ecuación (Colina, 2010).

$$W = \frac{P_i - P_s}{P_s} \frac{kg H_2O}{kg solido seco}$$

Donde: W : Humedad en Base Seca (KgH₂O/Kg s.s.).

P_i : Peso Inicial de la Muestra (Kg.).

P_s : Peso de sólidos secos (Kg.).

✓ Velocidad de secado - humedad en base seca

La velocidad de secado se define como la pérdida de humedad del solido húmedo en una unidad de tiempo, más exactamente por el cociente diferencial (-dW/dt) operando en condiciones constantes de secado, es decir con aire cuyas condiciones (temperatura,

presión, humedad y velocidad permanecen constantes con el tiempo. Analíticamente la velocidad de secado se refiere a la unidad de área de superficie de secado de acuerdo con la siguiente ecuación (Colina, 2010).

$$R = \frac{ms}{A} \left(- \frac{dW}{dt} \right)$$

$$A = 2\pi r (l + r)$$

Donde:

- ms : Peso de sólidos secos (kg)
- A : Área de la superficie expuesta (m^2)
- dW : Diferencial de las humedades medias.
- dt : Diferencial del tiempo (segundos)
- R : Velocidad de secado ($KgH_2O/m^2.s$)
- l : Espesor de la muestra (m)
- r : Radio de la muestra (m)

C) Coeficiente de difusividad efectiva

Se determinó por el método de la pendiente de la curva, consiste en calcular la difusividad efectiva a partir de la representación del logaritmo neperiano de la humedad media adimensional frente al tiempo. Esta representación se ajusta a una línea recta y la difusividad se calcula a partir de la pendiente de la misma (Singh & Heldman, 2009).

A partir de la ecuación:

$$\frac{W - W_e}{W_c - W_e} = \frac{8}{\pi^2} \exp \left[- \frac{\pi^2 De t}{4d_c^2} \right]$$

Se tiene:

$$\ln(\psi) = \ln \left(\frac{8}{\pi^2} * \frac{W - W_e}{W_c - W_e} \right) = - \frac{\pi^2 De}{4d_c^2} t$$

Donde:

- W : humedad media (kg agua/kg ss.)
- W_c : humedad crítica (kg agua/kg ss.)
- W_e : humedad media de equilibrio (kg agua/kg ss.)
- De : difusividad másica efectiva (m^2/s)
- t : tiempo (s)
- d_c : dimensión característica (m).

D) Estimación del tiempo de secado

Para estimar el tiempo de secado para el periodo de velocidad constante se utilizó las siguientes ecuaciones (Singh & Heldman, 2009).

$$t_c = \frac{ms}{A} \frac{W_i - W_c}{W_c}$$

Donde: W_i : humedad inicial (kg agua/kg ss.)
 A : Área expuesta (m²)

Por tanto, la expresión para el tiempo de secado para el periodo de velocidad decreciente (t_d) es:

$$t_d = \frac{4d_c^2}{\pi^2 De} \ln \left[\frac{8}{\pi^2} \left(\frac{W_c - W_e}{W - W_e} \right) \right]$$

Siendo el tiempo total (t_T):

$$t_T = t_d + t_c$$

3.6.2. Evaluación de las Propiedades fisicoquímicas**A) Análisis proximal**

Métodos A.O.A.C. (2005), ver metodología experimental.

B) Contenido de ácido ascórbico

Método de titulación volumétrica N° 967.21 (A.O.A.C., 2005).

C) Variación de color

Técnica de medición por captación de imagen digital con computadora y cámara fotográfica (Vignoni, Césari, Forte, & Mirábile, 2006).

3.7. FACTORES DE ESTUDIO**3.7.1. Cinética de deshidratación****A) Variables estudio (factores)**

- ✓ Factor A : Frecuencia de ultrasonido (0, 25, 50 y 75 kHz)
- ✓ Factor B : Temperatura del aire (5, 10 y 15 °C)

B) Variables respuesta

- ✓ Cinética de deshidratado.

3.7.2. Propiedades fisicoquímicas**A) Variables estudio (factores)**

- ✓ Factor A : Frecuencia de ultrasonido (0, 25, 50 y 75 kHz)
- ✓ Factor B : Temperatura del aire (5, 10 y 15 °C)

B) Variables respuesta

- ✓ Propiedades fisicoquímicas (Contenido de ácido ascórbico, Textura-Dureza, Variación de Color, Volumen, densidad)

3.8. DISEÑO EXPERIMENTAL**3.8.1. Cinética de deshidratación****A) Tiempo de secado**

Los resultados para la variable de respuesta: Tiempo de secado, fueron analizados mediante el Diseño Completo al Azar (DCA), con arreglo Factorial 4Ax3B con 2 repeticiones, con un total de 12 tratamientos y 24 unidades experimentales. Dicho análisis se efectuó con el programa estadístico Statgraphics XVI. El modelo lineal aditivo es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \left\{ \begin{array}{l} i = 0, 25, 50 \text{ y } 75; a (F \text{ KHz}, \text{Factor A}) \\ j = 5, 10 \text{ y } 15; a (^\circ C, \text{Factor B}) \\ k = 1, 2; r (\text{repeticiones}) \end{array} \right.$$

- Donde: Y_{ijk} : Es la variable respuesta de la k-ésima observación bajo el j-ésimo nivel de factor B, sujeto al i-ésimo nivel de factor A.
- μ : Constante, media de la población a la cual pertenecen las observaciones.
- α_i : Efecto del i-ésimo nivel del factor A.
- β_j : Efecto del j-ésimo nivel del factor B.
- $\alpha\beta_{ij}$: Efecto de la interacción del i-ésimo nivel del factor A, con el j-ésimo nivel factor B.
- ε_{ijk} : Efecto del error experimental.

Fuente: Ibáñez (2009).

3.8.2. Evaluación de las Propiedades fisicoquímicas

Para la evaluación de la variación o pérdida de: contenido de ácido ascórbico, color (ΔE^*), textura, volumen y densidad se realizó bajo el Diseño Completo al Azar (DCA), con arreglo Factorial $4A \times 3B$, con 2 repeticiones con un total de 12 tratamientos y 24 unidades experimentales. El modelo lineal aditivo es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \left\{ \begin{array}{l} i = 0, 25, 50 \text{ y } 75; a (F \text{ KHz}, \text{Factor } A) \\ j = 5, 10 \text{ y } 15; a (^\circ C, \text{Factor } B) \\ k = 1, 2; r (\text{repeticiones}) \end{array} \right\}$$

- Donde: Y_{ijk} : Es la variable respuesta de la k-ésima observación bajo el j-ésimo nivel de factor B, sujeto al i-ésimo nivel de tratamiento A.
- μ : Constante, media de la población a la cual pertenecen las observaciones.
- α_i : Efecto del i-ésimo nivel del factor A.
- β_j : Efecto del j-ésimo nivel del factor B.
- $\alpha\beta_{ij}$: Efecto de la interacción del i-ésimo nivel del factor A, con el j-ésimo nivel factor B.
- ε_{ijk} : Efecto del error experimental.

Fuente: Ibáñez (2009).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. SISTEMA DE SECADO ULTRASÓNICO

Se obtuvo un prototipo de secado a bajas temperaturas asistido por ultrasonidos para en deshidratado de oca, en la Figura N° 15 se muestran los componentes del sistema de secado ultrasónico y en el lado derecho se detallan las tarjetas electrónicas correspondientes, en la Figura N° 16 -Izquierda, se detalla el sistema de frío que se emplea para el enfriamiento del aire.

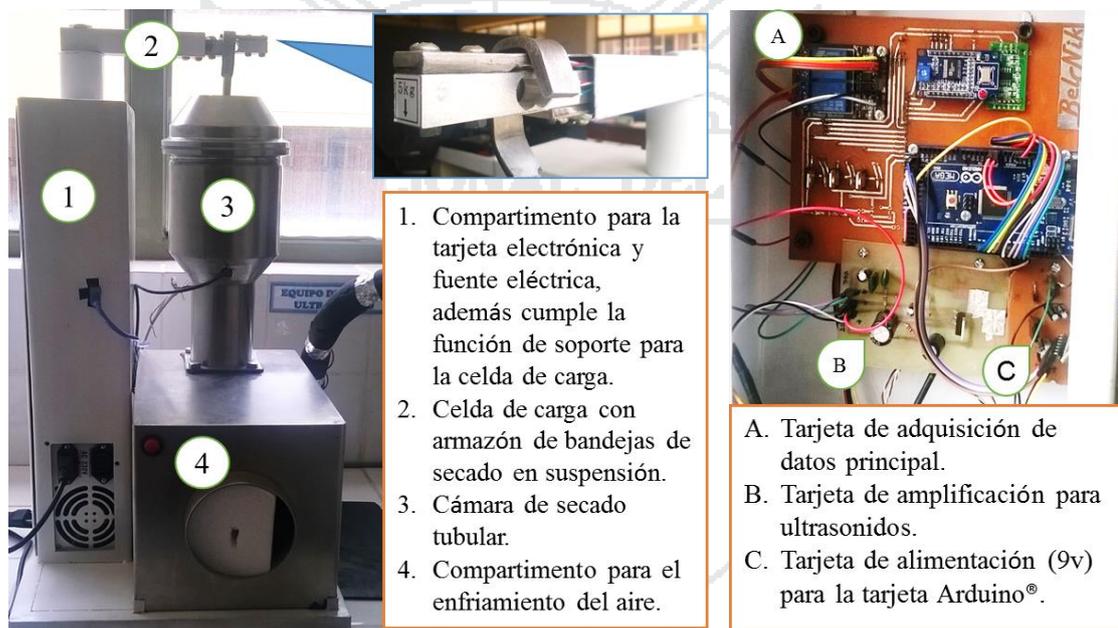


Figura N° 15 Componentes del prototipo y tarjeta de adquisición de datos.

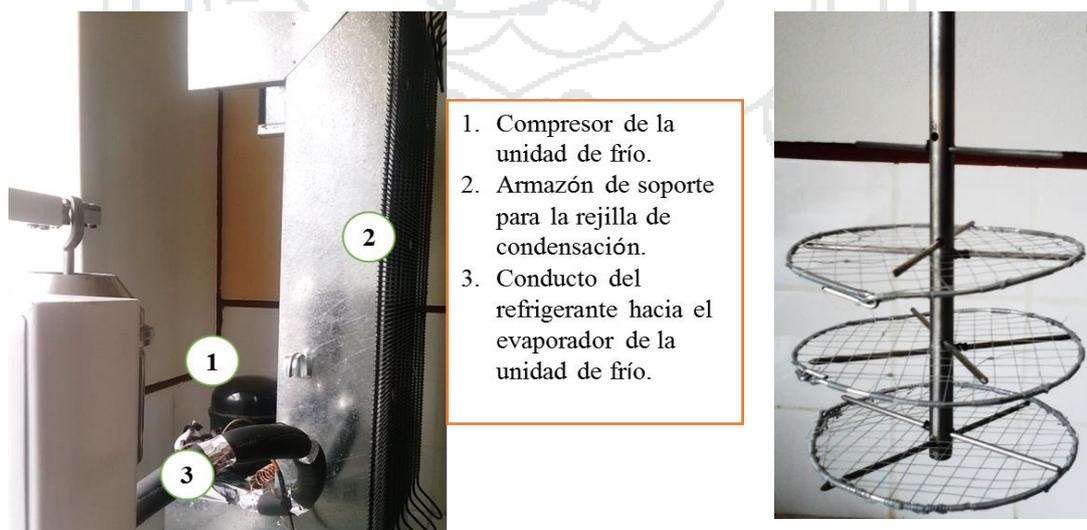


Figura N° 16 Detalles del sistema de frío acondicionado y bandejas de secado.

El diámetro interno de la cámara de secado es de 13cm con una altura de 18cm, en su interior se encuentran tres bandejas de mallas circulares con un diámetro de 11cm, dispuestas sobre un soporte como se muestra en la Figura N° 16-Derecha, el sistema de frío se enciende y apaga con la acción del relé (cumple la función de interruptor), mediante la señal del microcontrolador, basada en la lectura de la temperatura de control, enviada por el sensor de temperatura DS18B20.

El software para adquisición de datos permite enviar parámetros para el experimento a realizar, éstos parámetros son: Temperatura de control en grados Celsius, frecuencia de ultrasonidos en kilo Hertz, además de la opción para poder controlar la velocidad del flujo de aire, puesta en cero (tarar) el sensor de peso. También, permite establecer el intervalo de lectura de datos que son reportados en una hoja de Ms Excel©. Los datos de lectura son: Temperatura (°C) y humedad relativa (%) en la cámara de secado (sensor DHT22), así como una segunda temperatura (sensor DS18B20), la razón de éste segundo sensor de temperatura es porque ofrece una mayor rapidez de lectura, frente al sensor DHT22. Cuenta también con indicadores de tiempo desde el cual se inició el experimento y un indicador programable (timer), además de un indicador de estado de memoria microSD, en la Figura N° 17 se ve la ventana del sistema de control de datos.



Figura N° 17 Sistema de control de datos

Adicionalmente el manual de uso básico se detalla en el Anexo 1.14.

4.2. CINÉTICA DE DESHIDRATACIÓN

A continuación, se describen los resultados obtenidos para: Isotermas de sorción, Influencia de la temperatura y ultrasonidos en la cinética de deshidratación de la oca, cuyos datos experimentales se detallan en el Anexo 3.2.

4.2.1. Isotermas de Sorción

Las isotermas de sorción de la oca se realizó a 20°C y fueron ajustados por los modelos mencionados en la metodología, los valores experimentales de las isotermas de sorción se muestran en el Anexo 2.1, los resultados se muestran en la Tabla N° 4, donde se detallan los coeficientes de cada modelo matemático, además de los valores de R² respectivos, obtenidos para cada modelo utilizado.

Tabla N° 4 Valores de coeficientes del modelado de isotermas y R².

	GAB	BET	OSWIN	HALSEY modificado	SMIT
Coefficientes del modelo	Wm = 0.042 C = 5.35E4 K = 0.976	Wm = 0.036 C = 5.93E6	A = 0.089 B = 0.599	a = 0.023 b = 1.411	a = -0.287 b = 0.019
R²	0.964	0.971	0.940	0.957	0.880

El modelo con mejor ajuste fue el modelo de BET (Brunauer et al., 1938), con un R²=0.971, no obstante, el modelo GAB resulto cercano con un R²=0.964, se observa que el valor de la humedad de la monocapa (Wm) obtenida con el modelo de BET (0.036 kg H₂O/kg s.s.) es inferior a la obtenida con el modelo de GAB (0.042 kg H₂O/kg s.s.), en cambio se observa un valor superior para la constante C del modelo de BET (5.93E6) respecto a la constante C del modelo de GAB. Generalmente, estas inecuaciones ($W_{mBET} < W_{mGAB}$, $C_{BET} > C_{GAB}$), tal como se obtuvo en el presente trabajo, son obtenidas habitualmente para isotermas de alimentos (Chenoll, 2008), de esta manera Liendo y Zapata (2000), obtuvieron valores de monocapa para el modelo BET 0.038 (kg H₂O/kg s.s.) y para el modelo de GAB de 0.044 (kg H₂O/kg s.s.) en isotermas de sorción de papa a 20 °C, valores similares a los obtenidos en el presente trabajo, por otro lado, Chenoll (2008), obtuvo valores de monocapa de 0.044 kgH₂O/kg s.s. (modelo BET), y 0.048 kgH₂O/kg s.s. (modelo GAB), en isoterma de sorción para yuca fresca a 30 °C.

A su vez los modelos de OSWIN y HALSEY modificados presentaron valores de $R^2=0.940$ y $R^2=0.957$ respectivamente, Liendo y Zapata (2000), obtuvieron un valor de $R^2=0.98$ para el modelo de HALSEY modificado en isoterma de sorción de papa. En la Figura N° 18, mostramos el ajuste de los modelos matemáticos utilizados para la modelización de las Isotermas de Sorción, ahí podemos observar las curvas de Humedad en base seca (kg de H₂O / kg de s.s.) frente a la a_w . los detalles de la modelización de las isotermas de sorción para oca se muestran en el Anexo 2.4.

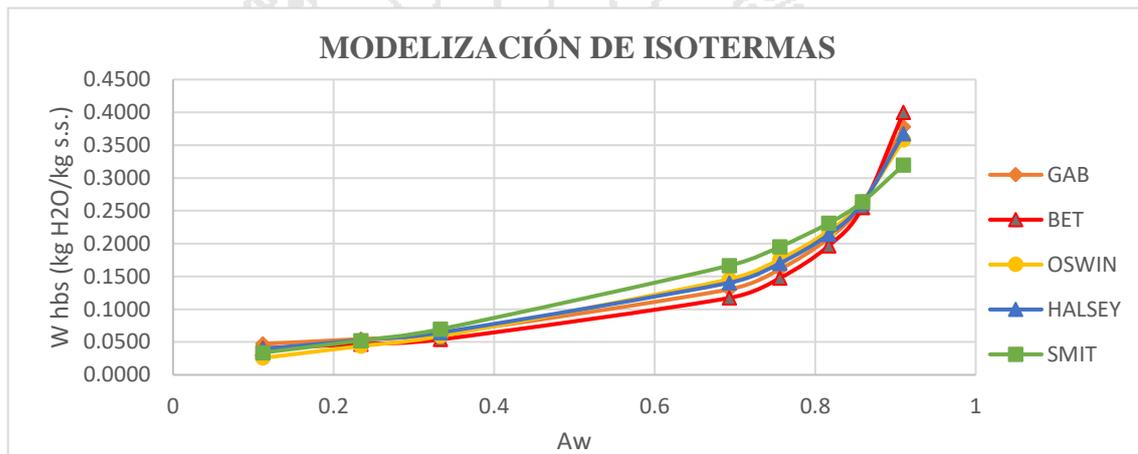


Figura N° 18 Ajuste de los modelos matemáticos para las isotermas de oca

En la Figura N° 19, se muestra la comparación entre los datos experimentales y calculados con el modelo BET y la relación A_w - Humedad en base seca, el cual fue utilizado para determinar la humedad en equilibrio de la Oca.



Figura N° 19 Curvas para isotermas de oca, experimental y modelado

En curvas de isotermas se puede apreciar: la correlación entre la actividad de agua y la humedad que describe la forma típica de las isotermas de sorción en alimentos (Chenoll, 2008). Como observa en las Figura N° 19 que a medida que la oca pierde

humedad la proporción de agua móvil va disminuyendo, lo que indica que conforme se deshidrata, cada vez le resulta más difícil seguir haciéndolo debido a que la proporción de agua ligada aumenta. Este tipo de curvas es muy común en alimentos y se ha observado en diferentes alimentos; papa y camote (Liendo & Zapata, 2000), yuca (Chenoll, 2008) y jamón (Clemente, 2003).

En la representación gráfica de las isotermas (Figura N° 19), se observan tres regiones: la región de actividad de agua baja (a_w 0.112-0.333), que comprende un tramo de curva prácticamente horizontal con humedades desde 0,047 hasta 0,054 kg agua /kgs.s. aproximadamente, correspondiente al final del proceso de desorción, en esta región el agua, que está adsorbida en forma de monocapa, prácticamente no tiene movilidad y su disponibilidad para las reacciones químicas está muy limitada (Singh & Heldman, 2009). La siguiente región de actividad de agua, región media, (a_w 0.333 - 0.817), la humedad en esta región está comprendida entre 0.054 hasta 0.208 kg agua/kg s.s., a medida que la humedad se va incrementando la a_w también se incrementa, esta característica puede estar relacionada con la presencia de carbohidratos, principalmente almidón, esto puede ocasionar un rápido deterioro (Chenoll, 2008). Por último, se observa la región de actividad de agua alta, (a_w 0.817 - 0.91), que comprende valores de humedad más altos, desde 0.208 hasta 0.378 kg agua/kg s.s., debido a que la movilidad del agua es cada vez mayor, al aumentar mínimamente la a_w en la oca su humedad aumenta considerablemente, por lo que el riesgo de contaminación también aumenta, convirtiéndola en un producto fácilmente perecedero (Singh & Heldman, 2009). Por ello, las mayores diferencias de actividad de agua, para una misma temperatura, se dan para humedades elevadas, es decir, cuando el agua tiene una mayor movilidad (Clemente, 2003).

Las humedades de equilibrio se calcularon a partir de las curvas de Isoterma de Sorción con el modelo de BET, a diferentes humedades relativas según cada tratamiento, que se muestra en la Tabla N° 5.

Tabla N° 5 Valores de humedad de equilibrio para cada experiencia.

Temperatura (°C)	Humedad Relativa	Humedad de equilibrio (W_e)
15	35%	0.055
10	45%	0.065
5	55%	0.080

FUENTE: Elaboración propia.

4.2.2. Influencia de la temperatura del aire de secado

La temperatura es una de las variables influyentes en el secado convectivo de alimentos (Colina, 2010). En el Anexo 3.1 se observa las curvas de (Velocidad de secado [kg H₂O/hm²]- (humedad [kg H₂O/kg s.s.]), y en la Figura N° 20 se observan las curvas de secado (humedad [kg H₂O/kg s.s.] – tiempo [s]), para los tratamientos aplicación sin ultrasonidos (0 kHz), éstos resultados muestran un tiempo de secado de 4h 56m para 15 °C, 7h 21m para 10 °C y 9h 4m para los tratamientos de 5 °C, siendo el tiempo menor para 15 °C y mayores para 10 y 5 °C, de esta manera la velocidad de remoción de humedad se ve favorecida, debido a que el aumento de la temperatura conlleva a un aumento de la velocidad de deshidratado, esto se debe a que se incrementa la movilidad de las moléculas de agua presentes en el alimento (Colina, 2010), en el trabajo realizado por Contreras y García (2014), que evaluaron la cinética de secado de la manzana asistido por ultrasonido, obtuvieron un tiempo de 40 h a -10 °C, mucho mayor que 14.7h a 10 °C, esto implica que a mayores temperaturas el tiempo de secado es menor por ende mayor velocidad de remoción de la humedad, como indican Singh y Heldman (2009).

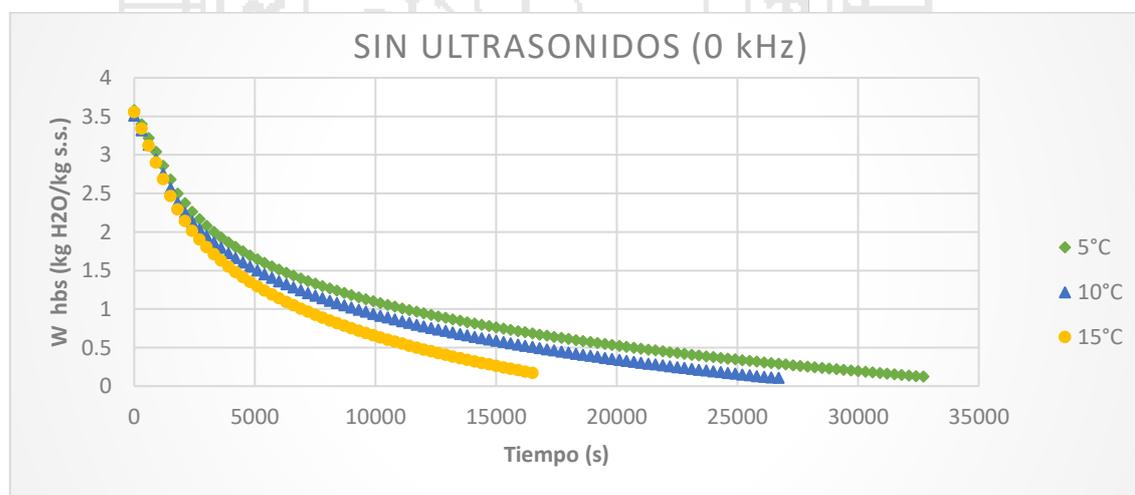


Figura N° 20 Cinéticas de secado sin aplicación de ultrasonidos a 5, 10 y 15 °C

De la misma forma, para las cinéticas de secado de oca con aplicación de ultrasonidos, en la Figura N° 21 (tratamientos con ultrasonidos a 25 kHz) se tiene un tiempo de 3h 8m para 15 °C, 5h 9m para 10 °C y 7h 24m para 5 °C; en la Figura N° 22 (tratamientos con ultrasonidos a 50 kHz) se tiene tiempos de secado de 3h 8m para 15 °C, 5h 43m para 10 °C y 7h 44m para 5 °C; en la Figura N° 23 (tratamientos con ultrasonidos a 75 kHz) el tiempo de secado es 3h 44m para 15 °C, 6h 3m para 10 °C y 8h 19m para 5 °C; se

corroborar que para temperaturas mayores el tiempo de secado resulta menor (Singh & Heldman, 2009), puesto que, al incrementar la temperatura del aire disminuye la humedad relativa de éste, lo que provoca un aumento en el gradiente de la humedad entre el aire y la superficie de la oca, por tanto, se acelera la remoción del agua (Colina, 2010), la humedad relativa para 15 °C fue 35%, para 10 °C y 5 °C fue de 45% y 55% respectivamente; así mismo, la difusión interna del agua de la oca se incrementa con la temperatura, debido a que la rapidez con la que migran las moléculas de agua se incrementa conforme aumenta la temperatura, favoreciendo la velocidad de deshidratación tanto en el periodo de velocidad constante y decreciente (Colina, 2010).

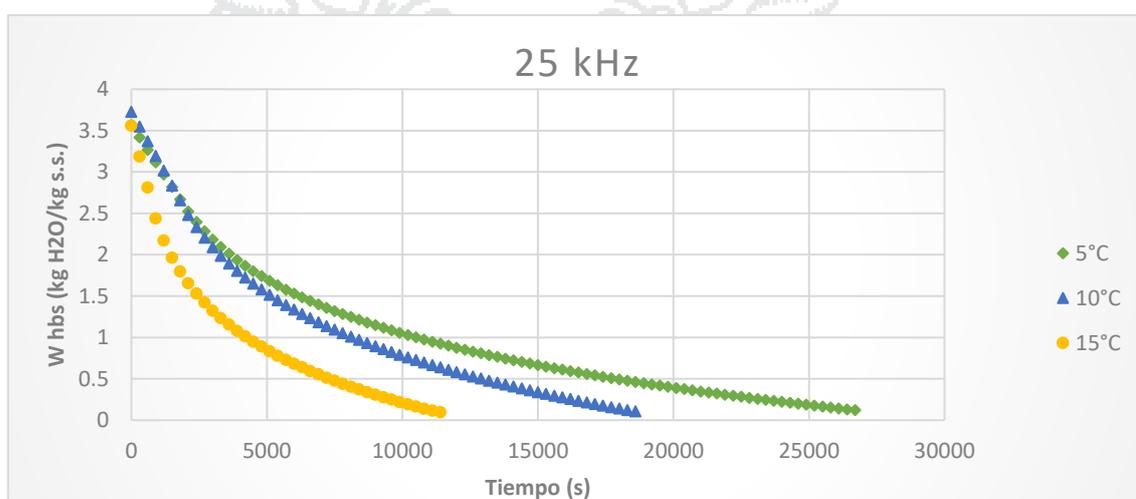


Figura N° 21 Cinética de secado a 25 kHz.

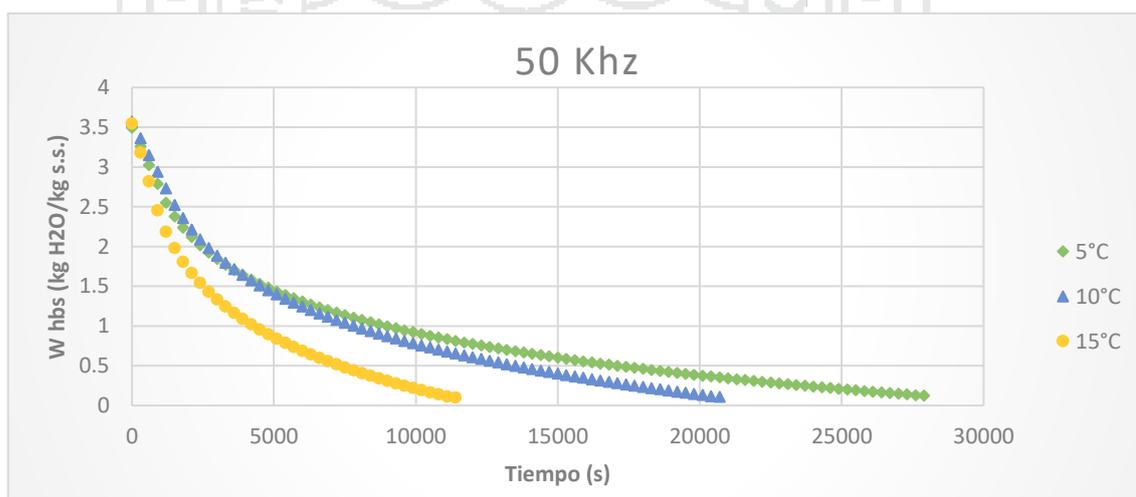


Figura N° 22 Cinética de secado a 50 kHz.

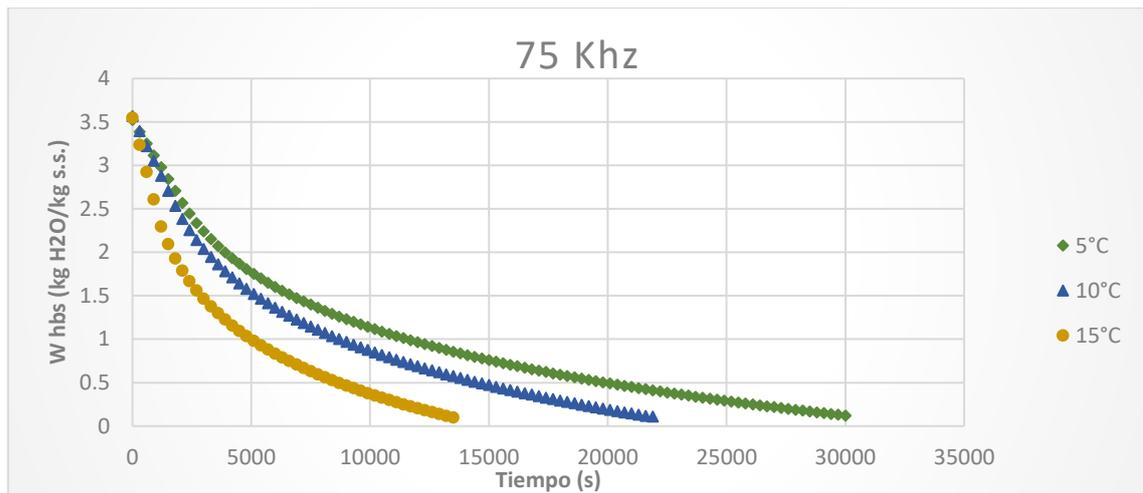


Figura N° 23 Cinética de secado a 75 kHz.

4.2.3. Influencia de los ultrasonidos de potencia en la cinética de secado

Las velocidades de remoción de la humedad fueron mayores (ver Anexo 3.1) en los tratamientos con ultrasonido, principalmente a velocidad decreciente por ende los tiempos obtenidos en los tratamientos con aplicación de ultrasonidos fueron menores en comparación a los tratamientos sin la aplicación de ultrasonidos, debido a que los ultrasonidos producen cambios rápidos y localizados de presión y temperatura provocando rupturas, cavitación de las moléculas de agua en el interior de la matriz sólida favoreciendo la eliminación de humedad (Awad & Moharram, 2012).

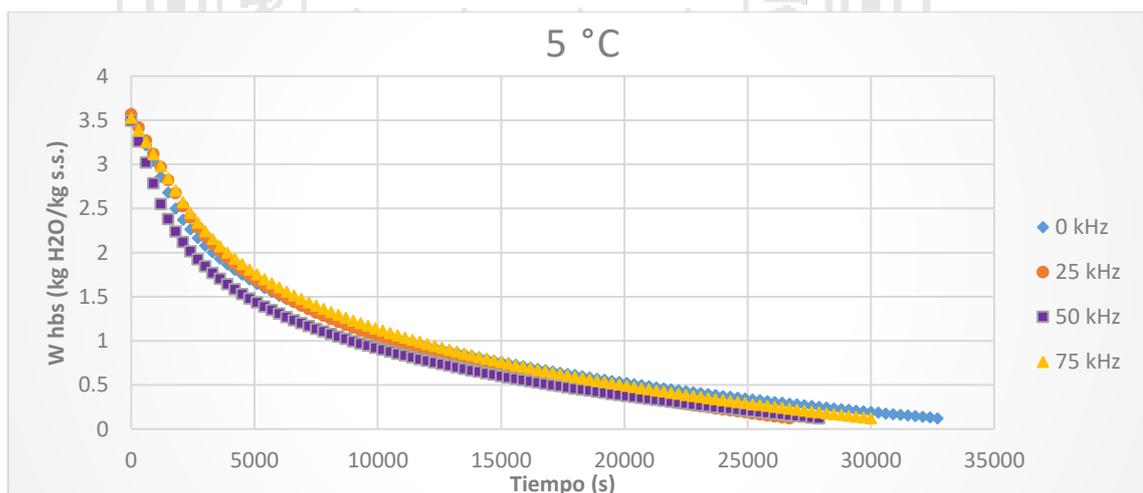


Figura N° 24 Cinética de secado a 5 °C.

En la Figura N° 24, se muestran las curvas de secado para 5 °C, en la que se observa una reducción de los tiempos de secado entre los tratamientos con y sin aplicación de ultrasonidos, el tiempo obtenido para 0 kHz (sin ultrasonidos) fue de 9h 4m, para 25 kHz

fue de 7h 24m lo que representa una reducción del 18.37%, para 50 kHz fue de 7h 44m lo que representa una reducción de 14.82%, y para 75 kHz fue de 8h 19m que representa 8.33% de reducción en el tiempo de secado. En la Figura N° 25, se muestran las curvas de secado para 10 °C, el tiempo obtenido para 0 kHz fue de 7h 21m, para 25 kHz fue de 5h 9m que representa una reducción del 29.89%, para 50 kHz fue de 5h 43m que representa una reducción de 22.18%, y para 75 kHz fue de 6h 3m que representa 17.66% de reducción en el tiempo de secado.

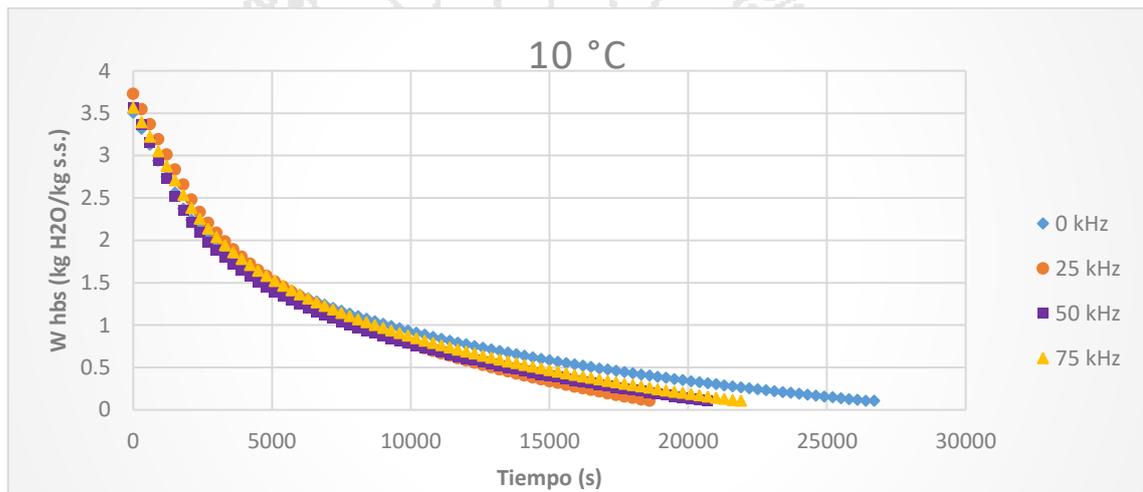


Figura N° 25 Cinética de secado a 10 °C.

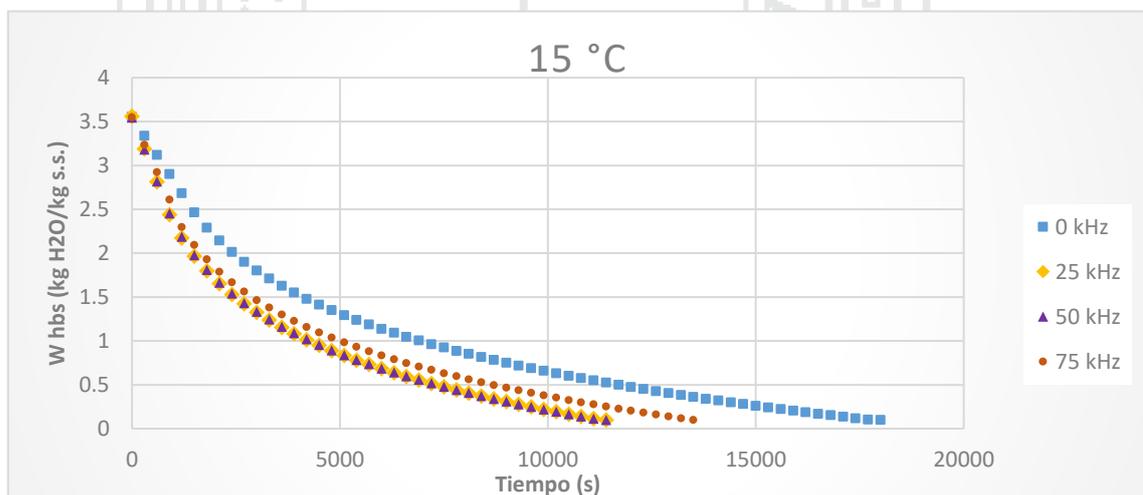


Figura N° 26 Cinética de secado 15 °C.

En la Figura N° 26, se muestran las curvas de secado para 15 °C, el tiempo obtenido para 0 kHz fue de 4h 56m, para 25 kHz fue de 3h 8m 21s que representa una reducción del 36.42%, para 50 kHz fue de 3h 8m 0s que representa una reducción de 36.54%, y para 75 kHz fue de 3h 44m que representa 24.12% de reducción en el tiempo

de secado. Esto indica que existe influencia de los ultrasonidos en la cinética de deshidratado obteniendo mejores efectos para frecuencias de 25 kHz y 50 kHz, sin embargo, para 75 kHz la velocidad de remoción de la humedad es menor y el tiempo de deshidratado es mayor, puesto que su efecto de los ultrasonidos en la cinética de deshidratado no influye de manera significativa, esto se debe a la existencia de una relación inversa entre la frecuencia y la potencia ultrasónica (Robles & Ochoa, 2012), en los estudios realizados por Contreras y García (2014), deshidrataron manzana a 10 °C con aplicación de ultrasonidos de 21.9kHz a diferentes potencias, obtuvieron una disminución significativa en el tiempo de secado hasta 71% con una potencia de 75Watt para temperaturas de 10 °C y 42.2% para 25Watt a 10 °C, de manera que las velocidades de deshidratado fueron mayores con aplicación de los ultrasonidos, la diferencia en el porcentaje de reducción comparado con los valores obtenidos en el presente trabajo se debe a la potencia ultrasónica aplicada que fue de 20Watt, no obstante se tiene similitud frente al resultado obtenido (36.42%) para 15 °C y 25 kHz. Resultados similares fueron obtenidos por García y Carcel (2007), donde estudiaron la cinética de secado en zanahoria con aplicación de ultrasonidos de potencia, obteniendo un incremento significativo en la velocidad de secado con bajas velocidades del aire.

En la Tabla N° 6 se muestra el resumen del análisis de varianza (ANVA) para el tiempo de secado en segundos. Se obtuvo que el efecto de la frecuencia ultrasónica sobre el tiempo de secado es altamente significativo, además, el efecto de la temperatura es también altamente significativo sobre el tiempo de secado; por otro lado, el efecto de la interacción de la frecuencia de ultrasonidos y la temperatura es estadísticamente significativo sobre el tiempo de secado, todos ellos con un 95.0% de nivel de confianza.

Tabla N° 6 Análisis de varianza para tiempo (segundos)

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Probabilidad (Valor-P)	Valor-F	Sig
EFECTOS PRINCIPALES							
A: Frec US (kHz)	1.609E+08	3	5.363E+07	503.81	6.982E-13	3.4903	**
B: Temp. (°C)	1.004E+09	2	5.022E+08	4717.99	4.198E-18	3.8853	**
INTERACCIÓN							
A x B	4.525E+06	6	754137.56	7.08	0.002100209	2.9961	*
ERROR	1.277E+06	12	106442.32				
TOTAL	1.171E+09	23					

Fuente: Elaboración propia.

Prueba de Rangos Múltiples para Tiempo (s) por Frecuencia (kHz)

Frecuencia US (kHz)	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
25	6	18850.2	133.153	a
50	6	19911.3	133.153	b
75	6	21753.0	133.153	c
0	6	25648.7	133.153	d

No se halló homogeneidad entre los 4 grupos identificados, resultando todos con diferencias estadísticamente significativas, de éste modo se obtuvo una diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos sin aplicación de ultrasonidos y los tratamientos con aplicación de ultrasonidos, además existe también diferencia significativa entre los tratamientos con aplicación de ultrasonidos, sin embargo, estas diferencias son menores a las diferencias con los tratamientos sin aplicación de ultrasonidos.

Prueba de Rangos Múltiples para Tiempo (s) por Temperatura (°C)

Temperatura (°C)	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
15	8	13461.9	115.314	a
10	8	21862.2	115.314	b
5	8	29298.3	115.314	c

No se encontró grupos homogéneos entre los 3 grupos identificados, es decir existe efecto significativo de la temperatura sobre el tiempo de deshidratación y por ende sobre la cinética de deshidratación de la oca.

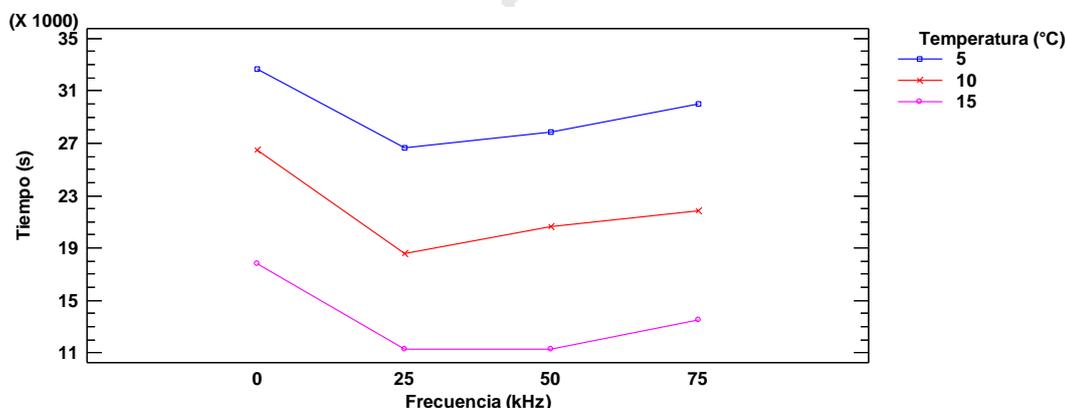


Figura N° 27 Media de tiempos de secado a frecuencias y temperaturas de estudio.

La prueba LSD realizada, confirma la diferencia significativa entre los tratamientos en estudio. El efecto de la temperatura corresponde a una relación inversa con el tiempo de secado, es decir a menor temperatura se tiene mayor tiempo de secado (Singh & Heldman, 2009). El efecto de la frecuencia ultrasónica corresponde a la potencia aplicada para cada frecuencia, puesto que a mayor frecuencia la potencia aplicada es menor (García Pérez & Gallego Juárez, 2013), con lo que se obtiene menor velocidad de deshidratación por tanto mayores tiempos de secado, y viceversa, a menores tiempos de secado corresponden mayores velocidades de deshidratación.

4.2.4. Coeficiente de Difusividad efectiva

En la Tabla N° 7, se detallan los valores de los Coeficientes de Difusividad efectiva (D_e), obtenidos para los tratamientos de estudio.

Tabla N° 7 Valores de difusividad efectiva (D_e m²/s) en la cinética de secado

Temperatura	Frecuencia US			
	0 kHz	25 kHz	50 kHz	75 kHz
5 °C	5.092E-11	6.418E-11	6.004E-11	5.715E-11
10 °C	6.355E-11	9.379E-11	8.275E-11	7.886E-11
15 °C	9.670E-11	1.505E-10	1.517E-10	1.263E-10

El tratamiento que presentó un mayor valor de difusividad fue para 15 °C-50 kHz con 1.517E-10 m²/s, mientras que para 15 °C-0 kHz fue 9.67E-11, para los tratamientos de 10 °C-25 kHz fue 9.379E-11, para 10 °C-0 kHz fue 6.355E-11 y para los tratamientos de 5 °C-25 kHz fue 6.418E-11, mientras 5 °C-0 kHz fue 5.092E-11, en todas los tratamientos con aplicación de ultrasonidos el valor de la difusividad efectiva es mayor comparado con los valores obtenidos para los tratamientos sin aplicación de ultrasonidos, esto se debe a que la aplicación de ultrasonidos de potencia aumenta difusividad efectiva (Contreras & García, 2014), entonces se afirma que los ultrasonidos de potencia influyeron en la cinética de secado de oca, disminuyendo los tiempos de secado que corresponden a una mayor velocidad de deshidratación, por cuanto el valor de difusividad es mayor. Por su parte García y Carcel (2007), en la deshidratación de cubos de zanahoria con ultrasonidos de potencia reportaron valores de difusividad 1.90E-10 m²/s para tratamiento con aplicación de ultrasonidos (21.8kHz y 75Watt) y 1.61E-10 m²/s para tratamientos sin ultrasonidos.

4.3. EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS

4.3.1. Análisis proximal

El análisis proximal para la oca fresca y deshidratada del mejor tratamiento 15 °C-50 kHz se muestra en Tabla N° 8, (Anexo 4.1).

Tabla N° 8 Análisis proximal (oca - *Oxalis tuberosa* Mol).

Componente	Oca fresca (100% de materia fresca)	Oca deshidratada (100% de materia seca)
Análisis proximal		
- Humedad	% 77.46	8.52
- Ceniza	% 1.24	4.87
- Proteína	% 1.55	6.58
- Grasa	% 0.44	1.87
- Fibra	% 0.76	3.23
- Carbohidratos	% 18.55	83.45
Grados Brix	°Brix 11	48
Densidad absoluta	g/cm ³ 1.078	1.060
Volumen	cm ³ 0.46	0.16

FUENTE: Elaboración propia (Laboratorio de Análisis de alimentos de la EPIAI, 2016)

El contenido porcentual obtenido para la humedad de oca fresca fue de 77.46% y para la oca deshidratada fue de 8.52%, ésta reducción en la humedad se debe a la eliminación del agua libre contenida en la oca, hasta un valor cercano a la humedad de equilibrio propia de la oca (Colina, 2010); por otro lado, se observa un incremento en los demás compuestos, ceniza: para oca fresca 1.24% y 4.87% para oca deshidratada, proteína: 1.55% para oca fresca y 6.58% para oca deshidratada, grasa: para oca fresca 0.44% y 1.87% para oca deshidratada, fibra: 0.76% para oca fresca y 3.23% para oca deshidratada; éste incremento se debe a que, en el proceso de deshidratación se perdió alto porcentaje de humedad lo que permite a su vez el incremento de la concentración de los compuestos minerales (Singh & Heldman, 2009), resultados similares obtuvo Cajamarca (2010), halló una humedad para oca fresca 80.10% y para oca deshidratada 15.10%, en tanto que, para cenizas reporto 3.90% en oca fresca y 7.30% en oca deshidratada, porcentaje proteico obtuvo para oca fresca 1.10% y 8.60% para oca

deshidratada, porcentaje de fibra para oca fresca 0.80% y 6.80% para oca deshidratada, esta diferencia mínima de los valores encontrados en la presente investigación se debe a la variedad utilizada, de la zona cultivada y a las condiciones analizadas.

4.3.2. Contenido de ácido ascórbico

El contenido de ácido ascórbico (AA), para oca fresca fue de 38.382 mg/100g (base húmeda), valores similares obtuvieron Arroyo et al. (2010) de 37.80 mg/100g (base húmeda), y a su vez, León y Villacorta (2011) obtuvieron un valor de 39.68 mg/100g (base húmeda), los resultados obtenidos para cada tratamiento se detallan en la **Tabla N° 9**, (Anexo 4.3).

Tabla N° 9 Contenido de Ácido ascórbico por 100g de muestra

Tratamiento	mg AA/100g (base seca)	mg AA/100g (base húmeda)	%pérdida
Oca fresca	174.462	38.382	
5 °C, 0 kHz	119.295	26.245	31.622
5 °C, 25 kHz	108.921	23.963	37.568
5 °C, 50 kHz	108.921	23.963	37.568
5 °C, 75 kHz	109.959	24.191	36.973
10 °C, 0 kHz	108.921	23.963	37.568
10 °C, 25 kHz	119.295	26.245	31.622
10 °C, 50 kHz	107.884	23.734	38.162
10 °C, 75 kHz	119.295	26.245	31.622
15 °C, 0 kHz	119.295	26.245	31.622
15 °C, 25 kHz	108.921	23.963	37.568
15 °C, 50 kHz	129.668	28.527	25.676
15 °C, 75 kHz	134.855	29.668	22.703
50 °C, 0 kHz	31.120	6.846	82.162

Fuente: Elaboración propia.

El contenido de ácido ascórbico para oca deshidratada oscila entre 23.7mg/100g y 29.7mg/100g (base húmeda), que representan pérdidas porcentuales de 38.16% y 22.70% respectivamente, en comparación al contenido de ácido ascórbico en oca fresca; en cambio el secado a alta temperatura (50°C) las pérdidas son mucho mayores llegando a 82.2%, Arroyo et al. (2010), obtuvo una pérdida de 82.01% de ácido ascórbico en oca deshidratada a 70°C, esto se debe a que el ácido ascórbico es un compuesto termolábil

(Cuamatzi, 2004). El resumen del análisis de varianza (ANVA) para los tratamientos se muestra en la

Tabla N° 10, se observa que ninguno de los factores o interacción tiene un efecto estadísticamente significativo sobre el contenido de ácido ascórbico con un 95.0% de nivel de confianza, es decir no existe efecto de los ultrasonidos sobre el contenido de ácido ascórbico.

Tabla N° 10 Análisis de varianza para contenido de ácido ascórbico.

Origen de las variaciones	SC	GL	CM	F	Valor - P	Valor crítico para F	Sig.
A: Frecuencia US (kHz)	22.595	3	7.532	1.504	0.264	3.49	n.s.
B: Temperatura	16.458	2	8.229	1.643	0.234	3.89	n.s.
A x B	71.179	6	11.863	2.369	0.096	3.00	n.s.
Error	60.103	12	5.009				
Total	170.336	23					

CV= 8.75 %

Fuente: Elaboración propia.

4.3.3. Variación de color

En la Figura N° 28, se presentan los resultados para la variación de color (ΔE^*), entre las muestras frescas y muestras deshidratadas (ver: Anexo 4.2).

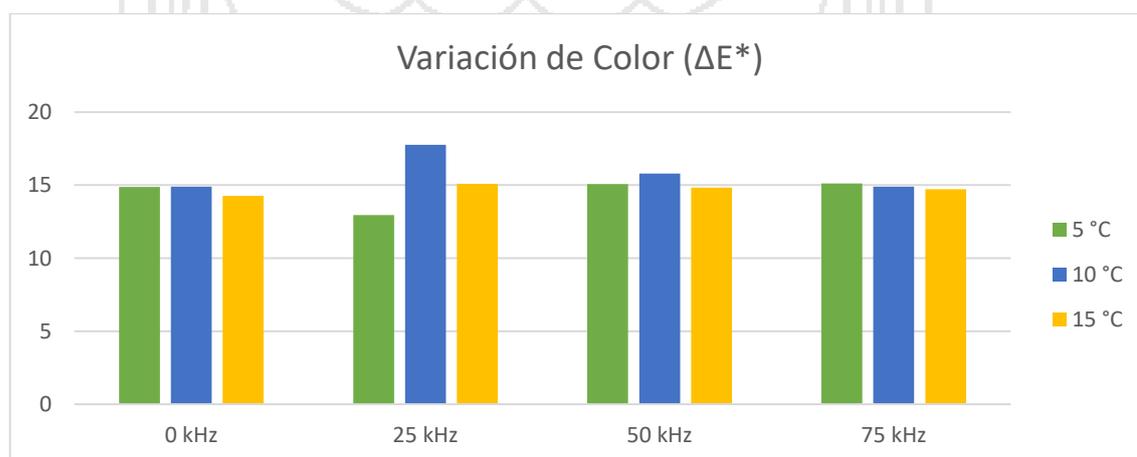


Figura N° 28 Valores de variación de color (ΔE^*), en el deshidratado de oca.

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que, para todos los tratamientos existen cambios en el color, Pereira (2010) indica que, los valores de ΔE^* mayores a 5 muestran que las variaciones son perceptibles al ojo humano, siendo el tratamiento de 10 °C - 50 kHz, con el mayor valor de variación de color, éste cambio se debe principalmente a la concentración de antocianinas, que le dan una coloración más oscura a la muestra (Cajamarca, 2010), ocasionado por la cavitación producida por la alta frecuencia de ultrasonido aplicada (Robles & Ochoa, 2012), la misma que facilita la remoción del agua libre que además con la baja temperatura permiten la concentración de éste tipo de compuestos volátiles (García Pérez & Gallego Juárez, 2013). En la Tabla N° 11 se muestra el resumen del análisis de varianza (ANVA) para evaluar la variación del color de las ocas deshidratadas en comparación con las ocas frescas.

Tabla N° 11 Análisis de varianza para variación del color (ΔE^*)

Origen de las variaciones	SC	GL	CM	F	Prob.	Valor -F	Sig.
A: Frecuencia US (kHz)	1.397	3	0.466	0.347	0.792	3.49	n.s.
B: Temperatura (°C)	8.198	2	4.099	3.055	0.085	3.88	n.s.
AxB	16.672	6	2.779	2.071	0.133	2.99	n.s.
Error	16.101	12	1.342				
Total	42.369	23					

%CV: 7.709

Fuente: Elaboración propia.

No se encontraron diferencias significativas en el efecto de la interacción de los factores (frecuencia y temperatura), es decir, ninguno de los factores o interacción de éstos, tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la variación de color (ΔE^*), por lo tanto, no existe influencia de los ultrasonidos y temperatura en la variación de color.

4.3.4. Textura

En la Figura N° 29, se muestran los valores obtenidos para dureza, expresados en unidades de fuerza (Newton), (ver Anexo 4.3). Para temperaturas de 5 °C y 10 °C, los tratamientos sin ultrasonidos son los que mayor valor presentan, es decir que la muestra es más dura, requiriéndose mayor fuerza para fracturar la muestra de oca deshidratada, en comparación con los demás tratamientos con aplicación de ultrasonidos, esto se debe a que los ultrasonidos producen cavitación en la estructura de la muestra (Robles & Ochoa,

2012) lo que ocasiona un ablandamiento de la muestra (García, 2007), por ello es que, sin aplicación de ultrasonidos las muestras tienen una mayor compactación de su estructura, por tanto la dureza es comparativamente mayor (Fellows, 2000). Por otro lado, para los tratamientos con aplicación de ultrasonidos, los tratamientos de 15 °C presentan valores de dureza menores comparados con los tratamientos de 10 °C y 5 °C, ésta diferencia posee una tendencia a la igualdad a medida que se incrementa la frecuencia ultrasónica, a la vez el valor de la dureza disminuye también. Por tanto, existe influencia de los ultrasonidos de potencia sobre la textura de las muestras de oca deshidratadas.

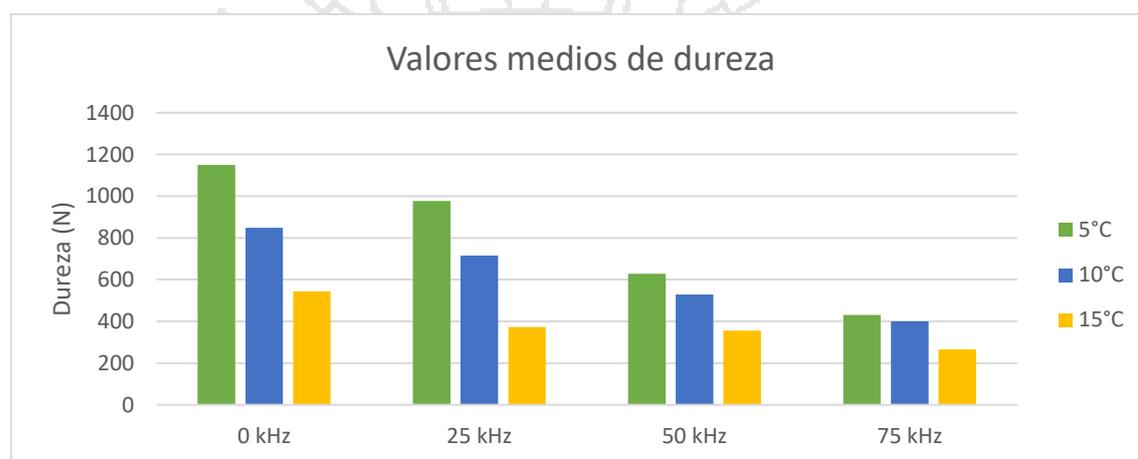


Figura N° 29 Valores medios de dureza obtenidos para oca deshidratada.

FUENTE: Elaboración propia.

En la Tabla N° 12 se muestra el resumen del análisis de varianza para la textura (dureza) donde la interacción frecuencia y temperatura tiene un efecto estadístico altamente significativo sobre la textura (dureza) con un 95.0% de nivel de confianza.

Tabla N° 12 Análisis de varianza para textura (dureza)

Origen de las variaciones	SC	GL	CM	F	Valor - P	Valor -F	Sig.
A: Frecuencia US (kHz)	7.98E+05	3	2.66E+05	392.42	3.08E-12	3.49	**
B: Temperatura	6.85E+05	2	3.42E+05	504.9	2.62E-12	3.89	**
A x B	1.56E+05	6	2.61E+04	38.46	3.74E-07	3.00	**
Error	8.14E+03	12	678.039				
Total	1.65E+06	23					

cv= 4.331%

Fuente: Elaboración propia.

La diferencia significativa hallada para la interacción se comprobó mediante la prueba **DUNCAN para interacción: Frecuencia US x Temperatura**, los resultados se muestran a continuación:

Frecuencia US en Temperatura

Frecuencia US	en 5 °C	Duncan (P≤0.05)	en 10 °C	Duncan (P≤0.05)	en 15 °C	Duncan (P≤0.05)
0 kHz	1149.75	a	848.00	a	543.67	a
25 kHz	976.75	b	715.11	b	373.22	b
50 kHz	628.67	c	528.25	c	355.14	b
75 kHz	430.61	d	400.50	d	265.67	c

No se encontraron grupos homogéneos entre los tratamientos de estudio del factor frecuencia con temperaturas de 5 °C y 10 °C, sin embargo, se encontró grupos homogéneos en el factor frecuencia con temperatura de 15 °C para los tratamientos 25 kHz y 50 kHz.

Temperatura en Frecuencia US

Temp. °C	en 0 kHz	Duncan (P≤0.05)	en 25 kHz	Duncan (P≤0.05)	en 50 kHz	Duncan (P≤0.05)	en 75 kHz	Duncan (P≤0.05)
5 °C	1149.75	a	976.75	a	628.665	a	430.61	a
10 °C	848.00	b	715.11	b	528.25	b	400.50	a
15 °C	543.67	c	373.22	c	355.135	c	265.67	b

No se encontraron grupos homogéneos entre los tratamientos de estudio del factor temperatura con frecuencias de ultrasonido 0 kHz, 25 kHz y 50 kHz, se encontraron grupos homogéneos en el factor temperatura con frecuencia de ultrasonido de 75 kHz para los tratamientos 5 °C y 10 °C. Existen diferencias significativa para la interacción de los tratamientos con aplicación de ultrasonidos y temperatura en la dureza del producto, lo que comprueba la influencia significativa de los ultrasonidos y la temperatura sobre las muestras de oca deshidratada.

4.3.5. Valores de densidad y volumen

Los valores de densidad obtenidos, se muestran en la Figura N° 30, en ella se observa que los tratamientos de 5 °C son mayores en comparación con los tratamientos de 10 °C y 15 °C.

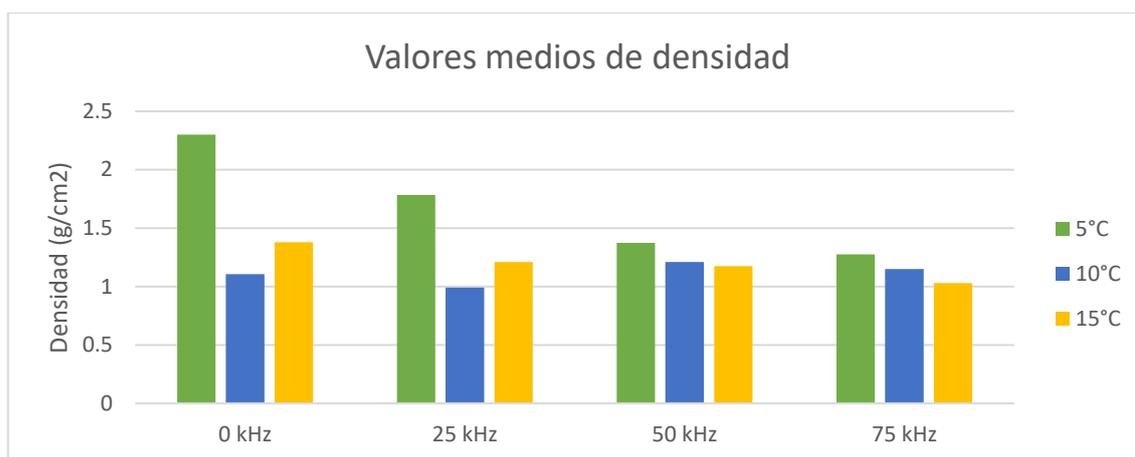


Figura N° 30 Valores medios para densidad de oca deshidratada.

En la Tabla N° 13 se muestra el resumen del análisis de varianza (ANVA) para la densidad, se encontraron diferencias significativas para la interacción frecuencia – temperatura y altamente significativo para el factor temperatura.

Tabla N° 13 Análisis de varianza para la densidad

Origen de las variaciones	SC	GL	CM	F	Valor - P	Valor F	Sig.
A: Frecuencia US (kHz)	0.646	3	0.215	17.718	1.05E-04	3.49	*
B: Temperatura	1.516	2	0.758	62.394	4.56E-07	3.89	**
A x B	0.832	6	0.139	11.409	2.35E-04	3.00	*
Error	0.146	12	0.012				
Total	3.140	23					

CV: 8.272%

Fuente: Elaboración propia.

La prueba de significancia hallada, se realizó con la prueba de Rangos múltiples, diferencias mínimas significativas (LSD) de Fisher, los resultados obtenidos se muestran a continuación:

Temperatura (°C)	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
10	8	1.11375	0.0391378	a
15	8	1.19875	0.0391378	a
5	8	1.68375	0.0391378	b

Se identificaron 2 grupos homogéneos correspondientes a los tratamientos 10 °C y 15 °C, lo que indica que la densidad en el deshidratado de oca tiene un efecto

significativo a temperaturas bajas (5 °C) en comparación con temperaturas cercanas al medio ambiente.

Lo valores obtenidos para variación de volumen se muestran en la Figura N° 31, en la que se observa que a mayor frecuencia (75 kHz), se produce una mayor reducción del volumen, comparado con los demás tratamientos.

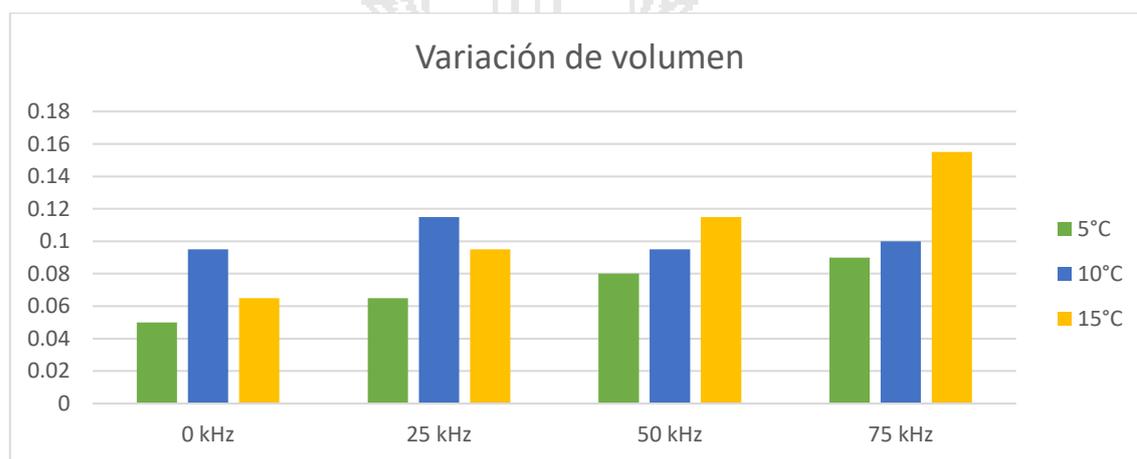


Figura N° 31 Valores medios para variación de volumen de oca deshidratada.

En la Tabla N° 14 se muestra el resumen del análisis de varianza (ANVA) para los valores de volumen, donde se aprecia que existe diferencia significativa para la interacción frecuencia – temperatura.

Tabla N° 14 Análisis de varianza para la variación de volumen.

Origen de las variaciones	SC	GL	CM	F	Valor - P	Valor -F	Sig.
A: Frecuencia US (kHz)	0.0062	3	0.00206	30.833	6.38E-06	3.49	**
B: Temperatura (°C)	0.0060	2	0.00300	45.063	2.63E-06	3.89	**
AB	0.0048	6	0.00079	11.896	1.91E-04	3.00	*
Error	0.0008	12	0.00007				
Total	0.0177	23					

CV: 8.748%

Fuente: Elaboración propia.

De igual manera, para la prueba de significancia hallada, se realizó mediante la prueba de Rangos múltiples, diferencias mínimas significativas (LSD) de Fisher, los resultados obtenidos se muestran a continuación:

Frecuencia	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0	6	0.07	0.00333333	a
25	6	0.0916667	0.00333333	b
50	6	0.0966667	0.00333333	b
75	6	0.115	0.00333333	c

Se encontraron 2 grupos homogéneos correspondientes a los tratamientos con aplicación de ultrasonidos de 25 kHz y 50 kHz, existe diferencias entre los grupos sin aplicación de ultrasonidos y con el tratamiento de 75 kHz.

Temperatura (°C)	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
5	8	0.07125	0.00288675	a
10	8	0.10125	0.00288675	b
15	8	0.1075	0.00288675	b

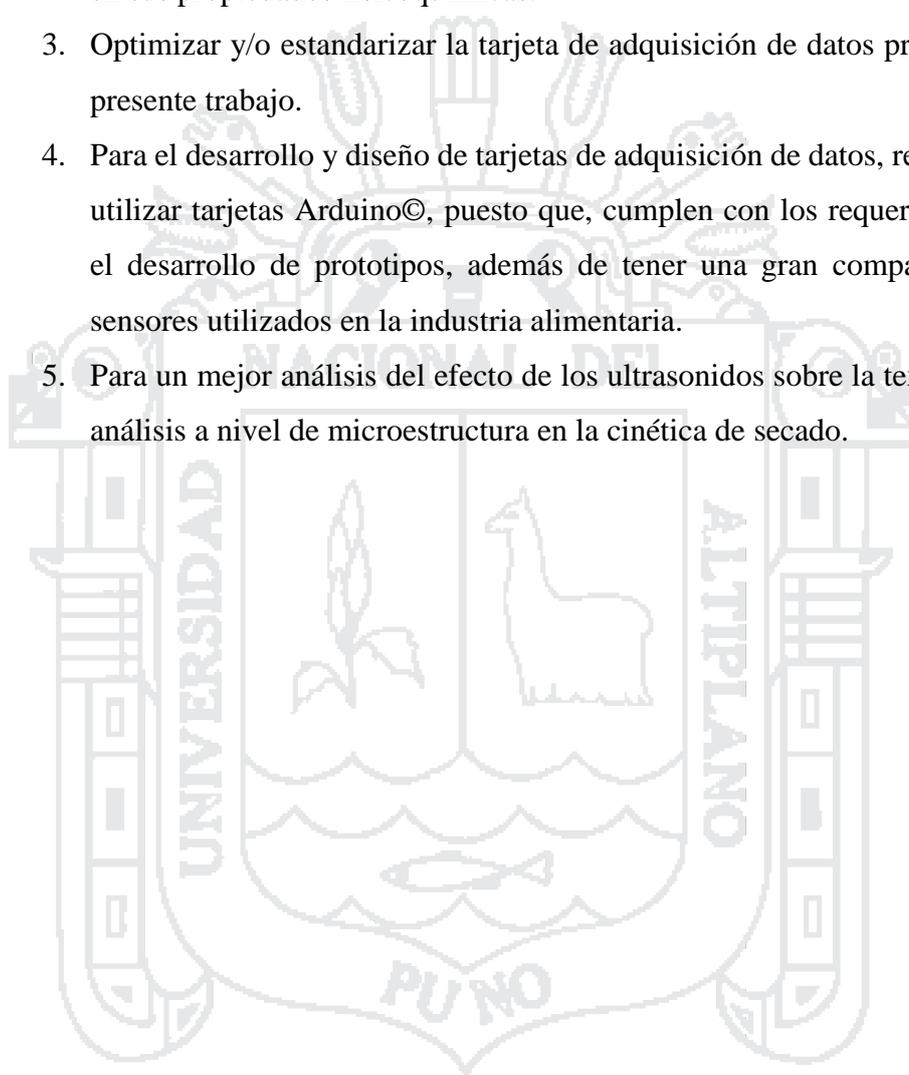
Se encontraron 2 grupos homogéneos correspondientes a los tratamientos con temperaturas de 10 °C y 15 °C, y un grupo no homogéneo con temperatura de 5 °C, se comprueba la reducción del volumen producido por los ultrasonidos y la temperatura en la deshidratación en muestras de oca (Fellows, 2000), debido principalmente a la eliminación del agua libre que ocasiona los ultrasonidos a bajas temperaturas (Awad & Moharram, 2012).

CONCLUSIONES

1. La implementación del sistema de secado con aire convectivo a bajas temperaturas con la aplicación de ultrasonidos de potencia, ha permitido ejecutar de manera sencilla y práctica la deshidratación de oca (*Oxalis tuberosa* Mol), puesto que, cuenta con sistema de control y monitoreo automatizado que permite registrar datos de frecuencia, temperatura, humedad y peso, en intervalos de tiempo programables.
2. La aplicación de los ultrasonidos de potencia en el deshidratado de oca (*Oxalis tuberosa* Mol) influyó de manera significativa ($p < 0.05$) en la cinética de deshidratación, por cuanto se obtuvo mayores valores de difusividad efectiva, incrementándose la velocidad de remoción de la humedad, obteniendo tiempos de deshidratación mucho menores en comparación con los tratamientos sin ultrasonidos, con una reducción de hasta 36%, por otro lado, a mayor temperatura (15 °C) se obtuvo un mayor valor de difusividad efectiva, por tanto se obtuvo un menor tiempo de deshidratación, en comparación a los tratamientos de 10 °C y 5 °C, se obtuvo como mejor tratamiento, considerando para ello un menor tiempo y mayor velocidad de remoción de la humedad, a los tratamientos con frecuencias de 25 y 50 kHz a 15 °C.
3. Para las propiedades fisicoquímicas evaluadas, la aplicación de los ultrasonidos no tienen un efecto significativo en la variación de color y contenido de ácido ascórbico, por lo que no se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los tratamientos con aplicación de ultrasonidos y los tratamientos sin aplicación de ultrasonidos, además, en el contenido de ácido ascórbico se obtuvo pérdidas mínimas en comparación a la experiencia de secado a mayor temperatura (50 °C); sin embargo, los ultrasonidos y la temperatura influyeron significativamente ($p < 0.05$) en la textura (dureza), volumen y densidad de la oca.

RECOMENDACIONES

1. Realizar estudios similares, incrementando la potencia ultrasónica, para un mayor efecto en los resultados, utilizando frecuencias entre 25 y 50 kHz.
2. Realizar estudios en otros alimentos, para determinar la existencia de pérdidas en sus propiedades fisicoquímicas.
3. Optimizar y/o estandarizar la tarjeta de adquisición de datos producida en el presente trabajo.
4. Para el desarrollo y diseño de tarjetas de adquisición de datos, recomendamos utilizar tarjetas Arduino®, puesto que, cumplen con los requerimientos para el desarrollo de prototipos, además de tener una gran compatibilidad con sensores utilizados en la industria alimentaria.
5. Para un mejor análisis del efecto de los ultrasonidos sobre la textura, realizar análisis a nivel de microestructura en la cinética de secado.



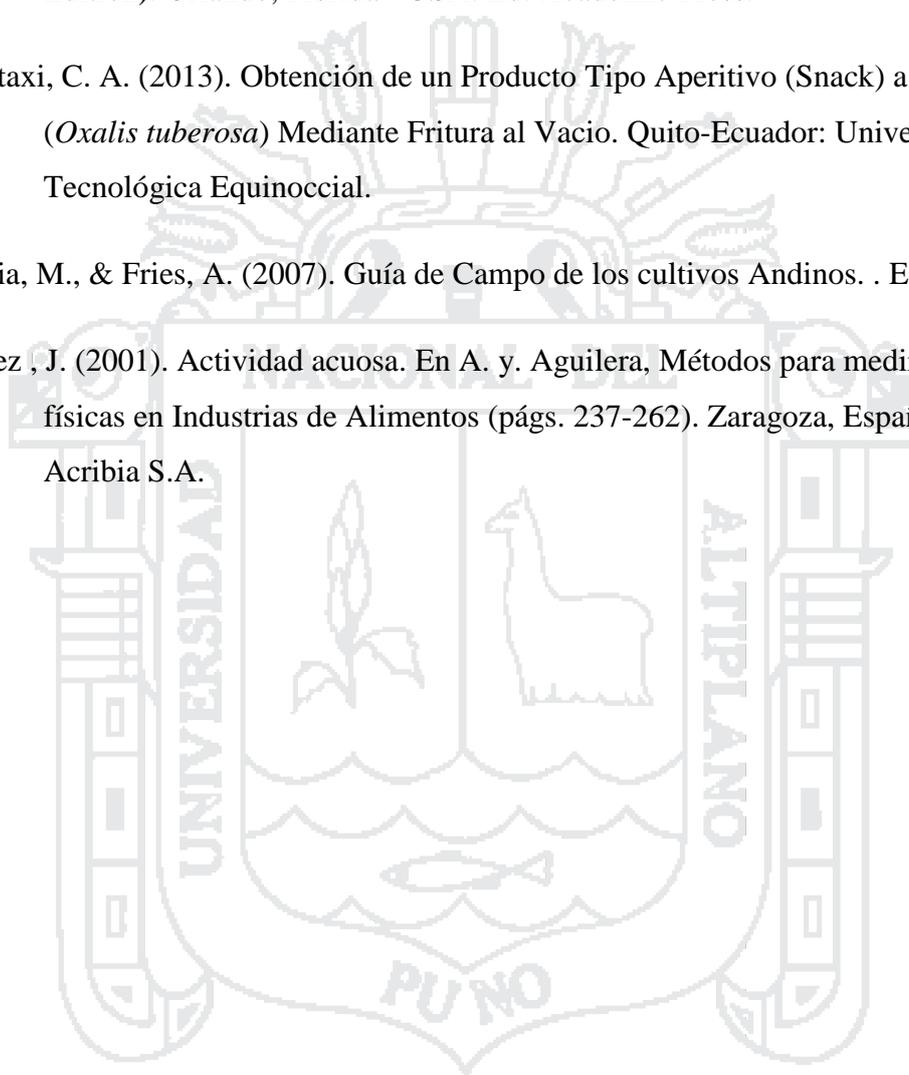
BIBLIOGRAFÍA

- A.O.A.C. (2005). Official Methods of Analisis of AOAC International. International A.O.A.C.
- Alvarado, J., & Aguilera, J. M. (2001). Métodos para medir propiedades físicas en industria de alimentos. Zaragoza: Ed. Acribia S.A.
- Arduino. (2014). Topic: Controlling PC fan with arduino and TIP120. Recuperado el 10 de Mayo de 2016, de <http://forum.arduino.cc/index.php?topic=270493.0>
- Arduino. (2016). Topic: Arduino Uno with 5 kg Load Sensor. Recuperado el 09 de Mayo de 2016, de <http://forum.arduino.cc/index.php?topic=292634.0>
- Arroyo, P., Arteaga, M., & Siche, J. (2010). Sinergismo entre el cloruro de sodio, sacarosa y fosfato tricálcico en la deshidratación osmótica de oca (*Oxalis tuberosa*) con y sin recubrimiento de Quitosano. Scientia Agropecuaria, 197 - 206.
- Awad, T., & Moharram, H. (2012). Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food. Food Reserarch International, 48: 410-427.
- Baltes, W. (2006). Química de los Alimentos. Zaragoza: Ed. Acribia S.A.
- Brookfield Engineering Laboratories, INC. (2012). Manual No. M08-372-E0315. Recuperado el 1 de Septiembre de 2016, de <http://www.brookfieldengineering.com>
- Cajamarca, R. (2010). Evaluación nutricional de oca (*Oxalis tuberosa*) fresca, endulzada y deshidratada en secador de bandejas. Chimborazo - Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Castro, C. (2008). Evaluación de las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de la papa fritura, Tesis de Post grado. Burgos, España: Universidad de Burgos .
- Chenoll, M. C. (2008). Relaciones agua-solutos-matriz insoluble en algunos sistemas alimentarios. Valencia, España: Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia.

- Clemente, G. (2003). Efecto de la contracción en la cinética de secado de musculo de Jamón, Tesis Doctoral. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia.
- Colina, M. L. (2010). Deshidratacion de los Alimentos. Mexico: Ed. Trillas.
- Contreras, R. M., & García, P. J. (2014). Estudio de Parámetros de Calidad de Manzana Deshidratada mediante Secado a baja Temperatura Asistido con Ultrasonido. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Corona, E., & Benedito, S. (2014). Ultrasonic characterization of pork fat crystallization during cold storage . *Journal of Food Science*, 79: E828-E838.
- Cuamatzi, O. (2004). Bioquímica de los procesos metabólicos. Ed. Reverte.
- Embarcados. (2016). Arduino Mega 2560. Recuperado el 10 de Mayo de 2016, de <https://www.embarcados.com.br/arduino-mega-2560/>
- Fellows, P. (2000). Tecnología del procesado de los alimentos: principios y practica (2da ed.). Zaragoza: Ed. Acribia, S.A.
- Flores, H., Walker, T., Guimaraes, R., & Vivanco, J. (2003). Andean Root and Tuber Crops: Underground Rainbows. Horticultural Science.
- Garcia Pérez, J., & Gallego Juarez, J. (2013). Secado convectivo de alimentos asistido por Ultrasonido. *Tecni Acustica Valladolid*, 1586 (1-7).
- García, J. (2007). Isotermas de adsorción y cinética de secado. Buenos Aires, Argentina: INTA.
- García, J., & Carcel, J. (2007). Power ultrasound mass transfer enhancement in food drying. *Food and Bioproducts Processing*, 85, 247-254.
- Henrys Bench. (2015). Reading the Temperature from One DS18B20. Recuperado el Mayo de 2016, de <http://henrysbench.cpnfatz.com/henrysbench/arduino-temperature-measurements/ds18b20-arduino-user-manual-introduction-and-contents/ds18b20-arduino-users-manual-part-3-reading-a-single-temperature/>
- Ibañez Quispe, V. (2009). Análisis y Diseño de Experimentos. Puno: Editorial Universitaria.

- INEI. (2015). Compendio estadístico 2015. Lima: Instituto Nacional de Estadística e Informática.
- Johnny Five Community. (2013). Relay. Recuperado el Mayo de 2016, de <http://johnny-five.io/examples/relay/>
- León, M. M., & Villacorta, G. M. (2011). Composición química de “oca” (*Oxalis tuberosa*), “arracacha” (*Arracaccia xanthorriza*) y „tarwi“ (*Lupinus mutabilis*). Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos., 2 (2): 239-252.
- Liendo, M., & Zapata, C. (2000). Sorption isotherm equations of potato flakes and sweet potato flakes. Brazilian Journal of food technology, 53-57.
- MINSA. (2009). Tablas Peruanas de Composición de Alimentos. Lima, Perú: Instituto Nacional de Salud.
- Monar, B. V. (2014). Determinación de la composición química y capacidad antioxidante de dos variedades de oca (*Oxalis tuberosa*): Bola Kamusa y Lluch'u oqa. Quito - Ecuador: Universidad Tecnológica Equinoccial.
- Muñoz, L. (2010). Sistemas de Alimentación conmutados. Madrid: Ed. Parainfo.
- Naylamp Mechatronics. (2015). Tutorial Arduino y memoria SD y micro SD. Recuperado el 10 de Mayo de 2016, de http://www.naylampmechatronics.com/blog/38_Tutorial-Arduino-y-memoria-SD-y-micro-SD-.html
- Nevixa Pty Ltd. (2014). catus.io. Recuperado el Mayo de 2016, de <http://cactus.io/hooks/sensors/temperature-humidity/dht22/hookup-arduino-to-dht22-temp-humidity-sensor>
- Nieto, G. (2004). Cuantificación de la erosión genética de melloco (*Ullucus tuberosos*), Oca (*Oxalis tuerosa*) y masuha (*Tropaeolum tuberosum*) en localidades de las provincias de Chimborazo y Tungurahua. Chimborazo- Ecuador: INIAP .
- Pereira, J. (19 de Diciembre de 2010). Rough Profiler. Obtenido de <http://www.jpereira.net/rough-profiler/validar-perfil-color-icc-delta-e>

- Robles, O., & Ochoa, M. (2012). Ultrasonido y sus aplicaciones en el procesamiento de alimentos. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, Vol 3(núm 2), 109-122.
- Singh, P., & Heldman, D. (2009). *Introduction to Food Engineering* (Vol. Fourth Edition). Orlando, Florida - USA: Ed. Academic Press.
- Suntaxi, C. A. (2013). Obtención de un Producto Tipo Aperitivo (Snack) a Partir de Oca (*Oxalis tuberosa*) Mediante Fritura al Vacío. Quito-Ecuador: Universidad Tecnológica Equinoccial.
- Tapia, M., & Fries, A. (2007). *Guía de Campo de los cultivos Andinos*. . Ed. ANPE.
- Vélez, J. (2001). Actividad acuosa. En A. y. Aguilera, *Métodos para medir propiedades físicas en Industrias de Alimentos* (págs. 237-262). Zaragoza, España: Ed. Acribia S.A.



ANEXOS

ANEXO I: SISTEMA DE DESHIDRATADO

Anexo 1.1: Hoja de datos del generador de señales AD9850



CMOS, 125 MHz
Complete DDS Synthesizer

AD9850

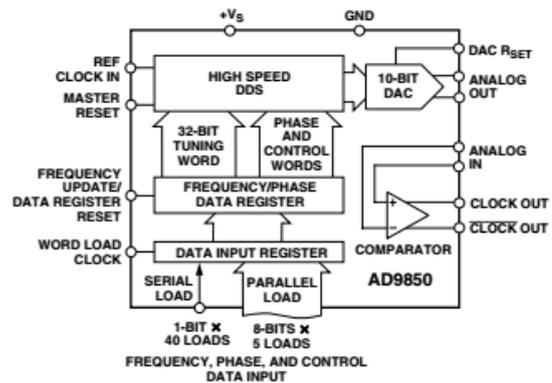
FEATURES

- 125 MHz Clock Rate
- On-Chip High Performance DAC and High Speed Comparator
- DAC SFDR > 50 dB @ 40 MHz A_{OUT}
- 32-Bit Frequency Tuning Word
- Simplified Control Interface: Parallel Byte or Serial Loading Format
- Phase Modulation Capability
- 3.3 V or 5 V Single-Supply Operation
- Low Power: 380 mW @ 125 MHz (5 V)
155 mW @ 110 MHz (3.3 V)
- Power-Down Function
- Ultra-small 28-Lead SSOP Packaging

APPLICATIONS

- Frequency/Phase—Agile Sine Wave Synthesis
- Clock Recovery and Locking Circuitry for Digital Communications
- Digitally Controlled ADC Encode Generator
- Agile Local Oscillator Applications

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



GENERAL DESCRIPTION

The AD9850 is a highly integrated device that uses advanced DDS technology coupled with an internal high speed, high performance D/A converter and comparator to form a complete, digitally programmable frequency synthesizer and clock generator function. When referenced to an accurate clock source, the AD9850 generates a spectrally pure, frequency/phase programmable, analog output sine wave. This sine wave can be used directly as a frequency source, or it can be converted to a square wave for agile-clock generator applications. The AD9850's innovative high speed DDS core provides a 32-bit frequency tuning word, which results in an output tuning resolution of 0.0291 Hz for a 125 MHz reference clock input. The AD9850's circuit architecture allows the generation of output frequencies of up to one-half the reference clock frequency (or 62.5 MHz), and the output frequency can be digitally changed (asynchronously) at a rate of up to 23 million new frequencies per second. The device also provides five bits of digitally controlled phase modulation, which enables phase shifting of its output in increments of 180°, 90°, 45°, 22.5°,

11.25°, and any combination thereof. The AD9850 also contains a high speed comparator that can be configured to accept the (externally) filtered output of the DAC to generate a low jitter square wave output. This facilitates the device's use as an agile clock generator function.

The frequency tuning, control, and phase modulation words are loaded into the AD9850 via a parallel byte or serial loading format. The parallel load format consists of five iterative loads of an 8-bit control word (byte). The first byte controls phase modulation, power-down enable, and loading format; Bytes 2 to 5 comprise the 32-bit frequency tuning word. Serial loading is accomplished via a 40-bit serial data stream on a single pin. The AD9850 Complete DDS uses advanced CMOS technology to provide this breakthrough level of functionality and performance on just 155 mW of power dissipation (3.3 V supply).

The AD9850 is available in a space-saving 28-lead SSOP, surface-mount package. It is specified to operate over the extended industrial temperature range of -40°C to +85°C.

REV. H

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties that may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781/329-4700 www.analog.com
Fax: 781/326-8703 © 2004 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

Anexo 1.2: Hoja de datos del amplificador de potencia TDA2003

TDA2003 LINEAR INTEGRATED CIRCUIT

10W CAR RADIO AUDIO AMPLIFIER

DESCRIPTION

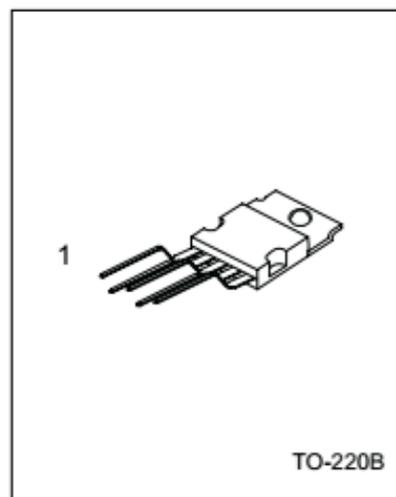
The Contek TDA2003 is a monolithic audio power amplifier integrated circuit.

FEATURES

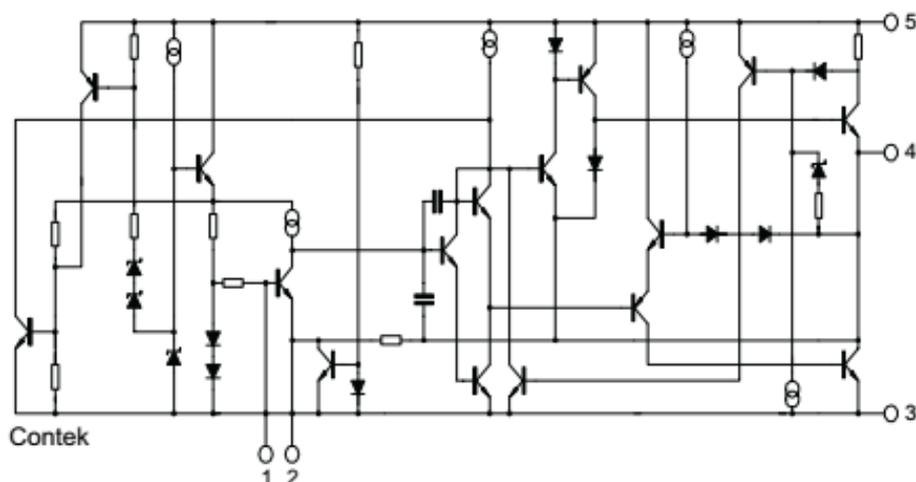
- *Very low external component required.
- *High current output (up to 3 A).
- *Low harmonic and crossover distortion.
- *Built-in Over temperature protection.
- *Short circuit protection between all pins.

PIN CONFIGURATIONS

- 1 Non inverting input
- 2 Inverting input
- 3 Ground
- 4 Output
- 5 Supply Voltage



BLOCK DIAGRAM

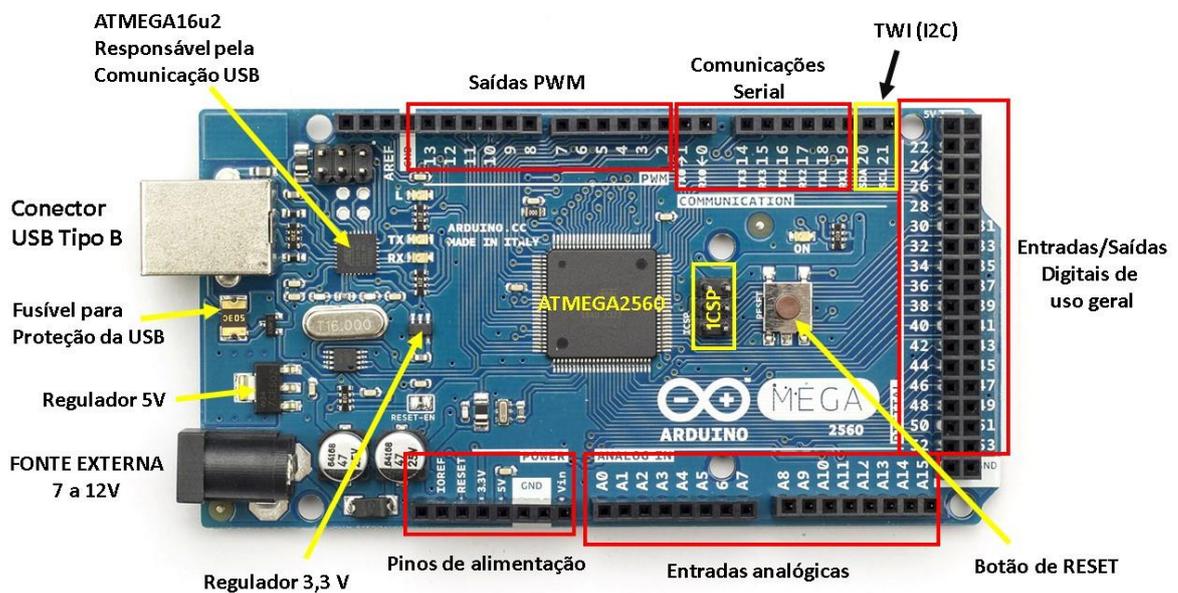


Contek Microelectronics Co.,Ltd.

<http://www.contek-ic.com> E-mail:sales@contek-ic.com

Anexo 1.3: Arduino MEGA® 2560

The Mega 2560 is a microcontroller board based on the ATmega2560. It has 54 digital input/output pins (of which 15 can be used as PWM outputs), 16 analog inputs, 4 UARTs (hardware serial ports), a 16 MHz crystal oscillator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started. The Mega 2560 board is compatible with most shields designed for the Uno and the former boards Duemilanove or Diecimila.



Componentes y pines de conexión de la tarjeta Arduino Mega 2560. (Embarcados, 2016)

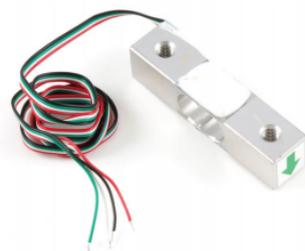
Resumen:

Microcontrolador	ATmega2560
Voltaje de operación	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12V
Voltaje de entrada (límites)	6-20V
Pines Digitales I/O	54 (14 de las cuales poseen salida PWM)
Pines Analógicos de entrada	16
Corriente DC por pin I/O	40 mA
Corriente DC para pin 3.3V	50 mA
Memoria flash	256 KB (8 KB son usados por bootloader)
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Frecuencia de reloj interno	16 MHz

Anexo 1.4: Celda de carga 5 kg

Datasheet

3133 - Micro Load Cell (0-5kg) - CZL635



Contents

- 1 What do you have to know?
- 1 How does it work - For curious people
- 1 Installation
- 2 Calibration
- 2 Product Specifications
- 3 Glossary

What do you have to know?

A load cell is a force sensing module - a carefully designed metal structure, with small elements called strain gauges mounted in precise locations on the structure. Load cells are designed to measure a specific force, and ignore other forces being applied. The electrical signal output by the load cell is very small and requires specialized amplification. Fortunately, **the 1046 PhidgetBridge will perform all the amplification and measurement of the electrical output.**

Load cells are designed to measure force in one direction. They will often measure force in other directions, but the sensor sensitivity will be different, since parts of the load cell operating under compression are now in tension, and vice versa.

How does it work - For curious people

Strain-gauge load cells convert the load acting on them into electrical signals. The measuring is done with very small resistor patterns called strain gauges - effectively small, flexible circuit boards. The gauges are bonded onto a beam or structural member that deforms when weight is applied, in turn deforming the strain-gauge. As the strain gauge is deformed, it's electrical resistance changes in proportion to the load.

The changes to the circuit caused by force is much smaller than the changes caused by variation in temperature. Higher quality load cells cancel out the effects of temperature using two techniques. By matching the expansion rate of the strain gauge to the expansion rate of the metal it's mounted on, undue strain on the gauges can be avoided as the load cell warms up and cools down. The most important method of temperature compensation involves using multiple strain gauges, which all respond to the change in temperature with the same change in resistance. Some load cell designs use gauges which are never subjected to any force, but only serve to counterbalance the temperature effects on the gauges that measuring force. Most designs use 4 strain gauges, some in compression, some under tension, which maximizes the sensitivity of the load cell, and automatically cancels the effect of temperature.

Installation

This Single Point Load Cell is used in small jewelry scales and kitchen scales. It's mounted by bolting down the end of the load cell where the wires are attached, and applying force on the other end **in the direction of the arrow**. Where the force is applied is not critical, as this load cell measures a shearing effect on the beam, not the bending of the beam. If you mount a small platform on the load cell, as would be done in a small scale, this load cell provides accurate readings regardless of the position of the load on the platform.



Anexo 1.5: Transmisor para celda de carga HX711



HX711

24-Bit Analog-to-Digital Converter (ADC) for Weigh Scales

DESCRIPTION

Based on Avia Semiconductor’s patented technology, HX711 is a precision 24-bit analog-to-digital converter (ADC) designed for weigh scales and industrial control applications to interface directly with a bridge sensor.

The input multiplexer selects either Channel A or B differential input to the low-noise programmable gain amplifier (PGA). Channel A can be programmed with a gain of 128 or 64, corresponding to a full-scale differential input voltage of $\pm 20\text{mV}$ or $\pm 40\text{mV}$ respectively, when a 5V supply is connected to AVDD analog power supply pin. Channel B has a fixed gain of 32. On-chip power supply regulator eliminates the need for an external supply regulator to provide analog power for the ADC and the sensor. Clock input is flexible. It can be from an external clock source, a crystal, or the on-chip oscillator that does not require any external component. On-chip power-on-reset circuitry simplifies digital interface initialization.

There is no programming needed for the internal registers. All controls to the HX711 are through the pins.

FEATURES

- Two selectable differential input channels
- On-chip active low noise PGA with selectable gain of 32, 64 and 128
- On-chip power supply regulator for load-cell and ADC analog power supply
- On-chip oscillator requiring no external component with optional external crystal
- On-chip power-on-reset
- Simple digital control and serial interface: pin-driven controls, no programming needed
- Selectable 10SPS or 80SPS output data rate
- Simultaneous 50 and 60Hz supply rejection
- Current consumption including on-chip analog power supply regulator:
 - normal operation $< 1.5\text{mA}$, power down $< 1\mu\text{A}$
- Operation supply voltage range: 2.6 ~ 5.5V
- Operation temperature range: $-40 \sim +85^\circ\text{C}$
- 16 pin SOP-16 package

APPLICATIONS

- Weigh Scales
- Industrial Process Control

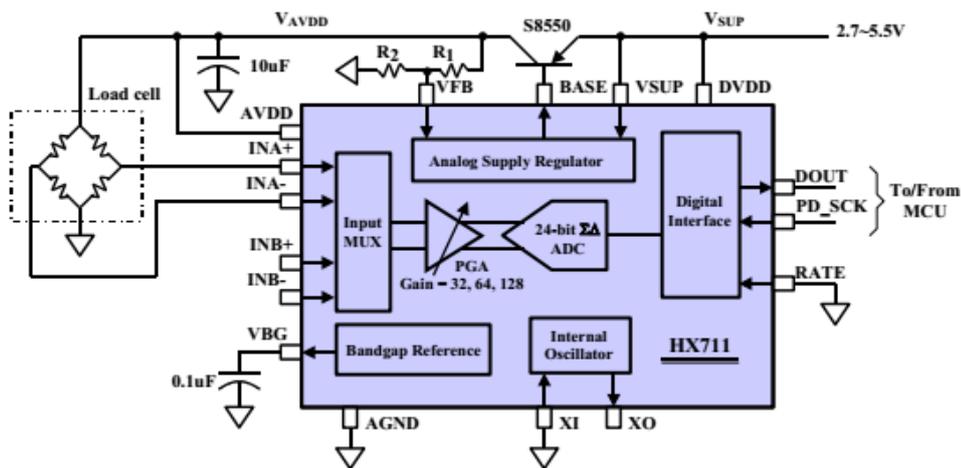


Fig. 1 Typical weigh scale application block diagram

TEL: (592) 252-9530 (P. R. China)
 EMAIL: market@aviaic.com

AVIA SEMICONDUCTOR

Anexo 1.6: Hoja de datos de sensor de temperatura DS18B20

PRELIMINARY

DS18B20

Programmable Resolution 1-Wire® Digital Thermometer

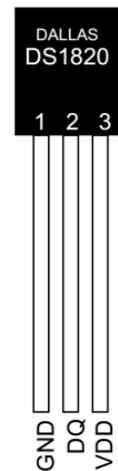
DALLAS SEMICONDUCTOR

www.dalsemi.com

FEATURES

- Unique 1-Wire interface requires only one port pin for communication
- Multidrop capability simplifies distributed temperature sensing applications
- Requires no external components
- Can be powered from data line. Power supply range is 3.0V to 5.5V
- Zero standby power required
- Measures temperatures from -55°C to +125°C. Fahrenheit equivalent is -67°F to +257°F
- ±0.5°C accuracy from -10°C to +85°C
- Thermometer resolution is programmable from 9 to 12 bits
- Converts 12-bit temperature to digital word in 750 ms (max.)
- User-definable, nonvolatile temperature alarm settings
- Alarm search command identifies and addresses devices whose temperature is outside of programmed limits (temperature alarm condition)
- Applications include thermostatic controls, industrial systems, consumer products, thermometers, or any thermally sensitive system

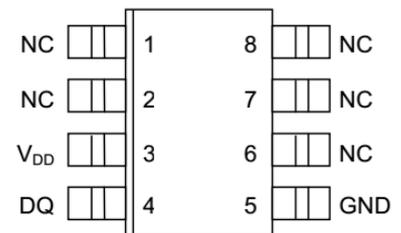
PIN ASSIGNMENT



BOTTOM VIEW



DS18B20 To-92 Package



DS18B20Z 8-Pin SOIC (150 mil)

PIN DESCRIPTION

- GND - Ground
- DQ - Data In/Out
- V_{DD} - Power Supply Voltage
- NC - No Connect

DESCRIPTION

The DS18B20 Digital Thermometer provides 9 to 12-bit (configurable) temperature readings which indicate the temperature of the device.

Information is sent to/from the DS18B20 over a 1-Wire interface, so that only one wire (and ground) needs to be connected from a central microprocessor to a DS18B20. Power for reading, writing, and performing temperature conversions can be derived from the data line itself with no need for an external power source.

Because each DS18B20 contains a unique silicon serial number, multiple DS18B20s can exist on the same 1-Wire bus. This allows for placing temperature sensors in many different places. Applications where this feature is useful include HVAC environmental controls, sensing temperatures inside buildings, equipment or machinery, and process monitoring and control.

Anexo 1.7: Hoja de datos de relé 12V 10A

SONGLE RELAY

	RELAY ISO9002	SRD
--	---------------	------------



1. MAIN FEATURES

- Switching capacity available by 10A in spite of small size design for highdensity P.C. board mounting technique.
- UL,CUL,TUV recognized.
- Selection of plastic material for high temperature and better chemical solution performance.
- Sealed types available.
- Simple relay magnetic circuit to meet low cost of mass production.

2. APPLICATIONS

- Domestic appliance, office machine, audio, equipment, automobile, etc.
(Remote control TV receiver, monitor display, audio equipment high rushing current use application.)

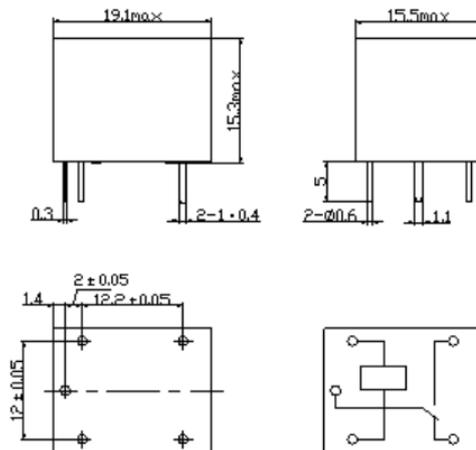
3. ORDERING INFORMATION

SRD	XX VDC	S	L	C
Model of relay	Nominal coil voltage	Structure	Coil sensitivity	Contact form
SRD	03、05、06、09、12、24、48VDC	S:Sealed type	L:0.36W	A:1 form A
		F:Flux free type	D:0.45W	B:1 form B
				C:1 form C

4. RATING

CCC	FILE NUMBER:CH0052885-2000	7A/240VDC
CCC	FILE NUMBER:CH0036746-99	10A/250VDC
UL/CUL	FILE NUMBER: E167996	10A/125VAC 28VDC
TUV	FILE NUMBER: R9933789	10A/240VAC 28VDC

5. DIMENSION(unit:mm) DRILLING(unit:mm) WIRING DIAGRAM

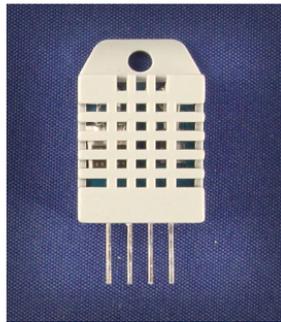


Anexo 1.8: Hoja de datos de sensor de temperatura y humedad DHT22

Aosong(Guangzhou) Electronics Co.,Ltd

Tell: +86-020-36380552, +86-020-36042809 Fax: +86-020-36380562
 http://www.aosong.com
 Email: thomasliu198518@yahoo.com.cn sales@aosong.com
 Address: No.56, Renhe Road, Renhe Town, Baiyun District, Guangzhou, China

Digital-output relative humidity & temperature sensor/module
AM2303



Capacitive-type humidity and temperature module/sensor

1. Feature & Application:

- * Full range temperature compensated
- * Relative humidity and temperature measurement
- * Calibrated digital signal
- * Outstanding long-term stability
- * Extra components not needed
- * Long transmission distance
- * Low power consumption
- * 4 pins packaged and fully interchangeable

2. Description:

AM2303 output calibrated digital signal. It utilizes exclusive digital-signal-collecting-technique and humidity sensing technology, assuring its reliability and stability. Its sensing elements is connected with 8-bit single-chip computer.

Every sensor of this model is temperature compensated and calibrated in accurate calibration chamber and the calibration-coefficient is saved in type of programme in OTP memory, when the sensor is detecting, it will cite coefficient from memory.

Small size & low consumption & long transmission distance(20m) enable AM2303 to be suited in all kinds of harsh application occasions.

Single-row packaged with four pins, making the connection very convenient.

3. Technical Specification:

Model	AM2303
Power supply	3.3-6V DC
Output signal	digital signal via single-bus
Sensing element	Polymer humidity capacitor & DS18B20 for detecting temperature
Measuring range	humidity 0-100%RH; temperature -40~125Celsius

Anexo 1.9: Hoja de datos de módulo para memorias microSD



Description:

- Support Micro SD Card, Micro SDHC card (high-speed card).
- The level conversion circuit board that can interface level is 5V or 3.3V
- Communication interface is a standard SPI interface
- Control Interface: A total of six pins (GND, VCC, MISO, MOSI, SCK, CS), GND to ground, VCC is the power supply, MISO, MOSI, SCK is the SPI bus, CS is the chip select signal pin;
- 3.3V regulator circuit: LDO regulator output 3.3V as level converter chip, Micro SD card supply;
- Level conversion circuit: Micro SD card into the direction of signals into 3.3V, MicroSD card toward the direction of the control interface MISO signal is also converted to 3.3V, general AVR microcontroller system can read the signal;
- Micro SD card connector: yes, since the bomb deck for easy card insertion and removal.
- Positioning Holes: 4 M2 screws positioning Hole diameter of 2.2mm, easy to install positioning, to achieve inter-module combination;

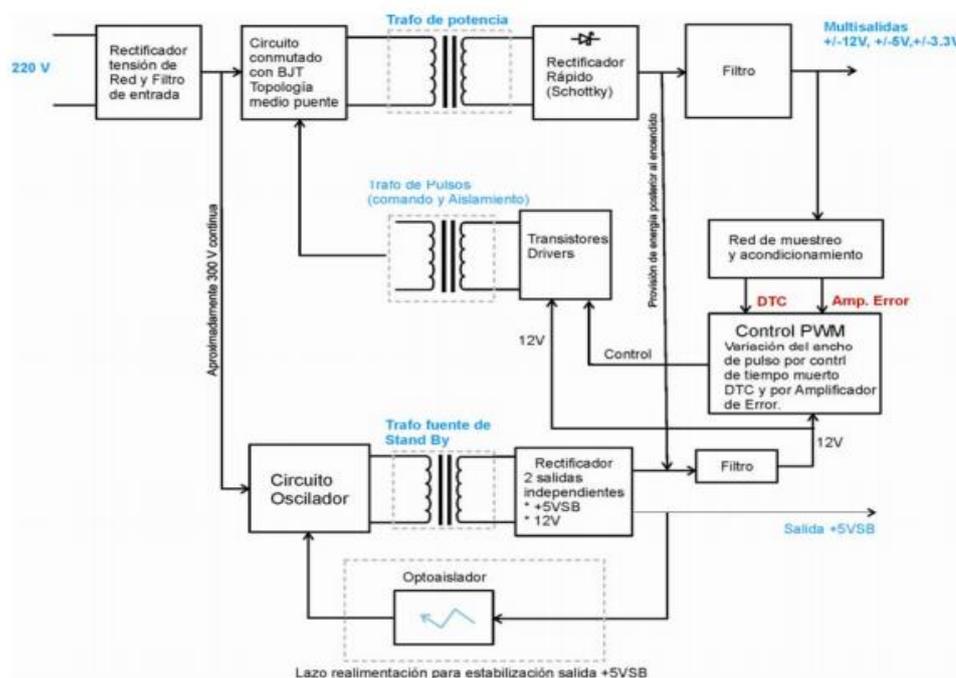
Specifications:

- Power supply: 4.5V - 5.5V, 3.3V voltage regulator circuit board
- Positioning Holes: 4 M2 screws positioning Hole diameter of 2.2mm
- Control Interface: GND, VCC, MISO, MOSI, SCK, CS
- Size: 45 x 28mm
- Net weight: 6g
- Package weight: 16g

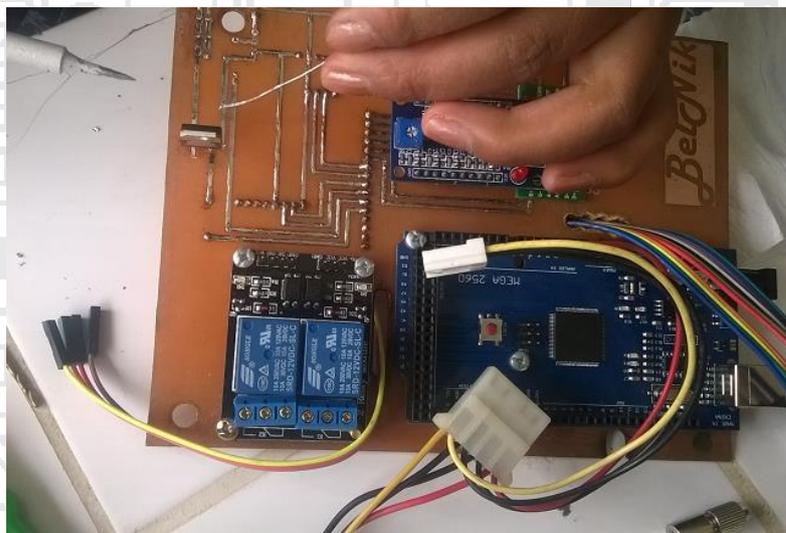
Anexo 1.10: Descripción de fuente conmutada ATX

Descripción: Básicamente la fuente ATX incorpora una fuente secundaria independiente de la fuente principal, todo incluido en la misma placa de la fuente. Esta fuente secundaria se la conoce también como fuente de “Stand by”, es la responsable de entregar una tensión de +5 Volts siempre que la fuente esté conectada a la red eléctrica, aun estando la PC apagada. Esta tensión se denomina +5-B, por lo general es un cable de color violeta en el conector principal, cabe aclarar que es independiente de la tensión principal +5V, representada por cables de color rojo en el mismo conector (Muñoz, 2010).

Diagrama de bloque general de una fuente ATX.



Anexo 1.11: Fijación de los componentes electrónicos



Anexo 1.13: Arduino IDE v1.6.5 software de programación



Disponible en www.arduino.cc

Anexo 1.14: Manual de uso del software de adquisición de datos

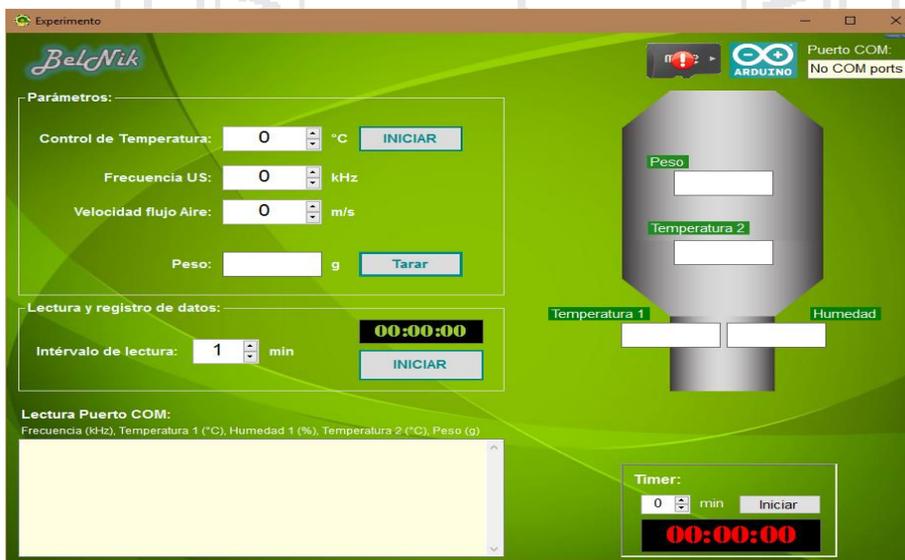
Al iniciar el programa, se muestra la ventana de Bienvenida y presentación, para continuar realice clic en el botón *Iniciar*.



En seguida se muestra una pequeña ventana en la que se deberá validar si el puerto COM (puerto USB equivalente), al que esta conectado el equipo, es correcto, por defecto el programa “reconocerá” automáticamente a la tarjeta Arduino MEGA© utilizada en construcción del equipo. En caso sea una tarjeta diferente a la del proyecto, podrá seleccionar el respectivo puerto COM, de una lista desplegable. Una vez especificado dicho puerto, haga clic en el botón *Conectar*.



Una vez iniciada la conexión con el equipo, establezca los parámetros para la ejecución del experimento, en el panel general del programa.



Control de temperatura: El control de temperatura es un proceso independiente del resto, por ello una vez especificado el valor de la Temperatura de control puede Iniciar y/o Detener, éste proceso, en cualquier momento. Los valores aceptados están dentro del rango siguiente: valor máximo 15 °C, y mínimo 5 °C.



Frecuencia US: Es el valor de la frecuencia de ultrasonidos a generar para el actual experimento. Los valores máximo y mínimo aceptados son 75 kHz y 0 kHz respectivamente. Éste valor se especifica por única vez al inicio de cada experimento, es decir una vez iniciado no podrá cambiarlo mientras se esté ejecutando un experimento, al menos hasta dar por finalizado el mismo.

Velocidad de flujo de aire: Al igual que para el control de temperatura, este valor puede ser cambiado en cualquier momento. Los valores aceptados son: 3 (máxima), 2 (media), 0 (mínima).

Puesta en cero de la celda de carga: En el apartado correspondiente se muestra la lectura del peso actual. Al realizar clic en el botón *Tarar*, el peso actual aplicado a la celda de carga se considera como cero.

Lectura y registro de datos: En este apartado se programa el intervalo de lectura en minutos, a los que se efectuará la lectura de todos los valores actuales (temperatura, humedad, peso). Una vez establecidos los parámetros para el experimento, hacer clic en el botón *Iniciar* de éste apartado.

Cada nuevo experimento genera una nueva hoja de Ms Excel®, en la que se irán registrando los datos de acuerdo al intervalo de lectura especificado.

Item	Fecha Hora (Date Time)	Frecuencia (kHz)	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Temperatura Ctrl (°C)	Peso (g)
7	0 19/08/2016 11:15:04 a.m.	0	18.8	34.7	18.63	11.74
8	1 19/08/2016 11:20:04 a.m.	0	8.2	48.3	8.63	11.0837
9	2 19/08/2016 11:25:04 a.m.	0	8.3	45.8	9.06	10.62084
10	3 19/08/2016 11:30:04 a.m.	0	8	46.3	8.69	10.18561

Timer: Se trata de un pequeño temporizador (cuenta regresiva) que puede ser utilizado como indicador de intervalos de tiempo deseados (en minutos), es independiente de todo proceso del programa y/o experimento, por tanto, es independiente del intervalo de lectura especificado.

Programa desarrollado por los autores, en Visual Studio 2015 Community Edition.

ANEXO II: ISOTERMAS DE SORCIÓN

Anexo 2.1: Isotermas de sorción experimental de oca

Ítem	SALES	peso luna (g)	luna + muestra	Peso Muestra (g)	Peso final (g)	P. F. Estufa (g)	% HUMEDAD	HBS
1	CLi	0.766	1.339	0.573	0.897	0.89	5.344	0.056
2	CH ₃ COOK	0.806	1.399	0.593	0.947	0.938	6.383	0.068
3	MgCl ₂ .6H ₂ O	0.859	1.447	0.588	1.006	0.997	6.122	0.065
4	NaNO ₃	0.742	1.335	0.593	0.893	0.871	14.570	0.171
5	NaCl	0.763	1.32	0.557	0.909	0.889	13.699	0.159
6	(NH ₄) ₂ SO ₄	0.732	1.297	0.565	0.864	0.843	15.909	0.189
7	KCl	0.766	1.35	0.584	0.916	0.888	18.667	0.230
8	BaCl ₂ .2H ₂ O	0.79	1.374	0.584	0.942	0.899	28.289	0.394

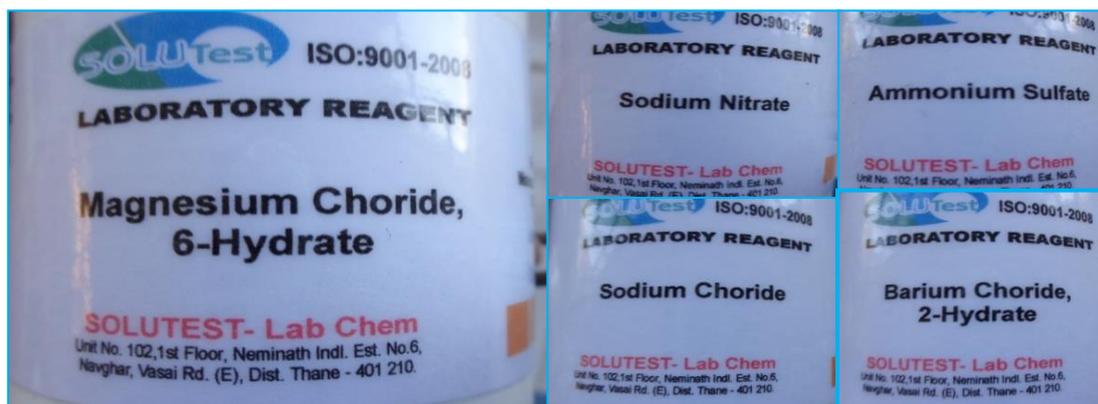
Fuente: Elaboración propia (Lab. de Ingeniería de alimentos – EPIAI-UNA Puno).

Anexo 2.2: Dilución de las soluciones salinas

Sal	Fórmula química	Cantidad de Sal (g)	Cantidad de agua (ml)
Cloruro de Litio	LiCl	21.00	11.9
Acetato de Potasio	CH ₃ CO ₂ K	28.00	9.1
Cloruro de Magnesio	MgCl ₂	28.00	3.5
Nitrato de Sodio	NaNO ₃	28.00	3.5
Cloruro de Sodio	NaCl	28.00	8.4
Sulfato de Amonio	(NH ₄) ₂ SO ₄	28.00	11.2
Cloruro de Potasio	KCl	28.00	11.2
Cloruro de Bario	BaCl ₂	35.00	9.8

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 2.3: Sales utilizadas para las isotermas de sorcion de oca



Detalle de algunas etiquetas de las sales utilizadas.



Preparación de las muestras, lavado y cortado en rodajas.



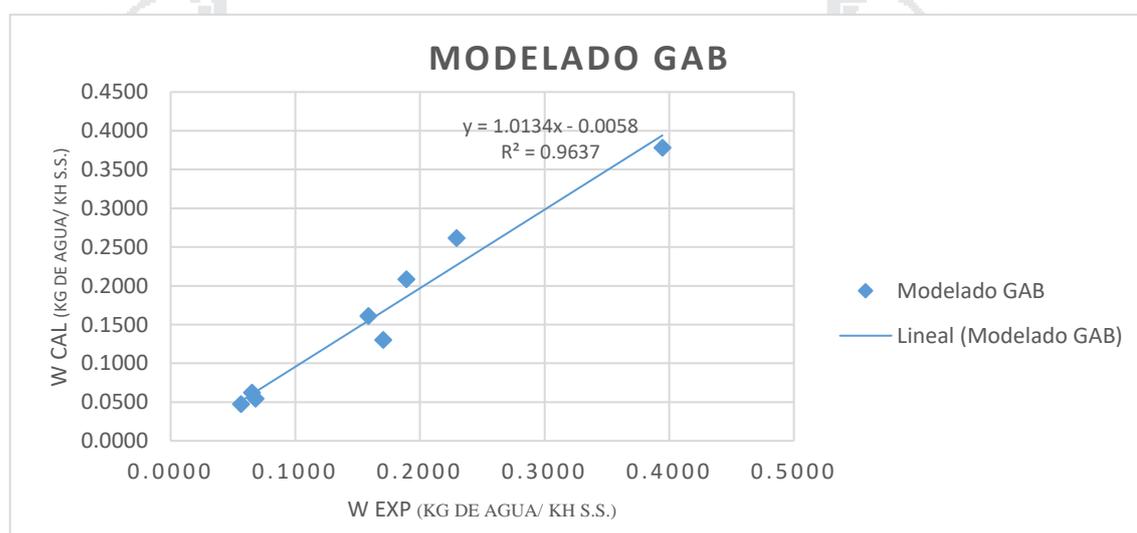
Frascos con sales diluidas y muestras de oca.

Anexo 2.4: Modelización de isotermas de sorción

a) Modelización de Isotermas de Sorción con el Modelo GAB

Ítem	Sal	a_w	W exp	W cal	Error ^2
1	CLi	0.112	0.0565	0.0473	0.000083313
2	CH3COOK	0.234	0.0682	0.0546	0.000183579
3	MgCl2.6H2O	0.333	0.0652	0.0625	0.000007608
4	NaNO3	0.693	0.1705	0.1304	0.001614048
6	NaCL	0.756	0.1587	0.1610	0.000005153
7	(NH4)2SO4	0.817	0.1892	0.2084	0.000369743
8	KCl	0.859	0.2295	0.2614	0.001019133
9	BaCl2.2H2O	0.91	0.3945	0.3783	0.000263320
					0.003545898

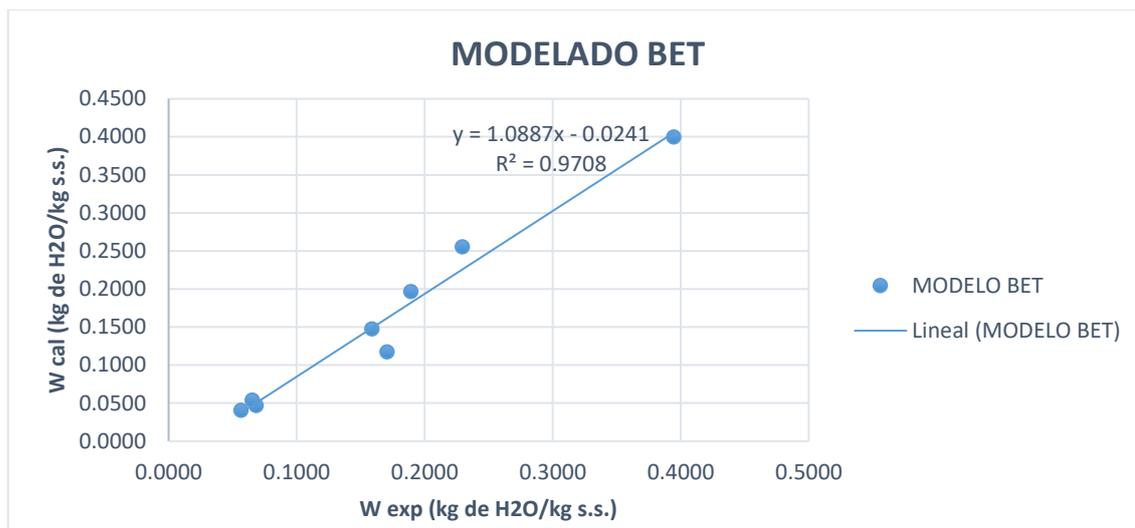
Wm=	0.042150482
C=	177718.598
K=	0.976450495
R2	
	0.963672242



b) Modelización de Isotermas de Sorción con el Modelo BET

Ítem	Sal	a_w	W exp	W cal	Error ^2
1	CLi	0.112	0.0565	0.0405	0.000253701
2	CH3COOK	0.234	0.0682	0.0470	0.000449611
3	MgCl2.6H2O	0.333	0.0652	0.0540	0.000126942
4	NaNO3	0.693	0.1705	0.1172	0.002843836
6	NaCL	0.756	0.1587	0.1475	0.000126577
7	(NH4)2SO4	0.817	0.1892	0.1966	0.000055505
8	KCl	0.859	0.2295	0.2552	0.000660728
9	BaCl2.2H2O	0.91	0.3945	0.3998	0.000028494
					0.00454539

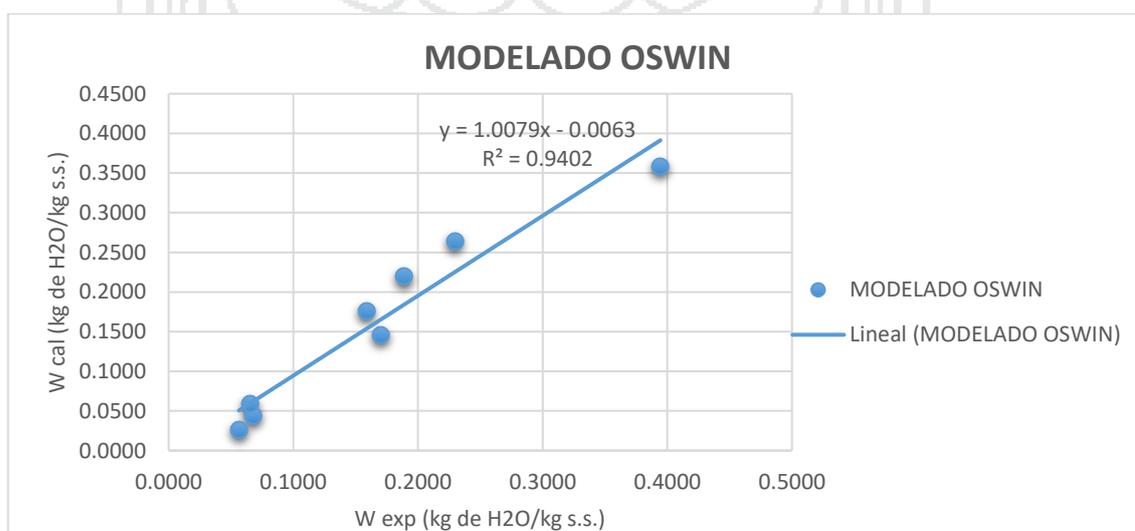
Wm=	0.03598501
C=	5929935.09
r2	0.97083103



c) Modelización de Isotermas de Sorción con el Modelo OSWIN

Ítem	Sal	AW	W exp	W cal	Error ^2
1	CLi	0.112	0.0565	0.0259	0.000935209
2	CH3COOK	0.234	0.0682	0.0440	0.000586706
3	MgCl2.6H2O	0.333	0.0652	0.0590	0.000038555
4	NaNO3	0.693	0.1705	0.1458	0.000614164
6	NaCL	0.756	0.1587	0.1762	0.000306098
7	(NH4)2SO4	0.817	0.1892	0.2194	0.000909954
8	KCl	0.859	0.2295	0.2643	0.001208827
9	BaCl2.2H2O	0.91	0.3945	0.3580	0.001329326
					0.00592884

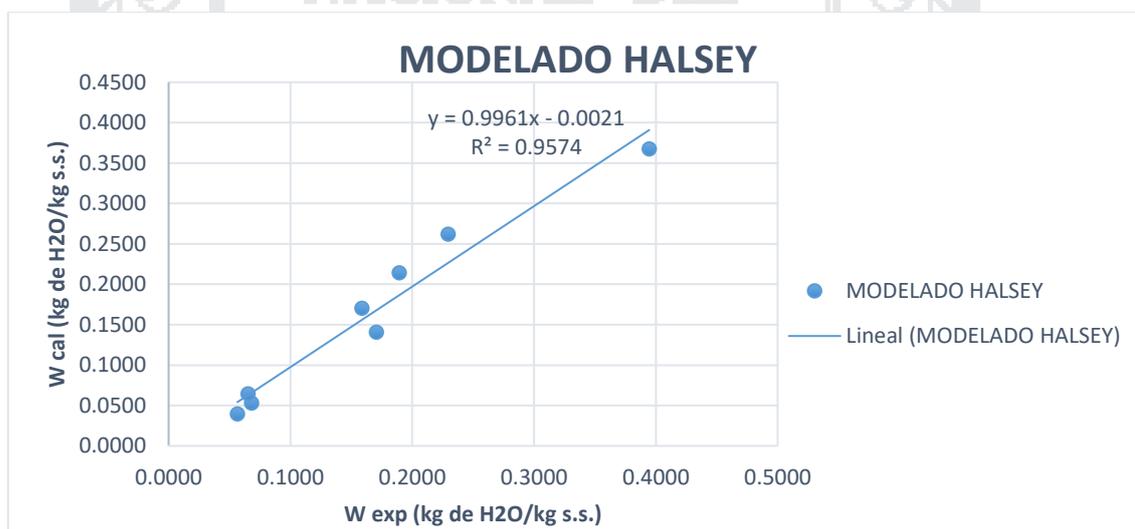
A=	0.089478542
B=	0.599331054
R2	0.940188071



b) Modelización de Isotermas de Sorción con el Modelo HALSEY MODIFICADO

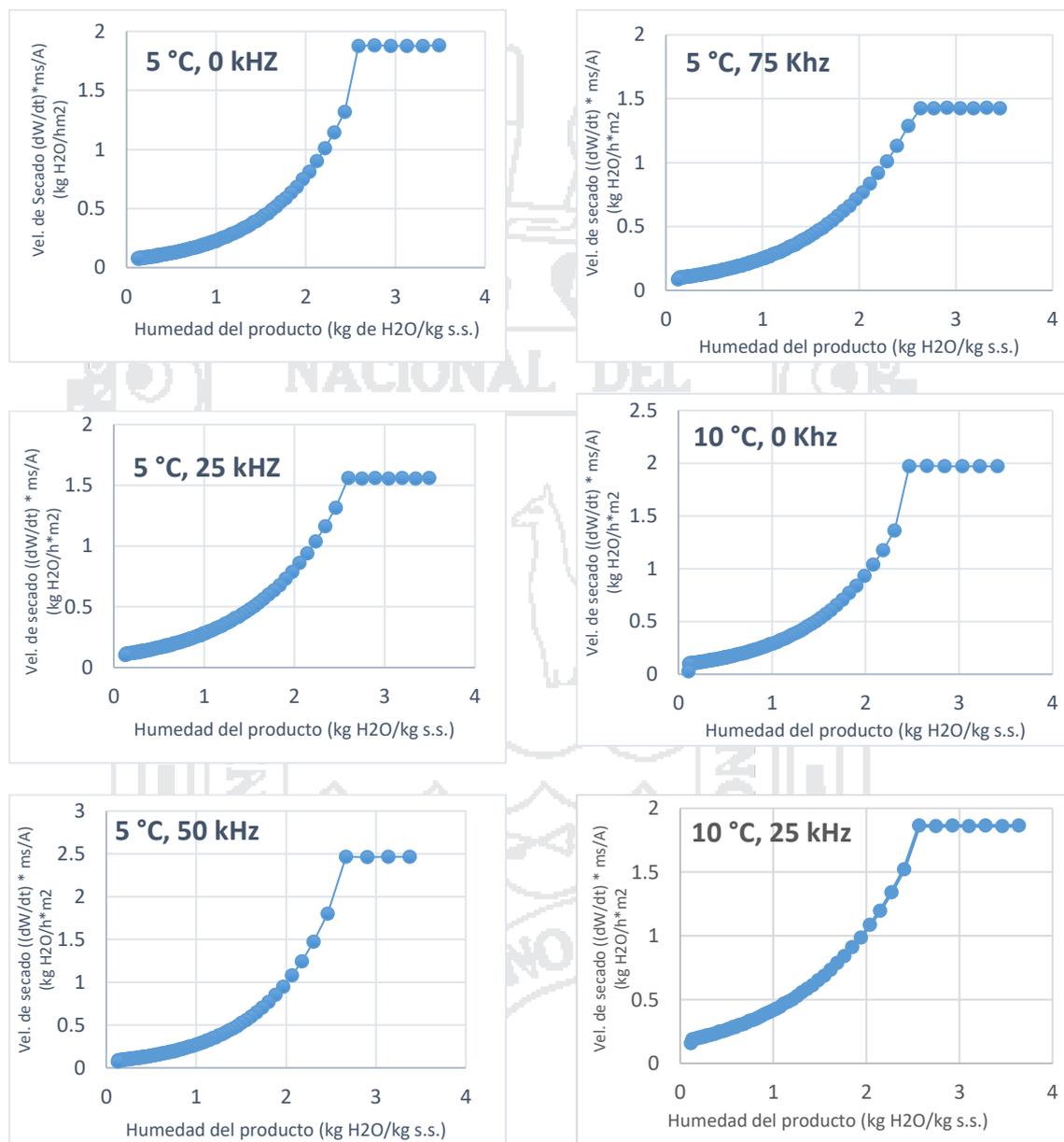
Ítem	Sal	AW	W exp	W cal	Error ^2
1	CLi	0.112	0.0565	0.0396	0.000285519
2	CH3COOK	0.234	0.0682	0.0529	0.000233425
3	MgCl2.6H2O	0.333	0.0652	0.0644	0.000000609
4	NaNO3	0.693	0.1705	0.1403	0.000913463
6	NaCL	0.756	0.1587	0.1700	0.000127278
7	(NH4)2SO4	0.817	0.1892	0.2140	0.000617359
8	KCl	0.859	0.2295	0.2620	0.001052598
9	BaCl2.2H2O	0.91	0.3945	0.3674	0.000736136
					0.003966386

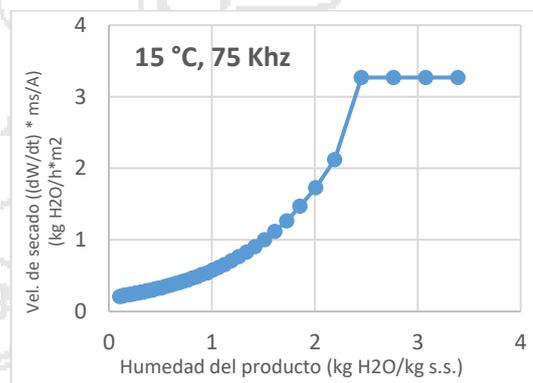
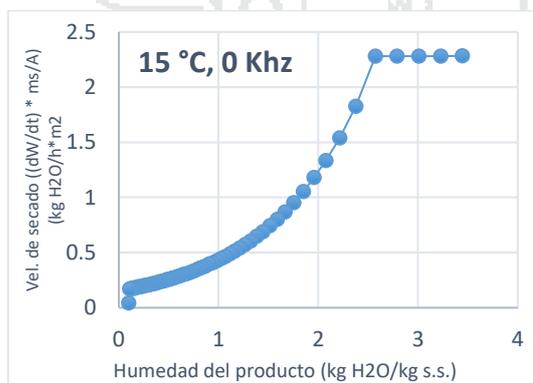
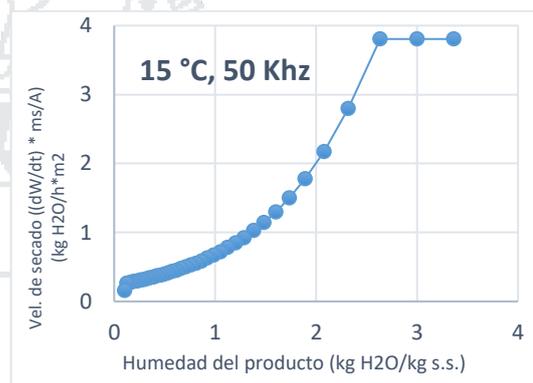
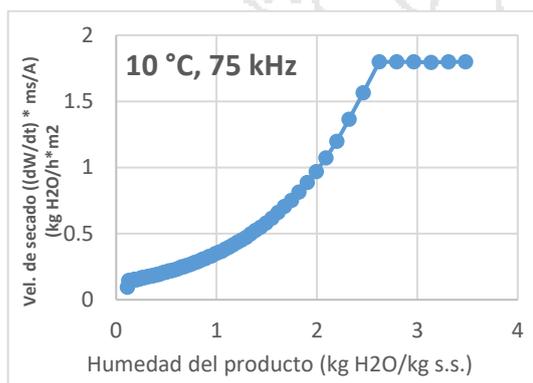
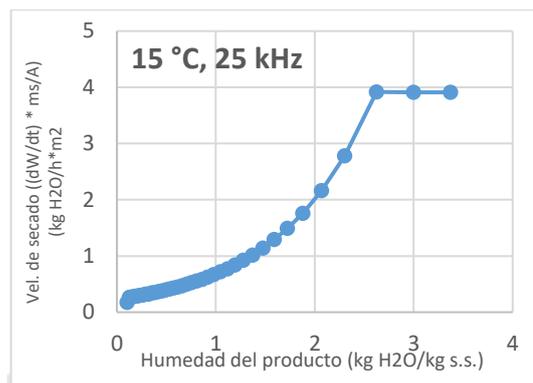
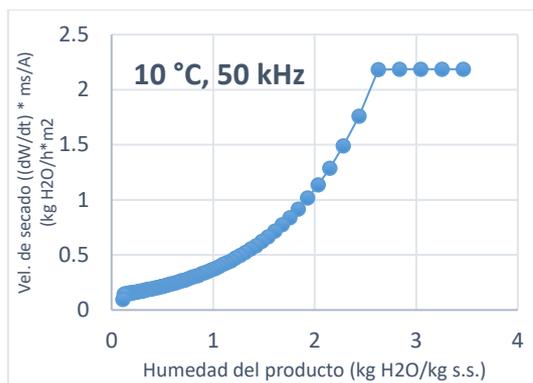
a=	0.022956196
b=	1.411026559
r2	0.957448403



ANEXO III: CINÉTICA DE DESHIDRATACIÓN

Anexo 3.1: Curvas de deshidratación





Anexo 3.2. Datos experimentales de la cinética de deshidratación

Datos experimentales para tratamientos de 15 °C

t (s)	15 °C-0 kHz			15 °C - 25 kHz			15 °C-50 kHz			15 °C - 75 kHz		
	PESO (g)	W (kg H2O/kg s.s.)	Vel (kg H2O/h*m2)	PESO (g)	W (kg H2O /kg s.s.)	Vel (kg H2O/h*m2)	PESO (g)	W (kg H2O/kg s.s.)	Vel (kg H2O/h*m2)	PESO (g)	W (kg H2O/kg s.s.)	Vel (kg H2O/h*m2)
0	12.052	3.554		10.00	3.56		8.74	3.54		9.09	3.55	
300	11.474	3.335	2.28	9.18	3.19	3.91	8.04	3.18	3.81	8.47	3.23	3.27
600	10.897	3.117	2.28	8.36	2.81	3.91	7.34	2.82	3.81	7.84	2.92	3.27
900	10.32	2.899	2.28	7.54	2.44	3.92	6.64	2.45	3.81	7.22	2.61	3.27
1200	9.743	2.681	2.28	6.96	2.17	2.78	6.12	2.18	2.80	6.59	2.30	3.27
1500	9.166	2.463	2.28	6.50	1.96	2.16	5.72	1.98	2.17	6.19	2.09	2.12
1800	8.704	2.289	1.83	6.13	1.80	1.76	5.40	1.81	1.78	5.86	1.93	1.73
2100	8.314	2.141	1.54	5.82	1.65	1.49	5.12	1.66	1.50	5.58	1.79	1.47
2400	7.976	2.014	1.34	5.55	1.53	1.29	4.88	1.54	1.30	5.33	1.67	1.27
2700	7.677	1.901	1.18	5.31	1.42	1.14	4.67	1.43	1.15	5.12	1.56	1.12
3000	7.41	1.8	1.05	5.10	1.32	1.02	4.48	1.33	1.03	4.93	1.46	1.00
3300	7.169	1.709	0.95	4.90	1.24	0.92	4.31	1.24	0.92	4.75	1.38	0.90
3600	6.949	1.626	0.87	4.73	1.16	0.84	4.16	1.16	0.85	4.60	1.30	0.83
3900	6.746	1.549	0.8	4.57	1.08	0.77	4.01	1.09	0.78	4.45	1.23	0.76
4200	6.558	1.478	0.74	4.41	1.01	0.72	3.88	1.02	0.72	4.32	1.16	0.71
4500	6.384	1.412	0.69	4.27	0.95	0.67	3.76	0.95	0.67	4.19	1.10	0.65
4800	6.22	1.35	0.65	4.14	0.89	0.62	3.64	0.89	0.63	4.07	1.04	0.61
5100	6.067	1.292	0.6	4.02	0.83	0.58	3.53	0.84	0.59	3.96	0.98	0.58
5400	5.922	1.238	0.57	3.91	0.78	0.55	3.43	0.78	0.55	3.86	0.93	0.54
6000	5.655	1.137	0.51	3.69	0.68	0.50	3.24	0.69	0.50	3.67	0.83	0.49
6300	5.531	1.09	0.49	3.59	0.64	0.47	3.15	0.64	0.48	3.58	0.79	0.47
6600	5.414	1.046	0.46	3.50	0.59	0.45	3.07	0.60	0.45	3.49	0.75	0.44
7200	5.193	0.962	0.43	3.32	0.51	0.41	2.91	0.52	0.41	3.34	0.67	0.40
7500	5.09	0.923	0.41	3.24	0.48	0.40	2.84	0.48	0.40	3.26	0.63	0.39
7800	4.99	0.885	0.4	3.16	0.44	0.38	2.77	0.44	0.38	3.19	0.60	0.37
8400	4.803	0.815	0.36	3.01	0.37	0.35	2.64	0.37	0.35	3.06	0.53	0.35
8700	4.714	0.781	0.35	2.94	0.34	0.34	2.58	0.34	0.34	2.99	0.50	0.33
9000	4.628	0.749	0.34	2.87	0.31	0.32	2.51	0.31	0.33	2.93	0.47	0.32
9600	4.465	0.687	0.32	2.74	0.25	0.31	2.40	0.25	0.31	2.81	0.41	0.30
10200	4.311	0.629	0.3	2.62	0.19	0.29	2.29	0.19	0.29	2.70	0.35	0.29
10800	4.166	0.574	0.28	2.50	0.14	0.27	2.19	0.14	0.27	2.60	0.30	0.27
11100	4.097	0.548	0.27	2.44	0.11	0.27	2.14	0.11	0.27	2.55	0.27	0.26
11400	4.029	0.522	0.27	2.41	0.10	0.17	2.11	0.10	0.16	2.50	0.25	0.26
12000	3.899	0.473	0.26							2.41	0.20	0.24
12300	3.837	0.45	0.24							2.36	0.18	0.24
12600	3.776	0.427	0.24							2.32	0.16	0.23
13200	3.658	0.382	0.23							2.23	0.12	0.21
13500	3.601	0.361	0.23							2.19	0.10	0.21
13800	3.546	0.34	0.22									
14400	3.438	0.299	0.21									
14700	3.386	0.279	0.21									
15000	3.334	0.26	0.21									
15600	3.235	0.222	0.19									
15900	3.187	0.204	0.19									
16200	3.139	0.186	0.19									
16800	3.047	0.151	0.18									
17100	3.003	0.135	0.17									
17400	2.958	0.118	0.18									
18000	2.904	0.097	0.04									

Datos experimentales para tratamientos de 10 °C

t (s)	0 kHz			25 kHz			50 kHz			75 kHz		
	PESO (g)	W (kg H2O /kg s.s.)	Vel (kg H2O/h*m2)	PESO (g)	W (kg H2O /kg s.s.)	Vel (kg H2O/h*m2)	PESO (g)	W (kg H2O /kg s.s.)	Vel (kg H2O/h*m2)	PESO (g)	W (kg H2O /kg s.s.)	Vel (kg H2O/h*m2)
0	11.64	3.51		9.91	3.73		12.04	3.57		9.21	3.57	
300	11.15	3.32	1.97	9.54	3.55	1.86	11.49	3.36	2.19	8.87	3.39	1.80
600	10.67	3.13	1.97	9.16	3.37	1.86	10.93	3.15	2.19	8.52	3.22	1.80
900	10.18	2.94	1.97	8.79	3.19	1.86	10.38	2.94	2.19	8.17	3.05	1.79
1200	9.69	2.75	1.97	8.42	3.01	1.86	9.83	2.73	2.19	7.83	2.88	1.80
1500	9.20	2.56	1.98	8.04	2.84	1.86	9.28	2.52	2.18	7.48	2.71	1.80
1800	8.72	2.38	1.97	7.67	2.66	1.86	8.84	2.35	1.76	7.13	2.53	1.80
2100	8.38	2.24	1.36	7.30	2.48	1.86	8.46	2.21	1.49	6.83	2.39	1.57
2400	8.09	2.13	1.17	6.99	2.33	1.52	8.14	2.09	1.29	6.57	2.25	1.36
2700	7.83	2.03	1.04	6.72	2.21	1.34	7.85	1.98	1.13	6.34	2.14	1.20
3000	7.60	1.94	0.93	6.48	2.09	1.20	7.60	1.88	1.02	6.13	2.04	1.07
3600	7.21	1.79	0.77	6.07	1.89	0.99	7.16	1.72	0.84	5.77	1.86	0.89
4500	6.72	1.60	0.61	5.56	1.65	0.79	6.61	1.51	0.66	5.33	1.64	0.70
4800	6.58	1.55	0.57	5.41	1.58	0.73	6.46	1.45	0.62	5.21	1.58	0.66
5400	6.32	1.45	0.50	5.14	1.45	0.65	6.17	1.34	0.55	4.97	1.47	0.58
5700	6.21	1.40	0.48	5.02	1.39	0.61	6.04	1.29	0.52	4.87	1.41	0.55
6300	5.99	1.32	0.43	4.79	1.28	0.56	5.80	1.20	0.47	4.67	1.32	0.50
6600	5.89	1.28	0.41	4.68	1.23	0.53	5.68	1.16	0.44	4.58	1.27	0.47
7200	5.70	1.21	0.38	4.48	1.14	0.48	5.47	1.08	0.41	4.41	1.19	0.44
7800	5.52	1.14	0.34	4.30	1.05	0.44	5.28	1.00	0.38	4.25	1.11	0.40
8100	5.44	1.11	0.33	4.22	1.01	0.43	5.19	0.97	0.36	4.18	1.07	0.38
8700	5.29	1.05	0.31	4.05	0.93	0.40	5.01	0.90	0.34	4.04	1.00	0.36
9000	5.21	1.02	0.30	3.97	0.90	0.39	4.93	0.87	0.33	3.97	0.97	0.35
9300	5.14	0.99	0.29	3.90	0.86	0.37	4.85	0.84	0.31	3.91	0.94	0.33
9900	5.00	0.94	0.27	3.76	0.79	0.35	4.70	0.78	0.30	3.78	0.88	0.31
10200	4.94	0.91	0.26	3.69	0.76	0.34	4.63	0.76	0.29	3.73	0.85	0.31
11100	4.75	0.84	0.24	3.50	0.67	0.31	4.42	0.68	0.27	3.56	0.76	0.28
11400	4.70	0.82	0.23	3.44	0.64	0.30	4.36	0.65	0.26	3.51	0.74	0.27
12000	4.58	0.77	0.22	3.32	0.58	0.28	4.23	0.61	0.24	3.41	0.69	0.26
12300	4.53	0.75	0.22	3.26	0.56	0.28	4.17	0.58	0.24	3.36	0.66	0.25
12600	4.48	0.73	0.21	3.21	0.53	0.27	4.11	0.56	0.23	3.31	0.64	0.25
12900	4.43	0.71	0.21	3.15	0.50	0.27	4.06	0.54	0.23	3.26	0.62	0.24
13200	4.38	0.69	0.20	3.10	0.48	0.26	4.00	0.52	0.22	3.22	0.60	0.23
13800	4.28	0.66	0.19	3.00	0.43	0.25	3.89	0.48	0.21	3.13	0.55	0.22
14100	4.23	0.64	0.19	2.95	0.41	0.25	3.84	0.46	0.21	3.09	0.53	0.22
14400	4.19	0.62	0.19	2.90	0.38	0.24	3.79	0.44	0.20	3.05	0.51	0.22
14700	4.14	0.60	0.18	2.85	0.36	0.23	3.74	0.42	0.20	3.01	0.49	0.21
15000	4.10	0.59	0.18	2.81	0.34	0.23	3.69	0.40	0.19	2.97	0.47	0.21
15300	4.06	0.57	0.17	2.76	0.32	0.22	3.64	0.38	0.19	2.93	0.45	0.20
15600	4.01	0.55	0.17	2.72	0.30	0.22	3.60	0.36	0.19	2.89	0.43	0.20
15900	3.97	0.54	0.17	2.68	0.28	0.22	3.55	0.35	0.19	2.85	0.41	0.19
16200	3.93	0.52	0.17	2.63	0.26	0.21	3.50	0.33	0.18	2.82	0.40	0.19
16800	3.85	0.49	0.16	2.55	0.22	0.20	3.42	0.30	0.17	2.75	0.36	0.18
17400	3.78	0.46	0.15	2.47	0.18	0.20	3.33	0.26	0.17	2.68	0.33	0.18
17700	3.74	0.45	0.15	2.43	0.16	0.19	3.29	0.25	0.16	2.64	0.31	0.18
18300	3.67	0.42	0.15	2.35	0.12	0.19	3.21	0.22	0.16	2.58	0.28	0.17
18600	3.63	0.41	0.14	2.32	0.11	0.16	3.17	0.20	0.16	2.55	0.26	0.17
18900	3.60	0.39	0.14				3.13	0.19	0.15	2.51	0.25	0.17
19500	3.53	0.37	0.13				3.05	0.16	0.15	2.45	0.22	0.16
20100	3.46	0.34	0.13				2.98	0.13	0.15	2.39	0.19	0.15
20700	3.40	0.31	0.13				2.92	0.11	0.10	2.34	0.16	0.15
21000	3.37	0.30	0.13							2.31	0.14	0.15
21300	3.33	0.29	0.13							2.28	0.13	0.15
21900	3.27	0.27	0.12							2.23	0.11	0.09
22800	3.19	0.23	0.12									
23100	3.16	0.22	0.12									
23700	3.10	0.20	0.11									
24300	3.05	0.18	0.11									
24600	3.02	0.17	0.11									
25800	2.92	0.13	0.10									
26400	2.87	0.11	0.10									
26700	2.86	0.11	0.03									

Datos experimentales para tratamientos de 5 °C

t (s)	0 kHz			25 kHz			50 kHz			75 kHz		
	PESO (g)	W (kg H2O /kg s.s.)	Vel (kg H2O/ h*m2)	PESO (g)	W (kg H2O /kg s.s.)	Vel (kg H2O/ h*m2)	PESO (g)	W (kg H2O /kg s.s.)	Vel (kg H2O/ h*m2)	PESO (g)	W (kg H2O /kg s.s.)	Vel (kg H2O/ h*m2)
0	8.95	3.58		9.14	3.57		10.31	3.49		9.72	3.52	
300	8.60	3.40	1.88	8.84	3.42	1.56	9.77	3.26	2.46	9.43	3.39	1.43
600	8.25	3.22	1.88	8.54	3.27	1.56	9.23	3.02	2.46	9.14	3.25	1.43
900	7.90	3.04	1.88	8.24	3.12	1.56	8.69	2.78	2.46	8.84	3.11	1.43
1200	7.54	2.86	1.88	7.95	2.97	1.56	8.14	2.55	2.46	8.55	2.98	1.43
1500	7.19	2.68	1.88	7.65	2.82	1.56	7.75	2.38	1.80	8.26	2.84	1.43
1800	6.84	2.50	1.88	7.35	2.67	1.56	7.43	2.24	1.47	7.96	2.71	1.43
2100	6.59	2.37	1.32	7.05	2.52	1.56	7.15	2.12	1.24	7.67	2.57	1.43
2400	6.38	2.26	1.14	6.80	2.40	1.32	6.92	2.01	1.08	7.41	2.45	1.29
3000	6.02	2.08	0.90	6.38	2.18	1.04	6.52	1.84	0.85	6.97	2.24	1.01
3600	5.73	1.93	0.75	6.03	2.01	0.86	6.20	1.70	0.70	6.60	2.07	0.84
4200	5.48	1.80	0.64	5.74	1.87	0.73	5.93	1.58	0.60	6.30	1.93	0.72
4800	5.27	1.69	0.56	5.49	1.74	0.64	5.69	1.48	0.52	6.04	1.81	0.62
5400	5.08	1.60	0.49	5.27	1.63	0.56	5.48	1.39	0.46	5.80	1.70	0.55
6000	4.91	1.51	0.44	5.07	1.53	0.51	5.29	1.31	0.41	5.59	1.60	0.49
6600	4.76	1.43	0.40	4.89	1.44	0.46	5.12	1.23	0.38	5.41	1.51	0.45
7200	4.62	1.36	0.36	4.72	1.36	0.42	4.97	1.17	0.35	5.23	1.43	0.41
7800	4.49	1.30	0.34	4.57	1.28	0.39	4.83	1.10	0.32	5.07	1.36	0.38
8400	4.37	1.24	0.31	4.43	1.21	0.36	4.70	1.05	0.30	4.93	1.29	0.35
9000	4.26	1.18	0.29	4.30	1.15	0.33	4.58	0.99	0.27	4.79	1.23	0.33
9600	4.16	1.13	0.27	4.18	1.09	0.31	4.46	0.94	0.26	4.66	1.17	0.30
10200	4.06	1.08	0.26	4.06	1.03	0.30	4.35	0.90	0.24	4.54	1.11	0.29
10800	3.97	1.03	0.24	3.96	0.98	0.28	4.25	0.85	0.23	4.43	1.06	0.27
11400	3.88	0.99	0.22	3.85	0.92	0.27	4.16	0.81	0.22	4.32	1.01	0.25
12000	3.80	0.94	0.22	3.76	0.88	0.25	4.07	0.77	0.21	4.22	0.96	0.24
12600	3.72	0.90	0.21	3.66	0.83	0.24	3.98	0.73	0.20	4.13	0.92	0.23
13200	3.65	0.87	0.20	3.58	0.79	0.23	3.90	0.70	0.18	4.03	0.88	0.22
13800	3.58	0.83	0.19	3.49	0.74	0.22	3.82	0.66	0.18	3.95	0.84	0.21
14400	3.51	0.79	0.18	3.41	0.70	0.21	3.74	0.63	0.17	3.86	0.80	0.20
15000	3.44	0.76	0.17	3.34	0.67	0.20	3.67	0.60	0.16	3.78	0.76	0.19
15600	3.38	0.73	0.17	3.26	0.63	0.19	3.60	0.57	0.15	3.70	0.72	0.18
16200	3.32	0.70	0.16	3.19	0.59	0.19	3.53	0.54	0.15	3.63	0.69	0.18
16800	3.26	0.67	0.16	3.12	0.56	0.18	3.47	0.51	0.15	3.56	0.65	0.18
17400	3.21	0.64	0.15	3.05	0.53	0.17	3.41	0.48	0.14	3.49	0.62	0.17
18000	3.15	0.61	0.14	2.99	0.49	0.17	3.35	0.46	0.14	3.42	0.59	0.16
18600	3.10	0.58	0.14	2.93	0.46	0.16	3.29	0.43	0.13	3.36	0.56	0.16
19200	3.05	0.56	0.13	2.87	0.43	0.16	3.23	0.41	0.13	3.29	0.53	0.15
19800	3.00	0.53	0.13	2.81	0.40	0.15	3.18	0.38	0.12	3.23	0.50	0.15
20400	2.95	0.51	0.13	2.75	0.38	0.15	3.13	0.36	0.12	3.17	0.48	0.15
21000	2.90	0.48	0.12	2.70	0.35	0.14	3.07	0.34	0.12	3.12	0.45	0.14
21600	2.86	0.46	0.12	2.65	0.32	0.14	3.02	0.32	0.11	3.06	0.42	0.14
22200	2.81	0.44	0.12	2.59	0.30	0.13	2.98	0.30	0.11	3.01	0.40	0.13
22800	2.77	0.42	0.11	2.54	0.27	0.13	2.93	0.28	0.10	2.95	0.37	0.13
23400	2.73	0.40	0.11	2.49	0.25	0.13	2.88	0.26	0.10	2.90	0.35	0.12
24000	2.69	0.38	0.11	2.45	0.22	0.13	2.84	0.24	0.10	2.85	0.33	0.12
24600	2.65	0.35	0.11	2.40	0.20	0.12	2.79	0.22	0.10	2.80	0.30	0.12
25200	2.61	0.34	0.11	2.35	0.18	0.12	2.75	0.20	0.10	2.75	0.28	0.12
25800	2.57	0.32	0.10	2.31	0.15	0.11	2.71	0.18	0.09	2.71	0.26	0.11
26400	2.54	0.30	0.10	2.27	0.13	0.11	2.67	0.16	0.09	2.66	0.24	0.11
26700	2.52	0.29	0.10	2.25	0.12	0.10	2.65	0.15	0.09	2.64	0.23	0.11
27000	2.50	0.28	0.10				2.63	0.15	0.09	2.62	0.22	0.11
27600	2.47	0.26	0.09				2.59	0.13	0.09	2.57	0.20	0.11
27900	2.45	0.25	0.10				2.57	0.12	0.07	2.55	0.19	0.10
28200	2.43	0.24	0.09							2.53	0.18	0.10
28800	2.40	0.23	0.09							2.49	0.16	0.10
29400	2.36	0.21	0.09							2.45	0.14	0.10
30000	2.33	0.19	0.09							2.41	0.12	0.09
30600	2.30	0.18	0.09									
31200	2.27	0.16	0.08									
31800	2.24	0.14	0.09									
32400	2.21	0.13	0.07									
32700	2.19	0.12	0.08									

ANEXO IV: PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS

Anexo 4.1: Análisis proximal



Universidad Nacional del Altiplano - Puno
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS



Av. Floral 1153, C.U. Telf. (051) 366080 IP. 20102 Casilla 291 e-mail: fca-una@eudoramail.com

LABORATORIO DE EVALUACIÓN NUTRICIONAL DE ALIMENTOS

INFORME DE ANÁLISIS DE ALIMENTOS Nro. 016-2016-LENA-IPEA-FCA

SOLICITANTE : Bach. Jenny Maribel Hanco Zaga
 Bach. Pedro Nicoyani Mmani Ordoñez
 TITULO DE TEISIS : Evaluación de las propiedades Fisicoquímicas en la deshidratación de oca (*Oxalis tuberosa* Mol) a bajas temperaturas, aplicando ultrasonidos.
 PRODUCTO : Oca deshidratada
 Oca fresca sin cascara
 ENSAYO SOLICITADO : FISICO QUIMICO
 FECHA DE RECEPCION : 06-09-2016
 FECHA DE ENSAYO : 06-09-2016
 FECHA DE EMISION : 15-09-2016

RESULTADOS:

De acuerdo al Informe de los Análisis de Laboratorio que obra en los archivos los resultados son:

RESULTADOS FISICO QUIMICOS

Núm. Análisis	Muestra	% Humedad	% Ceniza	% Proteína	% Grasa	% Fibra	% Carbohidrato
01	Oca deshidratada	8,52	4,87	6,58	1,87	3,23	74,93
02	Oca fresca sin cascara	77,46	1,24	1,55	0,44	0,76	18,55

METODOS UTILIZADOS EN LABORATORIO:

- FISICO QUIMICO : AOAC. 1994

CONCLUSIÓN : Los resultados Físico Químicos están conformes.

Puno, C. U. 15 de Setiembre del 2016.



Ing^o OSWALDO ARTAS ALCA
 Control de Calidad de Alimentos
 LABORATORIO
 C.I.P. 160625



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
 FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
 Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial
Luis Alberto Jimenez Monterroy
 M.Sc. AGROINDUSTRIAL
 CIR: 19812
 JEFE DE LABORATORIO

Anexo 4.2: Cálculos de variación de color

Frecuencia	Temperatura	Repetición	Muestreo	R	G	B	L*	a*	b*	ΔE*	
0 kHz	5 °C	1	Inicial	129.62	97.97	81.29	62.96	5.29	8.89	15.54	
			Final	138.63	127.34	92.38	75.96	-1.69	13.78		
		2	Inicial	114.90	87.19	71.75	55.54	4.48	8.03	14.21	
			Final	122.11	113.43	73.67	65.37	-2.81	15.24		
		10 °C	1	Inicial	129.62	97.97	81.29	62.96	5.29	8.89	14.69
				Final	139.53	128.45	88.67	73.94	-2.25	15.10	
	2		Inicial	129.62	97.97	81.29	62.96	5.29	8.89	15.13	
			Final	135.25	114.51	73.33	73.14	-0.23	18.64		
	15 °C		1	Inicial	129.62	97.97	81.29	62.96	5.29	8.89	13.10
				Final	148.85	123.10	101.29	75.88	3.33	9.97	
	2	1	Inicial	114.90	87.19	71.75	55.54	4.48	8.03	15.42	
			Final	128.19	114.21	80.40	68.80	-0.91	13.77		
25 kHz	5 °C	1	Inicial	103.37	76.31	62.08	50.20	4.62	7.80	12.09	
			Final	99.13	83.26	65.33	61.84	2.06	9.85		
		2	Inicial	114.90	87.19	71.75	55.54	4.48	8.03	13.82	
			Final	133.69	110.31	79.44	67.89	1.63	13.53		
		10 °C	1	Inicial	114.90	87.19	71.75	55.54	4.48	8.03	17.23
				Final	126.16	117.63	81.28	70.02	-2.51	14.21	
	2		Inicial	131.72	100.25	80.74	63.57	4.83	9.85	18.29	
			Final	130.90	123.11	69.71	73.44	-4.90	21.78		
	15 °C		1	Inicial	129.62	97.97	81.29	62.96	5.29	8.89	15.42
				Final	151.69	131.56	102.50	77.52	1.08	11.78	
	2	1	Inicial	103.37	76.31	62.08	50.20	4.62	7.80	14.76	
			Final	124.68	107.09	81.92	64.26	0.98	10.47		
50 kHz	5 °C	1	Inicial	114.90	87.19	71.75	55.54	4.48	8.03	15.95	
			Final	120.77	108.50	63.97	65.25	-2.61	18.51		
		2	Inicial	114.90	87.19	71.75	55.54	4.48	8.03	14.21	
			Final	122.11	113.43	73.67	65.37	-2.81	15.24		
		10 °C	1	Inicial	114.90	87.19	71.75	55.54	4.48	8.03	15.48
				Final	121.94	105.04	85.85	70.73	1.81	9.35	
	2		Inicial	103.37	76.31	62.08	50.20	4.62	7.80	16.10	
			Final	114.39	101.93	74.30	64.86	-0.52	12.05		
	15 °C		1	Inicial	131.72	100.25	80.74	63.57	4.83	9.85	14.78
				Final	147.48	129.65	94.97	76.87	-0.13	13.96	
	2	1	Inicial	129.62	97.97	81.29	62.96	5.29	8.89	14.89	
			Final	146.67	128.99	100.02	76.79	0.54	11.76		
75 kHz	5 °C	1	Inicial	131.72	100.25	80.74	63.57	4.83	9.85	15.30	
			Final	133.34	119.09	75.22	73.93	-2.17	18.68		
		2	Inicial	129.62	97.97	81.29	62.96	5.29	8.89	14.95	
			Final	139.35	128.30	82.57	72.32	-2.91	17.17		
		10 °C	1	Inicial	129.62	97.97	81.29	62.96	5.29	8.89	14.69
				Final	139.53	128.45	88.67	73.94	-2.25	15.10	
	2		Inicial	129.62	97.97	81.29	62.96	5.29	8.89	15.13	
			Final	135.25	114.51	73.33	73.14	-0.23	18.64		
	15 °C		1	Inicial	114.90	87.19	71.75	55.54	4.48	8.03	16.75
				Final	136.47	107.86	92.93	72.27	5.19	8.36	
	2	1	Inicial	129.62	97.97	81.29	62.96	5.29	8.89	12.68	
			Final	144.14	118.62	90.08	74.65	2.52	12.95		



Variación de color de las muestras, izquierda: rodajas de ocas frescas, derecha: muestras de ocas secadas a 15 °C y 50 kHz.

Anexo 4.3: Análisis de ácido ascórbico



Preparación de muestras.



Titulación de las muestras.

Anexo 4.4: Datos experimentales para cálculos de ANVA

Datos experimentales para el tiempo de secado

Factor B: Temperatura	Factor A: Frecuencia de ultrasonidos							
	0 kHz		25 kHz		50 kHz		75 kHz	
	r1	r2	r1	r2	r1	r2	r1	r2
5 °C	32357	33026	26774	26597	27957	27738	29884	30053
10 °C	26468	26488	18848	18279	20266	20946	21967	21636
15 °C	18101	17452	11447	11156	11660	10901	13559	13419

Datos experimentales para contenido de ácido ascórbico

Factor B: Temperatura	Factor A: Frecuencia de ultrasonidos							
	0 kHz		25 kHz		50 kHz		75 kHz	
	r1	r2	r1	r2	r1	r2	r1	r2
5 °C	27.39	25.1	22.82	25.1	27.39	20.54	22.82	25.56
10 °C	25.1	22.82	25.1	27.39	22.82	24.65	27.39	25.1
15 °C	25.1	27.39	25.16	22.82	27.39	29.67	27.39	31.95

Datos experimentales para la variación de color

Factor B: Temperatura	Factor A: Frecuencia de ultrasonidos							
	0 kHz		25 kHz		50 kHz		75 kHz	
	r1	r2	r1	r2	r1	r2	r1	r2
5 °C	15.54	14.21	12.09	13.82	15.95	14.21	15.3	14.95
10 °C	14.69	15.13	17.23	18.29	15.48	16.1	14.69	15.13
15 °C	13.1	15.42	15.42	14.76	14.78	14.89	16.75	12.68

Datos experimentales para dureza

Factor B: Temperatura	Factor A: Frecuencia de ultrasonidos							
	0 kHz		25 kHz		50 kHz		75 kHz	
	r1	r2	r1	r2	r1	r2	r1	r2
5 °C	1152.17	1147.33	962.16	991.34	624.4	632.93	452.08	409.13
10 °C	866.41	829.59	709.16	721.06	495.91	560.59	431.54	369.46
15 °C	562.11	525.22	375.05	371.39	334.18	376.09	251.39	279.94

Datos experimentales para valores medios de volumen

Factor B: Temperatura	Factor A: Frecuencia de ultrasonidos							
	0 kHz		25 kHz		50 kHz		75 kHz	
	r1	r2	r1	r2	r1	r2	r1	r2
5 °C	0.05	0.05	0.06	0.07	0.08	0.08	0.09	0.09
10 °C	0.09	0.1	0.1	0.13	0.1	0.09	0.1	0.1
15 °C	0.06	0.07	0.09	0.1	0.12	0.11	0.16	0.15

Datos experimentales para densidad

Factor B: Temperatura	Factor A: Frecuencia de ultrasonidos							
	0 kHz		25 kHz		50 kHz		75 kHz	
	r1	r2	r1	r2	r1	r2	r1	r2
5 °C	2.4	2.2	2	1.57	1.38	1.37	1.22	1.33
10 °C	1.11	1.1	0.9	1.08	1.2	1.22	1.1	1.2
15 °C	1.33	1.43	1.22	1.2	1.17	1.18	1.06	1

Anexo 4.5: Programación (C++) Arduino MEGA

Listado para control de flujo de aire (velocidad del ventilador)

```

1  int motor=9;
2
3  void setup() {
4      Serial.begin(9600);
5      Serial.println("Eliga de 0 a 9 la velocidad de giro del motor");
6  }
7
8  void loop() {
9      if (Serial.available()){
10         char a = Serial.read();
11         if (a>='0' && a<='9'){
12             int velocidad = map(a,'0','9',0,255);
13             analogWrite(motor,velocidad);
14             Serial.print("Velocidad ");
15             Serial.println(a);
16         }
17         else {
18             Serial.print("Velocidad NO valida");
19             Serial.println(a);
20         }
21     }
22 }
23 }
24 }

```

Listados para el control de temperatura

Sensor DS18B20

```

1  #include <OneWire.h>
2  #include <DallasTemperature.h>
3  #define Pin 2
4
5  OneWire ourWire(Pin);
6  DallasTemperature sensors(&ourWire);
7
8  void setup() {
9      delay(1000);
10     Serial.begin(9600);
11     sensors.begin();
12 }
13
14 void loop() {
15     sensors.requestTemperatures();
16     String ff = "";
17     ff.concat(sensors.getTempCByIndex(0));
18     ff.concat("|"); ff.concat(sensors.getTempFByIndex(0));
19     Serial.println(ff);
20     delay(1000);
21 }

```

Relé

```

1  #define RELAY1  8
2  #define RELAY2  9
3
4  void setup() {
5      pinMode(RELAY1, OUTPUT);
6      pinMode(RELAY2, OUTPUT);
7  }
8
9  void loop()
10 {
11     digitalWrite(RELAY1,LOW);
12     digitalWrite(RELAY2,HIGH);
13     delay(3000);
14     digitalWrite(RELAY1,HIGH);
15     digitalWrite(RELAY2,LOW);
16     delay(3000);
17 }

```

Sensor DHT22

```

1  #include "DHT22.h"
2  DHT22 myDHT22(2);
3
4  float temp;
5  float humd;
6  void setup() {
7      Serial.begin(9600);
8  }
9  void loop() {
10     DHT22_ERROR_t errorCode;
11     errorCode = myDHT22.readData();
12     if (errorCode == DHT_ERROR_NONE) {
13         temp = (myDHT22.getTemperatureC());
14         humd = (myDHT22.getHumidity());
15     }
16     String dd="Temp: ";
17     dd.concat(temp);
18     dd.concat(" Humedad: ");
19     dd.concat(humd);
20     Serial.println(dd);
21     delay(2000);
22 }

```

Listado para generador de ultrasonidos (generador de funciones AD9850)

```

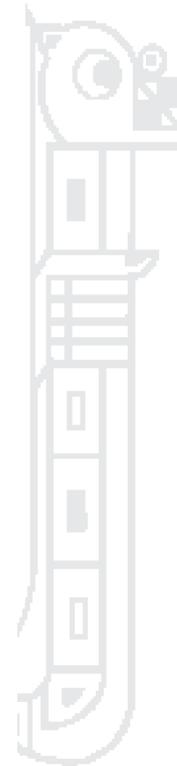
1  #include <EEPROM.h>
2  #define W_CLK 8
3  #define FQ_UD 9
4  #define DATA 10
5  #define RESET 11
6  #define pulseHigh(pin) {digitalWrite(pin, HIGH); digitalWrite(pin, LOW); }
7  #define MAX_BUFFER 100
8
9  int_fast32_t rx=7200000;
10 int_fast32_t rx2=1;
11 int_fast32_t increment = 1;
12 int buttonstate = 0;
13 String hertz = "1 Hz";
14 int hertzPosition = 6;
15 byte ones,tens,hundreds,thousands,tenthousands,hundredthousands,millions;
16 String freq;
17 int_fast32_t timepassed = millis();
18 int memstatus = 1;
19 int ForceFreq = 0;
20
21 void setup() {
22     Serial.begin(9600);
23     PCICR |= (1 << PCIE2);
24     PCMSK2 |= (1 << PCINT18) | (1 << PCINT19);
25     sei();
26     pinMode(FQ_UD, OUTPUT);
27     pinMode(W_CLK, OUTPUT);
28     pinMode(DATA, OUTPUT);
29     pinMode(RESET, OUTPUT);
30     pulseHigh(RESET);
31     pulseHigh(W_CLK);
32     pulseHigh(FQ_UD);
33
34     Serial.println(hertz);
35     if (ForceFreq == 0) {
36         freq = String(EEPROM.read(0))+String(EEPROM.read(1))+String(EEPROM.read(2))+String(EEPROM.read(3))+String(EEPROM.read(4))+
37             String(EEPROM.read(5))+String(EEPROM.read(6));
38         rx = freq.toInt();
39     }

```

```

40
41 void loop() {
42   char buf[MAX_BUFFER];
43   char serialByte;
44   if (Serial.available()>0)
45   {
46     serialByte=Serial.read();
47   }
48
49   if (serialByte=='0')
50   {
51     rx = 0;
52   }
53   if (serialByte=='c')
54   {
55     rx +=1000;
56   }
57   if (serialByte=='d')
58   {
59     rx -=1000;
60   }
61   if (rx != rx2){
62     showFreq();
63     sendFrequency(rx);
64     rx2 = rx;
65   }
66   if(memstatus == 0){
67     if(timepassed+2000 < millis()){
68       storeMEM();
69     }
70   }
71 }
72
73 void sendFrequency(double frequency) {
74   int32_t freq = frequency * 4294967295/125000000;
75   for (int b=0; b<4; b++, freq>=8) {
76     tfr_byte(freq & 0xFF);
77   }
78   tfr_byte(0x000);
79   pulseHigh(FQ_UD);
80 }
81
82 void tfr_byte(byte data)
83 {
84   for (int i=0; i<8; i++, data>=1) {
85     digitalWrite(DATA, data & 0x01);
86     pulseHigh(W_CLK);
87   }
88 }
89
90 void setincrement(){
91   if(increment == 1){increment = 10; hertz = "10 Hz"; hertzPosition=5;}
92   else if(increment == 10){increment = 50; hertz = "50 Hz"; hertzPosition=5;}
93   else if (increment == 50){increment = 100; hertz = "100 Hz"; hertzPosition=4;}
94   else if (increment == 100){increment = 500; hertz="500 Hz"; hertzPosition=4;}
95   else if (increment == 500){increment = 1000; hertz="1 kHz"; hertzPosition=6;}
96   else if (increment == 1000){increment = 2500; hertz="2.5 kHz"; hertzPosition=4;}
97   else if (increment == 2500){increment = 5000; hertz="5 kHz"; hertzPosition=6;}
98   else if (increment == 5000){increment = 10000; hertz="10 kHz"; hertzPosition=5;}
99   else if (increment == 10000){increment = 100000; hertz="100 kHz"; hertzPosition=4;}
100  else if (increment == 100000){increment = 1000000; hertz="1 MHz"; hertzPosition=6;}
101  else{increment = 1; hertz = "1 Hz"; hertzPosition=6;};
102  delay(250);
103 };
104
105 void showFreq(){
106
107   Serial.println(rx);
108   if (rx < 1000) {
109
110   if (rx < 1000) Serial.print(" ");
111   if (rx < 100) Serial.print(" ");
112   Serial.print(rx);
113   Serial.print(" Hz");
114   } else
115   if (rx < 1000000) {
116
117   if (rx < 10000) Serial.print(" ");
118   Serial.print((float)rx/1000, 3);
119   Serial.print(" kHz");
120   } else {
121   format(rx);
122   Serial.print(" MHz");
123   }
124   millions = int(rx/1000000);
125   hundredthousands = ((rx/100000)%10);
126   tenthousands = ((rx/10000)%10);
127   thousands = ((rx/1000)%10);

```



```

128     hundreds = ((rx/100)%10);
129     tens = ((rx/10)%10);
130     ones = ((rx/1)%10);
131     Serial.println("");
132     Serial.println("----");
133     timepassed = millis();
134     memstatus = 0;
135 };
136
137 void format(long value) {
138     int M = (value/1000000);
139     int T100 = ((value/100000)%10);
140     int T10 = ((value/10000)%10);
141     int T1 = ((value/1000)%10);
142     int U100 = ((value/100)%10);
143     int U10 = ((value/10)%10);
144     int U1 = ((value/1)%10);
145     Serial.print(M);Serial.print(".");Serial.print(T100);
146     Serial.print(T10);Serial.print(T1);Serial.print(",");
147     Serial.print(U100);Serial.print(U10);Serial.print(U1);
148 }
149
150 void storeMEM(){
151     EEPROM.write(0,millions);
152     EEPROM.write(1,hundredthousands);
153     EEPROM.write(2,tenthousands);
154     EEPROM.write(3,thousands);
155     EEPROM.write(4,hundreds);
156     EEPROM.write(5,tens);
157     EEPROM.write(6,ones);
158     memstatus = 1;
159 };

```

Listado para lectura de peso (celda de carga, transmisor HX711)

```

1  #include "HX711.h"
2
3  #define DOUT A1
4  #define CLK A0
5  HX711 balanza(DOUT, CLK);
6  float p;
7  void setup() {
8      Serial.begin(9600);
9      balanza.set_scale(439430.25);
10     balanza.tare(20);
11 }
12 void loop() {
13     Serial.println(balanza.get_units(20),3);
14     delay(500);
15 }

```

Anexo 4.6: Software de adquisición de datos

Listado de inicialización de puerto COM (puerto USB)

```
private void experimento_Load(object sender, EventArgs e)
{
    Icon = Properties.Resources.EPIA2;
    try
    {
        txtcom.Text = procglob.serialName;
        pcom.BaudRate = 9600;
        pcom.PortName = procglob.serialName;
        pcom.DataReceived += new SerialDataReceivedEventHandler(COM_data);
        pcom.Open();
    }
    catch (Exception ex)
    {
        MessageBox.Show(ex.Message, "Error", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Warning);
    }
}
```

Listado de lectura de datos del puerto COM

```
private void COM_data(object sender, SerialDataReceivedEventArgs e)
{
    string lectura = pcom.ReadLine();
    textbox1.Text = DateTime.Now + " " + lectura + "\r\n" + textbox1.Text;
    string[] sss = lectura.Split(new char[] { ',' });
}
```

Listado para escritura en hoja Ms Excel©

```
int f=0, i=0;
string[] sp = lectura.Split(new char[] { ',' });
for (int cc = 1; cc <= sp.Length; cc++)
{
    string d = sp[cc - 1];
    if (cc == sss.Length)
        procglob.xlWorkSheet.Cells[f, cc] = Convert.ToDouble(d);
    else
        procglob.xlWorkSheet.Cells[f, cc] = d;
    procglob.xlWorkSheet.get_Range("A" + f).Select();
}
sp = null;
f++; i++;
```