



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES
CARRERA: INGENIERÍA DE MEDIO AMBIENTE

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD Y CALIDAD DE LA SEMILLA DE QUINUA
(*Chenopodium quinoa*), TRAS DIFERENTES MÉTODOS DE SECADO.”**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de

Ingeniera en Medio Ambiente

Autora

Suntasig Caillagua Maritza Elizabeth

Tutora

PhD. Ballesteros Redondo María Isabel

Latacunga – Ecuador

2017

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

“Yo **SUNTASIG CAILLAGUA MARITZA ELIZABETH** declaro ser autora del presente proyecto de investigación: “**EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD Y CALIDAD DE LA SEMILLA DE QUINUA (*Chenopodium quinoa*), TRAS DIFERENTES MÉTODOS DE SECADO.**” siendo la **PhD MARÍA ISABEL BALLESTEROS REDONDO**, tutora del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

SUNTASIG CAILLAGUA MARITZA ELIZABETH

.....
050288890-2

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **Suntasig Caillagua Maritza Elizabeth**, identificada con C.C. N°**050288890-2**, de estado civil **Soltera** y con domicilio en **Pujili** a quien en lo sucesivo se denominará **LOS CEDENTES**; y, de otra parte, el Ing. MBA. Cristian Fabricio Tinajero Jiménez, en calidad de Rector y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez Barrio El Ejido Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA.- LA/EL CEDENTE es una persona natural estudiantes de la carrera de **Ingeniería De Medio Ambiente**, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **Proyecto de Investigación** la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad según las características que a continuación se detallan:

Historial académico.-

Fecha de inicio de carrera: **Abril 2011/ Septiembre 2011**

Fecha de finalización: **Agosto 2016**

Aprobación HCA: **19 de Julio del 2016**

Tutor.- **PhD. María Isabel Ballesteros Redondo**

Tema: **“EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD Y CALIDAD DE SEMILLA QUINUA (*Chenopodium quinoa*) TRAS DIFERENTES MÉTODOS DE SECADO.**

CLÁUSULA SEGUNDA.- LA CESIONARIA es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que

establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA.- Por el presente contrato, **LA/EL CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA.- OBJETO DEL CONTRATO: Por el presente contrato **LA/EL CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- f) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA.- El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **LA/EL CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA.- El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA.- CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD.- Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **LA/EL CEDENTE** podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA.- LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS.- LA CESIONARIA podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **LA/EL CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA.- El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en las cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA.- En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA.- Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y temor en la ciudad de Latacunga Junio del 2017

.....
Maritza Suntasig

.....
Ing. MBA. Cristian Tinajero Jiménez

EL CESIONARIO

FORMULARIO DE LA APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de Miembros del Tribunal de Lectores aprueban el presente Informe de Titulación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi y por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales de la Carrera de Ingeniería de Medio Ambiente por cuanto, la postulante: **Suntasig Caillagua Maritza Elizabeth** Con la tesis, cuyo título es: **“EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD Y CALIDAD DE LA SEMILLA DE QUINUA (*Chenopodium quinoa*), TRAS DIFERENTES MÉTODOS DE SECADO.”**

He considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúnen los méritos suficientes para ser sometido al **Acto de Defensa de Tesis** en la fecha y hora señalada.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, Junio del 2017.

Para constancia firman:

LECTOR 1(Presidente)

NOMBRE: Ing. Marco Rivera

C.I.050151895-5

LECTOR 2 (Secretario)

NOMBRE: Ing. Vinicio Mogro

C.I.050165751-4

LECTOR 3(Opositor)

NOMBRE: Ing. José Andrade

C.I.050252448-1

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD Y CALIDAD DE LA SEMILLA DE QUINUA (*Chenopodium quinoa*), TRAS DIFERENTES MÉTODOS DE SECADO.” De **Suntasig Caillagua Maritza Elizabeth** de la Carrera de Ingeniería de Medio Ambiente, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Honorable Consejo Académico de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales de la Carrera de Ingeniería de Medio Ambiente de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga Junio del 2017.

.....
PHD. MARÍA ISABEL BALLESTEROS REDONDO

C.I.

DIRECTOR DE TESIS

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi Dios por darme fuerzas para salir adelante, a mis padres por brindarme su apoyo incondicional, a mi esposo quien estuvo a mi lado apoyándome e impulsándome para cumplir mis metas, a mi hijo que es mi inspiración mi motivación para no decaer y seguir adelante con más fuerza, a mis hermanos que me brindaron sus palabras de aliento para seguir adelante. A toda mi familia que estuvieron pendientes en este arduo camino de mi vida estudiantil.

A mi Directora de proyecto de investigación PhD Isabel Ballesteros quien apporto su conocimiento y su tiempo valioso para la ejecución de la presente investigación.

A mis profesores les agradezco por el tiempo compartido durante la carrera universitaria, a mi familia y amigos quienes me dieron su apoyo.

Maritza Elizabeth

DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo que representa esfuerzo, dedicación y entrega la dedico, con mucho amor y cariño a mi padres Carlota Caillagua y José Suntasig por brindarme su apoyo incondicional, a mi esposo Edison Moya que es el pilar fundamental de nuestro hogar quien estuvo a mi lado a pesar de las adversidades durante toda mi vida estudiantil por brindarme su apoyo y confianza, a mi hijo Danny Moya que es mi inspiración que es mi motor de vida, mi razón de ser.

A mis hermanos Mayra, Fernanda, Jefferson, y David quienes me motivaron y me impulsaron para seguir adelante

.

A mis amigas que estuvieron conmigo en las buenas y en las malas.

Maritza Elizabeth

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES
CARRERA DE INGENIERÍA DE MEDIO AMBIENTE

TITULO: EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD Y CALIDAD DE LA SEMILLA DE QUINUA (*Chenopodium quinoa*), TRAS DIFERENTES MÉTODOS DE SECADO.

Autor: Suntasig Caillagua Maritza Elizabeth.

RESUMEN

El presente proyecto de investigación tiene como objetivo principal determinar la factibilidad del secado de semillas de interés agrícola mediante la tecnología de microondas. Para ello se evaluó la viabilidad de semillas de quinua, en comparación con los métodos tradicionales de secado (secado al ambiente y horno de convección). Se realizó el secado de semillas de quinua en horno convencional a una temperatura de 55° C y en horno microondas a tres densidades de potencia distintas. Se determinaron las curvas de secado de las semillas para cada tratamiento en las que se relaciona la pérdida de humedad con respecto al tiempo. Esto permitió conocer el tiempo recomendable para cada tipo de secado, para alcanzar la humedad óptima para la conservación de la semilla, establecida al 6-8% de humedad. Se comprueba que el secado en horno microondas reduce el tiempo necesario y el consumo energético. Una vez secadas las semillas en el horno microondas y horno convencional, se procedió a su evaluación comparándolas también con semillas secadas al ambiente (testigo) mediante pruebas de germinación en placas Petri de todos los tratamientos. Se encontraron diferencias en la tasa de germinación entre los tratamientos, siendo menor en las semillas secadas con microondas. Se evaluó también la viabilidad en campo de aquellos tratamientos que obtuvieron mejor tasa de germinación. Se comprobó que la tasa de germinación y la supervivencia en campo de las plantas procedentes de semillas secadas con microondas es menor. Además presentan un menor tamaño al inicio del cultivo.

Los resultados obtenidos en esta investigación muestran que la tecnología microondas reduce el tiempo de secado de semillas de quinua y el consumo energético, sin embargo tiene un efecto adverso en la calidad de las semillas, afectando gravemente a la tasa de germinación.

Palabras claves: Quinua, Secado, Humedad, Germinación, Vigor en campo, Supervivencia

ABSTRACT

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCES AND NATURAL RESOURCES CAREER OF
ENVIRONMENTAL ENGINEERINGTITLE: EVALUATION OF THE FEASIBILITY AND QUALITY OF QUINUA SEED
(*Chenopodium Quinoa*), AFTER DIFFERENT DRYING METHODS.

Author: Suntasig Caillagua Maritza Elizabeth

The main objective of this study was to assess the feasibility of applying microwave drying on conservation of agricultural seeds. In order to that, the viability of quinoa seeds was evaluated in comparison with traditional drying methods (environmental drying and conventional oven). Conventional oven drying was performed at 55 °C and microwave drying was carried out at three different power densities. The seed drying curve was determined for each treatment; the drying curve relate humidity lost with drying time. Thus, it was possible to know the recommended time needed for each drying technology to reach the optimum humidity for seed conservation establishes as 6-8%. It was proved that microwave drying reduces the drying time and energetic consumption. After conventional and microwave seed drying, it was valuated the germination rate in comparison with environmental seed drying by germination tests in Petri dishes of all treatments. It was found differences in the germination rate between treatments, showing lower germination those seeds microwave dried. Also, the field viability of the treatments with better germination rate was evaluated. It was tested that plants from microwave dried seeds presented a lower germination rate and field viability. Moreover, those plants had a lower height at the beginning of the cultivation.

The results of this research show that microwave technology reduces the drying time of quinoa seeds and energy consumption, however it has an adverse effect in the seed quality, affecting severely the germination rate.

INDICE GENERAL

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	i
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	ii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR.....	iii
FORMULARIO DE LA APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	vi
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	viii
AGRADECIMIENTO	ix
DEDICATORIA	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT.....	xii
INDICE GENERAL	xiii
INDICE DE TABLAS	xvi
INDICE DE FIGURAS.....	xvii
1. INFORMACIÓN GENERAL.....	1
Título del Proyecto:.....	1
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	2
3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO.....	3
4. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN:	3
5. OBJETIVOS:	4
6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS	5
7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA	7

7.1 LA QUINUA (<i>Chenopodium quinoa w.</i>)	7
7.2 CARACTERÍSTICAS BOTANICAS	7
7.3 CARACTERÍSTICAS DE LA SEMILLA	8
7.4 SECADO.....	8
7.5 SECADO DEL GRANO.....	9
7.6 ALMACENAMIENTO	9
7.7 SECADO NATURAL	9
7.8 SECADO EN HORNO DE CONVECCIÓN	10
7.9 SECADO CON ENERGÍA MICROONDAS.....	10
7.10 HORNO MICROONDAS	11
7.11 MÉTODOS CONVENCIONALES.....	12
7.12 POTENCIAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR	14
7.13 LA CONSERVACIÓN DE SEMILLAS	15
7.14 EFECTO DEL SECADO DE SEMILLAS CON ENERGÍA MICROONDAS.....	15
7.15 POTENCIA.....	15
7.16 SIEMBRA.....	16
7.17 HUMEDAD	16
7.18 GERMINACION	16
7.19 VIABILIDAD.....	17
7.20 VIGOR.....	17
8. HIPOTESIS:	17
9. METODOLOGÍAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL.....	17
9.1 SELECCIÓN DEL LUGAR DE ESTUDIO.....	18
Descripción del área.....	18
Ubicación Geográfica	18

9.2 MATERIALES Y MÉTODOS	19
EXPERIMENTOS DE SECADO	19
TASA DE GERMINACIÓN	19
SUPERVIVENCIA EN CAMPO	20
9.3. METODOLOGIA	20
9.3.1 CURVAS DE SECADO	20
9.3.2 EXPERIMENTOS DE SECADO	21
9.3.3 CONSUMO ENERGÉTICO	21
9.3.4 TASA DE GERMINACIÓN	21
9.3.5 SUPERVIVENCIA EN CAMPO	21
9.3.6 DISEÑO EXPERIMENTAL	22
9.3.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO:	22
10. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS:	23
11. IMPACTOS (TÉCNICO, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS):	33
12. PRESUPUESTO PARA LA PROPUESTA DEL PROYECTO:	34
CONCLUSIONES	35
RECOMENDACIONES	36
BIBLIOGRAFIA	37
ANEXOS	40

INDICE DE TABLAS

Tabla 1:	Objetivos y actividades.....	7
Tabla 2:	Clasificación y características de los materiales de acuerdo a su interacción con las ondas electromagnéticas.....	11
Tabla 3:	Ventajas del calentamiento con energía microondas.....	13
Tabla 4:	Tiempo de secado de los tratamientos.....	26
Tabla 5:	Valores promedio de la tasa de germinación de los distintos tratamientos. Distintos subíndices indican diferencias significativas ($p < 0,05$)	27
Tabla 6:	Resultados calculo consumo energético.....	29
Tabla 7:	Datos generales siembra de semillas de cada uno de los tratamientos. El número de alveolos sembrados fue de 100 (2-3 semillas por alveolo).	30
Tabla 8:	Análisis univariante de los datos a 15 días.	30
Tabla 9:	Diferencias del tratamiento por las réplicas de los días 60.....	31
Tabla 10:	Valor medio y error estándar de la altura de las plantas de quinua de cada tratamiento de secado con respecto los días 15 y 60 tras el trasplante. (N=n° de plantas de cada tratamiento).....	31
Tabla 11:	ANOVA.....	32
Tabla 12:	Prueba de Homogeneidad de varianzas de los ensayos entre los días 15 y 60...	33
Tabla 13	Comparaciones múltiples (Tratamientos: HC corresponde a Horno convencional, HW corresponde a Horno microondas).	32

INDICE DE FIGURAS

Figura 1:	Mapa Ceypsa Universidad Técnica De Cotopaxi.....	18
Figura 2:	Curvas de secado promedio en horno convencional.....	23
Figura 3:	Curva de secado promedio con una potencia de 1,75 W/gr	24
Figura 4:	Curva de secado promedio con una potencia de 3,5 W/gr	24
Figura 5:	Curva de secado promedio con una potencia de 7W/gr.....	25

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1:	Hoja de Vida.....	40
Anexo 2:	Aval de traducción.....	41
Anexo 3:	Curvas de secado.....	42
Anexo 4:	Experimentos de secado.....	42
Anexo 5:	Pruebas de germinación.....	43
Anexo 6:	Vigor en campo.....	44
Anexo 7:	Toma de datos de los tratamientos aplicados en vigor en campo.....	46
Anexo 8:	Tasa de germinación	53
Anexo 9:	Anova para la comparación de la tasa de germinación.....	53
Anexo 10:	Prueba de germinación de semillas secadas al ambiente.....	54
Anexo 11:	Prueba de germinación de semillas secadas en Horno Convencional una temperatura de 55 °C.....	54
Anexo 12:	Prueba de germinación de semillas secadas en Horno Microondas a una densidad de 1,75W/g.....	54
Anexo 13:	Prueba de germinación de semillas secadas en Horno Microondas a una densidad de 3,5W/g.....	55
Anexo 14:	Prueba de germinación de semillas secadas en Horno Microondas a una densidad de 7W/g.....	55
Anexo 15:	Media de los tratamientos	56
Anexo 16:	Prueba de homogeneidad de varianzas.....	56
Anexo 17:	Anova.....	56
Anexo 18:	Comparaciones múltiples.....	57

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del Proyecto:

Evaluación de la viabilidad y calidad de la semilla de quinua (*Chenopodium quinoa*), tras diferentes métodos de secado.

Fecha de inicio:

Abril del 2016

Fecha de finalización:

Mayo del 2017

Lugar de ejecución:

Salache-CEASA

Unidad Académica que auspicia

Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales

Carrera que auspicia:

Ingeniería en Medio Ambiente

Proyecto de investigación vinculado

Evaluación del proceso de secado en Horno Microondas de semillas de interés agrícola de la Provincia de Cotopaxi

Equipo de Trabajo:

Autor: Maritza Elizabeth Suntasig Caillagua

Coordinador

Tutor: PhD. María Isabel Ballesteros Redondo

Área de Conocimiento: Ciencias Línea de investigación: Línea 2. Desarrollo y Seguridad Alimentaria

Sub líneas de investigación de la Carrera: Energías Alternativas Y Renovables, Eficiencia Energética y Protección Ambiental.

2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La quinua, es un cultivo propio de la región andina, que ha adquirido gran trascendencia a nivel mundial debido a sus propiedades nutritivas y a su potencial para adaptarse a diferentes condiciones agroclimáticas. Tras el cultivo y recolección, las semillas requieren de un proceso de secado para su conservación, el control de plagas y el aumento de la vida útil. En la actualidad se ha visto la necesidad de buscar nuevas tecnologías amigables para el ambiente, debido a los graves problemas de contaminación que enfrenta nuestro planeta. Para evitar estos inconvenientes derivados del secado al sol, se han desarrollado distintos métodos artificiales de secado, como la convección por aire caliente, ampliamente discutido en (Barrozo, et al. 2014), o recientemente la técnica de microondas que permite un mayor control de las variables que afectan al proceso de conservación, un mayor ahorro en términos de tiempo y una mayor eficiencia energética. Por las características morfológicas de la semilla el secado de quinua es muy susceptible a las variaciones climáticas, especialmente al aumento de la humedad ambiental lo que puede provocar la germinación durante el secado al aire. Por tanto, es necesaria una mejora del proceso de secado de estos granos basada en la utilización de técnicas que permitan un mejor control y eficiencia del proceso. La tecnología microondas presenta un gran potencial para su uso en el secado de productos agrícolas en Ecuador. Un aspecto que ha despertado un gran interés en la utilización del secado con energía microondas es la mejora en la eficiencia energética que se puede alcanzar con su uso. El ahorro de energía que se logra en estos sistemas se debe, fundamentalmente, a las velocidades de secado más altas, la interacción directa de la energía con el disolvente, las temperaturas de secado más bajas y las menores pérdidas de calor que se producen en ellos (Schiffmann, 2015).

Teniendo en cuenta lo anterior se considera importante y necesario realizar una evaluación del proceso de secado de las semillas utilizando la tecnología microondas que demuestre su viabilidad y calidad nutricional. Por otro lado, la realización de este estudio es necesaria ya que no existen datos referentes al uso de esta tecnología en el proceso de secado de la semilla de quinua.

Los resultados derivados del proyecto pueden contribuir al desarrollo de la producción agrícola de la provincia de Cotopaxi y a la generación de nuevo conocimiento científico-técnico permitiendo el desarrollo de una nueva tecnología de secado.

3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

Los principales beneficiarios serían los 6.000 agricultores de la zona 3. Sin embargo, si la técnica es efectiva, es fácilmente extrapolable a otros productos y regiones, por lo que teóricamente cualquier productor podría verse beneficiado con los resultados del proyecto

Con los resultados de este proyecto se espera obtener una técnica eficiente de secado de semillas que reduzca los tiempos de secado sin perjuicio de la calidad de las mismas y que disminuya a su vez la posibilidad de ser afectadas por plagas, enfermedades y contaminaciones. Por ello, el principal beneficiario de este proyecto sería el sector agrario al estudiar una especie típica de la región sierra como es la quinua.

Además, los resultados obtenidos beneficiaran a aquellos proyectos de la Universidad Técnica de Cotopaxi que requieran del secado de semillas tales como el proyecto de Granos Andinos y el proyecto del Banco de Germoplasma.

4. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN:

La falta de un método de secado rápido el problema de la investigación se basa en conseguir un método rápido de alta eficiencia energética para el secado de semillas de interés agrícola en la provincia de Cotopaxi y que no afecte a la viabilidad y calidad de la semilla.

La tecnología microondas presenta un gran potencial para su uso en el secado de productos agrícolas en Ecuador. Un aspecto que ha despertado un gran interés en la utilización del secado con energía microondas es la mejora en la eficiencia energética que se puede alcanzar con su uso es el ahorro de energía que se logra en estos sistemas se debe, fundamentalmente, a las velocidades de secado más altas, la interacción directa de la energía con el disolvente, las temperaturas de secado más bajas y las menores pérdidas de calor que se producen en ellos (Schiffmann, 2015) No obstante, es necesario realizar una evaluación de la técnica y de la calidad de las semillas obtenidas tras este proceso. No existen datos referentes al uso de esta tecnología en el secado de semillas de interés para la región como la quinua. En tal virtud el presente proyecto de investigación permite establecer un método de secado más apropiado para el secado de las semillas de quinua.

5. OBJETIVOS:

General

- Evaluar el tiempo de secado, eficiencia energética y calidad de la semilla tras el secado a diferentes temperaturas utilizando la tecnología microondas en comparación con el horno de convección y al aire libre.

Específicos

- Obtener las curvas de secado para los distintos métodos empleados.
- Valorar la viabilidad de las semillas secadas bajo los distintos métodos basándonos en su capacidad de germinación.
- Evaluar el desarrollo en campo de las plantas germinadas con los métodos y parámetros de secado más eficientes

6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Tabla 1: Objetivos y actividades

Actividad		Resultado de la actividad	Técnicas e instrumentos
Objetivo 1	<p>1.- Secar la semilla en horno microondas a una densidad de Potencia de 20 W y en horno convencional a 55°C.</p>	<p>1.-Determinar la perdida de humedad con respecto al tiempo.</p> <p>2.-Las curvas de secado se extrapolo el tiempo de secado necesario, con cada uno de los métodos ensayados, para que la humedad de las semillas esté entre el 6-8%</p>	<p>Secar la semilla a 20 W con distintos gramos se semilla a distintas densidades de potencia hasta que el peso no varié.</p> <p>De cada muestra en horno microondas y en horno convencional se realizaron 3 ensayos con 3 repeticiones de cada una.</p> <p>Instrumentos</p> <p>Horno microondas Horno convencional Caja Petri</p>

<p>Objetivo 2</p>	<p>2.- Realizar ensayos de germinación de las distintas tecnologías en comparación con semillas secadas al sol para evaluar la viabilidad</p>	<p>Porcentaje de tasa de germinación semillas viables de cada una de las tecnologías de secado.</p>	<p>Se germinaron en placa Petri las semillas secadas bajo los diferentes métodos en igualdad de condiciones.</p> <p>Se realizó el recuento de las semillas germinadas de cada muestra diariamente.</p> <p>Instrumentos</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Caja Petri ✓ Papel absorbente ✓ Pinzas
<p>Objetivo 3</p>	<p>3.- Pasar a campo las plántulas germinadas en el ensayo práctico en alveolos de los métodos seleccionados.</p>	<p>Datos de tasa de supervivencia y el tiempo de evaluación</p>	<p>Siembra en campo de las plántulas.</p> <p>Evaluación cada 15 de la supervivencia</p> <p>Instrumentos</p> <p>Alveolos, Planchas, Sustrato De Germinación</p> <p>Software SPSS V22</p>

7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

7.1 LA QUINUA (*Chenopodium quinoa w.*)

La quinua es una planta autóctona de los Andes, cuyo centro de origen se encuentra en algún valle de la Zona Andina y la mayor variabilidad se observa a orillas del Lago Titicaca y en su historia se reconoce que fue utilizada como alimento desde hace 5000 años, y fue un grano básico de la cultura Inca, sin embargo, con el transcurrir de los años el cultivo de quinua ha pasado a tener poca importancia en el Ecuador. (Peralta, 1985)

Es una planta alimenticia de desarrollo anual, dicotiledónea que normalmente alcanza una altura de 1 a 3 m. Las hojas son anchas y polimorfas (con diferentes formas en la misma planta); el tallo central comprende hojas lobuladas y quebradizas y puede tener ramas, dependiendo de la variedad o densidad del sembrado; las flores son pequeñas y carecen de pétalos. Son hermafroditas y generalmente se auto fertilizan. (Peralta, 1985)

7.2 CARACTERÍSTICAS BOTANICAS

La quinua es una planta alimenticia de desarrollo anual, dicotiledónea que usualmente alcanza una altura de 1 a 3 m. Las hojas son anchas y poliformas (diferentes formas en la misma planta),

RAÍZ: El tipo de raíz varía de acuerdo a las fases fenológicas. Empieza con raíz pivotante terminando en raíz ramificado con una longitud de 25 a 30 cm., según el eco tipo, profundidad del suelo y altura de la planta.

TALLO: Tiene tallos delgados de forma tubular y pueden poseer o no ramas secundarias.

ALTURA: La quinua es una planta herbácea que puede llegar a alcanzar los 2m de alto.

HOJAS: Las hojas de la quinua tienen diversas formas y colores, generalmente son verdes, rojas o moradas. Son simples, enteras, esparcidas, glabras, pecioladas.

INFLORESCENCIA: La quinua tiene una inflorescencia terminal en punta, que da lugar a una panoja cargada de semillas. Es de tipo racimosa y por la disposición de las flores en el racimo le denomina como una panoja.

FLORES: En una misma inflorescencia pueden presentar flores hermafroditas (perfectas), femeninas y androésteriles (imperfectas).

Generalmente se encuentra 50 glomérulos en una planta y cada glomérulo está conformado por 18 a 20 granos aproximadamente.

GRANOS: Los granos o semillas pueden medir hasta 2.5 mm y tienen un gran valor nutritivo, gracias a su buen balance de aminoácidos (Porras, 2014)

7.3 CARACTERÍSTICAS DE LA SEMILLA

La semilla es de tamaño pequeño, en el mejor de los casos, llega a medir 2,2 mm de diámetro. Puede ser de colores muy diversos: blanco, amarillo, anaranjado, rojo, café, negro o mixtura.

La cubierta de la semilla se denomina pericarpio, en la que se encuentra una sustancia amarga denominada saponina, la que al ser lavada se elimina en forma de espuma. Luego se encuentra el epispermo en forma de una membrana delgada. El embrión está conformado por los cotiledones y la radícula y envuelve al perisperma en forma de anillo. El perisperma contiene el almidón y, por lo general, es de color blanco (Castro, 2007) La variabilidad fisiológica le permite crecer desde altitudes superiores a 3 mil metros en el altiplano, secanos costeros de Chile central y en zonas lluviosas entre Temuco y Aysén, en la zona austral. Creciendo en suelos salinos también resiste el estrés hídrico. En Chile semiárido la tradición cultural tanto agrícola como culinaria se perdió probablemente con la desaparición de 4 los Diaguitas que la consumían. La reintroducción de este cultivo en esta región presenta doble desafío, un entorno de olvido cultural y la reducción de precipitación de 170 a 70 mm/año en los últimos 100 años (Castro, 2007)

7.4 SECADO

El secado constituye uno de los métodos que permite separar un líquido de un sólido en general, entendemos por secado la separación de la humedad de los sólidos (o de los líquidos), por evaporación en una corriente gaseosa. (Rodríguez, 2006)

7.5 SECADO DEL GRANO

Cualquiera que sea el método de cosecha, el producto final, (grano trillado), se obtiene con niveles de humedad entre 15 y 20%, dependiendo del estado de maduración de las plantas y de la humedad ambiental al momento de la cosecha. (Nieto, 1992)

7.6 ALMACENAMIENTO

Las semillas se deben conservar en las condiciones apropiadas para garantizar su calidad Sanitaria y organoléptica. La degradación de los granos en almacenamiento se ve afectada por la combinación de tres factores ambientales:

- ✓ Temperatura
- ✓ Humedad
- ✓ Contenido de oxígeno

Los granos almacenados también son afectados por microorganismos, insectos, aves y roedores. Las formas de almacenamiento de los granos son básicamente dos: en sacos, al aire libre o en almacenes, y a granel, en granos silos de diversa capacidad (Maluenda, 2009).

El grano es higroscópico, es decir que puede ganar o perder humedad del medio ambiente. Un alto contenido de agua, mayor de 14% no es deseable ni recomendable para almacenar grano de quinua. Los factores que más afectan la calidad fisiológica de los granos durante el almacenamiento son la temperatura y la humedad del ambiente. El almacenamiento de los granos debe hacerse en recintos secos, frescos y bien aireados y teniendo como base parihuelas de madera (Maluenda, 2009)

7.7 SECADO NATURAL

El secado natural se lleva a cabo extendiendo los granos en capas finas y exponiéndolos a la acción del aire (al sol o a la sombra), por un tiempo no mayor a 15 días. Para que el secado sea eficaz, la humedad relativa del aire no debería ser mayor de 70%, y los granos deberían ser removidos frecuentemente para una exposición uniforme. Pese a los inconvenientes que acarrea

(secado insuficiente o lento, daño por acción de agentes atmosféricos, animales y microorganismos), el secado natural se recomienda en los siguientes casos:

- ✓ Cuando las condiciones atmosféricas son propicias para un secado en un lapso relativamente corto.
- ✓ Cuando las cantidades que se procesan son pequeñas. Cuando la organización de la producción y las condiciones socio-económicas no justifican la inversión en una instalación para secado artificial

7.8 SECADO EN HORNO DE CONVECCIÓN

El método de secado más preciso para determinar el contenido de la humedad es el de secado en horno, por medio del cual se elimina el agua de las semillas por acción del calor, en condiciones controladas. Este método destruye las semillas y solo se debe realiza cuando sea imprescindible. Se recomienda hacer una determinación precisa con este método después de secado para determinar el contenido de humedad inicial de las semillas almacenadas. (Kameswara y Hanson, 2007)

La ISTA (2005) ha reglamentado dos métodos diferentes de secado en horno para determinar el contenido de humedad, con base en la composición de la semilla:

- ✓ El método en horno de convección a temperatura baja constante para semillas oleaginosas
- ✓ El método en horno a temperatura alta constantes par semillas no oleaginosas

7.9 SECADO CON ENERGÍA MICROONDAS

La radiación microondas es el término utilizado para denominar a las radiaciones electromagnéticas no ionizantes que se producen en la porción del espectro electromagnético en la gama de frecuencias entre 300 MHz y 300 GHz, que corresponden a longitudes de onda entre un 1 m y un 1 mm (Osepchuk, 1984; Ohlsson y Bengtsson 2001).

Dentro de esta porción del espectro electromagnético hay frecuencias que se utilizan para las comunicaciones por telefonía móvil, radares, televisión y las comunicaciones por satélite. Por ello, la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) ha reservado dos frecuencias para la utilización del calentamiento por energía microondas para fines industriales, científicos y

médicos. Estas dos frecuencias son: 2,45 GHz, utilizada fundamentalmente en Europa y 915 MHz, permitida en los Estados Unidos para estos fines (Ohlsson y Bengtsson, 2001).

7.10 HORNO MICROONDAS

Los hornos microondas utilizados, tanto para usos domésticos como industriales, generalmente operan a una frecuencia de 2,45 MHz, que corresponde a una longitud de onda de 12,2 cm y a una energía de $1,02 \times 10^{-5}$ eV. Por otra parte, es muy importante saber que la radiación microondas no es una forma de calor, sino que es una forma de energía que se manifiesta en forma de calor a través de su interacción con los materiales. Para la conversión de esta forma de energía existen varios mecanismos (Schiffmann, 2015).

Además, es muy importante tener presente que todos los materiales no se pueden calentar rápidamente mediante energía microondas, debido a que ellos interactúan de diferente forma con los campos electromagnéticos. En este sentido, los materiales, de acuerdo a la forma en que interactúan con los campos electromagnéticos, se clasifican en cuatro grupos: conductores, aislantes, absorbentes y compuestos magnéticos (Schiffmann, 2015).

En la Tabla 2 se muestran las características generales de cada uno de ellos. Como se puede observar en ella, en el grupo de materiales absorbentes se encuentran los materiales que absorben la radiación microondas; a estos materiales se les denomina materiales dieléctricos, por ello, al calentamiento con energía microondas también se le conoce como calentamiento dieléctrico.

Tabla 2: Clasificación y características de los materiales de acuerdo a su interacción con las ondas electromagnéticas (Schiffmann, 2015).

Tipo de material	Interacción con las ondas electromagnéticas
Conductores	Son materiales con electrones libres, como los metales, que reflejan las ondas electromagnéticas. Se utilizan para contener y dirigir las ondas electromagnéticas en los aplicadores y guías de onda.

Aislantes	Son materiales que no conducen la energía eléctrica, tales como el vidrio, la cerámica, y el aire. Actúan como aislantes, que reflejan y absorben las ondas electromagnéticas en una proporción muy poco significativa y principalmente las transmiten (son transparentes a las ondas electromagnéticas). Son útiles para soportar o contener los materiales que se van a calentar y pueden tomar la forma de cintas transportadoras, bandejas de soporte, platos, etc.
Absorbentes	Son materiales que absorben la energía electromagnética y la convierten en calor. Por ejemplo el agua, aceites, la madera y otros materiales que contienen humedad
Compuestos magnéticos	Son materiales, tales como ferritas, que interactúan con el componente magnético de la onda electromagnética y debido a ello se calientan. Se utilizan como blindaje o dispositivos que impiden la fuga de energía electromagnética.

Las propiedades que determinan si un material se puede calentar con éxito mediante energía microondas son sus propiedades dieléctricas, tales como: la constante dieléctrica relativa (ϵ'), tangente de pérdida o factor de disipación ($\tan \delta$) y el factor de pérdida (ϵ'') (Schiffmann, 2015).

7.11 MÉTODOS CONVENCIONALES

Los métodos convencionales de calentamiento dependen del lento proceso de transferencia de calor, desde la superficie del material a calentar a su interior. Este proceso es controlado por la diferencia de temperatura existente entre la temperatura de la superficie externa del material (de mayor temperatura) y la temperatura en su interior (de más baja temperatura). Por el contrario, el calentamiento con energía microondas es un calentamiento volumétrico, en el que el campo electromagnético interactúa con el material como un todo.

El calentamiento se produce casi instantáneamente y puede ser muy rápido, aunque necesariamente no tiene serlo. La alta velocidad a la que se puede realizar este proceso constituye una de las ventajas del calentamiento con energía microondas y, debido a ello, es

posible lograr en segundos, minutos u horas lo que podría tardar minutos, horas o días, con los métodos de calentamiento convencional. No obstante, el calentamiento también se puede realizar a una velocidad tan baja como se requiera (Rattanadecho y Makul, 2016).

Los parámetros que controlan el proceso de calentamiento con energía microondas son: la masa de material a calentar, su calor específico y propiedades dieléctricas, la geometría, los mecanismos de pérdida de calor, la eficiencia, la potencia generada en el material así como la potencia de salida del horno microondas. La velocidad de calentamiento del proceso es directamente proporcional a la potencia de salida del horno microondas.

En la Tabla 3 se resumen las ventajas que presenta el calentamiento mediante energía microondas con respecto a los métodos convencionales de calentamiento.

Tabla 3: Ventajas del calentamiento con energía microondas (Schiffmann, 2015; Rattanadecho y Makul 2016).

Ventajas	Debido a:
Mayor velocidad de calentamiento y menores tiempo de procesamiento	Al calentamiento volumétrico y a la interacción directa del campo electromagnético interactúa con el material a calentar.
Calentamiento uniforme del material	Que, generalmente, el efecto del calentamiento volumétrico produce un calentamiento más uniforme, evitando los grandes gradientes de temperatura que se producen en sistemas de calentamiento convencionales.
Mayor eficiencia energética	Que la energía interactúa directamente sobre el material a calentar y que no hay que calentar el aire, el horno o ninguna otra parte. Además, no existe una fuente de energía a alta temperatura ni hay que enfriar una

Mejor, más rápido, preciso y eficiente control del calentamiento	Al carácter instantáneo del encendido y apagado del calentamiento y la capacidad para cambiar el grado de calentamiento mediante el control de la potencia de salida del generador.
Menor requerimiento de espacio	Que las velocidades de calentamiento son más altas

El mecanismo de secado con energía microondas también difiere, de forma significativa, del de los métodos convencionales de secado. Cuando se utilizan los métodos de secado convencionales, la humedad que contiene el producto a secar se evapora desde su superficie externa, mientras que el agua (humedad) contenida en su interior se difunde lentamente hacia la superficie externa.

7.12 POTENCIAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR

El potencial de transferencia de calor para el calentamiento es el gradiente de temperatura existente entre la temperatura de la superficie externa y la existente en el interior de la partícula, lo que origina la transferencia de calor hacia el interior del material; mientras que el potencial para la transferencia de masa es el gradiente de concentración de masa existente entre el interior de la partícula húmeda y la superficie externa más seca. Esto, por lo general, es un proceso lento, que está limitado por la velocidad de la difusión, y que requiere de altas temperaturas externas para generar la diferencia de temperatura requerida (Gunasekaran, 1990).

Por el contrario, en los sistemas de secado con energía microondas, debido a la generación de calor interna, la transferencia de masa se debe principalmente al gradiente de presión total establecido, debido a la rápida generación de vapor dentro del material. La mayor parte de la humedad se vaporiza antes de salir de la muestra. Si el contenido inicial de humedad del producto a secar es muy alto y la presión dentro de él se eleva rápidamente, el líquido se puede eliminar de la muestra bajo la influencia de un gradiente de presión total.

Cuanto mayor sea la humedad inicial del producto a secar, mayor es la influencia del gradiente de presión en la eliminación de masa total. Por lo tanto, existe, una especie de acción de bombeo,

que fuerza al líquido hacia la superficie, por lo general en forma de vapor. Esto origina un secado muy rápido, sin la necesidad de recalentar la atmósfera ni causar el endurecimiento u otros fenómenos de sobrecalentamiento en la superficie.

7.13 LA CONSERVACIÓN DE SEMILLAS

La importancia de la conservación de semillas radica en la posibilidad de disponer de este recurso en el tiempo. En el contexto de Ecuador, las semillas son parte fundamental del patrimonio natural y su manejo está muy vinculado a los conocimientos y prácticas de pueblos y comunidades, que durante siglos han permitido el uso y preservación de distintas especies vegetales de interés agrícola. (Barrozo, et al. 2014)

Tradicionalmente, para el secado de semillas se ha empleado la técnica de secado natural al sol que presenta serias limitaciones debido a las inclemencias del tiempo y a la posibilidad de ser afectadas por distintas plagas y enfermedades.

7.14 EFECTO DEL SECADO DE SEMILLAS CON ENERGÍA MICROONDAS

Si bien existe una proliferación de trabajos sobre el secado en microondas de material vegetal, en lo que respecta al secado de semillas con propósito de conservación, los estudios se reducen considerablemente. Otro aspecto a tener en cuenta es que dichos estudios, se basan en un número reducido de especies (menos de veinte) y la mayoría son sobre el maíz (*Zea mays* L.) y el trigo (*Triticum* sp.) En los distintos estudios realizados se observa que el secado de semillas asistido por microondas reduce considerablemente el tiempo de secado con respecto a otras técnicas, (Choudhary y Watson 2013, Choudhary et al. 2015).

7.15 POTENCIA

La densidad de potencia óptima para asegurar el menor tiempo de secado y el máximo porcentaje de germinación varían según la especie: 013W/g en semillas de soja (Rattanadecho, 2016), de 025W/g hasta 2W/g en maíz (Li, 2009; Choudhary ,2013). En algunos casos como en la colza (*Brassica oleífera* L) no se produce germinación a potencias por encima de 100W (Kozioł et al. 2009; Choudhary , 2015).

Una de las cuestiones más problemáticas que producen un descenso considerable del porcentaje de germinación es la presencia de puntos calientes durante el proceso de secado. Esta cuestión fue discutida por Jerzy y colaboradores (2011) que observaron que la presencia de picos de temperatura por encima de 65° imposibilitaba la germinación.

7.16 SIEMBRA

La siembra se debe realizar cuando las condiciones ambientales sean las más favorables. Esto está determinado por una temperatura adecuada de 15-20° C, humedad del suelo por lo menos en 3/4 de capacidad de campo, que facilitará la germinación de las semillas (Peralta, 2009).

La época más oportuna de siembra dependerá de las condiciones ambientales del lugar de siembra, generalmente en la zona andina, en el altiplano y en la costa, la fecha óptima es del 15 de septiembre al 15 de noviembre, lógicamente se puede adelantar o retrasar un poco de acuerdo a la disponibilidad de agua y a la precocidad o duración del período vegetativo de los genotipos a sembrarse, en zonas más frías se acostumbra adelantar la fecha de siembra sobre todo si se usan genotipos tardíos (Peralta, 2009).

7.17 HUMEDAD

La determinación de humedad es importante para conocer la proporción en que se encuentran los nutrientes y nos indica estabilidad de los alimentos. Además nos sirve para determinar las condiciones de almacenamiento sobre todo en granos ya que estos no se pueden almacenar con 14% de humedad, debido al crecimiento de microorganismos tales como hongos. Existen varios métodos para determinar humedad y cada método depende de varios factores como: naturaleza de la muestra, rapidez del método, y exactitud deseada (Llanga, 2014).

7.18 GERMINACION

Si una semilla es viable, y no presenta dormición, germinará cuando se la ponga en las condiciones adecuadas de humedad, luz y temperatura. Por ello se acepta que la capacidad germinativa de un lote de semillas es un reflejo directo de su viabilidad (Perez, 2014).

7.19 VIABILIDAD

La viabilidad de un lote de semillas, no durmientes, hace referencia a su capacidad de germinar y de originar plántulas normales en condiciones ambientales favorables. (Perez, 2014)

7.20 VIGOR

El vigor de un lote de semillas se define como el conjunto de propiedades que determinan el nivel de actividad y capacidad de las semillas durante la germinación y posterior emergencia de las plántulas. Las semillas con buen comportamiento se consideran semillas de alto vigor. (Perez, 2014)

8. HIPOTESIS:

Hi. Si se utiliza la técnica de microondas para el secado de semillas de interés agrícola se reducirá el tiempo de secado y se aumentará la eficiencia energética del proceso sin afectar a la calidad de las semillas.

H0. Si se utiliza la técnica de microondas para el secado de semillas de interés agrícola afectara el tiempo de secado y a la eficiencia energética del proceso deteriorando la calidad de las semillas.

9. METODOLOGÍAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL

En la investigación se utilizó la siguiente metodología para el cumplimiento de los objetivos planteados

9.1 SELECCIÓN DEL LUGAR DE ESTUDIO

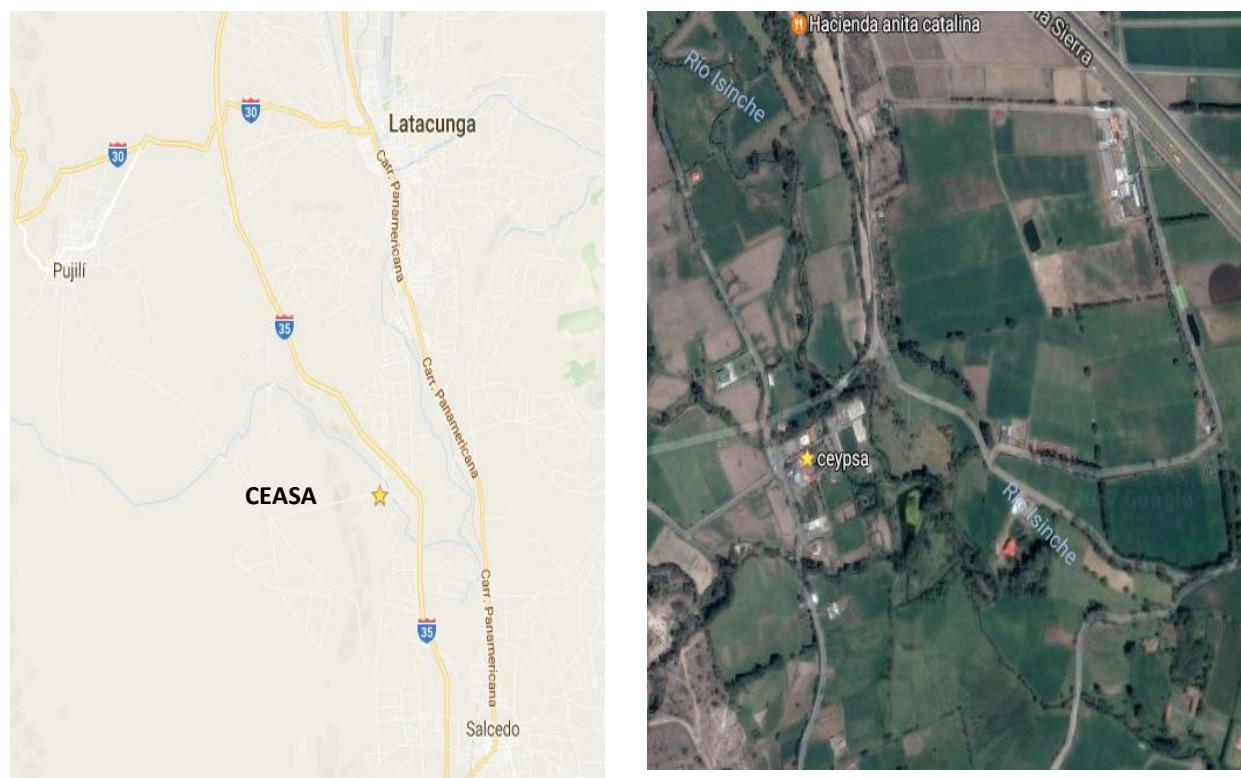
Descripción del área

En el presente proyecto los ensayos se realizaron en el laboratorio de Ingeniería en Medio Ambiente de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. El ensayo de campo se realizó en el centro experimental Ceasa.

Ubicación Geográfica

El área de estudio se encuentra ubicada en la Provincia de Cotopaxi Cantón Latacunga en la Parroquia Eloy Alfaro Sector Ceasa Salache– Universidad Técnica De Cotopaxi. En la Figura 1 se muestra un mapa con su localización.

Figura 1: Mapa Ceypsa Universidad Técnica De Cotopaxi



Fuente : GEOREFERENCIACIÓN GOOGLE EARTH (2016).

9.2 MATERIALES Y MÉTODOS

Se detallan los materiales que se han utilizado para cada una de las metodologías empleadas:

CURVAS DE SECADO

- ✓ Semillas a emplear: Quinoa (*Chenopodium quinoa*) de la variedad INIAP-TUNKAHUAN proporcionadas por la Asociación de mujeres artesanas de Tilipulo.
- ✓ Caja Petri.
- ✓ Balanza de precisión
- ✓ Papel
- ✓ Horno Microondas
- ✓ Horno de convección
- ✓ Fundas de aluminio

EXPERIMENTOS DE SECADO

- ✓ Horno convencional
- ✓ Horno microondas
- ✓ Balanza de precisión
- ✓ Fundas de aluminio

TASA DE GERMINACIÓN

- ✓ Semillas de cada tratamiento realizado.
- ✓ Papel absorbente
- ✓ Pinzas
- ✓ Lupa
- ✓ Agua destilada
- ✓ autoclave

SUPERVIVENCIA EN CAMPO

- ✓ Semillas
- ✓ Alveolos
- ✓ Sustrato de germinación
- ✓ Estacas
- ✓ Piolas
- ✓ Azadón
- ✓ Rastrillo

9.3. METODOLOGIA

9.3.1 CURVAS DE SECADO

Para obtener las curvas de secado se realizó el secado de semillas de quinua en horno convencional y en horno microondas. En horno convencional se realizaron tres ensayos con dos réplicas a una temperatura de 55 °C. En los ensayos se pusieron a secar la misma cantidad de semilla, pesando cada media hora en una balanza de precisión hasta que el peso no varió.

En horno microondas conseguir las 3 densidades en horno microondas se emplearon tres cantidades distintas de semilla a una potencia de 140 W. Partiendo de esto se realizó la curva de secado para las tres densidades, (7W/g, 3,5W/g, 1,75 W/g), para la densidad de 7 W/g se utilizaron 20 gramos de semilla secando con una potencia de 140 W, para la densidad de 3,5 W/g se utilizaron 40 gramos de semilla secando con una potencia de 140 W, y para la densidad de 1,75W/g se utilizaron 80 gramos de semilla secando con una potencia de 140 W. En cada experimento las muestras se pusieron a secar dentro del horno microondas y tras cada minuto de secado se pesaron en una balanza de precisión hasta que el peso no varió, lo cual nos indica que hemos llegado a humedad cero. Se hicieron dos ensayos con cada una de las densidades.

9.3.2 EXPERIMENTOS DE SECADO

Se llevaron a cabo los experimentos de secado con las dos tecnologías, horno convencional y horno microondas, durante el tiempo estimado a partir de las curvas de secado necesario para alcanzar la humedad de conservación (6-8%). En el secado en horno convencional se realizaron dos ensayos con 50 gr de semilla a una temperatura de 55 °C y en horno microondas para cada densidad de potencia se realizaron tres ensayos de cada uno de ellas. Tras el secado las semillas se guardaron en fundas de aluminio para su conservación.

9.3.3 CONSUMO ENERGÉTICO

Se realizó el cálculo del consumo energético multiplicando la potencia (kW) del aparato por el tiempo (horas) de secado.

9.3.4 TASA DE GERMINACIÓN

Las pruebas de germinación se realizaron en cajas Petri esterilizando previamente todos los materiales (papel absorbente, el agua, pinzas cajas Petri). Se hicieron tres ensayos de germinación, en cada ensayo se pusieron dos placas de semillas secadas al sol, dos placas de semillas secadas en horno convencional (una de cada ensayo de secado al horno) y tres placas con cada una de las densidades del horno microondas (correspondientes a los tres ensayos de secado). Para ello se colocaron las semillas en el papel absorbente dentro de la placa, se humedecieron y se dejaron a la luz a temperatura ambiente. Diariamente se inspeccionaron las placas añadiendo agua en los casos necesarios y contando el número de semillas germinadas.

9.3.5 SUPERVIVENCIA EN CAMPO

En el vivero se realizaron las pruebas de emergencia de las semillas secadas con las diferentes tecnologías (secado al sol, horno convencional y horno microondas) donde se sembraron 100 alveolos con semillas de cada tratamiento empleando un sustrato convencional. Una vez que emergieron las plántulas se pasaron a campo para su evaluación.

9.3.6 DISEÑO EXPERIMENTAL.

En campo se realizó un diseño de bloques completamente al azar con 3 repeticiones de cada tratamiento evaluado. Se evaluaron las plantas procedentes de 3 tratamientos, secado al sol (testigo), secado en horno de convección y secado en microondas a densidad 1 W/g. Se establecieron un total de 9 parcelas. El número de plantas por tratamiento varió ya que no se tuvo en todos los casos el mismo porcentaje de germinación en los alveolos.

Para la siembra en campo se procedió a limpiar el terrero en donde se trasplantaron. En este aspecto el área de estudio se seccionó en 9 cuadrantes de 5 m x 1 m. Las plantas se trasplantaron desde los alveolos manteniendo una distancia de 35 cm entre cada planta. En la figura 2 se muestra como fueron distribuidas las parcelas en los cuadrantes siguiendo un diseño de bloques completamente al azar.

9.3.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO:

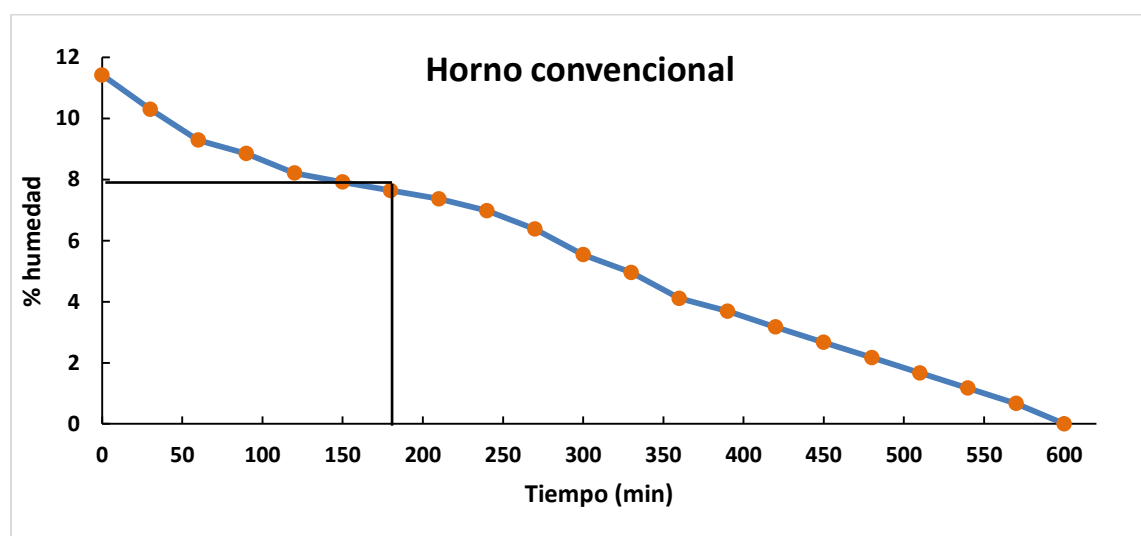
Una vez obtenido los análisis iniciales y finales se realizó un análisis estadístico con el programa SPSS 23. Para comparar las tasas de germinación se utilizaron test no parametricos, U de Mann Whitney y Kruskal-Wallis, ya que el número de muestras es menor a 25. Para comparar los datos de altura se utilizó un análisis univariante y ANOVA.

10. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS:

CURVAS DE SECADO

A través de los ensayos realizados y los datos obtenidos de la pérdida de peso con respecto al tiempo de secado se obtuvieron las curvas de secado. En la figura 2 Se muestran los datos de los ensayos realizados en horno convencional en donde se puede observar la pérdida de humedad total que se alcanza en diez horas. Al interpolar en la curva promedio estimamos que el tiempo necesario es de 180 minutos para alcanzar la humedad entre el 6-8%.

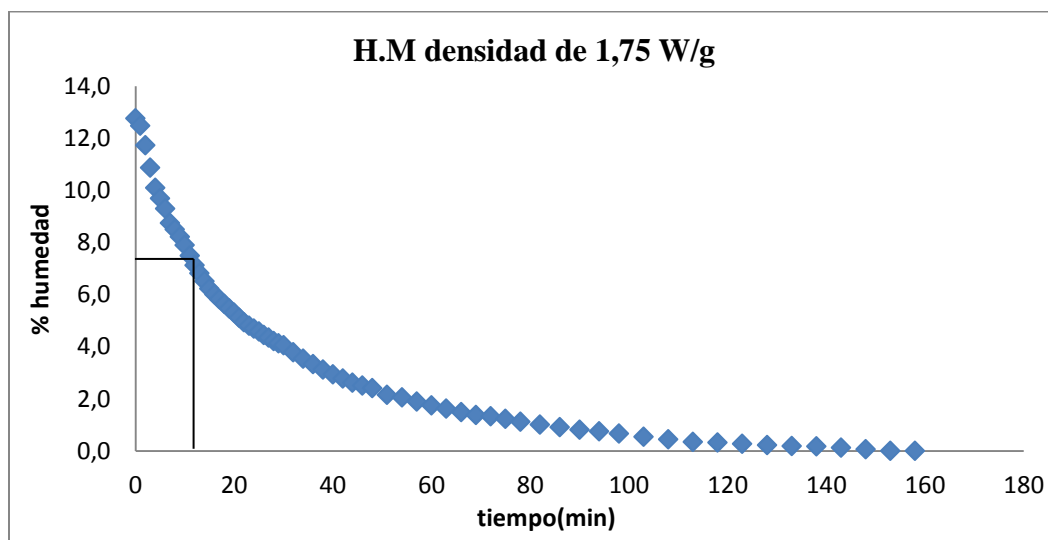
Figura 2: Curva de secado promedio en horno convencional.



Fuente: (Suntasig, M)

Con los datos obtenidos de las semillas secadas en horno microondas se hicieron las curvas de secado para los ensayos. En la figura 3 se muestra la pérdida de humedad con respecto al tiempo con una densidad de potencia de 1,75W/g, la pérdida de humedad total se alcanza en 160 minutos. Al interpolar en la curva promedio estimamos que el tiempo necesario es de 15 minutos para alcanzar la humedad entre el 6-8%.

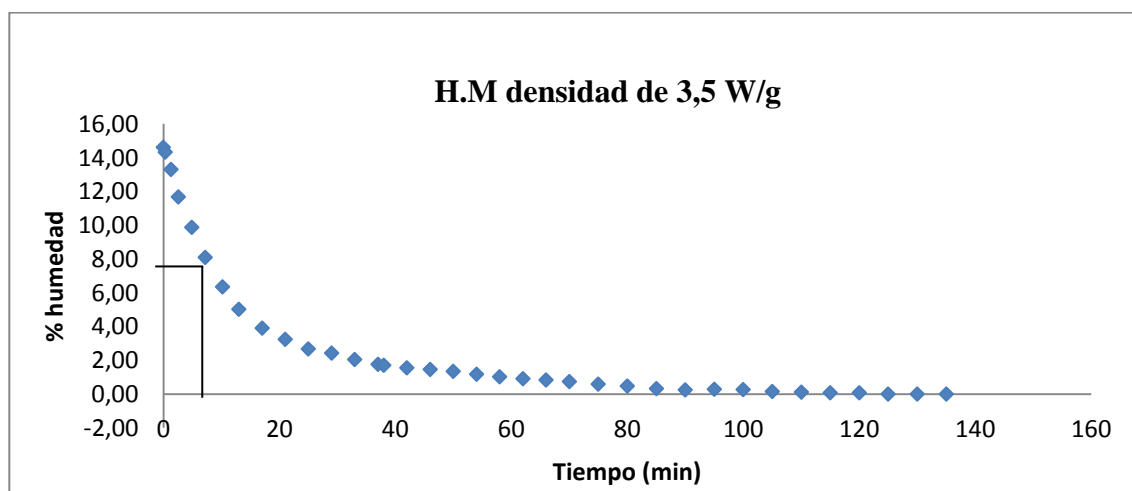
Figura 3: Curva de secado promedio con una potencia de 1,75 W/g



Fuente: (Suntasig, M)

Con los datos obtenidos de las semillas secadas en horno microondas se hicieron las curvas de secado para los dos ensayos. En la figura 4 se muestra la pérdida de humedad con respecto al tiempo con una densidad de potencia de 3,5 W/g, la pérdida de humedad total se alcanza en 140 minutos. Al interpolar en la curva estimamos que el tiempo necesario es de 8 minutos para alcanzar la humedad entre el 6-8%.

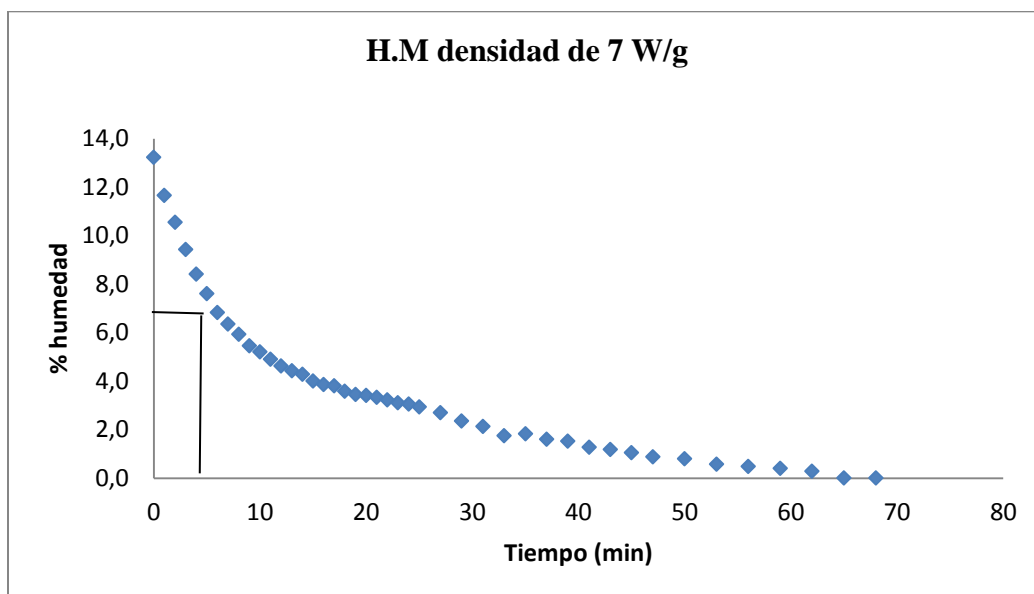
Figura 4: Curva de secado promedio con una potencia de 3.5 W/g



Fuente: (Suntasig, M)

Con los datos obtenidos de las semillas secadas en horno microondas se hicieron las curvas de secado para los ensayos. En la figura 5 se muestra la pérdida de humedad con respecto al tiempo con una densidad de potencia de 7 W/g. La pérdida de humedad total se alcanza en 70 minutos, Al interpolar en la curva estimamos que el tiempo necesario es de 5 minutos para alcanzar la humedad entre el 6-8%.

Figura 5: Curva de secado promedio con una potencia de 7 W/g



Fuente: (Suntasig, 2017)

En la tabla 4 se muestra un resumen de los datos de los tiempos de secado con cada uno de los ensayos realizados, en el que indica que el tratamiento que más tarda en su secado para llegar a una humedad del 6-8 % es en horno convencional que es de tres horas (180 min) y en horno microondas con la densidad de 1,75 W/g es de (15 min) en comparación con las otras densidades

Tabla 4: Tiempo de secado de los tratamientos

Tratamiento	Tiempo (min) humedad 0%	Tiempo (min) humedad 6-8%
Horno	600	180
Horno microondas 1,75 W/gr	160	15
Horno microondas 3,5 W/gr	140	8
Horno microondas 7 W/gr	70	5

Fuente: (Suntasig, M)

De acuerdo a los datos obtenidos el menor tiempo de secado corresponde a la densidad de 7 W/g (5 min) reduciendo el tiempo de secado en un 97% respecto al horno convencional (180 min). Esto concuerda con estudios previos en los que se ha comprobado que el secado de semillas asistido por microondas reduce considerablemente el tiempo de secado con respecto a otras técnicas, (Choudhary y Watson 2013; Choudhary et al. 2015).

Sin embargo, una cuestión importante dado el tipo de material sobre el que se trabaja, es que la mayoría de los estudios se centran en la cinética de secado, sin establecer criterios de calidad (Bengtsson y Ohlsson 1974; Gunasekaran, 1990; Ligan et al., 2013) que pudieran contrastar cómo puede afectar el empleo de esta técnica a las características fisiológicas de la semilla. Por esta razón en nuestro trabajo de investigación vamos a analizar la tasa de germinación y vigor en campo.

TASA DE GERMINACION

Una vez que se obtuvieron las semillas secadas en horno convencional y en horno microondas se realizaron las pruebas germinación en placas Petri en las que se calculó la tasa de geminación en ensayos con 3 repeticiones, para cada tratamiento

Los ensayos de germinación que se efectúan en el laboratorio tienen por finalidad estimar el número máximo de semillas que pueden germinar en condiciones óptimas En la tabla 5 Se muestra un resumen de los resultados promedio obtenidos para la germinación de las semillas secadas con los distintos métodos. Las mayores tasas de germinación se obtuvieron en los tratamientos secados al sol y en horno convencional. En los tratamientos realizados con las

densidades de 3,5 y 1,75 W/g no germinaron favorablemente, dando como mejor resultado en la densidad de 7 W/g de horno microondas.

Tabla 5: Valores promedio de la tasa de germinación de los distintos tratamientos. Distintos subíndices indican diferencias significativas ($p < 0,05$)

Tratamientos	N	Tasa de germinación promedio	Desviación estándar
Testigo (semillas secadas al ambiente)	6	91,2117 ^a	3,13
Horno Convencional	6	88,1817 ^a	3,40
1,75 W/g	9	21,2100 ^b	11,92
3,5 W/g	9	26,6644 ^b	8,08
7 W/g	9	36,972 ^c	10,40

Fuente: (Suntasig, M)

De acuerdo a los datos obtenidos la mayor tasa de germinación corresponde al secado al ambiente y horno convencional, y con horno microondas tenemos las menores tasas de germinación, que están por debajo del 85% la cual es considerada no aceptable

Entre las semillas secadas con horno convencional y secado al ambiente no existen diferencias significativas ($P > 0,05$) en la tasa de germinación. La tasa de germinación de las semillas secadas con tecnología microondas es menor que las secadas con los tratamientos convencionales ($p < 0,05$). Entre los tratamientos de secado con microondas también hay diferencias siendo ligeramente mayor la germinación de las semillas secadas a densidad 3,5 W/g ($p < 0,05$).

Los resultados obtenidos en las pruebas anteriores coinciden con estudios previos en los que se ha comprobado que el secado de semillas asistido por microondas reduce considerablemente la germinación, en donde se destaca mayor germinación en el horno convencional. Se ha comprobado que la potencia recomendada para garantizar el tiempo de secado más corto y el porcentaje máximo de germinación depende de las especies analizadas y el procedimiento empleado. Por ejemplo 0,13 W/g en soya, 0,25 W/g a 9,8 W/g en maíz, 0,25 W/g a 8W/g en

trigo, 0,28 W/g en el algodón (Moreno et al., 2017). Otros autores han reportado que la tasa de germinación y la calidad del producto final disminuyen con un nivel de potencia superior o largo tiempo de exposición a la radiación de microondas (Warchalewski y Gralik 2011). Cabe señalar, que el tiempo requerido para las semillas el secado depende no sólo de la energía o temperatura empleada sino también en el contenido de humedad inicial. Mayor contenido de humedad inicial, requieren un mayor tiempo de exposición, que es una cuestión importante, especialmente para las especies tropicales y subtropicales. Una de las cuestiones más problemáticas que causan una disminución significativa en el porcentaje de germinación es la presencia de puntos calientes durante el proceso de secado (Manickavasagan y White 2007). Esto explicaría la baja tasa de germinación en las semillas secadas con microondas, ya que no conocemos la temperatura alcanzada en el proceso.

CONSUMO ENERGÉTICO

Los datos calculados para el consumo energético se muestran en la (tabla 6). El cálculo del consumo energético multiplicando la potencia (kW) del aparato por el tiempo (horas) de secado.

El tratamiento que menor consumo energético refleja es del horno microondas con la densidad de 7W/g la energía consumida es 0.23 KW

Tabla 6: Resultados calculo consumo energético

Tratamientos	Tiempo de secado a humedad cero	Consumo energético	Tiempo de secado a humeada 6-8%	Consumo Energético
Horno convencional	10 horas	28kW	180min(3 horas)	8.4kW
HW 1,75 W/g	2h40 min	6.72 kW	15min= 0.25h	0.7 kW
HW 3,5 W/g	2h20 min	6.16kW	8min=0.133h	0.32 kW
HW 7 W/g	1h10	3.08 kW	5min =0.083 h	0.23 kW

Fuente: (Suntasig, M)

VIGOR EN CAMPO

Los métodos que se han analizado son secados al ambiente secado en horno convencional y secado en horno microondas.

Dada la escasa germinación en horno microondas no se van a probar las semillas secadas en todas las densidades en campo, solamente el ensayo con densidad de 7 W/g porque es el que tiene mayor tasa de germinación y menor consumo energético. Por tal razón se evaluaron los tres métodos. En la tabla 7 se muestran los datos de la emergencia de plántulas en alveolos y de supervivencia tras el trasplante en campo.

Tabla 7: Datos generales siembra de semillas de cada uno de los tratamientos. El número de alveolos sembrados fue de 100 (2-3 semillas por alveolo).

Tratamiento	Nº de alveolos con plántulas de germinadas	Trasplantadas en campo	Sobreviven en campo	Tasa de supervivencia
Secado al aire	90	90	78	86%
Horno convencional	90	90	75	83%
Horno Microondas densidad 7W/gr	60	60	45	75%

Fuente: (Suntasig, M)

Partiendo de la supervivencia en campo se pasa a medir las plantas cada 15 días de cada uno de los tratamientos y repeticiones.

ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

En primer lugar realizamos un análisis Univariante para ver si hay efecto entre las réplicas y los tratamientos.

Respecto a la altura de las plantas a los 15 días de su trasplante a campo encontramos que hay diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los tratamientos, sin embargo no hay diferencias entre

las réplicas ($P > 0,05$), tampoco tenemos efecto conjunto del tratamiento con las réplicas ($P > 0,05$) (Tabla 8).

Tabla 8: Análisis univariante de los datos a 15 días.

Origen	Gl	F	Sig.
Modelo corregido	8	5,126	,000
Interceptación	1	2831,093	,000
Tratamiento	2	16,564	,000
Replica	2	1,880	,155
Tratamiento * replica	4	,791	,533
Error	188		
Total	197		
Total corregido	196		

Fuente: Suntasig M, SPSS - 23 (2017)

Para los datos finales (60 días) encontramos que hay diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los tratamientos, sin embargo no hay efecto por las réplicas ($P > 0,05$), tampoco encontramos efecto entre las réplicas y los tratamientos (Tabla 9).

Tabla 9: Diferencias del tratamiento por las réplicas de los días 60

Origen	Gl	F	Sig.
Modelo corregido	8	3,144	,002
Interceptación	1	2256,198	,000
Tratamiento	2	9,837	,000
Replica	2	2,654	,073
Tratamiento * replica	4	,601	,662
Error	188		
Total	197		
Total corregido	196		

Fuente: Suntasig M, SPSS - 23 (2017)

Determinación estadística de la altura media de las plantas de cada tratamiento aplicado a los 15 y 60 días tras el trasplante, de los días de crecimiento inicial y final, con respecto los ensayos.

Con los resultados de los análisis iniciales del día 15 y finales al día 60 de los ensayos, se obtuvo la media estadística de altura como se muestra en la tabla 10.

Tabla 10: Valor medio y error estándar de la altura de las plantas de quinua de cada tratamiento de secado con respecto los días 15 y 60 tras el trasplante. (N=n° de plantas de cada tratamiento).

Tratamiento	N	15 días	60 días
Secado al aire	78	4,6± 0,12	8,37±0.25
Secado horno	75	4,6±0.14	8,7±0.31
Secado microondas	45	3,5±0,10	6,96±0,22

Fuente: (Suntasig, M)

En la tabla 11 observamos que las plantas procedentes de semillas secadas con microondas son más pequeñas durante el periodo evaluado. Mediante la prueba de ANOVA comprobamos que existen diferencias significativas entre los grupos ($p < 0.05$) (tabla 11).

Tabla 11: ANOVA.

		Gl	F	Sig.
15 días	Entre grupos	2	16,690	,000
	Dentro de grupos	194		
60 días	Entre grupos	2	9,174	,000
	Dentro de grupos	194		

Para saber entre qué grupos tenemos diferencias aplicamos los test *post-hoc* de la prueba ANOVA. En primer lugar, hicimos la prueba de homogeneidad de varianzas para determinar que test podemos usar. Comprobamos que las varianzas de los ensayos entre los días 15 y 60 no son homogéneas ($p < 0.05$), como se presenta en la tabla 12.

Tabla 12: Prueba de Homogeneidad de varianzas de los ensayos entre los días 15 y 60

Variación					
Días	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.	Resultado
d15	13,606	2	194	,000	p<0,05 = Varianzas no homogéneas.
d60	10,461	2	194	,000	p<0,05 = Varianzas no homogéneas

Acorde a este resultado utilizamos el test de Tamhane (varianzas no homogéneas) en la prueba de ANOVA para determinar entre qué grupos hay diferencias. Comprobamos que hay diferencias significativas ($p<0.05$) en el tamaño de las plantas que provienen de semillas secadas con microondas respecto a las plantas de semillas secadas al aire o en horno convencional. En la tabla 10 se muestran los datos de la altura promedio a los 15 días y a los 60 días, en ambos casos las plantas secadas con semillas presentan una altura menor. Mediante el test ANOVA comprobamos que las diferencias entre la altura de plantas procedentes del tratamiento con microondas son significativas respecto a las plantas de los otros tratamientos ($p<0.05$).

Tabla 13 Comparaciones múltiples (Tratamientos: HC corresponde a Horno convencional, HW corresponde a Horno microondas).

Variable dependiente	(I) codtrat	(J) codtrat	Diferencia medias (I-J)	de Error estándar	Sig.
Altura (cm) 15 días	TESTIGO	HC	-,04958	,19156	,992
		HW	1,04465*	,16437	,000
	HC	TESTIGO	,04958	,19156	,992
		HW	1,09422*	,18103	,000
Altura (cm) 60 días.	HW	TESTIGO	-1,04465*	,16437	,000
		HC	-1,09422*	,18103	,000
	TESTIGO	HC	-,41787	,40348	,660
		HW	1,40569*	,34215	,000
HC	TESTIGO	,41787	,40348	,660	
	HW	1,82356*	,38368	,000	
HW	TESTIGO	-1,40569*	,34215	,000	
	HC	-1,82356*	,38368	,000	

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Fuente: Suntasig Maritza, SPSS - 23 (2017)

11. IMPACTOS (TÉCNICO, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS):

Técnicos:

- Al aplicar el secado con la tecnología microondas se reduce el tiempo de secado.
- Se evidencia que el secado con microondas sin control de temperatura no es una opción viable para quinua.

Sociales:

- Si se consiguiera buenos resultados con el secado con microondas podríamos mejorar la calidad en el secado que podrán desarrollar en las actividades agrícolas.

Ambientales:

- Al implementar el secado con la tecnología microondas el tiempo se reduce, la potencia utilizada y por ende el consumo energético

Económicos:

- Los costos de ejecución del secado de semillas en horno microondas puede llegar a ser más económico que otros métodos convencionales.
- Necesita de instalaciones adecuadas, debido a que el secado de las semillas puede ser afectada.

12. PRESUPUESTO PARA LA PROPUESTA DEL PROYECTO:

Tabla 14: Presupuesto de la elaboración del proyecto de investigación

Recursos	PRESUPUESTO PARA LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO			
	Cantidad	Unidad	V. Unitario \$	Valor Total \$
Transporte y salida de campo	20	20	100	100
Materiales y suministros Pinzas	2	2	20	40
Caja Petri de plástico 94x16mm	5	5	6,15	30,75
Rollo papel absorbente	3	3	3	9
Sustrato de germinación	5	5	10	50
Bandeja corcho blanco con 104 alveolos	2	2	35	70
Fotocopias	100	100	20	20
Gastos Varios Alimentación	1	1	100	100
Transporte	200	200	0.30	60
Sub Total				479,75
10%				47,97
TOTAL				527.72

CONCLUSIONES

- Las semillas de quinua presentan una dinámica de secado distinta con cada tratamiento, lo que se refleja en las curvas de secado de cada uno de los tratamientos en las cuales se observa que la tecnología microondas reduce en un 90% el tiempo de secado con respecto al horno convencional. Además reduce considerablemente el gasto energético.
- Respecto a la influencia del método de secado en la viabilidad de las semillas, los datos obtenidos reflejan, en el caso de quinua, una disminución del 42% de la tasa de germinación de las semillas secadas con tecnología microondas. El tratamiento de microondas que presentó una tasa de germinación ligeramente mayor fue el de densidad 7W/g (36 %).
- Los datos de los ensayos de vigor en campo reflejan una menor tasa de supervivencia y menor tamaño en el primer mes de crecimiento de las plantas procedentes de semillas secadas con microondas a una densidad de 7W/g respecto a las plantas de los tratamientos de secado al ambiente y horno convencional.
- El secado de semillas en horno microondas a densidades 7W/g, 3,5 W/g y 1,75 W/g no resultaron efectivos para quinua, teniendo en cuenta la tasa de germinación y la supervivencia en campo, aunque redujeron considerablemente el tiempo de secado y el consumo energético respecto a los métodos convencionales.

RECOMENDACIONES

- Para confirmar la viabilidad de la opción de implementar la tecnología de secado con microondas se recomienda realizar más ensayos con diferentes potencias y diferentes densidades
- Se recomienda realizar pruebas de secado en horno microondas con controlador de temperatura ya que en los microondas clásicos sólo conocemos la potencia y no sabemos qué temperatura alcanza.
- Se recomienda para los ensayos realizados con las diferentes tecnologías incrementar el número de plantas. De tal manera generar mayor cantidad de datos y así aplicar otros tipos de test estadísticos.
- Analizar el crecimiento de las plantas hasta el final del cultivo y el rendimiento del mismo.

BIBLIOGRAFIA

- Choudhary, R. and D. G. Watson (2013). "Microwave drying kinetics and quality characteristics of corn." *International Journal of Agricultural and Biological Engineering* 6(1): 90-99.
- C.Rodriguez, J. (2006). *Secado de granos*. Obtenido de [file:///C:/Users/AKIRE/Downloads/FolletoSecadoGranos%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/AKIRE/Downloads/FolletoSecadoGranos%20(2).pdf).
- Castro, E. S. (2007). *Desarrollo de la quinua (Chenopodium quinoa willd)* . Obtenido de http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2007/sanhueza_f/sources/sanhueza_f.pdf.
- Graham, J. (2007). *Microwaves for Coal Quality Improvement: The DRYCOL Project*. SACPS/International Pittsbrugh Coal Conference 2007, Johannesburg, South Africa.
- Grabowski, S. M. M. P. M. and T. Kudra (2002). "Drying characteristics of osmotically pretreated cranberries—energy and quality aspects." *Drying Technology* 20(10): 1989-2004.
- Giri, S. K. and S. Prasad (2007). "Drying kinetics and rehydration characteristics of microwave-vacuum and convective hot-air dried mushrooms." *Journal of Food Engineering* 78(2): 512-521.
- Gunasekaran, S. (1990). "Grain drying using continuous and pulsed microwave energy." *Drying Technology* 8(5): 1039-1047.
- Harrington, J. F. (1972). "Seed storage and longevity." *Seed biology* 3: 145-245
- Hemis, M., et al. (2015). "Experiments and modelling of the microwave assisted convective drying of canola seeds." *Biosystems Engineering* 139: 121-127.
- Hu, Q.-g., et al. (2006). "Drying of edamames by hot air and vacuum microwave combination." *Journal of Food Engineering* 77(4): 977-982.
- Jerzy R. Warchalewski, et al. (2011). *Changes in Microwave-Treated Wheat Grain Properties*. *Advances in Induction and Microwave Heating of Mineral and Organic Materials*. S. a. Grundas, InTech.
- Llanga, E. (2014). *QUIMICA DE ALIMENTOS*. Obtenido de <http://lqa2014.blogspot.com/p/informe-n-1-determinacion-de-humedad-1.html>.

Li, Z., et al. (2009). "Real-time, volatile-detection-assisted control for microwave drying." *Computers and Electronics in Agriculture* 69(2): 177-184.

Maluenda, J., (2009). García. La quínoa y su importancia. Recuperado de [HYPERLINK "http://www.agrodigital.com/Documentos/quinoajn14.pdf"](http://www.agrodigital.com/Documentos/quinoajn14.pdf)

Mena, P. (2015) análisis estadístico exploratorio de dos tipos de secado de quinua recuperado <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4398/1/20T00633.pdf>

Manickavasagan, A., Jayas, D.S., White, N.D.G., (2007) "la germinación de los granos de trigo desigual calentamiento por microondas en un horno secador industrial Canadian Biosystems Engineering, Vol.49, págs. 23-27.

Moreno, A.H., Hernández, R., Ballesteros, I. (2017). Secado industrial con energía microondas. En: *Aplicaciones industriales del calentamiento con energía microondas*. Latacunga, Ecuador: Editorial Universidad Técnica de Cotopaxi, Primera Edición, págs. 85-118.

Nieto, C. (1992). La quinua cosecha y poscosecha algunas experiencias en Ecuador. Obtenido de http://balcon.magap.gob.ec/mag01/magapaldia/Quinua/pdf%20publicaciones/18-1992_quinua_cosecha_poscosecha.pdf.

N.kameswara.R. Hanson. J (2007) "Bioversity International, 2 Manual de manejo de semillas de germoplasma 77 (4): 977-982 Manual de manejo de semillas de germoplasma

Ohlsson, T. and N. Bengtsson (2001). *Microwave technology and foods*. *Advances in Food and Nutrition Research*, Academic Press. Volume 43: 65-140.

Osepchuk, J. M. (1984). "A History of Microwave Heating Applications." *Microwave Theory and Techniques*, IEEE Transactions on 32(9): 1200-1224.


Palma, J. (2016). Determinación de la concentración óptima Obtenido de <http://repositorio.esPAM.edu.ec/bitstream/42000/286/1/TMA87.pdf>.

Peralta, E. (2010). Producción y distribución de semilla de buena calidad con pequeños agricultores de granos andinos: chocho, quinua, amaranto. Quito: Programa Nacional de Leguminosas y Granos Andinos. Estación Experimental Santa Catalina. INIAP.

- Peralta, E. (1985). La quinua un gran aliemento y su utilizacion. Obtenido de [http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/LA%20QUINUA...UN%20GRAN%20ALIMENTO%20\(1\).pdf](http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/LA%20QUINUA...UN%20GRAN%20ALIMENTO%20(1).pdf):
- Peralta, E (2009). Quinua En El Ecuador recuperado [HYPERLINK](#) "http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/ESTADO%20DEL%20ARTE%20QUINUA%202.pdf"
- Perez, G. (2014). Viabilidad, Vigor, Longevidad y conservación de la semilla. Obtenido de <http://www.coiaclc.es/wp-content/uploads/2016/05/Viabilidad.pdf>.
- Porrás, R. (2014). LA QUINUA (chenopodium quinua) el grano de oro. Obtenido de <http://fundamentosdemarketing-quinua.blogspot.com/2012/06/descripcion-botanica.html>.
- Ramón, C (2013) Secado Artificial de quinua por métodos intensivos utilizando lecho fluidizado pulsante recuperado <http://www.utn.edu.ec/web/uniportal/wp-content/uploads/2015/03/01385-Escarificacion-Secado-Quinua.pdf>"
- Rattanadecho, P. and N. Makul (2016). "Microwave-Assisted Drying: A Review of the State-of-the-Art." *Drying Technology* 34(1): 1-38.
- Sánchez. (2013) Proyecto de factibilidad de inversión privada para la instalación de un semillero de quinua. http://www.sierraexportadora.gob.pe/wp-content/uploads/biblioteca-virtual/Estudios%20de%20factibilidad/Proyecto_Semillero%20Quinua.pdf
- Schiffmann, R. F. (2015). Microwave and Dielectric Drying. *Handbook of Industrial Drying*, Fourth Edition. A. S. Mujumdar. Boca Raton, FL, CRC Press 283-301.
- Vimo, C. N. (1992). La quinua, cosecha y poscosecha algunas experiencias en Ecuador. Obtenido de http://balcon.magap.gob.ec/mag01/magapaldia/Quinua/pdf%20publicaciones/18-1992_quinua_cosecha_poscosecha.pdf.
- J. Warchalewski and J. Gralik, "Changes in microwave-treated wheat grain properties", In: *Advances in Induction and Microwave Heating of Mineral and Organic Materials*, Chapter 22, 2011, pp. 503–530

ANEXOS

ANEXO 1 Hojas de vida

Datos Personales:		
Nombres:	Maritza Elizabeth	
Apellidos:	Suntasig Caillagua	
Cedula de Identidad:	0502888902	
Fecha de nacimiento:	15 de Julio de 1990.	
Estado Civil:	Soltera	
Dirección:	Pujili-Barrio 20 de Diciembre	
Teléfono:	0958769417- 032344032	
E – mail:	Maritza.suntasig2@utc.edu.ec marye_flaca@hotmail.com	
Formación Académica: Primaria: Escuela fiscal mixta Delia Ibarra de Velasco		
Secundaria: Colegio Nacional Provincia De Cotopaxi		
Superior: Actualmente cursa el último ciclo de la carrera de Ingeniería Ambiental en la Universidad Técnica de Cotopaxi.		
Seminarios y talleres. <input type="checkbox"/> Ya suní más allá del Petroleó		
<input type="checkbox"/> Agroecología Industrial Sostenible.		
----- Firma		

Anexo 2 AVAL DE TRADUCCIÓN

Universidad
Técnica de
Cotopaxi

CENTRO DE IDIOMAS

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal CERTIFICO que: La traducción del resumen del proyecto de investigación al Idioma Inglés presentado por la señorita Egresada de la Carrera de Ingeniería de Medio Ambiente de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales: **SUNTASIG CAILLAGUA MARITZA ELIZABETH**, cuyo título versa **“EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD Y CALIDAD DE LA SEMILLA DE QUINUA (*Chenopodium quinoa*), TRAS DIFERENTES MÉTODOS DE SECADO.”** lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimaren conveniente.

Latacunga, Junio del 2017

Atentamente,

Lic. Marcelo Pacheco
DOCENTE DEL CENTRO DE IDIOMAS
C.C. 050261735-0

ANEXO 3

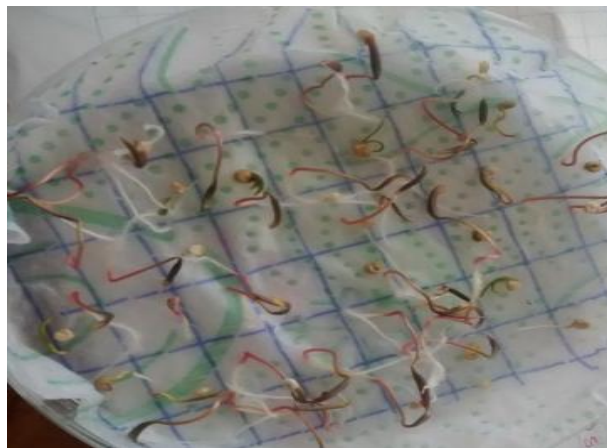
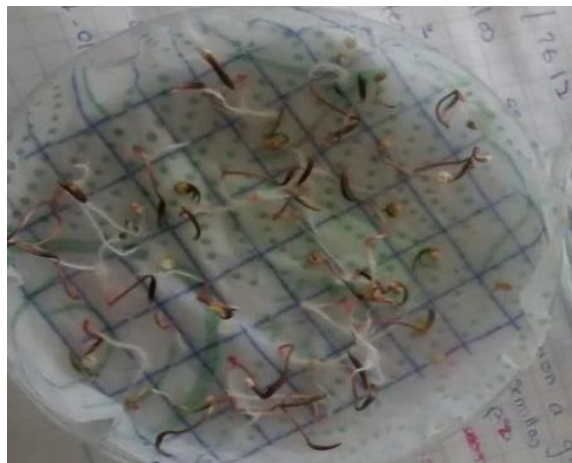
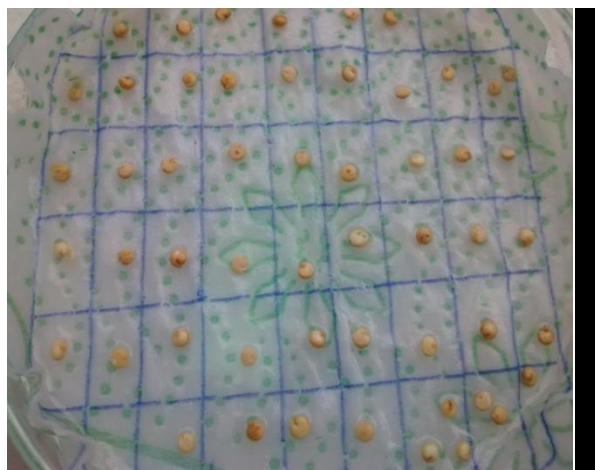
Curvas de secado



ANEXO4 Experimento de secado



ANEXO 5 Pruebas de germinación



ANEXO 6 Vigor encampo





Anexo 7 Toma de datos de los tratamientos aplicados en vigor en campo

Repetición 1 semillas secadas al aire

número de plantas	21 de febrero 2017	07-mar	21-mar	04-abr
1	4	5,9	7,8	11,9
2	3,5	4,2	5,9	8,4
3	4	5,9	7,3	10,5
4	4,5	6,5	7,2	8
5	5,5	6,9	8,3	12
6	3,5	4,5	5,8	7
7	3,2	4,3	5	5,5
8	4,5	6,5	7,9	11,5
9	4	5,6	6,5	7
10	3,5	4,2	5	5,5
11	5	6,9	8,5	12,5
12	3	3,5	4	4,5
13	2,5	3	3,5	4
14	3,9	5,4	6,3	7,6
15	5,5	7,5	9,2	13,2
16	5	6,5	7,9	9,2
17	5,3	7,2	8,5	9,5
18	3,5	4,5	5,9	7
19	4	5,9	7,5	8,3
20	5	6,5	7,5	8,6
21	5,5	7,2	8,9	12,7
22	6	8,4	9,9	12,2
Promedio	4,29	5,77	7,01	8,94

Repetición 2

número de plantas	21 de febrero 2017	07-mar	21-mar	04-abr
1	6	8	10	12,6
2	5,5	6,9	7,9	9
3	6	7,5	8,5	10,5
4	2,5	3,5	4,5	5
5	6	8,2	10	11
6	2,5	3,5	4	5
7	3,5	4,5	5,5	6
8	6	8,5	9,5	12,5
9	5,5	6,5	7,4	8,5

10	4,5	5,5	6,9	7,6
11	4,5	6	7,5	8,2
12	3,5	4	4,5	5,5
13	6,5	7,5	8,9	10,2
14	5,5	6,5	7,9	8,1
15	3,5	4	5,5	6
16	3,5	4,5	5,5	6,6
17	3,5	4	4,5	5,2
18	4	5,5	6,8	7,2
19	4,5	5,9	6,9	7,7
20	5,5	6,5	7,8	9,2
21	4	5,5	6,5	7,3
22	3	4,5	5	5,5
23	4,5	5,5	7,3	8
24	5,5	6,5	8,5	11,2
25	6,5	7,5	9,2	10
Promedio	4,58333333	5,77083333	6,9375	7,95833333

Repetición 3

número de plantas	21 de febrero 2017	07-mar	21-mar	04-abr
1	5,5	6,5	7,9	9
2	5	6,5	7,5	9,7
3	6	6,5	7,5	8,5
4	6	7,5	8,5	9,6
5	5,5	6,5	7,8	9,5
6	5	6,5	7,5	8
7	5	6,5	7,8	9
8	6	7,5	8,5	11,5
9	6	7,8	8,9	10,2
10	5,5	6,5	7,5	8
11	4	5,5	6,5	7,5
12	3,5	4,5	5,5	6,6
13	3,5	4	4,5	5,2
14	4	5,5	6,8	7,2
15	4,5	5,9	6,9	7,7
16	5,5	6,5	7,8	9,2
17	4	5,5	6,5	7,3
18	3	4,5	5	5,5
19	4,5	5,5	7,3	8
20	5,5	6,5	8,5	11,2
21	6,5	7,5	9,2	10

22	5,5	6,5	7,4	8,5
23	4,5	5,5	6,9	7,6
24	4,5	6	7,5	8,2
25	3,5	4	4,5	5,5
26	6,5	7,5	8,9	10,2
27	5,5	6,5	7,9	8,1
28	3,5	4	5,5	6
29	3,5	4,5	5,5	6,6
30	3,5	4	4,5	5,2
Promedio	4,793103	5,920690	7,055172	8,113793

HORNO CONVENCIONAL

Repetición 1

número de plantas	21 de febrero 2017	07-mar	21-mar	04-abr
1	4	5,9	7,8	11,9
2	3,5	4	6,9	8
3	4	5,9	7,3	10,5
4	4,5	6,5	7,2	8
5	5,5	6,9	8,3	12
6	3,5	4,5	58	7
7	3,2	4,3	4,7	5,5
8	4,5	6,5	7,9	11,5
9	4	5,6	6,5	7
10	3,5	4,2	5	5,5
11	5	6,9	8,5	12,5
12	3	3,5	4	4,5
13	2,5	3	3,5	4
14	3,9	5,4	6,3	7,6
15	5,5	7,5	9,2	13,2
16	5	6,5	7,9	9
17	5,3	7,2	8,5	9,4
18	3,5	4,5	5,9	7
19	4	5,9	7,5	8,3
20	5	6,5	7,5	8,6
21	5,5	7,2	8,9	12,7
22	6	8,4	9,9	12,2
23	6	8	10	12,6
24	5,5	6,9	7,9	9
25	6	7,5	8,5	10,5

26	2,5	3,5	4,5	5
promedio	4,400	5,873	9,158	8,962

Repetición 2

número de plantas	21 de febrero 2017	07-mar	21-mar	04-abr
1	6	8,2	10	11
2	2,5	3,5	4	5
3	4	4,5	5,5	6
4	6	8,5	9,5	12,5
5	5,5	6,5	7,4	8,5
6	6	8,4	9,9	12,2
7	6	8	10	12,6
8	5,5	6,9	7,9	9
9	6	7,5	8,5	10,5
10	2,5	3,5	4,5	5
11	6	8,2	10	11
12	2,5	3,5	4	5
13	4	4,5	5,5	6
14	6	8,5	9,5	12,5
15	4,5	5,9	6,9	7,7
16	5,5	6,5	7,8	9,2
17	40	5,5	6,5	7,3
18	3	4,5	5	5,5
19	4,5	5,5	7,3	8
20	5,5	6,5	8,5	11,2
21	6,5	7,5	9,2	10
22	5,5	6,5	7,9	9
23	5	6,5	7,5	9,7
24	2,5	3,5	4,5	5
promedio	6,292	6,192	7,388	8,725

Repetición 3

número de plantas	21 de febrero 2017	07-mar	21-mar	04-abr
1	6	8,2	10	11
2	2,5	3,5	4	5
3	4	4,5	5,5	6
4	6	8,5	9,5	12,5
5	4,5	5,9	6,9	7,7
6	5,5	6,5	7,8	9,2
7	40	5,5	6,5	7,3

8	3	4,5	5	5,5
9	4,5	5,5	7,3	8
10	5,5	6,5	8,5	11,2
11	6,5	7,5	9,2	10
12	5,5	6,5	7,9	9
13	4	4,5	5,5	6
14	2,5	3,5	4,5	5
15	6	8,2	10	11
16	2,5	3,5	4	5
17	4	4,5	5,5	6
18	6	8,5	9,5	12,5
19	5,5	6,5	7,4	8,5
20	6	8,4	9,9	12,2
21	6	8	10	12,6
22	5,5	6,9	7,9	9
23	6	7,5	8,5	10,5
24	2,5	3,5	4,5	5
25	6	8,2	10	11
Promedio	6,240	6,192	7,412	8,668

DENSIDAD DE 7W/gr HORNO MICROONDAS

Repetición 1

número de plantas	21 de febrero 2017	07-mar	21-mar	04-abr
1	3,2	3,5	4,3	5,3
2	4,1	4,5	5,3	6,5
3	4,2	5,5	6,5	7,4
4	4	5,5	6,3	7,6
5	3	4,5	6,5	9,5
6	4	5,5	6,3	7,5
7	3,2	4,6	5,6	6,5
8	4,4	5,8	7,9	10,5
9	3,5	4,3	4,9	5,5
10	3	4,4	5,7	7,9
11	5	6,5	7,4	8
12	4	5,6	7,9	9,8
13	4	5,9	8	9
14	4	5,5	6,4	7,5
15	2,2	3,4	4,3	5
16	3	4,9	6,8	9,5
17	3	5,5	7,9	9

Promedio	3,635294118	5,023529412	6,352941176	7,764705882
----------	-------------	-------------	-------------	-------------

Repetición 2

número de plantas	21 de febrero 2017	07-mar	21-mar	04-abr
	3	4,7	5,9	6,5
1	3	3,6	4,3	5,4
2	2	3,8	4,3	5,3
3	3	4,2	5,9	7,8
4	4	4,5	5	5,9
5	3,5	4,5	5,6	8
6	4,2	4,9	5,5	6
7	4,4	5,4	6,2	6,9
8	3,4	4,3	5,3	5,9
9	3	3,9	4,5	5
10	2,7	3,2	4	4,2
11	3,5	4,5	5	5,6
12	3	4,5	5,2	6,3
13	2,5	3,6	4	5
Promedio	3,228571429	4,257142857	5,05	5,985714286

Repetición 3

número de plantas	21 de febrero 2017	07-mar	21-mar	04-abr
1	4,2	5,9	7,3	10
2	2,9	3,5	4,2	5,6
3	3,5	4,5	5,5	6,5
4	4	4,5	5,5	6,5
5	3,5	4	5,7	6,9
6	4,5	5,5	6,5	7,5
7	5	6,5	7	8
8	3,5	4	5,7	6,9
9	4,5	5,5	6,5	7,5
10	5	6,5	7	8
11	2,9	3,5	4,2	5,6
12	3,5	4,5	5,5	6,5
13	2,9	3,5	4,2	5,6
14	3,5	4,5	5,5	6,5
Promedio	3,814285714	4,742857143	5,735714286	6,971428571

ANEXO 8

TASA DE GERMINACIÓN

Tasa de germinación de los tratamientos

Tasa de germinación de los tratamientos

	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
Secadas al aire	6	91,2117	3,13148	1,27842	87,9254	94,4980	87,27	96,36
Hrno convencional	6	88,1817	3,40224	1,38896	84,6112	91,7521	83,64	92,73
HW densidad 1,755w/gr	9	21,2100	11,92139	3,97380	12,0464	30,3736	9,09	38,18
HW densidad 3,5w/gr	9	26,6644	8,07907	2,69302	20,4543	32,8746	18,18	45,45
HW densidad 7w/gr	9	36,7667	10,39731	3,46577	28,7746	44,7587	18,18	54,55
Total	39	47,1315	30,42861	4,87248	37,2677	56,9954	9,09	96,36

ANEXO 9: Anova para la comparación de la tasa de germinación

COMPARACIONES MÚLTIPLES

Variable dependiente: tasa

	(I) cod_trat	(J) cod_trat	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
						Límite inferior	Límite superior
HSD Tukey	1,00 aire	H.C	3,03000	5,07866	,975	-11,5942	17,6542
		HW densidad 1,75w/gr	70,00167*	4,63616	,000	56,6516	83,3517
		HW densidad 3,5w/gr	64,54722*	4,63616	,000	51,1972	77,8973
		HW densidad 7w/gr	54,44500*	4,63616	,000	41,0950	67,7950
	2,00 horno convencional	s.Aire	-3,03000	5,07866	,975	-17,6542	11,5942
		HW densidad 1.75w/gr	66,97167*	4,63616	,000	53,6216	80,3217
		HW densidad 3,5w/gr	61,51722*	4,63616	,000	48,1672	74,8673
		HW densidad 7w/gr	51,41500*	4,63616	,000	38,0650	64,7650
	3,00 HW 1,75	s.aire	-70,00167*	4,63616	,000	-83,3517	-56,6516
		H.C	-66,97167*	4,63616	,000	-80,3217	-53,6216
		HW densidad 3,5w/gr	-5,45444	4,14671	,684	-17,3951	6,4862
		HW densidad 1w/gr	-15,55667*	4,14671	,006	-27,4973	-3,6160
	4,00 HW 3,5	s.aire	-64,54722*	4,63616	,000	-77,8973	-51,1972
		H.c	-61,51722*	4,63616	,000	-74,8673	-48,1672
		HW densidad 1,75w/gr	5,45444	4,14671	,684	-6,4862	17,3951
		HW densidad 7w/gr	-10,10222	4,14671	,130	-22,0429	1,8384
	5,00 HW 1	H.A	-54,44500*	4,63616	,000	-67,7950	-41,0950
		H.C	-51,41500*	4,63616	,000	-64,7650	-38,0650
		HW densidad 1,75w/gr	15,55667*	4,14671	,006	3,6160	27,4973
		HW densidad 3,5.w/gr	10,10222	4,14671	,130	-1,8384	22,0429

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

ANEXO 10: Prueba de germinación de semillas secadas al ambiente

Ensayo	Replica Tratamiento	Número de semillas		Tasa de germinación %
		germinan	No germinan	
1	1	48	8	87,27
1	2	50	5	90,91
2	1	49	6	89,09
2	2	51	4	92,73
3	1	50	5	90,91
3	2	53	5	96,36

Fuente: (Suntasig, M)

ANEXO 11: Prueba de germinación de semillas secadas en horno convencional una temperatura de 55 °C

Ensayo	Repetición	Número de semillas		Tasa de germinación %
		germinan	No germinan	
2	1.1	48	7	87,27
2	1.2	50	5	90,91
2	2.1	49	6	89,09
2	2.2	47	8	85,45
2	3.1	51	7	92,73
2	3.2	46	9	83,64

Fuente: (Suntasig, M)

ANEXO 12: Prueba de germinación de semillas secadas en horno microondas a una densidad de 1,75 W/gr

Ensayo	Repetición	Número de semillas		Tasa de germinación %
		germinan	No germinan	
3	1.1	10	45	18,18
3	1.2	15	34	27,27
3	1.3	15	40	27,27
3	2.1	15	40	27,27
3	2.2	15	40	27,27
3	2.3	10	45	18,18
3	3.1	25	30	45,45
3	3.2	12	41	21,82
3	3.3	15	40	27,27

Fuente: (Suntasig, M)

ANEXO 13: Prueba de germinación de semillas secadas en horno microondas a una densidad de 3.5 W/gr

Ensayo	Repetición	Número de semillas		Tasa de germinación %
		Germinan	No germinan	
4	1.1	14	41	25,45
4	1.2	14	41	25,45
4	1.3	21	41	38,18
4	2.1	20	35	36,36
4	2.2	15	45	27,27
4	2.3	5	50	9,09
4	3.1	5	50	9,09
4	3.2	5	50	9,09
4	3.3	6	44	10,91

Fuente: (Suntasig, M)

ANEXO 14: Prueba de germinación de semillas secadas en horno microondas a una densidad de 7 W/gr

Ensayo	Repetición	Número de semillas		Tasa de germinación %
		Germinan	No germinan	
5	1.1	20	35	36,36
5	1.2	10	45	18,18
5	1.3	22	33	40,00
5	2.1	20	35	36,36
5	2.2	25	30	45,45
5	2.3	15	40	27,27
5	3.1	22	33	40,00
5	3.2	18	37	32,73
5	3.3	30	25	54,55

Fuente: (Suntasig, M)

ANEXO 15

Media de los tratamientos

		N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
						d15	Testigo		
	HC	75	4,6587	1,26171	,14569	4,3684	4,9490	2,50	6,50
	HM	45	3,5644	,72084	,10746	3,3479	3,7810	2,00	5,00
	Total	197	4,3893	1,17579	,08377	4,2241	4,5545	2,00	6,50
d60	Testigo	77	8,3701	2,25989	,25754	7,8572	8,8831	4,00	13,20
	HC	75	8,7880	2,68982	,31059	8,1691	9,4069	4,00	13,20
	HM	45	6,9644	1,51104	,22525	6,5105	7,4184	4,20	10,50
	Total	197	8,2081	2,39136	,17038	7,8721	8,5441	4,00	13,20

ANEXO 16

Prueba de homogeneidad de varianzas

	Estadístico de Levene	df1	df2	Sig.
d15	13,606	2	194	,000
d60	10,461	2	194	,000

Varianzas no homogéneas, usamos la prueba que se aplica para varianzas no iguales

ANEXO 17

ANOVA

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
d15	Entre grupos	39,779	2	19,890	16,690	,000
	Dentro de grupos	231,189	194	1,192		
	Total	270,968	196			
d60	Entre grupos	96,843	2	48,422	9,174	,000
	Dentro de grupos	1024,004	194	5,278		
	Total	1120,847	196			

ANEXO 18

Comparaciones múltiples

			Tamhane				
Variable dependiente	(I) codtrat	(J) codtrat	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
						Límite inferior	Límite superior
d15	aire	HC	-,04958	,19156	,992	-,5123	,4131
		3,00	1,04465*	,16437	,000	,6465	1,4427
	HC	aire	,04958	,19156	,992	-,4131	,5123
		HW	1,09422*	,18103	,000	,6557	1,5327
	HW	aire	-1,04465*	,16437	,000	-1,4427	-,6465
		HC	-1,09422*	,18103	,000	-1,5327	-,6557
d60	aire	HC	-,41787	,40348	,660	-1,3926	,5568
		HW	1,40569*	,34215	,000	,5769	2,2344
	HC	aire	,41787	,40348	,660	-,5568	1,3926
		HW	1,82356*	,38368	,000	,8942	2,7529
	HM	aire	-1,40569*	,34215	,000	-2,2344	-,5769
		HC	-1,82356*	,38368	,000	-2,7529	-,8942

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.