ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AGROINDUSTRIA

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE MICROGRAVEDAD SIMULADA SOBRE LA OBTENCIÓN DE GERMINADOS DE QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd) Y AMARANTO (*Amaranthus caudatus* L.)

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA AGROINDUSTRIAL

CARLA LIZBETH SUQUILLO PAUCAR

carla.suquillo@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. JENNY MARCELA ÁVILA VÉLEZ M.Sc.

jenny.avila@epn.edu.ec

Quito, Mayo 2018

© Escuela Politécnica Nacional (2015)

Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Yo, Carla Lizbeth Suquillo Paucar, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado en ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

_____

Carla Lizbeth Suquillo Paucar

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Carla Lizbeth Suquillo Paucar, bajo mi supervisión.

_____

Ing. Jenny Ávila Vélez M.Sc.

DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por todas las bendiciones recibidas, a mi valiente madre por todo su esfuerzo, apoyo, cariño e inmensa paciencia a lo largo de mi vida, a mi amado William por el apoyo incondicional y el amor que me brindas cada día y a toda mi familia por estar presente durante esta etapa.

A mi directora de tesis M.Sc. Jenny Ávila por su tiempo, paciencia, apoyo y guía en la realización del presente proyecto.

Al Instituto Espacial Ecuatoriano por la confianza brindada y permitirme realizar parte del presente proyecto en sus instalaciones y hacer uso de su equipo clinostat.

A los Ingenieros Javier Maiguashca, José Luis Rivadeneira y Gabriela Carrera, colaboradores y ex colaboradora del Instituto Espacial Ecuatoriano, por la paciencia, apoyo incondicional y guía durante la realización de este proyecto.

A mí querida Escuela Politécnica Nacional por acogerme durante estos años en sus aulas.

A todos mis amigos, compañeros, profesores y demás personas que tuve el agrado de conocer durante mi etapa estudiantil en la Escuela Politécnica Nacional.

DEDICATORIA

A mi querida madre María Cecilia

A mí amado William

A mi pequeña Sofía

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
GLOSARIO	
RESUMEN	
INTRODUCCIÓN	
1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	1
1.1 Cultivo de amaranto y quinua en Ecuador	1
1.1.1 Cultivo de amaranto	1
1.1.1.1 Origen	1
1.1.1.2 Clasificación taxonómica	2
1.1.1.3 Descripción botánica	2
1.1.1.4 Condiciones agroclimáticas del cultivo	4
1.1.1.5 Producción de amaranto en Ecuador	5
1.1.1.6 Características nutricionales del amaranto	5
1.1.1 Cultivo de quinua	7
1.1.2.1 Origen	7
1.1.2.2 Clasificación taxonómica	7
1.1.2.3 Descripción botánica	8
1.1.2.4 Condiciones agroclimáticas del cultivo	9
1.1.2.5 Producción de quinua en Ecuador	10
1.1.2.6 Características nutricionales de la quinua	11
1.2 Producción de germinados de especies andinas	12
1.2.1 Generalidades	12
1.2.2 Proceso de germinación	13
1.2.2.1 Fase de imbibición	13
1.2.2.2 Fase de germinación “Sensu stricto”	14
1.2.2.3 Fase de crecimiento	14
1.2.3 Procesos metabólicos de la germinación	15
1.2.3.1 Respiración celular	15
1.2.3.2 Movilización de sustancias de reserva	15
1.2.4 Factores que afectan la germinación	16
1.2.4.1 Factores externos	16
1.2.4.2 Factores internos	17
1.2.5 Proceso de obtención de germinados	18
1.3 Efecto de microgravedad simulada en el desarrollo vegetal	20
1.3.1 Gravedad y microgravedad	20
1.3.2 Equipo para simular microgravedad	20
1.3.3 Efecto de la gravedad en la planta	21
1.3.4 Detección de la gravedad y respuesta	21

2. PARTE EXPERIMENTAL 23

2.1 Caracterización física y química de las semillas de amaranto y quinua 23
2.1.1 Caracterización física de las semillas de amaranto y quinua 23
2.1.1.1 Densidad aparente 23
2.1.1.2 Densidad real 24
2.1.1.3 Espacios de aire 24
2.1.1.4 Peso de 1000 semillas 25
2.1.1.5 Dimensiones del grano 25
2.1.2 Caracterización química de las semillas de amaranto y quinua 25
2.1.2.1 Humedad 26
2.1.2.2 Proteína 26
2.1.2.3 Fibra 26
2.1.2.4 Calcio 26
2.1.2.5 Hierro 26
2.1.2.5 Ácido ascórbico 27

2.2 Caracterización agronómica de los germinados de amaranto y quinua obtenidos bajo condiciones de microgravedad simulada 27
2.2.1 Preparación de semillas y sustrato 27
2.2.2 Condiciones de operación 28
2.2.3 Diseño experimental 29
2.2.4 Caracterización agronómica 29
2.2.4.1 Días hasta la germinación 30
2.2.4.2 Tasa de germinación 30
2.2.4.3 Días a la emergencia 30

2.3 Caracterización física y química de los germinados de amaranto y quinua obtenidos bajo condiciones de microgravedad simulada 31
2.3.1 Caracterización física de los germinados de amaranto y 31
quinua 31
2.3.1.1 Altura de planta 31
2.3.1.2 Longitud de raíz
2.3.2 Caracterización química de los germinados de amaranto y 32
quinua 32
2.3.2.1 Humedad 32
2.3.2.2 Proteína 32
2.3.2.3 Fibra 32
2.3.2.4 Calcio 33
2.3.2.5 Hierro 33
2.3.2.5 Ácido ascórbico
34

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN
34

3.1 Caracterización física y química de las semillas de amaranto y 34
quinua 36
3.1.1 Caracterización física de las semillas de amaranto y quinua
3.1.2 Caracterización química de las semillas de amaranto y quinua

38
3.2 Caracterización agronómica de los germinados de amaranto y quinua 38
obtenidos bajo condiciones de microgravedad simulada 42
3.2.1 Días a la germinación 43
3.2.2 Tasa de germinación
3.2.2 Días a la emergencia
46
3.3 Caracterización física y química de los germinados de amaranto y 46
quinua 46
3.3.1 Caracterización física de los germinados de amaranto y quinua 48
3.3.1.1 Altura de planta
3.3.1.2 Longitud de raíz 51
3.3.2 Caracterización química de los germinados de amaranto y 55
quinua 56
3.3.2.1 Humedad 58
3.3.2.2 Proteína 61
3.3.2.3 Fibra 64
3.3.2.4 Calcio 67
3.3.2.5 Hierro
3.3.2.5 Ácido ascórbico 70

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 70

4.3 Conclusiones 72

4.3 Recomendaciones 73

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 83

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

		PÁGINA
Tabla 1.1.	Clasificación taxonómica de amaranto	2
Tabla 1.2.	Composición nutricional del amaranto	6
Tabla 1.3.	Clasificación taxonómica de la quinua	7
Tabla 1.4.	Composición nutricional de la quinua	12
Tabla 3.1.	Caracterización física de las semillas de amaranto	34
Tabla 3.2.	Caracterización física de las semillas de quinua	35
Tabla 3.3.	Caracterización química de las semillas de amaranto	36
Tabla 3.4.	Caracterización química de las semillas de quinua	37
Tabla 3.5.	Porcentaje de germinación de semillas de amaranto	39
Tabla 3.6.	Porcentaje de germinación de semillas de quinua	40
Tabla 3.7.	Índice de la tasa de germinación	42
Tabla 3.8.	Porcentaje de emergencia de plántulas de amaranto	43
Tabla 3.9.	Porcentaje de emergencia de plántulas de quinua	45
Tabla 3.10.	Altura de planta de amaranto en condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada	46
Tabla 3.11.	Altura de planta de quinua en condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada	47
Tabla 3.12.	Tamaño de raíz de los germinados de amaranto en condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada	48
Tabla 3.13.	Tamaño de raíz de los germinados de quinua en condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada	50
Tabla 3.14.	Humedad de los germinados de amaranto obtenidos en condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada	52
Tabla 3.15.	Humedad de los germinados de quinua obtenidos en condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada	53
Tabla 3.16.	Contenido de proteína de los germinados de amaranto obtenidos en condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada	55
Tabla 3.17.	Contenido de proteína los germinados de quinua obtenidos en condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada	56

Tabla 3.18. Contenido de fibra en los germinados de amaranto obtenidos en condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada 58

Tabla 3.19. Contenido de fibra en los germinados de quinua obtenidos en condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada 59

Tabla 3.20. Contenido de calcio en los germinados de amaranto obtenidos en condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada 61

Tabla 3.21. Contenido de calcio en los germinados de quinua obtenidos en condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada 63

Tabla 3.22. Contenido de hierro en los germinados de amaranto obtenidos en condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada 64

Tabla 3.23. Contenido de hierro en los germinados de quinua obtenidos en condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada 66

Tabla 3.24. Porcentaje de incremento de ácido ascórbico en los germinados de amaranto obtenidos en condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada 68

Tabla 3.25. Porcentaje de incremento de ácido ascórbico en los germinados de quinua obtenidos en condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada 68

ÍNDICE DE FIGURAS

		PÁGINA
Figura 1.1.	Esquema de un glomérulo (a. flor masculina, b-f flores femeninas)	3
Figura 1.2.	Corte longitudinal de la semilla de amaranto	4
Figura 1.3.	Tipo de inflorescencia de la planta de quinua (a. Amarantiforme, b. Glomerulada)	9
Figura 1.4.	Producción de quinua por provincias en Ecuador	10
Figura 1.5.	Absorción de agua durante las fases de germinación	15
Figura 1.6.	Diagrama de flujo del proceso de obtención de germinados de amaranto y quinua	18
Figura 2.1.	Diagrama esquemático de un clinostat de un eje	28
Figura 3.1.	Porcentaje de germinación de semillas de amaranto sometidas a condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada	40
Figura 3.2.	Porcentaje de germinación de semillas de quinua sometidas a condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada	41
Figura 3.3.	Porcentaje de emergencia de las plántulas de amaranto sometidas a condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada	44
Figura 3.4.	Porcentaje de emergencia de las plántulas de quinua sometidas a condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada	45
Figura 3.5.	Tamaño de raíz de los germinados de amaranto en condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada	49
Figura 3.6.	Tamaño de raíz de los germinados de quinua en condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada	51
Figura 3.7.	Porcentaje de humedad de los germinados de amaranto sometidas a condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada	53
Figura 3.8.	Porcentaje de humedad de los germinados de quinua sometidas a condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada	54
Figura 3.9.	Contenido de proteína de los germinados de amaranto sometidos a condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada	56

Figura 3.10. Contenido de proteína de los germinados de quinua sometidos a condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada 57

Figura 3.11. Contenido de fibra en los germinados de amaranto sometidos a condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada 59

Figura 3.12. Contenido de fibra en los germinados de quinua sometidos a condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada 60

Figura 3.13. Contenido de calcio en los germinados de amaranto sometidos a condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada 62

Figura 3.14. Contenido de calcio en los germinados de quinua sometidos a condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada 63

Figura 3.15. Contenido de hierro en los germinados de amaranto sometidos a condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada 65

Figura 3.16. Contenido de hierro en los germinados de quinua sometidos a condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada 67

Figura AIII.1. Cromatograma de la muestra estándar de ácido ascórbico 86

Figura AIII.2. Cromatograma de ácido ascórbico de muestra de germinados de amaranto 87

Figura AIV.1. Clinostat de un eje 87

Figura AIV.2. Clinostat de un eje con acople para 20 tubos de ensayo 87

Figura AV.1. Germinados de amaranto, A-gravedad normal, B-Microgravedad simulada 88

Figura AV.2. Germinados de quinua, A-gravedad normal, B-Microgravedad simulada 88

Figura AVI.1. Fijación de la escala en el software ImageJ 89

Figura AVI.2. Medición del tamaño de raíz de los germinados en el software ImageJ 89

ÍNDICE DE ANEXOS

PÁGINA

Anexo I
Determinación de ácido ascórbico
84

Anexo II
Cálculo de velocidad de rotación para clinostat
85

Anexo III
Cromatogramas de ácido ascórbico de la muestra estándar y de germinados de amaranto
86

Anexo IV
Equipo para simulación de microgravedad
87

Anexo V
Germinados de amaranto y quinua obtenidos en condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada
88

Anexo VI
Medición de tamaño de raíz de germinados obtenidos en gravedad normal y microgravedad simulada con ayuda del software ImageJ (Image Processing and Analysis in Java). 89

GLOSARIO

Axonomorfa: Raíz con eje principal preponderante, con ejes secundarios poco desarrollados (Breis, 2000, p.33).

Clinostat: Dispositivo capaz de compensar el vector gravitatorio mediante la rotación a una un determinada velocidad (Matía, 2008, p. 20)

Germinación: Crecimiento activo del embrión, resulta en la emergencia semilla y desarrollo de estructuras (Varela y Arana, 2011, p.5).

Glomérulos: Inflorescencia globosa compuesta por una flor masculina y varias flores femeninas (Tejerina y Arenas, 2001, p.8).

Microgravedad: Fuerzas gravitacionales pequeñas, casi nulas pero no igual a 0 (Valdivia y Silva, 2016, p.16).

Morfogénesis: Procesos biológicos que provocan la morfología particular de un organismo u órgano (Alegría, 2016, p.174).

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de la microgravedad simulada en la obtención de germinados de amaranto (*Amarantus caudatus* L.) y quinua (*Chenopodium quinoa* Willd).

Las semillas de amaranto, variedad INIAP ALEGRIA y quinua, variedad INIAP TUNKAHUAN, fueron caracterizadas física y químicamente. Se colocaron en un dispositivo "clinostat de un eje" para simular microgravedad y observar la germinación con un diseño experimental unifactorial para cada especie. En la caracterización agronómica de los germinados se tomó como variables los días a la germinación, índice de tasa de germinación y días a la emergencia; la caracterización física de los germinados tuvo como variables la altura de planta y el tamaño de raíz cada 3 días por un tiempo de experimentación de 21 días; en la caracterización química se determinó el contenido de humedad, proteína, fibra, calcio, hierro y ácido ascórbico a los 3, 9, 15 y 21 días.

En la caracterización agronómica se observó que el porcentaje de germinación de las dos especies es mayor en condiciones de microgravedad simulada, el amaranto presentó un porcentaje de germinación de 86,7 % en gravedad normal y 90 % en microgravedad, mientras que la quinua presentó el 93,3 % en gravedad normal y 96,7 % en microgravedad. Además la velocidad de germinación expresada como índice de la tasa de germinación es mayor para las dos especies en microgravedad simulada.

En la caracterización física de los germinados de las dos especies se encontró que la altura de planta y tamaño de raíz son mayores en los germinados obtenidos en condiciones de microgravedad simulada.

La caracterización química de los germinados de las dos especies, indicó que no existe diferencia significativa en el contenido de humedad de los germinados obtenidos en microgravedad simulada y gravedad normal. El contenido de fibra y proteína disminuyen hasta el tercer día debido a la movilización de reservas y se

incrementa posteriormente hasta los 21 días. El contenido de calcio se incrementa debido a la germinación, pero el incremento es significativo en los germinados obtenidos en microgravedad simulada, por el contrario el contenido de hierro se disminuye durante el proceso de germinación bajo las dos condiciones de gravedad.

El ácido ascórbico incrementa durante el proceso de germinación en el caso de las dos especies, los germinados de amaranto incrementan en 139,2 % el contenido de ácido ascórbico en gravedad normal y 151,7 % en microgravedad simulada, mientras que la quinua presenta un incremento del 413,8 % de ácido ascórbico en gravedad normal y 421,7 % en microgravedad simulada.

INTRODUCCIÓN

Un problema que enfrenta la humanidad es la desnutrición, especialmente en niños menores a 5 años, provocada por carencias graves y prolongadas de nutrientes (Ministerio Coordinador de Desarrollo Social, 2013, p. 214). Ecuador en el año 2012 tuvo el 25,3 % de desnutrición crónica en niños de esa edad, las provincias de Chimborazo, Bolívar y Cotopaxi presentaron mayor incidencia (ENSANUT, 2014, p. 5).

Los germinados de especies andinas obtenidos en condiciones de microgravedad simulada, son una alternativa alimenticia que puede contribuir a mejorar la nutrición de la población, debido a que el proceso de germinación incrementa la disponibilidad de vitaminas, minerales, proteínas, carbohidratos, ácidos grasos y enzimas (Chaparro, Pismag y Elizalde, 2011, p. 53), además se puede inducir la rizogénesis en menor tiempo bajo condiciones de microgravedad simulada frente a condiciones de gravedad normal (Hoson, 1994, p. 309). Actualmente, en Ecuador se consumen germinados de soya y alfalfa, los cuales se ingieren de forma directa o se utilizan en la preparación de diversos platos (Racines, 2011, p. 50).

En el año 2012, Naciones Unidas inició “The Zero - Gravity Instrument Project”, con el objetivo de investigar el impacto de las alteraciones de gravedad en plantas, hongos y otros organismos pequeños. El proyecto proporcionó instrumentos que simulan microgravedad (clinostats) a instituciones educativas y de investigación seleccionadas de todo el mundo. Ecuador participó por medio del Instituto Espacial Ecuatoriano, y fue uno de los países beneficiados en Sudamérica al igual que la Academia de Ciencias Aeronáuticas de Chile para la entrega del equipo (United Nations Programme on Space Applications, 2014, p. 4-7).

El Instituto Espacial Ecuatoriano ha direccionado el uso de especies andinas en las investigaciones en el ámbito de microgravedad simulada, es por esta razón que se consideró importante desarrollar la investigación con amaranto y quinua,

además, las dos especies nativas tienen alto valor nutricional y son cultivadas en las provincias con mayor índice de desnutrición infantil del país.

Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de microgravedad simulada sobre la obtención de germinados de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) y amaranto (*Amaranthus caudatus* L.).

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 CULTIVO DE AMARANTO Y QUINUA EN ECUADOR

1.1.1 CULTIVO DE AMARANTO

1.1.1.1 Origen

El cultivo de amaranto es originario del continente americano, la primera civilización en utilizarlo como fuente de alimento hace más de 5000 años fue la civilización maya, luego fue cultivado por las civilizaciones azteca e inca (Becerra, 2000, p.1).

Los aztecas e incas utilizaban el amaranto como principal fuente de proteína, se consumía en forma de verdura y grano reventado. Los aztecas empleaban el amaranto en forma de figuras humanas durante las ceremonias religiosas, esta civilización producía entre 15 000 a 20 000 tn de amaranto por año (Becerra, 2000, p.2).

La llegada de los españoles a América prohibió gran parte de las costumbres religiosas, lo que causó una drástica disminución del cultivo hasta casi su extinción (Mapes, 2015, p. 11).

Actualmente, se ha retomado el interés en el cultivo de amaranto debido a sus características nutricionales, lo cual lo hace potencial en la elaboración de nuevos productos alimenticios, además de sus ventajas en la fase agrícola como facilidad de adaptación y cultivo, resistencia a sequias y bajo requerimiento de agua (Mapes, 2010, p. 217).

El amaranto se cultiva en: México, Guatemala, Ecuador, Argentina, Bolivia, Cuba, Estados Unidos, Paquistán, India, Indonesia, Malasia, China y en ciertas localidades del continente africano (Tejerina y Arenas, 2001, p.9).

1.1.1.2 Clasificación Taxonómica

El amaranto pertenece a la familia de las Amaranthaceas, también es denominado como kiwicha, achita, achis y coyo en Perú, como coimi, millmi e inca pachaqui en Bolivia, sangorache, ataco, quinua de castilla en Ecuador (Peralta, 2012, p.1).

La clasificación taxonómica del Amaranto se muestra en la tabla 1.1.

Tabla 1.1. Clasificación taxonómica de amaranto

Reino:	Vegetal
División :	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Subclase:	Caryophyllidae
Orden:	Caryophyllales
Familia:	Amaranthaceae
Género:	*Amaranthus*
Sección:	*Amaranthus*
Especies:	*Amaranthus caudatus* *Amarantus cruentus* *Amaranthus hypochondriacus*

(Tustón, 2007, p.3)

1.1.1.3 Descripción botánica

El amaranto es una planta herbácea de ciclo anual, puede alcanzar una altura de 3 m., presenta una gama de colores entre verde y púrpura (Tejerina y Arenas, 2001, p.5).

La raíz es tipo axonomorfa, presenta numerosas ramificaciones secundarias y terciarias que constituyen un sistema radical que garantiza el sostén de la planta, puede tener una longitud de 15 cm (Peralta, 2009, p.4; Tejerina y Arenas, 2001, p.6).

El amaranto posee un tallo central de forma cilíndrica con surcos superficiales en forma longitudinal, algunas especies presentan ramificaciones desde la base o desde la mitad, en etapas tempranas es suculento poco fibroso y en su madurez tiende a lignificarse (Chagaray, 2005, p.4; Tejerina y Arenas, 2001, p.6).

Las hojas presentan disposición alterna u opuesta, la forma y tamaño varían de acuerdo a la especie, pueden ser romboides, elípticas u ovaladas, son de textura lisa poco pubescente con nervaduras pinnadas bastante pronunciadas (Peralta, 2009, p.4.

Las inflorescencias del amaranto son tipo espigas o panojas, pueden llegar a medir 90 cm de longitud, tienen forma de aglomerados redondos que toman el nombre de glomérulos. En la **Figura 1.1.** se observa la estructura de los glomérulos, los cuales están compuestos por una flor masculina y varias flores femeninas, un glomérulo puede tener 250 flores femeninas (Tejerina y Arenas, 2001, p.8).

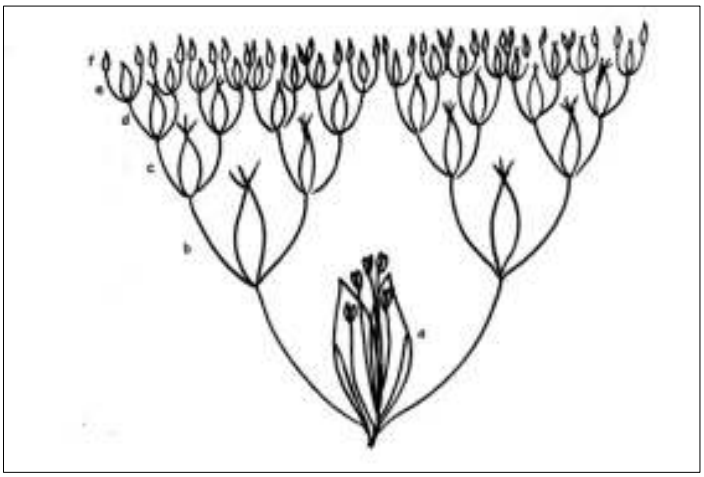

Figura 1.1. Esquema de un glomérulo (a. flor masculina, b-f flores femeninas)
(Tejerina y Arenas, 2001, p.6)

El fruto del amaranto es tipo capsula, presenta dehiscencia transversal al llegar a la madurez, permite el desprendimiento de parte de la capsula para dejar al descubierto la semilla (Mapes, 2010, p.218).

Las semillas de amaranto son pequeñas miden de 1 a 1,5 mm, tienen forma ovalada ligeramente plana de textura lisa, pueden ser de color dorado, blanco amarillento, blanco, rosado, rojo o negro. La semilla está constituida por tres partes como se indica en la **Figura 1.2.**: cubierta o episperma, el endosperma formado por los cotiledones que son fuente de proteína y el perisperma constituido por almidones (Tejerina y Arenas, 2001, p.7).

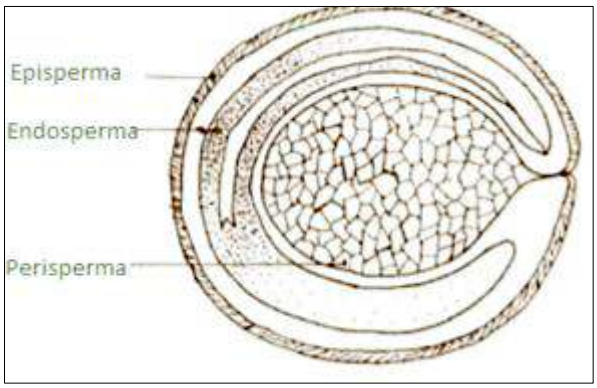

Figura 1.2. Corte longitudinal de la semilla de amaranto
(Tejerina y Arenas, 2001, p.7)

1.1.1.4 Condiciones agroclimáticas de cultivo

El cultivo de amaranto se desarrolla de forma óptima en suelos de textura franca, el suelo debe tener un buen drenaje y alto contenido de materia orgánica, el pH debe estar entre 6 y 7,5 (Peralta, 2012, p.13; Tejerina y Arenas, 2001, p.10).

El amaranto es un cultivo que se adapta con facilidad desde el nivel del mar hasta los 3 200 m.s.n.m, sin embargo la altura óptima para un adecuado desarrollo y producción está entre 2 000 y 2 800 m.s.n.m. (Peralta, 2012, p.13; Tejerina y Arenas, 2001, p.9).

La temperatura apropiada para el cultivo de amaranto es de 18 a 24 °C, las temperaturas entre 4 a 8 °C ralentizan o detienen el crecimiento de la planta y temperaturas menores a 4 °C producen daños fisiológicos irreversibles. El cultivo de amaranto no tolera temperaturas bajas ni heladas (Peralta et al., 2014, p.49).

El cultivo requiere humedad durante la fase de germinación y crecimiento, en las fases posteriores requiere un ambiente seco con humedad limitada, la precipitación óptima para el cultivo es de 300 a 600 mm anuales (Peralta, 2012, p.13).

1.1.1.5 Producción de amaranto en Ecuador

En Ecuador se producen dos especies de amaranto: *Amaranthus caudatus* L. y *Amaranthus quitensis* (ataco o sangorache), el cultivo de las dos especies está localizado en la región sierra, las provincias productoras son Imbabura, Pichincha, Chimborazo, Bolívar, Azuay, Cañar y Carchi, las tres primeras poseen la mayor superficie cultivada (DIGDM, 2014, p. 1).

Hasta el año 2012, la superficie de cultivo de amaranto fue de 50 ha aproximadamente, con un rendimiento en grano de 1,5 a 2 tn/ha (DIGDM, 2014, p. 1; Horton, 2014, p.22).

El amaranto se consume directamente como grano reventado, en barras energéticas y granolas. Además, se procesa harina y en combinación con harina de trigo se elabora galletas, pan y pasteles (Peralta, 2009, p.5).

1.1.1.6 Características Nutricionales del amaranto

El amaranto contiene entre 15 y 17 % de proteína, destaca entre la quinua, el arroz y el maíz, la proteína posee un balance de aminoácidos similar al requerido para la nutrición humana, sobresale el adecuado contenido de lisina y de aminoácidos azufrados. La proteína del amaranto se compara con la proteína de leche y se asemeja a la proteína ideal propuesta por la FAO debido a su composición (Herrera y Montenegro, 2012, p.54; Mapes, 2015, p.13).

El amaranto posee alto contenido de minerales como calcio, hierro, potasio, magnesio, fósforo, manganeso, sodio y zinc, el contenido de calcio y hierro de 100 g de amaranto puede contribuir el 46 % de la ingesta recomendada (Herrera y Montenegro, 2012, p.54; Huaraca, 2011, p.42).

Los granos de amaranto son fuente de vitaminas: A, B1, B2, B3, B9 (ácido fólico) y C, el contenido de ácido ascórbico (Vitamina C) es 2,28 mg (Bravo et al. 2013, p.59). Además, el amaranto aporta fibra, la cual es necesaria para el metabolismo y la digestión (Huaraca, 2011, p.42).

En la tabla 1.2 se muestra la composición nutricional del amaranto.

Tabla 1.2. Composición nutricional del amaranto

Característica	Contenido
Humedad (%)	11,40
Proteína (%)	18,70
Fibra cruda (%)	9,80
E.L.N*	62,20
Cenizas (%)	4,60
Grasa (%)	4,60
Calcio (%)	0,16
Fósforo (%)	0,61
Magnesio (%)	0,24
Potasio (%)	0,60
Sodio (%)	0,01
Cobre (ppm)	9,00
Hierro (ppm)	90,00
Manganeso (ppm)	24,00
Zinc (ppm)	42,00

*E.L.N extracto libre de nitrógeno
(Peralta et al., 2008, p.49

1.1.2 CULTIVO DE QUINUA

1.1.2.1 Origen

La quinua es nativa de Sudamérica, es uno de los cultivos más antiguos de la región y es utilizada como alimento desde hace más 7000 años, su centro de origen se atribuye a las localidades contiguas al lago Titicaca en Perú y Bolivia (FAO, 2011, p.2; Mujica, 2002, p.15). Las culturas Tiahuanacota e Incaica participaron en la domesticación y conservación del cultivo, la marginación del cultivo se dio en la época de la conquista con la introducción de los cultivos de cereales (FAO, 2011, p.2).

La quinua presenta una amplia distribución geográfica, en el pasado abarcó desde Mérida en Venezuela y Nariño en Colombia hasta Tucumán en Argentina y el archipiélago de Chiloé en Chile, además fue cultivada en México por los mayas y aztecas. En la actualidad la quinua se encuentra distribuida en todo el mundo, en América desde Chile hasta Estados Unidos y Canadá, en África, Asia y Europa (Mujica, 2002, p.15).

1.1.2.2 Clasificación Taxonómica

En la tabla 1.3 se presenta la clasificación taxonómica de la quinua.

Tabla 1.3. Clasificación taxonómica de la quinua

Reino:	Vegetal
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliposida
Orden:	Caryophyllales
Familia:	Chenopodiaceaes
Género:	*Chenopodium*
Sección:	*Chenopodio*
Especies:	*Chenopodium quinoa* Willd

(Mujica, 2013, p.451)

1.1.2.3 Descripción botánica

La quinua es una planta herbácea de ciclo anual, puede presentar diversos colores como: verde, rojo, morado y colores intermedios, la planta puede alcanzar una altura entre 0,2 y 3,0 metros de acuerdo al genotipo y clima (Cogliatti y Heter, 2015, p.8; FAO, 2011, p.22).

La raíz de la quinua es vigorosa de forma axonomorfa, presenta ramificaciones secundarias y terciarias desde el cuello de la raíz, la longitud de la raíz está directamente relacionada con la altura de la planta, se han registrado raíces de hasta 1,8 m. (Cogliatti y Heter, 2015, p.10).

El tallo es cilíndrico en la zona de transición y anguloso a la altura de las ramificaciones, termina en una inflorescencia y es de altura variable. Los tallos jóvenes tienen medula blanca, la cual se torna esponjosa y hueca en la madurez (León, 2003, p.7).

Las hojas de la quinua son polimórficas pecioladas con borde dentado, las hojas basales son grandes de forma triangular o romboidal y las hojas ubicadas en la parte superior son lanceoladas (FAO, 2011, p.21). Tienen peciolos largos y cortos, los largos nacen en el tallo y los cortos en las ramas. Las hojas en etapas tempranas están cubiertas por pubescencia de color blanco, rosado o púrpura, la pubescencia contiene cristales higroscópicos de oxalato de calcio que influyen en la transpiración (Gómez y Aguilar, 2016, p.8).

La inflorescencia de la planta de quinua es de tipo panoja de tamaño variable de 15 a 80 cm, la inflorescencia puede ser amarantiforme si los glomérulos están ubicados en eje secundario o glomerulada si los glomérulos se encuentran en el eje primario, en la **Figura 1.3.** se muestra la diferencia entre la inflorescencia amarantiforme y glomerulada (León, 2003, p.8).

Las flores son pequeñas y carecen de pétalos, pueden ser hermafroditas, pistiladas o androestériles. El porcentaje de flores pistiladas y hermafroditas que

forman los glomérulos es variable, depende de cada variedad, existen casos extremos con predominio de flores androestériles (Cogliatti y Heter, 2015, p.16).

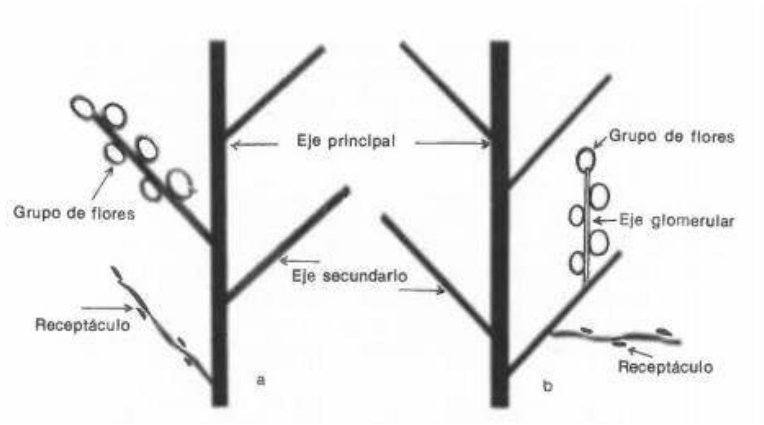

Figura 1.3. Tipo de inflorescencia de la planta de quinua (a. Amarantiforme, b. Glomerulada)
(Tapia et al., 1999, p.26)

El fruto de la quinua es un aquenio indehiscente de forma cónica o esferoidal, puede alcanzar un diámetro de 1,5 a 3 mm, su estructura consta de la semilla y el pericarpio que recubre la misma (Gómez y Aguilar, 2016, p.10).

1.1.2.4 Condiciones agroclimáticas de cultivo

Los tipos de suelo óptimos para el cultivo de quinua son franco arenoso y franco arcilloso, de profundidad intermedia con buen drenaje y alto contenido de materia orgánica, soporta un amplio rango de pH desde 4.5 hasta 9, el cultivo puede adaptarse a diferentes tipos de suelo y pH (León, 2003, p.8; FAO, 2011, p.46).

El cultivo de quinua se adapta en un amplio rango de altitud, desde el nivel del mar hasta los 4 000 m.s.n.m. Existen ecotipos que se desarrollan a diferentes altitudes: al nivel del mar, en los valles, en el subtrópico, en los salares y en el altiplano, al nivel del mar el cultivo alarga la fase vegetativa (FAO, 2011, p.46; León, 2003, p.4).

La planta de quinua es eficiente en el uso de agua, la precipitación óptima para el cultivo es de 500 a 800 mm y puede tolerar hasta 1000 mm de precipitación anual. El cultivo es tolerante a las sequías debido al sistema radicular con vastas ramificaciones, además reduce la transpiración debido al oxalato de calcio presente en las hojas (Gómez y Aguilar, 2016, p.4; León, 2003, p.17).

La temperatura óptima para el desarrollo del cultivo es de 15 a 25 °C, en etapas de desarrollo vegetativo tolera temperaturas bajas durante las heladas y las temperaturas altas, en la etapa de floración y llenado de grano es susceptible a temperaturas extremas (Gómez y Aguilar, 2016, p.3; León, 2003, p.18).

1.1.2.5 Producción de quinua en Ecuador

En el año 2015 la producción de quinua en Ecuador fue de 12 707 tn correspondientes a una superficie de 7 148 ha, las provincias con mayor producción fueron Imbabura, Carchi y Chimborazo con 5 638, 2 919 y 2 361 ton respectivamente (Montero, 2016, p.1). En la **Figura 1.4.** se indica la producción de quinua en Ecuador por provincia.

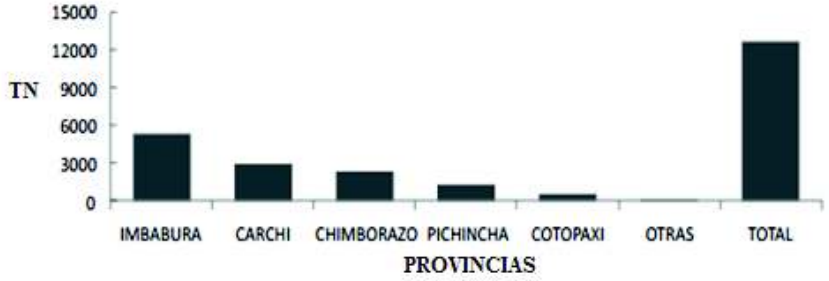

Figura 1.4. Producción de quinua por provincias en Ecuador
*Otras: Provincias de Azuay, Tungurahua y Cañar
(PRO ECUADOR., 2015, p.1)

El rendimiento promedio a nivel nacional hasta el año 2015 fue de 1,36 tn/ha, la provincia de Pichincha presentada el rendimiento más alto, mientras que las provincias de Cotopaxi, Chimborazo, Azuay y Tungurahua presentan los rendimientos más bajos (Montero, 2016, p.3).

Gran parte de la producción de quinua de Ecuador está destinada a la exportación, los destinos de la quinua son Estados Unidos, Países Bajos, Israel y Reino Unido (PRO ECUADOR, 2015, p.8).

1.1.2.6 Características Nutricionales de la quinua

La quinua es un alimento considerado nutricionalmente completo, posee un balance apropiado de proteínas, carbohidratos y minerales (Cogliatti y Heter, 2015, p.25).

Los granos de quinua contienen entre 13,81 y 21,9 % de proteína, es la única proteína de origen vegetal que proporciona todos los aminoácidos esenciales. El contenido de aminoácidos en la proteína cubre los requerimientos recomendados para la dieta humana, el balance de los aminoácidos esenciales de la proteína de quinua es superior al trigo y la cebada, comparándose con la leche (Cogliatti y Heter, 2015, p.28; FAO, 2011, p.7).

La quinua contiene niveles considerables de los siguientes minerales: calcio, hierro, potasio, magnesio, fosforo, zinc y manganeso, en cantidades menores cobre y litio. Los granos de quinua contienen 104 mg/100 g de calcio, supera el contenido de calcio del maíz, arroz y trigo. El hierro presente en la quinua supera hasta 3 veces la cantidad presente en el trigo (FAO, 2011, p.12).

Los granos de quinua son fuente de las siguientes vitaminas: A, B1 (tiamina), B2 (rivoflavina), B3 (niacina), B9 (ácido fólico) y C (ácido ascórbico), el contenido de ácido ascórbico es de 0,74 mg (Bravo et al., 2013, p.59) .La ingesta de quinua ayuda al tránsito intestinal debido al contenido de fibra, aproximadamente contiene 8 % de fibra (FAO, 2011, p.12-13).

En la tabla 1.4 se observa la composición nutricional de la quinua.

Tabla 1.4. Composición nutricional de la quinua

Característica	Contenido
Humedad (%)	13,70
Proteína (%)	13,90
Fibra cruda (%)	8,69
E.L.N*	68,77
Cenizas (%)	3,70
Grasa (%)	4,95
Calcio (%)	0,08
Fósforo (%)	0,59
Magnesio (%)	0,31
Potasio (%)	0,95
Sodio (%)	0,01
Cobre (ppm)	10,00
Hierro (ppm)	108,00
Manganeso (ppm)	36,00
Zinc (ppm)	34,00

*E.L.N extracto libre de nitrógeno
(Peralta et al., 2008, p.49)

1.2 PRODUCCIÓN DE GERMINADOS DE ESPECIES ANDINAS

1.2.1 GENERALIDADES

Los germinados tienen su origen en China 3000 años a.C, eran usados como suplemento en la alimentación, las semillas germinadas que se consumían en esa época eran la soya y la cebada (Ponce de León et al., 2012, p.48).

En América y Europa se ha incrementado el consumo de germinados, debido a la atribución de propiedades benéficas para el organismo (Ponce de León et al.,

2012, p.48). En Ecuador se producen germinados de soya y alfalfa, los cuales se consumen de forma directa o se usan en la preparación de diversos platos (Racines, 2011, p. 50).

Los germinados se consideran alimentos funcionales, debido al proceso de germinación que incrementa la biodisponibilidad de nutrientes y palatabilidad (Ponce de León et al., 2012, p.48). La riqueza nutricional se potencializa durante el desarrollo de los germinados, contienen altos niveles de proteína, minerales como el calcio, hierro, potasio, magnesio y fósforo, vitaminas como la A,B,C y E, además de un alto contenido de fibra (Ramos y Villanueva, 2001, p.95).

Los germinados son alimentos con buen balance dietético y composición nutricional, además el consumo en fresco permite mantener su calidad nutritiva en comparación con las semillas que deben ser sometidas a cocción para el consumo (Barrón et al., 2009, p. 238). La producción de germinados requiere un proceso sencillo y de bajo costo, lo que podría contribuir a corregir carencias de nutrientes y problemas de desnutrición (Barrón et al., 2009, p. 239).

1.2.2 PROCESO DE GERMINACIÓN

La germinación es un conjunto de procesos metabólicos y morfológicos que ocurren dentro de la semilla, que permite la transformación del embrión en una planta independiente (De la Cuadra, 2002, p. 4). En el proceso de germinación se distinguen 3 fases diferenciadas: fase de imbibición, fase de germinación y fase de crecimiento.

1.2.2.1 Fase de imbibición

La germinación inicia con la fase de imbibición, que consiste en el ingreso de agua al interior de la semilla y la hidratación de los tejidos. Una vez que los tejidos se han hidratado empiezan diversos procesos metabólicos principalmente la

producción de ATP y la actividad respiratoria que permiten continuar el proceso de germinación (Matilla, 2016, p.15).

En esta etapa los factores que influyen son: la cantidad de agua, la velocidad de hidratación y temperatura. El exceso de agua dificulta la llegada de oxígeno al embrión y la alta velocidad de hidratación induce daños mecánicos como ruptura del eje embrionario, mientras que la imbibición a baja temperatura provoca alteraciones del sistema radicular en etapas posteriores (Pita y Pérez, 2000, p.4).

1.2.2.2 Fase de germinación "Sensu stricto"

La segunda fase corresponde a la germinación "sensu stricto", en esta etapa ocurre la activación del embrión y no se evidencian cambios morfológicos de forma visual. Se reduce la absorción de agua y se estabiliza el consumo de oxígeno (Flores, 2000, p.148; Pérez, 2002, p.182).

1.2.2.3 Fase de crecimiento

En la fase de crecimiento se da un incremento de la actividad metabólica y cambios visibles como el crecimiento de la radícula, se incrementa la absorción de agua y la actividad respiratoria (De la Cuadra, 2002, p. 4).

El desarrollo de la plántula inicia cuando la radícula rompe la cubierta seminal, proceso complejo con altas necesidades energéticas que implica el movimiento de las reservas nutritivas (Pita y Pérez, 2000, p.6).

En la **Figura 1.5.** se puede observar el comportamiento de la absorción de agua durante las fases tres fases del proceso de germinación descritas desde el acápite 1.2.2.1 hasta el 1.2.2.3.

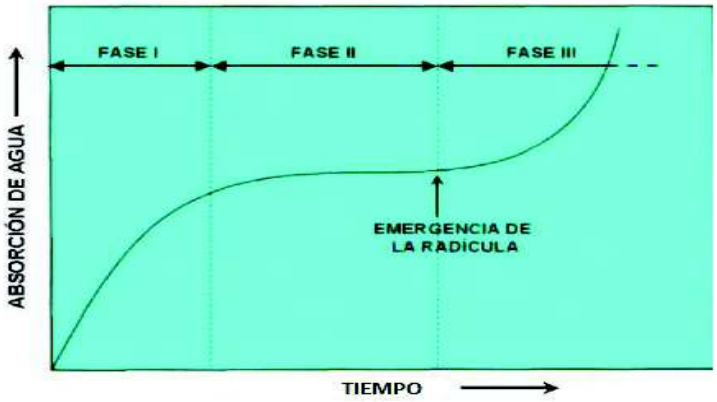

Figura 1.5. Absorción de agua durante las fases de germinación
(Courtis, 2013, p.8)

1.2.3 PROCESOS METABÓLICOS DE LA GERMINACIÓN

1.2.3.1 Respiración celular

La respiración celular puede tener tres rutas funcionales de respiración: ciclo de krebs, glicólisis y pentosas-fosfato, estos procesos respiratorios generan energía en forma de ATP y compuestos intermedios. La energía metabólica proviene de la degradación oxidativa de glucosa o fructosa provenientes de la hidrólisis de almidón o sacarosa, también pueden oxidarse lípidos, glúcidos, ácidos orgánicos y proteínas (Courtis, 2013, p.8).

La primera fase de la germinación se caracteriza por un incremento de la actividad respiratoria debido a la activación de enzimas, la segunda fase se identifica por estabilidad en el intercambio gaseoso y la última fase por presentar una actividad respiratoria intensa (Pita y Pérez, 2000, p.6).

1.2.3.2 Movilización de sustancias de reserva

Las semillas tienen glúcidos, proteínas y lípidos como sustancias de reserva, la proporción de estas sustancias varían de acuerdo a la especie. Durante el proceso de germinación se presenta un fenómeno de movilización de estas

reservas para garantizar la supervivencia hasta que la planta realice fotosíntesis y se transforme en un organismo autótrofo (Matilla, 2016, p.17).

El almidón es un glúcido presente en las semillas y es la reserva principal de energía. La obtención de la energía necesaria para la activación del metabolismo requiere la hidrólisis del almidón a moléculas de glucosa, es precisa la intervención de enzimas amilasas, la síntesis de estas enzimas está determinada por la liberación de giberelinas por parte del embrión. Al inicio del proceso de germinación la degradación del almidón a glucosa se da de forma lenta y conforme avanza incrementa su rapidez hasta casi desaparecer el almidón (Herrera et al., 2006, p. 24; Pérez, 2002, p.187).

En las semillas de amaranto y quinua la principal fuente de reserva energética son las proteínas, las cuales proporcionan aminoácidos. La degradación de las proteínas a aminoácidos requiere de enzimas llamadas proteasas, las cuales son sintetizadas por acción de las giberelinas liberadas por el embrión (Pita y Pérez, 2000, p.7).

En semillas de distintas especies están presentes los lípidos como sustancias de reserva, por acción de las enzimas llamadas lipasas se liberan los ácidos grasos y el glicerol. El glicerol y los ácidos grasos se oxidan e ingresan al ciclo de kreps para oxidarse nuevamente hasta dióxido de carbono y agua, durante esta oxidación se genera energía en forma de ATP (Pérez, 2002, p.187; Pita y Pérez, 2000, p.7-8).

1.2.4 FACTORES QUE AFECTAN LA GERMINACIÓN

1.2.4.1 Factores externos

La germinación requiere la hidratación de los tejidos de la semilla para activar el metabolismo, la semilla se hidrata por capilaridad debido al gradiente de potencial hídrico. El déficit o exceso de agua afecta de forma negativa la germinación,

reduce los porcentajes de germinación (Lallana et al., 2002, p. 11-12). Las semillas que contienen niveles altos de proteína requieren mayor humedad para la germinación (Courtis, 2013, p.11-12).

La temperatura es un factor importante en el proceso de germinación, influye directamente en la actividad enzimática, regula la velocidad de reacción (Suárez y Melgarejo, 2012, p.17). En general las semillas de hábitats tropicales germinan en temperaturas superiores a 25 °C, las semillas nativas de zonas frías germinan en un rango de 5 a 15 °C, las semillas originarias de zonas mediterráneas en temperaturas entre 15 y 20 °C (Pérez, 2002, p.184).

El embrión requiere oxígeno suficiente para mantener su actividad metabólica, la mayoría de semillas germinan en una atmósfera normal con 21 % de oxígeno, las especies acuáticas germinan en concentraciones menores. El exceso de agua dificulta que el oxígeno llegue al embrión (Lallana et al., 2002, p.12).

De acuerdo a la necesidad de luz las semillas se clasifican en: semillas con fotosensibilidad positiva, con fotosensibilidad negativa y no fotosensibles. Las semillas con fotosensibilidad positiva germinan bajo la presencia de luz, con fotosensibilidad negativa germinan en oscuridad, para las semillas no fotosensibles es indiferente la presencia o ausencia de luz (Courtis, 2013, p.15-16; Pita y Pérez, 2000, p.11).

1.2.4.2 Factores internos

Los embriones inmaduros no germinan debido a la disminución de la actividad enzimática, por métodos artificiales se puede romper este tipo de dormancia (Courtis, 2013, p.17).

Un factor interno de la germinación son las fitohormonas, existen hormonas promotoras de la germinación como las giberelinas, auxinas y citoquininas, las hormonas inhibidoras de la germinación son el ácido abscísico y el etileno.

Además existen compuestos fenólicos derivados del metabolismo secundario que inhiben la germinación (Suarez y Melgarejo, 2010, p.18-19).

Los tegumentos son un factor que influye en la germinación, los tegumentos pueden ser duros e impermeables al agua debido a la presencia de ligninas y cutinas (Herrera et al., 2006, p. 29).

1.2.5 PROCESO DE OBTENCIÓN DE GERMINADOS

El proceso de obtención de germinados requiere de las siguientes operaciones: análisis previo de semillas, lavado, desinfección, enjuague pos desinfección, hidratación o remojo, germinación y cosecha.

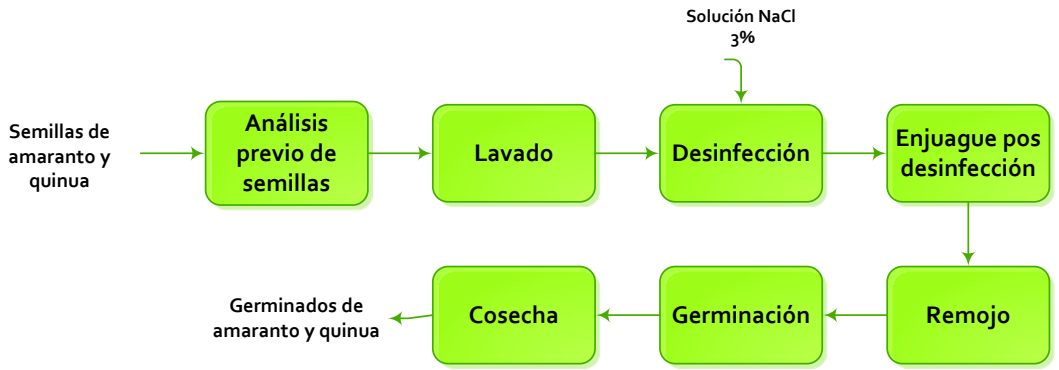

Figura 1.6. Diagrama de flujo del proceso de obtención de germinados de amaranto y quinua

El análisis previo de semillas involucra la evaluación de: colores y olores extraños e infestaciones. Los colores extraños se pueden presentar debido al uso de tratamientos químicos para la conservación de las semillas, los olores extraños pueden ser procedentes de fermentaciones, presencia de moho o agroquímicos (Chaparro et al., 2009, p.39).

El lavado previo a la desinfección permite eliminar las impurezas y mejorar la eficacia del tratamiento posterior, se utiliza agua potable y se repite el proceso hasta obtener semillas limpias (Ramos y Villanueva, 2001, p.96).

El proceso de desinfección elimina los patógenos presentes en las semillas, se utiliza desinfección líquida para garantizar que toda la superficie de la semilla entre en contacto con la solución desinfectante (Barrón et al., 2009, p. 238). Se utiliza hipoclorito de sodio al 3% como solución desinfectante durante 10 min (Flores et al., 2008, p. 2).

El enjuague pos desinfección tiene como objetivo retirar el desinfectante de las semillas, se usa agua libre de patógenos para evitar la contaminación de las semillas (FAO, 2000, p.23).

En el proceso de remojo la semilla se hidrata y activa su metabolismo, las semillas deben permanecer en remojo el tiempo preciso, en el caso de la quinua el remojo debe durar 6 horas y en el amaranto 25 min (Chaparro et al., 2011, p.54). Si se excede el tiempo de remojo se pueden presentar problemas de contaminación con patógenos y reducción de la germinación, el agua usada en este proceso debe estar libre de patógenos (Chaparro et al., 2009, p.40).

En la germinación se controla principalmente temperatura y humedad, la temperatura debe mantenerse en el rango 18 a 30 ˚C y la humedad entre el 60 y 70 %, se debe tener cuidado con la contaminación con microorganismos debido a las condiciones favorables para su proliferación (Bravo et al., 2013, p.56; Rivera, 2016, p.21). Es importante controlar la fuente de agua de riego para evitar la contaminación (FAO, 2000, p.24).

Durante el proceso de cosecha o recolección se debe evitar el contacto con superficies e instrumentos contaminados, finalmente se realiza un enjuague de los germinados con agua potable antes de ser empacados (FAO, 2000, p.24).

1.3 EFECTO DE LA MICROGRAVEDAD SIMULADA EN EL DESARROLLO VEGETAL

Las plantas están expuestas a un campo gravitacional constante, la gravedad es un factor físico que influye en el desarrollo de las plantas y en la orientación de los órganos de las mismas (Duque, 2006, p.153).

1.3.1 GRAVEDAD Y MICROGRAVEDAD

La gravedad es la fuerza ejercida por los cuerpos en función de su masa, todos los objetos que poseen masa ejercen una atracción gravitatoria sobre cualquier otro objeto con masa, a mayor masa existe mayor fuerza de atracción. La fuerza del campo gravitacional en la superficie de la tierra corresponde a una aceleración de 9,81 m/s^2 y se expresa como 1 g (Laván, 2012, p.8).

La microgravedad indica que las fuerzas gravitacionales son pequeñas, casi nulas pero no son igual a 0 (Valdivia y Silva, 2016, p.16). Matemáticamente el termino microgravedad (µg) corresponde a 10^{-6} g; sin embargo, el termino es utilizado para referir aceleraciones menores a 1 g (United Nations, 2013, p.2).

1.3.2 EQUIPO PARA SIMULAR MICROGRAVEDAD

La simulación de microgravedad se puede realizar con un equipo denominado clinostat, existen clinostatos de uno (bidimensional) y dos (tridimensional) ejes de rotación (Gilles y Klaus, 2006, p. 92-93).

El principio para simular microgravedad se basa en la clinorotación, la rotación del clinostat influye sobre el vector gravedad, lo cual hace que el vector cambie constantemente de posición. En un giro completo del clinostat la sumatoria de aceleraciones será casi nula (Gonzáles, 2007, p.5).

Los parámetros que se deben controlar en el uso de un clinostat para simular microgravedad son la velocidad de rotación y diámetro, los cuales determinaran la aceleración residual (United Nations, 2013, p.14).

1.3.3 EFECTO DE LA GRAVEDAD EN LA PLANTA

Las plantas tienen la capacidad de receptar el estímulo de la gravedad y en respuesta permite que la raíz crezca en la dirección del vector gravedad (centro de la tierra), permite el anclaje de la planta al suelo y el posterior crecimiento de la parte vegetativa en dirección contraria. Esta forma de receptar la gravedad es vital para la supervivencia de las plantas en la tierra, ya que permite que las plantas realicen fotosíntesis (United Nations, 2013, p.6).

1.3.4 DETECCIÓN DE LA GRAVEDAD Y REPUESTA

El desarrollo de una planta sometida a ciertas condiciones de gravedad se basa en una cadena de estímulo-respuesta altamente compleja. La señal física de la gravedad se transforma en una señal bioquímica, lo que conduce a una respuesta fisiológica (United Nations, 2013, p.7).

La respuesta gravitrópica se compone de cuatro fases diferentes:

- Fase física: percepción del estímulo
- La transducción del estímulo (cambio del efecto mecánico en un factor bioquímico)
- La transmisión de la señal (desde las células que detectan a las células que dan respuesta)
- Crecimiento diferencial.

La fuerza de la gravedad actúa directamente sobre la masa. La masa en movimiento dentro de un campo gravitacional adquiere energía suficiente para la

activación de los sensores bilógicos. El proceso que percibe la gravedad se llama gravipercepción (United Nations, 2013, p.7).

Existen plantas que son más evolucionadas, en las cuales la gravipercepción se desarrolla en células especializadas que detectan la gravedad, estas células son los estatocitos ubicados en la raíz. Los amiloplastos son vacuolas llenas de almidón que se movilizan en la dirección de la gravedad y activan los receptores del estímulo gravedad. Este proceso causa el incremento en la concentración de calcio y variación en la concentración de auxinas (United Nations, 2013, p.8).

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DE LAS SEMILLAS DE AMARANTO Y QUINUA

En la experimentación se utilizó semillas de amaranto, variedad INIAP ALEGRÍA y quinua, variedad INIAP TUNKAHUAN, proporcionadas por el Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP).

2.1.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LAS SEMILLAS DE AMARANTO Y QUINUA

2.1.1.1 Densidad aparente

Para determinar la densidad aparente se usó la ecuación 2.1. Se pesó un volumen de 100 cm^3 de semillas, se usó un matraz aforado de 100 cm^3 de peso conocido, el peso total de las semillas se determinó por diferencia de pesos. Se utilizó una balanza digital Denver de capacidad 210 g y precisión de 0,0001 g.

La densidad aparente se realizó por triplicado.

$$Da = \frac{P}{va} \qquad [2.1]$$

Dónde:

Da = densidad aparente, g/cm^3
P = peso de semillas, g
va = volumen ocupado por las semillas, cm^3

2.1.1.2 Densidad real

Para determinar la densidad real de las semillas de las dos especies, se usó una probeta con volumen conocido de agua, se colocó en la probeta con agua una masa conocida de semillas y se midió el volumen de agua desplazada. La densidad real se calculó con la ecuación 2.2.

$$Dr = \frac{P}{vr} \qquad [2.2]$$

Dónde:

Dr = densidad real, g/cm^3
P = peso de semillas, g
vr = volumen de agua desplazado, cm^3

2.1.1.3 Espacios de aire

Los espacios de aire se determinaron con los valores obtenidos de densidad aparente y densidad real mediante la ecuación 2.3.

$$E = 1 - \frac{Da}{Dr} \qquad [2.3]$$

Dónde:

E = espacios de aire
Da = densidad aparente, g/cm^3
Dr = densidad real, g/cm^3

2.1.1.4 Peso de 1000 semillas

El peso de 1000 semillas se realizó por triplicado, se tomó muestras de 50 semillas y se pesó en una balanza digital de precisión de 0,001 g. con los datos obtenidos se calculó el peso de las 1000 semillas con la ecuación 2.4 indicada en la norma NTE INEN 1514.

$$P = \frac{p}{n} * 1000 \qquad [2.4]$$

Dónde:

P = peso de 1000 semillas, g
p = peso de la muestra de semillas, g
n = número de semillas en la muestra

2.1.1.5 Dimensiones del grano

Se determinó la dimensión del eje mayor del amaranto y la quinua, la unidad de medición fue en milímetros. La medición se realizó por triplicado y se usó un calibrador digital marca vernier, de capacidad 150mm y precisión 0,01 mm.

2.1.2 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LAS SEMILLAS DE AMARANTO Y QUINUA

En la caracterización química se determinó: humedad, proteína, fibra, contenido de calcio, hierro y ácido ascórbico.

2.1.2.1 Humedad

El contenido de humedad de las semillas de quinua y amaranto se determinó mediante el método AOAC 934.01; los resultados se obtuvieron en g por 100 g de semilla. El contenido de humedad se realizó por duplicado.

2.1.2.2 Proteína

El contenido de proteína de las semillas de las dos especies se determinó mediante el método de Kjeldahl AOAC 920.87, las semillas fueron molidas previamente. El contenido de proteína se determinó por duplicado y se reportó en g de proteína en 100 g de muestra.

2.1.2.3 Fibra

El contenido de fibra se realizó mediante el método AOAC 985.29, el resultado se reportó en g de fibra en 100 g de semillas. Se realizó por duplicado.

2.1.2.4 Calcio

El contenido de calcio de las semillas de amaranto y quinua se determinó mediante el método AOAC 968.08 por absorción atómica. El contenido se determinó por duplicado y esta expresado en mg de calcio por 100 g de muestra. Se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer Aanalyst 400.

2.1.2.5 Hierro

La cuantificación del contenido de hierro en las semillas de las dos especies se realizó por duplicado mediante el método AOAC 965.09 a través de absorción

atómica, el contenido de hierro se reportó en mg por 100 g de muestra. Se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer Aanalyst 400.

2.1.2.4 Ácido ascórbico

La identificación de ácido ascórbico, en las semillas de amaranto y quinua, se realizó por cromatografía líquida de acuerdo al método descrito en el anexo I. El análisis se realizó por duplicado y se utilizó el UPLC de marca Waters.

Para la identificación del ácido ascórbico, se corrió una muestra del estándar (marca Sigma-Aldrich) en el UPLC, se determinó el rango de tiempo en el cual se presenta el pico correspondiente al ácido ascórbico y luego se corrieron las muestras de semillas de amaranto y quinua. La identificación se realizó mediante el área bajo la curva obtenida en el cromatograma (Anexo III) en el rango de tiempo que se presenta el pico de ácido ascórbico.

2.2 CARACTERIZACIÓN AGRONÓMICA DE LOS GERMINADOS DE AMARANTO Y QUINUA OBTENIDOS BAJO CONDICIONES DE MICROGRAVEDAD SIMULADA

2.2.1 PREPARACIÓN DE SEMILLAS Y SUSTRATO

Las semillas fueron desinfectadas mediante dos tratamientos continuos, el primer tratamiento consistió en sumergir las semillas en una solución de etanol al 70 % v/v durante 1 min; luego, en el segundo tratamiento, las semillas fueron sumergidas en una solución de hipoclorito de sodio al 3 % v/v durante 10 min (Flores et al., 2008, p. 2). Finalmente, las semillas fueron lavadas con agua destilada hasta retirar los residuos de los desinfectantes.

Para la experimentación se utilizó un medio de cultivo a base de agar -agar de la marca comercial Duchefa Biochemie Plant Agar-Agar, se utilizó medio de cultivo para dar soporte a las semillas durante la rotación, el sustrato se preparó a una concentración del 1,5 % (1,5 g de agar-agar en 100 mL de agua) y fue esterilizado para evitar contaminación microbiana durante el proceso. Se colocó 14 ml de la solución de sustrato en cada tubo de ensayo (United Nations, 2013, p.22).

2.2.2 CONDICIONES DE OPERACIÓN

En la experimentación se utilizó un clinostat de un eje desarrollado por el Programa de Aplicaciones Espaciales de Naciones Unidas, este equipo utiliza la rotación para simular microgravedad.

El clinostat posee un rango de velocidad de rotación de 0 a 90 rpm, en el rango de 0 a 20 rpm con un incremento de 0,5 rpm y en el rango de 20 a 90 rpm con un incremento de 5 rpm. El equipo tiene capacidad de 20 tubos de ensayo de 1,5 cm de diámetro (Anexo IV). En la **Figura 2.1.** se puede observar el diagrama esquemático de un clinostat.

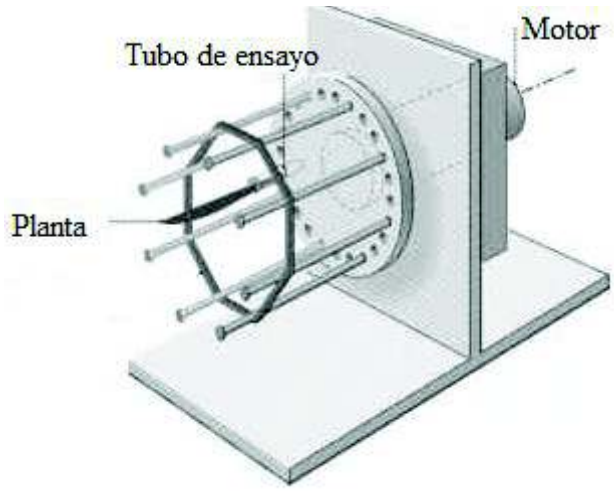

Figura 2.1. Diagrama esquemático de un clinostat de un eje
(Wyatt y Brown, 2015, p.1)

United Nations (2013), recomienda trabajar con una aceleración residual en el orden de 10^{-3} g para simular microgravedad, el radio de giro del clinostat es de 8 cm. Mediante la ecuación 2.5 se determina la velocidad de rotación a la que se va a trabajar.

$$RFC = 1{,}118 \times 10^{-5} \times r \times N^2 \qquad [2.5]$$

Dónde:

RFC = aceleración residual,
r = radio de giro
N = velocidad de rotación

De acuerdo al cálculo realizado en el anexo II, se determinó que la velocidad de rotación es de 3,5 rpm.

2.2.3 DISEÑO EXPERIMENTAL

La investigación se realizó con un diseño experimental unifactorial para cada especie. La variable fue la gravedad con dos niveles: gravedad normal y microgravedad simulada, se realizó en un diseño completamente al azar con 3 repeticiones. La evaluación se realizó durante un periodo de 21 días y los datos agronómicos fueron tomados a los 3, 9, 15 y 21 días.

2.2.4 CARACTERIZACIÓN AGRONÓMICA

La evaluación de las características agronómicas de los germinados de amaranto y la quinua se realizaron durante la germinación y emergencia.

2.2.4.1 Días hasta la germinación

Para determinar el día de germinación de las semillas de amaranto y quinua, se consideró que las semillas presenten la radícula visible de por lo menos 2 mm de largo.

2.2.4.2 Tasa de germinación

Para determinar la tasa de germinación de las dos especies se usó los datos obtenidos de días a la germinación y mediante la ecuación 2.6 se calculó la tasa de germinación.

$$TG = (\frac{G1}{1} + \frac{G2}{2} + \cdots + \frac{Gn}{n}) \times \frac{100}{S} \qquad [2.6]$$

Dónde:

TG = Tasa de germinación, días
G1, G2,…..,Gn = número de semillas germinadas en los días 1, 2,…..,n.
S = Número total de semillas en experimentación

2.2.4.3 Días a la emergencia

La emergencia de las semillas de amaranto y quinua fue evaluada con la variable días a la emergencia, se consideró que el día de emergencia la plántula muestra los cotiledones en forma perpendicular al hipocótilo.

2.3 CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DE LOS GERMINADOS DE AMARANTO Y QUINUA

2.3.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LOS GERMINADOS DE AMARANTO Y QUINUA

La evaluación de las características físicas de los germinados de amaranto y quinua se realizaron cada 3 días durante los 21 días de experimentación, se determinó las variables altura de planta y longitud de la raíz.

2.3.1.1 Altura de planta

Para determinar la altura de planta se midió desde el cuello de la raíz hasta la yema terminal, se utilizó un método no destructivo basado en la toma de fotografías y procesamiento de las mismas (Anexo V). Para la toma de fotografías se usó una cámara fotográfica Sigma sd15 y para el procesamiento de imágenes el software libre ImageJ (Image Processing and Analysis in Java) (Martín et al., 2013, p. 844) (Anexo VI).

2.3.1.2 Longitud de raíz

La longitud de la raíz de los germinados de amaranto y quinua se determinó con un método no destructivo basado en el procesamiento de fotografías. Para capturar las fotografías se usó una cámara fotográfica sigma sd15 y para el procesamiento de imágenes el software libre ImageJ (Image Processing and Analysis in Java) (Martín et al., 2013, p. 844) (Anexo VI).

2.3.2 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LOS GERMINADOS DE AMARANTO Y QUINUA

En la caracterización química de los germinados de las dos especies se realizó a los 3, 9, 15 y 21 días, se determinó humedad, proteína, fibra, contenido de calcio, hierro y ácido ascórbico.

2.3.2.1 Humedad

El contenido de humedad de los germinados de amaranto y quinua se determinó mediante el método AOAC 934.01; los resultados se obtuvieron en g por 100 g de germinados.

2.3.2.2 Proteína

El contenido de proteína de los germinados de las dos especies se determinó con el método de Kjeldahl AOAC 920.87, el contenido de proteína se expresó en g de proteína contenidos en 100 g de muestra de germinados.

2.3.2.3 Fibra

Para determinar el contenido de fibra de los germinados de amaranto y quinua se usó el método AOAC 985.29, el resultado se reportó en g de fibra contenidos en 100 g de germinados.

2.3.2.4 Calcio

El contenido de calcio de los germinados de amaranto y quinua se determinó por absorción atómica mediante el método AOAC 968.08. El contenido se reportó expresado en mg de calcio por 100 g de germinados.

2.3.2.5 Hierro

La determinación del contenido de hierro en los germinados de amaranto y quinua se realizó por absorción atómica mediante el método AOAC 965.09, el contenido de hierro se expresó en mg de hierro por 100 g de germinados.

2.3.2.6 Ácido ascórbico

La identificación de ácido ascórbico en los germinados de las dos especies se realizó con equipo de UPLC (marca Waters) de acuerdo al método descrito en el anexo I.

La variación del contenido de ácido ascórbico de los germinados de amaranto y quinua se reportó en porcentaje, se utilizó el área bajo la curva de los cromatogramas (Anexo III) como se describe en el acápite 2.1.2.4. Se consideró que el área bajo la curva de las semillas de amaranto y quinua es el 100 % y con esa base se calculó las variaciones porcentuales de las áreas reportadas para los germinados de las dos especies.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DE LAS SEMILLAS DE AMARANTO Y QUINUA

3.1.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LAS SEMILLAS

En la caracterización física de las semillas de amaranto y quinua se determinó los siguientes parámetros: masa de 100 cm^3 de semillas, densidad aparente, densidad real, masa de 1000 semillas y tamaño del grano, las características físicas mencionadas se reportan en la tabla 3.1 y 3.2 respectivamente.

Tabla 3.1. Caracterización física de las semillas de amaranto

Parámetro	Unidades	Cantidad
Masa de 1000 semillas	g	1,19 ± 0,03
Tamaño del grano	mm	1,13 ± 0,02
Masa 100 cm^3 de semillas	g	86,83 ± 0,36
Densidad aparente	g/cm^3	0,87 ± 0,00
Densidad real	g/cm^3	1,19 ± 0,02
Espacios de aire	---	0,27 ± 0,01

Los resultados obtenidos en los parámetros masa de 1000 semillas y tamaño del grano de la caracterización química de las semillas de amaranto reportados en la tabla 3.1, se encuentran dentro de los valores establecidos en la norma NTE INEN 2646:2012: Granos y cereales. Grano de amaranto. Requisitos e inspección.

De acuerdo a los requisitos establecidos en la norma, las semillas de amaranto pueden estar dentro de tres grados de calidad para su comercialización y uso en la industria, la muestra de 1000 semillas de amaranto presenta una masa de 1,19 ± 0,03 g y tamaño de grano 1,13 ± 0,02 mm, lo que indica que las semillas

pertenecen al grado 2 (peso de 1000 semillas ≥0,94 y tamaño de grano entre 0,87 a 1,13) y es apta para ser utilizada.

Jiménez (2013), reportó una densidad real de 1,19 g/cm^3 y una densidad aparente de 0,86 g/cm^3 para las semillas de amaranto (p. 41). En este trabajo se obtuvo una densidad real de 1,2 g/cm^3 y una densidad aparente de 0,87 g/cm^3, valores similares a los reportados en el estudio mencionado.

En la tabla 3.2 se reporta los parámetros de la caracterización física de las semillas de quinua. La norma NTE INEN 1673:2013: Quinua. Requisitos establece los parámetros que deben cumplir las semillas de quinua para su comercialización y uso en otros procesos.

Tabla 3.2. Caracterización física de las semillas de quinua

Parámetro	Unidades	Cantidad
Masa de 1000 semillas	g	3,39 ± 0,02
Tamaño del grano	mm	1,89 ± 0,01
Masa 100 cm^3 de semillas	g	80,45 ± 0,17
Densidad aparente	g/cm^3	0,80 ± 0,00
Densidad real	g/cm^3	1,25 ± 0,01
Espacios de aire	---	0,36 ± 0,01

De acuerdo a la norma NTE INEN 1673:2013 las semillas de quinua destinadas a consumo humano se pueden clasificar por el tamaño del grano en extra grandes, grandes, medianos y pequeños. En el presente trabajo se determinó un tamaño de grano de 1,89 ± 0,01, lo que indica que las semillas están en la clasificación grano grande (1,7 a 2 mm), son óptimas para el consumo.

Jiménez (2013), determinó las siguientes características físicas de las semillas de quinua: masa de 1000 semillas igual a 3,33 g, densidad aparente 0,78 g/cm^3 y densidad real 1,19 g/cm^3 (p.41). En este trabajo de obtuvo una masa de 3,39 ± 0,02 correspondiente a las 1000 semillas, densidad aparente de 0,80 ± 0,00 y densidad real de 1,25 ± 0,01.

3.1.2 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LAS SEMILLAS

En la caracterización química de las semillas de amaranto y quinua se determinó los siguientes parámetros: humedad, proteína, fibra, calcio y hierro, las características químicas mencionadas se reportan en la tabla 3.3 y 3.4 respectivamente.

La norma NTE INEN 2646:2012 estable los requisitos químicos del grano de amaranto para la comercialización y procesamiento.

Tabla 3.3. Caracterización química de las semillas de amaranto

Parámetro	Unidades	Cantidad
Humedad	% (g/100g)	11,88 ± 0,09
Proteína	% (g/100g)	16,44 ± 0,08
Fibra	% (g/100g)	5,08 ± 0,01
Calcio	mg/100g	149,59 ± 0,33
Hierro	mg/100g	4,77 ± 0,11
Ácido ascórbico	--	--

La humedad debe alcanzar un máximo de 12 % de acuerdo a la norma NTE INEN 2646:2012, las semillas utilizadas en este estudio presentan una humedad de 11,88 ± 0,09 %, lo que indica que está dentro de los valores establecidos.

El contenido de proteína del grano de amaranto debe ser superior al 14 % para cumplir con la norma. El contenido de 16,44 ± 0,08 % determinado en las semillas utilizadas en el experimento cumple con la norma.

De acuerdo a los requisitos establecidos en la norma, el contenido de fibra en los granos de amaranto no debe exceder el 9 %. En las semillas utilizadas en la parte

experimental de este trabajo se determinó un contenido de 5,08 ± 0,01 %, lo que indica que cumple con los valores establecidos de la norma.

La norma NTE INEN 2646:2012 no establece requisitos en cuanto al contenido de calcio, hierro y ácido ascórbico. Los análisis realizados a las semillas de amaranto reportan un contenido de 149,59 ± 0,33 mg de calcio y 4, 77 ± 0,11 mg de hierro, los cuales son similares a los valores reportados por Bravo et al. (2013).

El contenido de ácido ascórbico no fue determinado únicamente fue identificado, debido a las limitaciones del equipo, por lo que se consideraron los valores de área debajo de los picos de la curva para conocer el cambio en el contenido reportado en los resultados posteriores.

La norma NTE INEN 1673:2013: Quinua. Requisitos establece los parámetros químicos de la quinua para el consumo humano.

Tabla 3.4. Caracterización química de las semillas de quinua

Parámetro	Unidades	Cantidad
Humedad	% (g/100g)	13,27 ± 0,06
Proteína	% (g/100g)	12,00 ± 0,09
Fibra	% (g/100g)	3,69 ± 0,06
Calcio	mg/L	61,84 ± 0,39
Hierro	mg/L	4,55 ± 0,20
Ácido ascórbico	--	--

La humedad de los granos de quinua debe ser máxima de 13,5 % de acuerdo a la norma, la humedad de las semillas utilizadas en este trabajo es de 13,27 %, lo que indica que la humedad es aceptable y está dentro del rango establecido.

El contenido de proteína del grano de quinua debe ser superior a 10% para cumplir con los requisitos de la norma. Las semillas utilizadas en el experimento contienen 12,00 % de proteína, las semillas cumplen con los requisitos de dicha norma.

El contenido de fibra en los granos de quinua debe ser mínimo de 3% para cumplir con la norma. En las semillas utilizadas se determinó un contenido de 3,69 ± 0,06 %, las semillas cumplen con los requisitos de la norma.
Los requisitos de contenido de calcio, hierro y ácido ascórbico de los granos de quinua no están establecidos en la norma NTE INEN 1673:2013, por lo que se compara con resultados obtenidos en otros estudios.

Según Bravo et al. (2013) en un estudio realizado con semillas de quinua reportaron contenidos de 4,2 y 85,0 mg de hierro y calcio, respectivamente. Las semillas de amaranto utilizadas en este trabajo reportaron un contenido de 4,55 ± 0,20 mg de hierro y 61, 84 ± 0,39 mg de calcio, lo que indica que posee contenidos similares a los reportados por el otro estudio.

El contenido de ácido ascórbico no se determinó únicamente se identificó, por lo que se tomaron los valores del área debajo de la curva para conocer la variación en el contenido.

3.2 CARACTERIZACIÓN AGRONÓMICA DE LOS GERMINADOS DE AMARANTO Y QUINUA OBTENIDOS BAJO CONDICIONES DE MICROGRAVEDAD SIMULADA

3.2.1 DÍAS A LA GERMINACIÓN

La tabla 3.5 muestra el porcentaje de germinación de las semillas de amaranto en el tiempo de cinco días bajo dos condiciones de gravedad, gravedad normal y microgravedad simulada. Se puede observar que el proceso de germinación se presenta en el primer día después de la siembra en las semillas sometidas a condiciones de microgravedad simulada, mientras que las semillas en condiciones de gravedad normal inician el proceso al segundo día.

El mayor porcentaje de germinación bajo las condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada se alcanza en el tercer y cuarto día después de la siembra, los porcentajes alcanzados son 30,00 % y 26, 67 % respectivamente. Colmenares (2001) reportó que el mayor porcentaje de germinación de semillas de amaranto se alcanza al tercer día después de la siembra (p. 14), lo cual concuerda con los resultados obtenidos en este experimento.

Tabla 3.5. Porcentaje de germinación de semillas de amaranto

Días a la germinación	Porcentaje de germinación en gravedad normal	Porcentaje de germinación en microgravedad simulada
0	0,00	0,00
1	0,00	$13,33 \pm 5,77^{b}$
2	$23,33 \pm 0,0^{c}$	$23,33 \pm 5,77^{c}$
3	$30,00 \pm 5,77^{c}$	$26,67 \pm 5,77^{c}$
4	$30,00 \pm 0,0^{c}$	$26,67 \pm 11,54^{c}$
5	$3,33 \pm 5,77^{a}$	0,00

$\bar{x} \pm \sigma$ (n = 3)
Letras iguales indican que no existe diferencia estadística significativa (p>0,05) método 95% LSD.

En la **Figura 3.1.** se observan los porcentajes totales de germinación que alcanzaron las semillas de amaranto sometidas a las dos condiciones de gravedad, las semillas sometidas a gravedad normal alcanzaron un porcentaje total de germinación de 86,7 % y las semillas sometidas a microgravedad simulada presentaron un porcentaje total de germinación de 90 %. Bravo et al. (2013) reportaron un porcentaje de germinación de 78 %, los porcentajes reportados en este trabajo son superiores (p. 57).

En condiciones de microgravedad simulada el porcentaje de semillas germinadas es mayor al de las semillas germinadas en condiciones normales, debido a que la microgravedad promueve la activación de las células de las semillas y aumenta la absorción de nutrientes. (Zhao et al, 2002, p.312). En el experimento se demostró que el porcentaje de germinación de semillas de amaranto en microgravedad simulada es mayor en comparación con el porcentaje alcanzado en gravedad normal como lo indica la bibliografía.

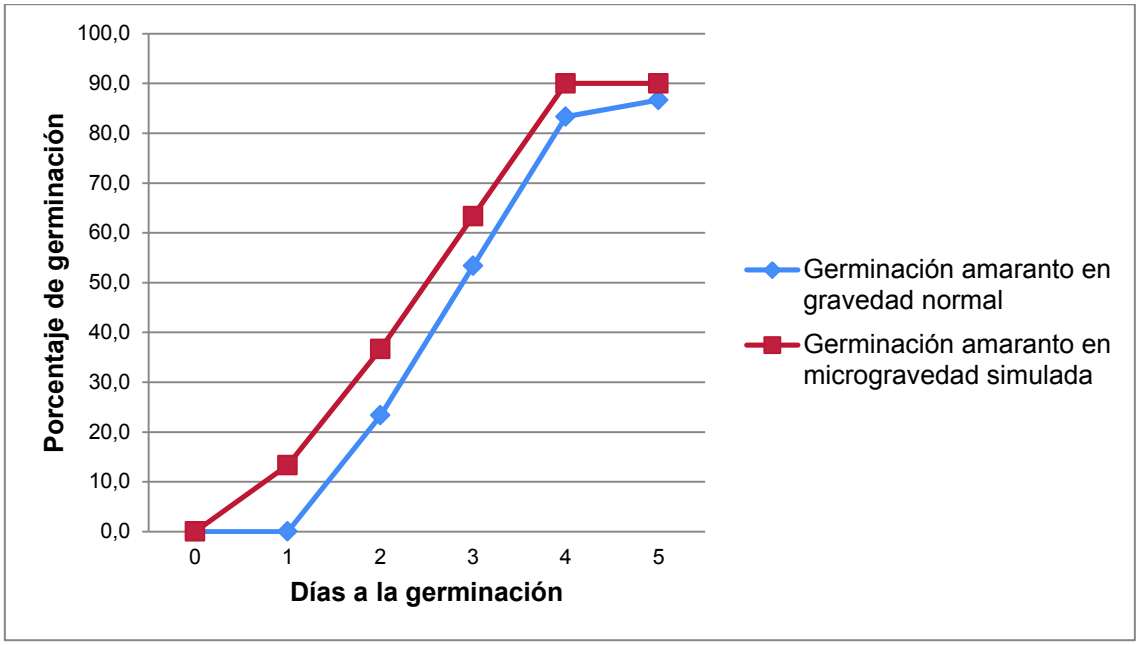

Figura 3.1. Porcentaje de germinación de semillas de amaranto sometidas a condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada

La tabla 3.6 muestra el porcentaje de germinación de las semillas de quinua durante cinco días, en condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada. En los dos tratamientos la germinación inicia en el día uno después de la siembra.

Tabla 3.6. Porcentaje de germinación de semillas de quinua

Días a la germinación	Porcentaje de germinación en gravedad normal	Porcentaje de germinación en microgravedad simulada
0	0,00	0,00
1	$26,67 \pm 5,77^{bc}$	$30,00 \pm 10,00^{c}$
2	$46,67 \pm 5,77^{d}$	$46,67 \pm 11,54^{d}$
3	$20,00 \pm 10,00^{bc}$	$16,67 \pm 11,54^{b}$
4	0,00	$3,33 \pm 5,77^{a}$
5	0,00	0,00

$\bar{x} \pm \sigma$ (n = 3)
Letras iguales indican que no existe diferencia estadística significativa (p>0,05) método 95% LSD.

Se puede observar que las semillas de quinua germinadas en condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada tienen el mismo porcentaje de germinación (46,67 %) en el segundo día después de la siembra, es el día con mayor porcentaje de germinación.

En la **Figura 3.2.** se observa que la germinación bajo las dos condiciones de gravedad se comporta de forma ascendente hasta finalizar la germinación. Las semillas de quinua en condiciones de gravedad normal alcanza un porcentaje total de germinación de 93,3 %, las semillas en condiciones de microgravedad simulada alcanza un porcentaje total de germinación de 96,7 %, se evidencia que el porcentaje de germinación es mayor en condiciones de microgravedad simulada. Bravo et al. (2013) reportan el 95 % de germinación en semillas de quinua en condiciones normales, por lo que se determina que los porcentajes alcanzados son aceptables (p.57).

La germinación de semillas de quinua en condiciones de microgravedad simulada finaliza al cuarto día después de la siembra, mientras que las semillas en condiciones de gravedad normal finalizan el proceso al tercer día.

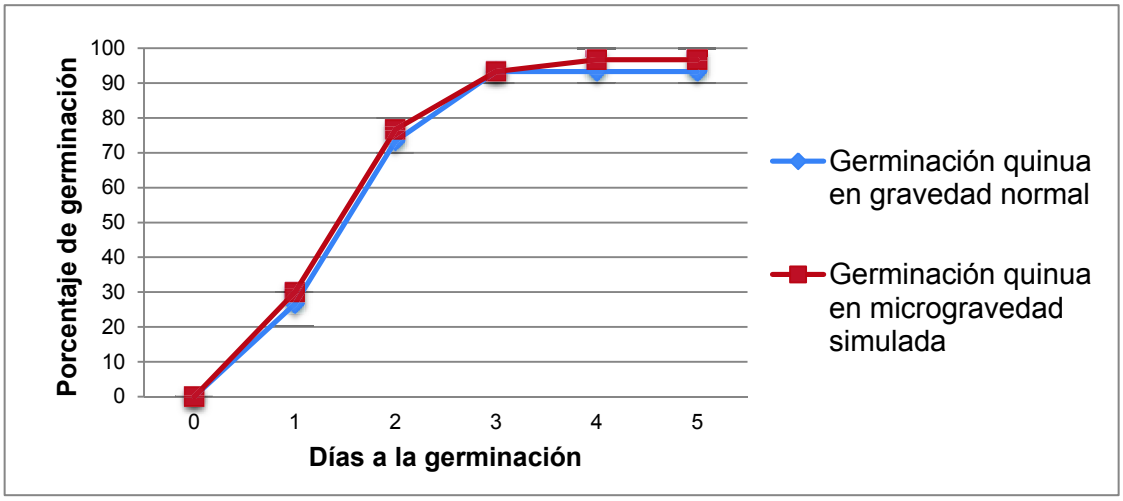

Figura 3.2. Porcentaje de germinación de semillas de quinua sometidas a condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada

3.2.2 TASA DE GERMINACIÓN

En la tabla 3.7 se indica los índices de la tasa de germinación para las semillas de amaranto y quinua sometidas a gravedad normal y microgravedad. Clavijo y Baker (2000), mencionan que el índice de la tasa de germinación indica la velocidad del proceso.

Tabla 3.7. Índice de la tasa de germinación

Tratamiento	Índice de la tasa de germinación
Germinación de amaranto en gravedad normal	$29,83 \pm 4,19^{a}$
Germinación de amaranto en microgravedad	$40,56 \pm 2,52^{b}$
Germinación de quinua en gravedad normal	$56,67 \pm 6,25^{a}$
Germinación de quinua en microgravedad	$59,72 \pm 4,41^{b}$

$\bar{x} \pm \sigma$ (n = 3)
Letras iguales para cada especie indican que no existe diferencia estadística significativa ($p>0,05$) método 95% LSD.

En el proceso de germinación de las semillas de amaranto bajo dos condiciones de gravedad, se obtuvo un índice de la tasa de germinación de 29,83 en gravedad normal y de 40,56 en microgravedad simulada. Las semillas de amaranto sometidas a condiciones de microgravedad simulada presentan una germinación más rápida.

En el proceso de germinación de las semillas de quinua en condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada se encontró índices de la tasa de germinación de 56,67 y 59,72 respectivamente, lo que indica que las semillas sometidas a germinación en condiciones de microgravedad simulada presentaron el proceso de forma más rápida.

En general las semillas de quinua presentan un índice de la tasa de germinación y por lo tanto un proceso germinativo más rápido. Las dos especies presentan diferencia estadísticamente significativa en el índice de la tasa de germinación

cuando las semillas son sometidas a condiciones de microgravedad. Zhao (2002), encontró que el índice de la tasa de germinación es mayor cuando el proceso se da en condiciones de microgravedad simulada en semillas de arveja. Lo que coincide con los resultados obtenidos en este experimento.

3.2.3 DÍAS A LA EMERGENCIA

En la tabla 3.8 se muestra el porcentaje de emergencia de las plántulas de amaranto por día. Las semillas de amaranto sometidas a condiciones de gravedad normal inician la emergencia al octavo día después de la siembra y finalizan al décimo primer día, las semillas sometidas a condiciones de microgravedad simulada inician la emergencia al séptimo día y finaliza el décimo día. Hurtado (2000) reportó que la emergencia de las semillas de amaranto se da entre el séptimo y décimo día en condiciones normales, los resultados de este experimento están dentro del rango (p.55).

El mayor porcentaje de emergencia se presenta en el noveno y décimo día, se obtuvó el 30,00 % de emergencia en el caso de las semillas de amaranto tratadas en gravedad normal y 26,67 % de emergencia en las semillas de amaranto sometidas a condiciones de microgravedad simulada.

Tabla 3.8. Porcentaje de emergencia de plántulas de amaranto

Días a la germinación	Porcentaje de emergencia en gravedad normal	Porcentaje de emergencia en microgravedad simulada
6	0,00	0,00
7	0,00	0,00
8	$23,33 \pm 5,77^{b}$	$36,70 \pm 5,77^{c}$
9	$36,70 \pm 5,77^{c}$	$30,00 \pm 0,00^{bc}$
10	$23,30 \pm 11,55^{b}$	$23,30 \pm 5,77^{b}$
11	$3,33 \pm 5,77^{a}$	0,00

$\bar{x} \pm \sigma$ (n = 3)
Letras iguales indican que no existe diferencia estadística significativa (p>0,05) método 95% LSD

En la **Figura 3.3.** se puede observar el comportamiento ascendente de la emergencia de las plántulas de amaranto en condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada.

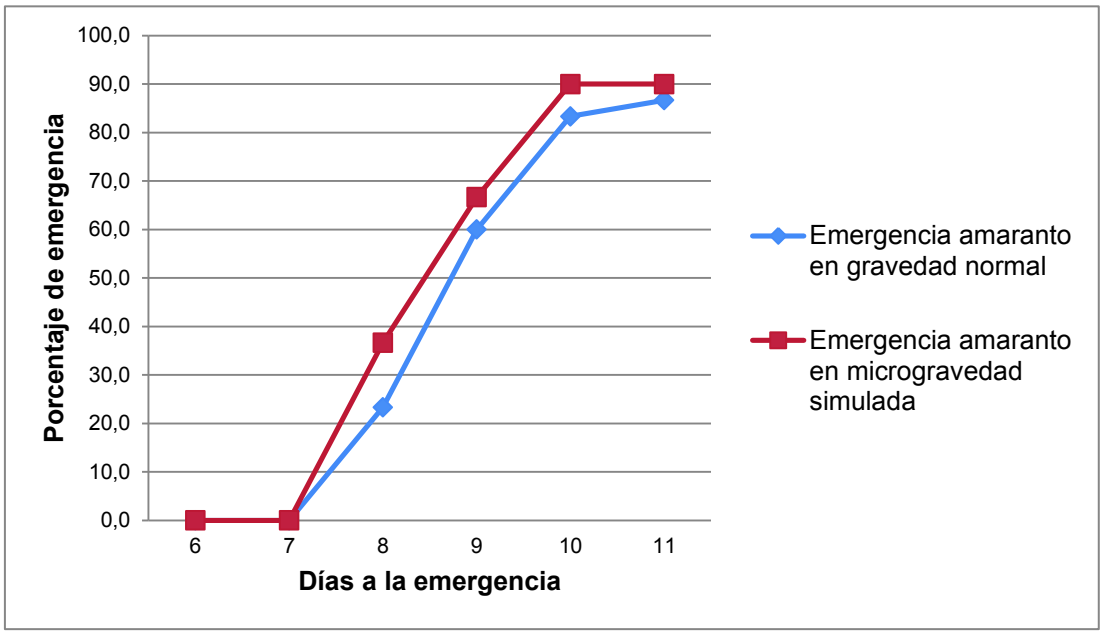

Figura 3.3. Porcentaje de emergencia de las plántulas de amaranto sometidas a condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada

En la tabla 3.9 se indica el porcentaje de emergencia de las plántulas de quinua por día. Las semillas de quinua sometidas a condiciones de gravedad normal inician la emergencia al séptimo día después de la siembra y finalizan el noveno día, las semillas sometidas a microgravedad simulada inician la emergencia al séptimo día y finaliza en el décimo día. Morales y Moniesdecca (2000) indican que la emergencia de la quinua en condiciones de gravedad normal inicia en el sexto día después de la siembra y finaliza en el noveno día (p.40).

El mayor porcentaje de emergencia se muestra en el octavo día, 46, 67 % de emergencia en el caso de las semillas tratadas en gravedad normal y 40 % de emergencia en las semillas sometidas a condiciones de microgravedad simulada.

Tabla 3.9. Porcentaje de emergencia de plántulas de quinua

Días a la emergencia	Porcentaje de emergencia en gravedad normal	Porcentaje de emergencia en microgravedad simulada
6	0,00	0,00
7	$23,33 \pm 5,77^{cd}$	$33,33 \pm 11,55^{ef}$
8	$46,67 \pm 5,77^{g}$	$40,00 \pm 0,00^{fg}$
9	$23,33 \pm 15,27^{cd}$	$16,67 \pm 11,55^{bc}$
10	0,00	$6,67 \pm 5,77^{ab}$
11	0,00	0,00

$\bar{x} \pm \sigma$ (n = 3)
Letras iguales indican que no existe diferencia estadística significativa (p>0,05) método 95% LSD.

En la **Figura 3.4.** se puede observar el comportamiento ascendente de la emergencia de las plántulas de quinua en condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada.

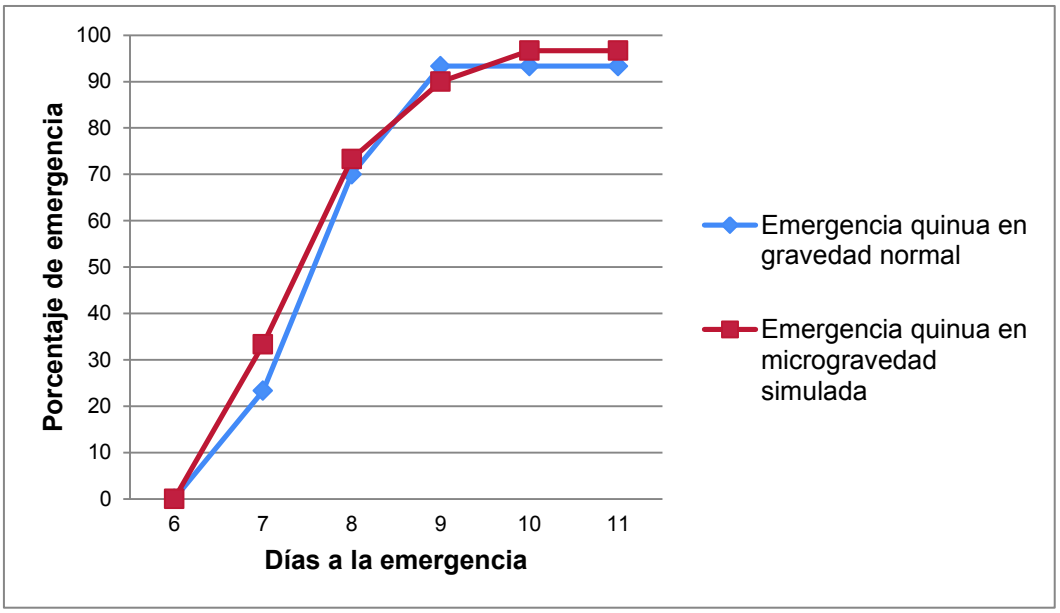

Figura 3.4. Porcentaje de emergencia de las plántulas de quinua sometidas a condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada

3.3 CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DE LOS GERMINADOS DE AMARANTO Y QUINUA

3.3.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LOS GERMINADOS DE AMARANTO Y QUINUA

En la caracterización química de los germinados de las dos especies se determinó la altura de planta y tamaño de raíz

3.3.1.1 Altura de planta

En la tabla 3.10 se indica la altura de planta de amaranto obtenidas en gravedad normal y microgravedad simulada a partir del día 9 después de la siembra, se realiza la toma de datos desde el día 9 debido a que la emergencia en el caso del amaranto inicia en el día 7 y 8.

Tabla 3.10. Altura de planta de amaranto en condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada

Días a la germinación	Altura de planta amaranto germinado en gravedad normal (mm)	Altura de planta amaranto germinado en microgravedad simulada (mm)
9	$11{,}03 \pm 0{,}12^{a}$	$12{,}45 \pm 0{,}33^{b}$
12	$15{,}55 \pm 0{,}44^{b}$	$15{,}94 \pm 0{,}52^{c}$
15	$20{,}77 \pm 0{,}47^{d}$	$21{,}97 \pm 0{,}28^{e}$
18	$27{,}45 \pm 0{,}51^{f}$	$29{,}39 \pm 0{,}48^{g}$
21	$35{,}17 \pm 0{,}49^{h}$	$39{,}12 \pm 0{,}54^{i}$

$\bar{x} \pm \sigma$ (n = 3)
Letras iguales indican que no existe diferencia estadística significativa (p>0,05) método 95% LSD.

Se puede observar que las plántulas de amaranto bajo dos condiciones de gravedad crecen de forma progresiva. Existe diferencia significativa en la variable altura de planta en condiciones de microgravedad simulada y gravedad normal durante el periodo de experimentación.

La altura de planta es mayor en microgravedad simulada comparada con la altura de planta en gravedad normal, este comportamiento se presenta durante los 21 días de experimentación, este comportamiento es igual al reportado por Hoson et al. (2014) los cuales indican que la tasa de crecimiento y el tamaño de planta son mayores en condiciones de microgravedad simulada (p.95).

En la tabla 3.11 se reporta la altura de planta de quinua obtenidas en gravedad normal y microgravedad simulada a partir del día 9 después de la siembra, se realiza la toma de datos desde el día 9 debido a que la emergencia de la quinua inicia en el día 7.

Las plantas se desarrollan de forma progresiva durante los 21 días bajo las dos condiciones de gravedad. Colla, Rouphael, Cardarelli, Mazzucato y Olimpieri (2007) encontraron que la microgravedad simulada incide en el tamaño de planta, en este experimento la variable altura de planta se comporta de forma similar al estudio mencionado, debido a que no existe significancia estadística entre la altura de planta de la quinua desarrollada en gravedad normal y microgravedad simulada a lo largo de los 21 días.

Tabla 3.11. Altura de planta de quinua en condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada

Días a la germinación	Altura de planta quinua germinada en gravedad normal (mm)	Altura de planta germinada en microgravedad simulada (mm)
9	$13{,}23 \pm 0{,}22^{a}$	$17{,}25 \pm 0{,}33^{b}$
12	$18{,}85 \pm 0{,}24^{c}$	$21{,}48 \pm 0{,}23^{d}$
15	$25{,}49 \pm 0{,}76^{e}$	$28{,}51 \pm 0{,}24^{f}$
18	$34{,}12 \pm 0{,}65^{g}$	$38{,}39 \pm 0{,}51^{h}$
21	$41{,}27 \pm 0{,}72^{i}$	$49{,}04 \pm 0{,}57^{j}$

$\bar{x} \pm \sigma$ (n = 3)
Letras iguales indican que no existe diferencia estadística significativa (p>0,05) método 95% LSD.

3.3.1.2 Tamaño de raíz

En la tabla 3.12 se muestra el tamaño de raíz de los germinados de amaranto obtenidos en condiciones de gravedad normal y microgravedad cada 3 días durante 21 días.

El tamaño de raíz de los germinados de amaranto aumenta de forma progresiva de acuerdo al tiempo, los germinados de amaranto obtenidos en gravedad normal alcanzan un tamaño de raíz de 45,75 ± 0,39 mm a los 21 días y los germinados obtenidos en microgravedad simulada 49,12 ± 0,42 mm, los germinados de mayor tamaño son los obtenidos en microgravedad simulada.

En las muestras correspondientes a los 3 días después de la siembra se encuentra una diferencia de 17,26 % en el crecimiento del sistema radicular, los germinados obtenidos en condiciones de gravedad simulada son los de mayor tamaño. Aarrouf et al. (1999), afirman que el estímulo de microgravedad simulada promueve la morfogénesis de raíces, lo cual se evidenció en el presente estudio.

Tabla 3.12. Tamaño de raíz de los germinados de amaranto en condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada

Días a la germinación	Tamaño de raíz de amaranto germinado en gravedad normal (mm)	Tamaño de raíz de amaranto germinado en microgravedad simulada (mm)
3	$3,36 \pm 0,25^{a}$	$3,94 \pm 0,23^{b}$
6	$5,68 \pm 0,28^{c}$	$6,68 \pm 0,19^{d}$
9	$11,87 \pm 0,31^{e}$	$13,15 \pm 0,24^{f}$
12	$20,94 \pm 0,45^{g}$	$23,45 \pm 0,34^{h}$
15	29,09 ± 0,33i	$32,89 \pm 0,11^{j}$
18	$38,49 \pm 0,47^{k}$	$44,97 \pm 0,29^{l}$
21	$45,75 \pm 0,39^{m}$	$47,12 \pm 0,42^{n}$

$\bar{x} \pm \sigma$ (n = 3)
Letras iguales indican que no existe diferencia estadística significativa (p>0,05) método 95% LSD.

En la **Figura 3.5.** se muestra gráficamente el tamaño de raíz alcanzado por los germinados de amaranto obtenidos en gravedad normal y microgravedad. Se observa que durante el proceso de germinación, los brotes obtenidos en microgravedad simulada presentan mayor tamaño de raíz en comparación con los germinados obtenidos en gravedad normal, esta diferencia de tamaño de raíz se mantiene durante los 21 días.

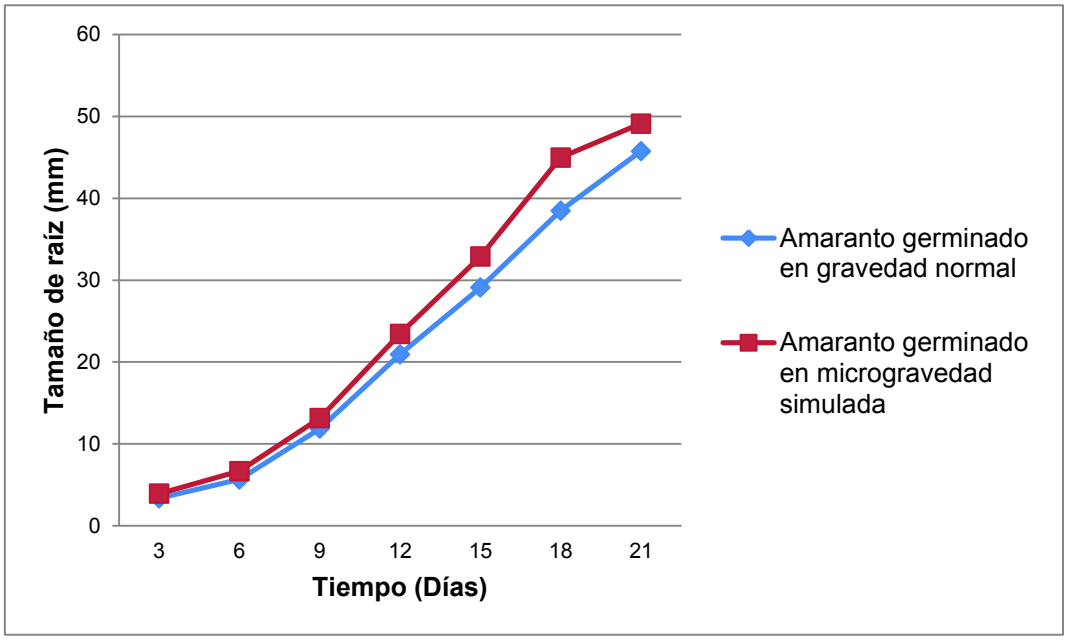

Figura 3.5. Tamaño de raíz de los germinados de amaranto en condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada

En la tabla 3.13 se muestra el tamaño de raíz de los germinados de quinua brotados en gravedad normal y microgravedad cada 3 días durante los 21 días de experimentación.

Tabla 3.13. Tamaño de raíz de los germinados de quinua en condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada

Días a la germinación	Tamaño raíz de quinua germinada en gravedad normal (mm)	Tamaño raíz quinua germinada en microgravedad simulada (mm)
3	$4,56 \pm 0,13^{a}$	$5,89 \pm 0,36^{b}$
6	$8,56 \pm 0,25^{c}$	$10,45 \pm 0,24^{d}$
9	$18,78 \pm 0,19^{e}$	$21,65 \pm 0,22^{f}$
12	$30,15 \pm 0,15^{g}$	$35,98 \pm 0,33^{h}$
15	$38,79 \pm 0,56^{i}$	$46,61 \pm 0,41^{j}$
18	$47,76 \pm 0,45^{k}$	$57,35 \pm 0,41^{l}$
21	$58,87 \pm 0,22^{m}$	$59,24 \pm 0,49^{m}$

$\bar{x} \pm \sigma$ (n = 3)
Letras iguales indican que no existe diferencia estadística significativa (p>0,05) método 95% LSD.

Se evidencia un crecimiento progresivo de la raíz de los germinados durante los 21 días, los germinados obtenidos en condiciones de gravedad normal alcanzan una longitud de raíz de 58,87 ± 0,22 mm a los 21 días mientras que los germinados obtenidos en microgravedad simulada alcanzan un tamaño de raíz de 59,94 ± 0,49 mm.

A los 3 días después de la siembra, los germinados obtenidos en microgravedad simulada presentan un 29,17 % de incremento en la longitud de la raíz en comparación con los germinados obtenidos en condiciones de gravedad normal. Aarrouf et al. (1999), reportaron un incremento del 30 % en el crecimiento del sistema radicular en el quinto día después de la siembra.

En la **Figura 3.6.** se representa gráficamente el tamaño de raíz alcanzado por los germinados de quinua en gravedad normal y microgravedad. Se observa que durante el proceso de experimentación los germinados obtenidos en microgravedad simulada presentan mayor tamaño de raíz en comparación con los germinados obtenidos en gravedad normal, esta diferencia de tamaño de raíz se mantiene hasta el día 18 después de la siembra y a los 21 días después de la siembra el tamaño de raíz tiende a ser igual.

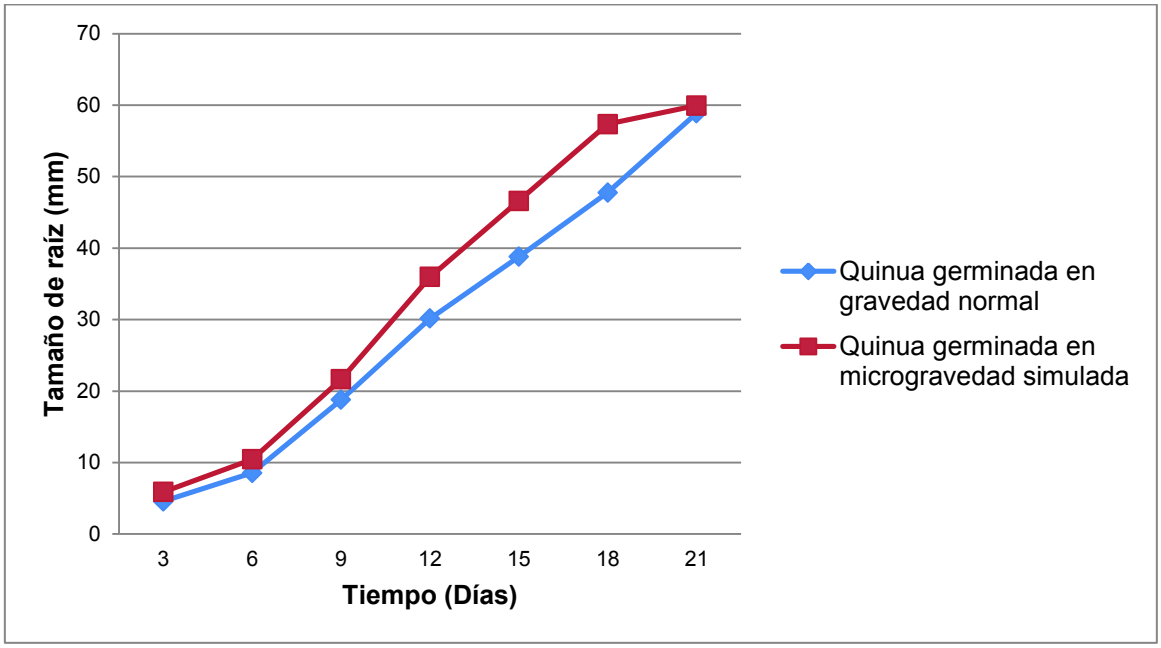

Figura 3.6. Tamaño de raíz de los germinados de quinua en condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada

3.3.2 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LOS GERMINADOS DE AMARANTO Y QUINUA

3.3.2.1 Humedad

En la tabla 3.14 se muestra el contenido de humedad de los germinados de amaranto obtenidos a los 3, 9, 15 y 21 días después de la siembra. El contenido de humedad en los germinados se incrementa durante el tiempo.

La humedad se incrementa en los germinados en comparación a la humedad reportada por las semillas (tabla 3.3), se debe a la absorción de agua que requieren las semillas de amaranto en la fase de imbibición durante el proceso de germinación (Colmenares, 2001, p.14).

La humedad de los germinados de amaranto obtenidos en condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada no tiene diferencia estadísticamente significativa a los 3, 9, 15 y 21 días después de la siembra, la humedad no se ve afectada por la microgravedad simulada.

Tabla 3.14. Humedad de los germinados de amaranto obtenidos en condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada

Tratamiento	3 Días	9 días	15 días	21 días
Germinados de amaranto obtenidos en gravedad normal	54, 63 ± 0,10[a]	58,38 ± 0,13[b]	77, 38 ± 0,34[c]	81,03 ± 0,34[d]
Germinados de amaranto obtenidos en microgravedad simulada	54,33 ± 0,13[a]	58, 23 ± 0,07[b]	76,79 ± 0,37[c]	81, 22 ± 0,33[d]

$\bar{x} \pm \sigma$ (n = 2)
Letras iguales indican que no existe diferencia estadística significativa (p>0,05) método 95% LSD.

La humedad se mantiene en aproximadamente 81% a los 21 días tanto en los germinados de amaranto obtenidos en condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada.

En la **Figura 3.7.** se puede observar que no existe diferencia significativa entre la humedad de los germinados de amaranto obtenidos en condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada. Además se puede observar que la humedad para los dos tratamientos incrementa con los días, Colmenares (2001) menciona en su estudio que la humedad en los germinados de amaranto incrementa con el pasar del tiempo y llega a alcanzar el 85,4 %, este incremento se debe a la absorción de agua desde el sustrato (p. 39).

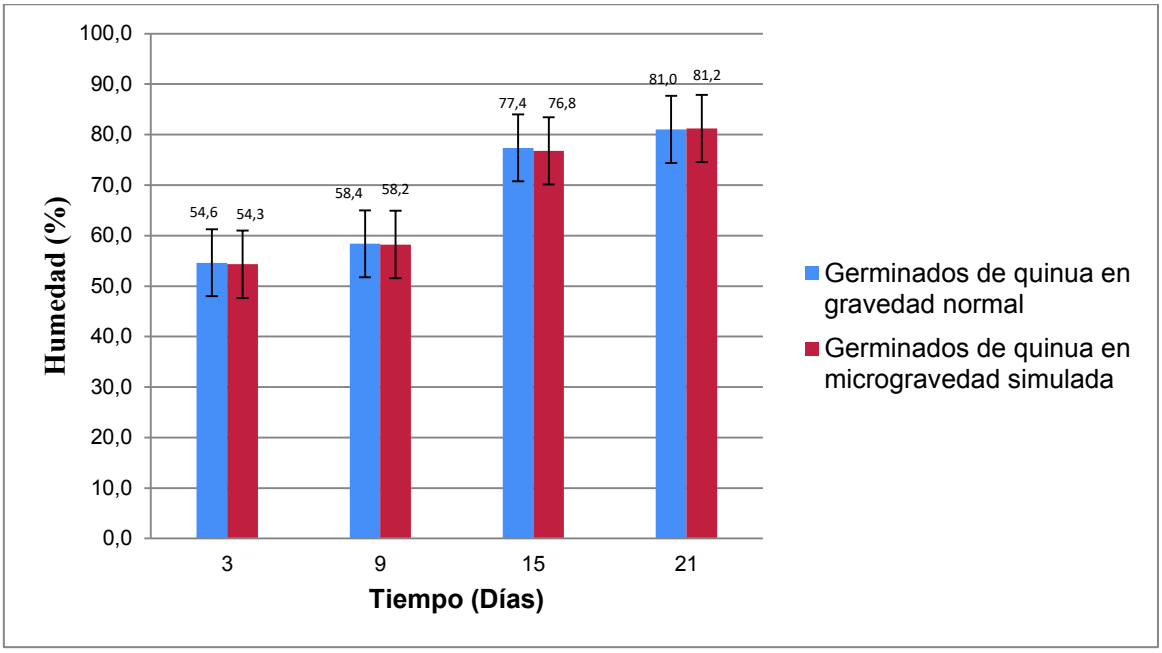

Figura 3.7. Porcentaje de humedad de los germinados de amaranto sometidas a condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada

En la tabla 3.15 se indica el porcentaje de humedad de los germinados de quinua obtenidos a los 3, 9, 15 y 21 días después de la siembra. Se evidencia que el contenido de humedad en los germinados se incrementa con el tiempo.

Tabla 3.15. Humedad de los germinados de quinua obtenidos en condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada

Tratamiento	3 Días	9 días	15 días	21 días
Germinados de quinua obtenidos en gravedad normal	57, 74 ± 0,37[a]	72, 32 ± 1,86[b]	80, 90 ± 0,38[c]	80,58 ± 0,46[c]
Germinados de quinua obtenidos en microgravedad simulada	57,78 ± 0,13[a]	72, 29 ± 0,48[b]	80,64 ± 0,16[c]	80, 75 ± 0,32[c]

$\bar{x} \pm \sigma$ (n = 2)
Letras iguales indican que no existe diferencia estadística significativa (p>0,05) método 95% LSD.

Los germinados de quinua obtenidos en condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada a los 3 días después de la siembra presentan el 57, 74 ± 0,37 % y 57,78 ± 0,13 % de humedad, respectivamente; Valencia (2015) reportó un contenido de humedad de 60,47 % a los 3 días del proceso de germinación en semillas de quinua, que son similares a los valores de este experimento.

Los germinados presentan un mayor porcentaje de humedad en comparación al contenido de humedad de las semillas de quinua reportado en la tabla 3.9, este incremento se debe a la absorción de agua durante la fase de imbibición en el proceso de germinación (Pita y Pérez, 2000, p.6).

El contenido de humedad de los germinados de quinua obtenidos en condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada no tienen diferencia estadísticamente significativa los 3, 9, 15 y 21 días después de la siembra, la humedad no se ve afectada por la microgravedad simulada, la humedad máxima que alcanzan los germinados de quinua obtenidos en condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada a los 21 días es 80 %.

En la **Figura 3.8.** se puede observar que no existe diferencia significativa en el contenido de humedad de los germinados obtenidos bajo dos condiciones de gravedad, además de que el contenido de humedad en los germinados incrementa con el tiempo.

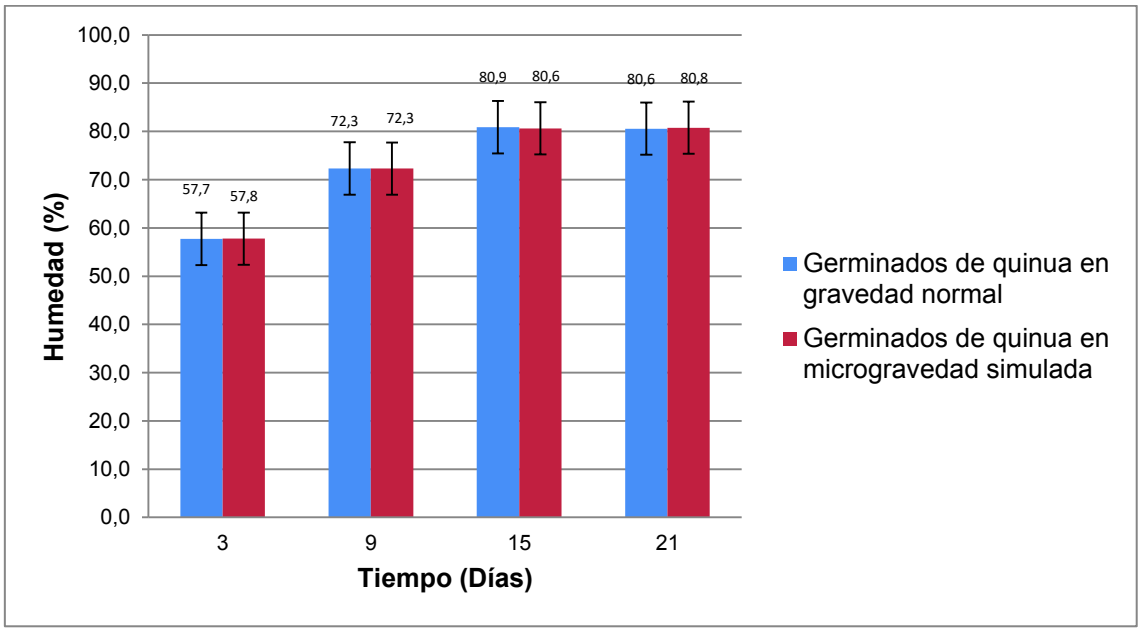

Figura 3.8. Porcentaje de humedad de los germinados de quinua sometidas a condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada

3.3.2.2 Proteína

En la tabla 3.16 se indica el contenido de proteína de los germinados de amaranto obtenidos a los 3, 9, 15 y 21 días después de la siembra, bajo dos condiciones de gravedad.

Tabla 3.16. Contenido de proteína de los germinados de amaranto obtenidos en condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada

Tratamiento	3 Días	9 días	15 días	21 días
Germinados de amaranto obtenidos en gravedad normal	5,85 ± 0,09[a]	6, 32 ± 0,18[ab]	9,51 ± 0,23[d]	11,71 ± 0,34[e]
Germinados de amaranto obtenidos en microgravedad simulada	5, 75 ± 0,06[a]	6, 59 ± 0,18[b]	7, 48 ± 0,13[c]	9,67 ± 0,18[d]

$\bar{x} \pm \sigma$ (n = 2)
Letras iguales indican que no existe diferencia estadística significativa (p>0,05) método 95% LSD.

El contenido de proteína disminuye durante el proceso de germinación, en el día 3 después de la siembra los germinados de amaranto obtenidos en gravedad normal y microgravedad simulada presentan 5,75 ± 0,06 % y 5,85 ± 0,09 % respectivamente, existe una disminución considerable al comparar con el contenido de proteína de las semillas de amaranto (16,44 ± 0,08 %), este hecho se debe a la necesidad de energía durante la germinación (Pita y Pérez, 2000, p.7).

La disminución del contenido de proteína en el amaranto se presenta durante los primeros días de germinación debido a la degradación de las proteínas de reserva, para la utilizar los aminoácidos en la síntesis de enzimas (Barrón et al., 2009, p.240).

En la **Figura 3.9.** se observa que el contenido de proteína en los germinados de amaranto incrementa en los dos tratamientos conforme pasa el tiempo, Chaparro, Pismag, Elizalde, Vivas y Erazo (2010) reportaron incremento en el contenido de proteína durante la germinación de semillas de amaranto (p. 39).

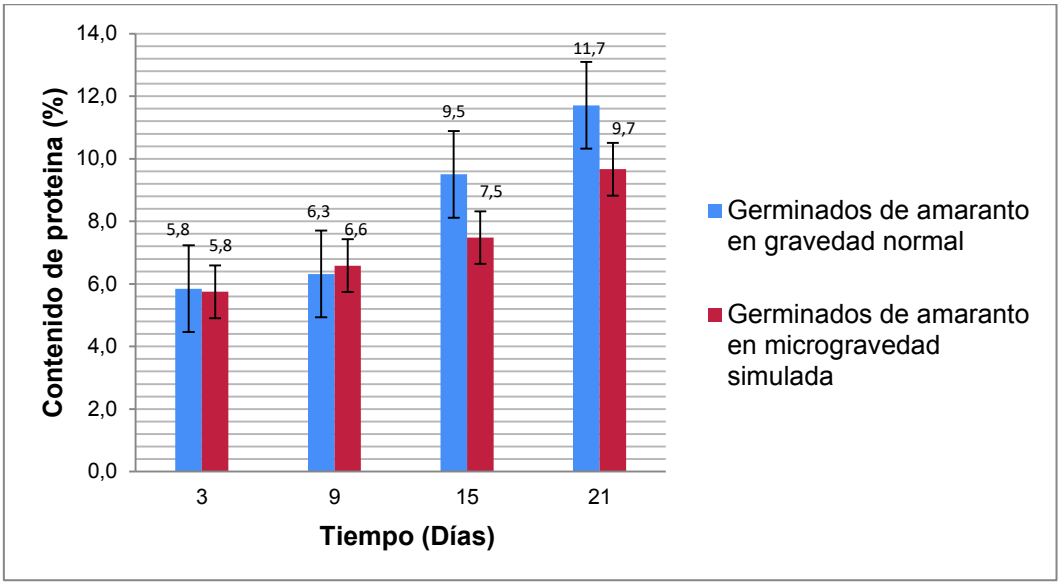

Figura 3.9. Contenido de proteína de los germinados de amaranto sometidos a condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada

En la tabla 3.17 se indica el contenido de proteína de los germinados de quinua obtenidos a los 3, 9, 15 y 21 días después de la siembra.

Tabla 3.17. Contenido de proteína los germinados de quinua obtenidos en condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada

Tratamiento	3 Días	9 días	15 días	21 días
Germinados de quinua obtenidos en gravedad normal	4, 07 ± 0,05[a]	6,92 ± 0,01[cd]	7,51 ± 0,23[e]	8,86 ± 0,16[f]
Germinados de quinua obtenidos en microgravedad simulada	4, 01 ± 0,13[a]	5, 18 ± 0,13[b]	6, 75 ± 0,09[c]	7,21 ± 0,06[de]

$\bar{x} \pm \sigma$ (n = 2)
Letras iguales indican que no existe diferencia estadística significativa (p>0,05) método 95% LSD.

Los germinados de quinua obtenidos a los 3 días después de la siembra tanto en condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada presentan 4,07 ± 0,01 % y 4, 01 ± 0,09 % de proteína. El contenido de proteína se reduce en comparación al contenido inicial de las semillas.

La disminución del contenido de proteína en los germinados de quinua se presenta durante los primeros días de germinación al igual que en los germinados

de amaranto, debido a la degradación de las proteínas de reserva, para utilizar los aminoácidos en la síntesis de enzimas (Barrón et al., 2009, p.240).

En las ultimas muestras se evidencia un incremento en el contenido de proteína, en los germinados de quinua en condiciones de gravedad normal el contenido de pasa de 4, 07 ± 0,05 % a 8,86 ± 0,16 % mientras que en condiciones de microgravedad simulada pasa de 4,01 ± 0,13 % a 7,21 ± 0,06 %. En este periodo los germinados de quinua obtenidos en condiciones de microgravedad simulada presentan un menor contenido de proteína.

En la **Figura 3.10.** se puede observar que no existe diferencia significativa entre el contenido de proteína de los germinados de quinua obtenidos en condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada en los 3 días después de la siembra. Las muestras correspondientes a los 9, 15 y 21 días muestran una diferencia significativa en el contenido de proteína.

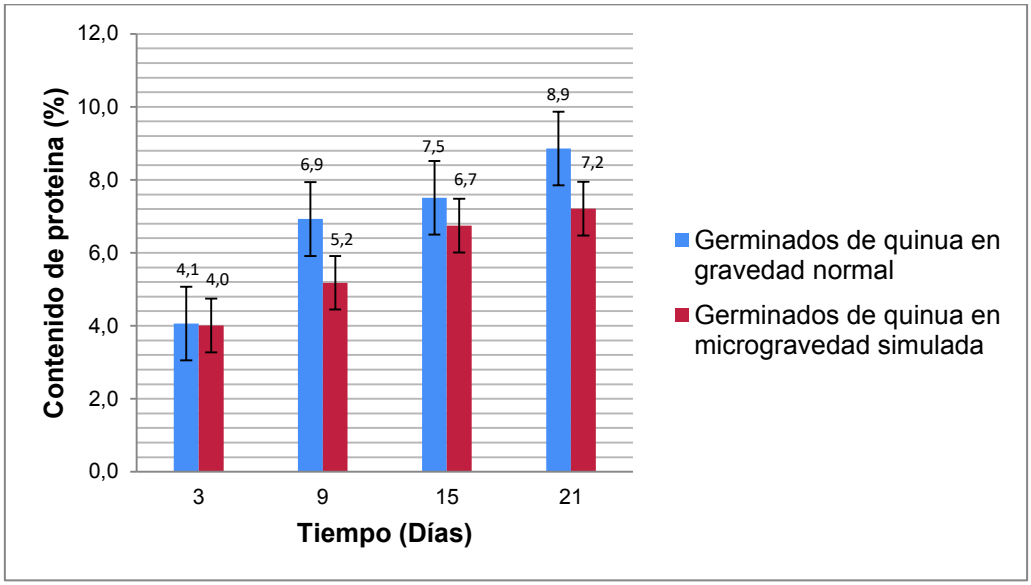

Figura 3.10. Contenido de proteína de los germinados de quinua sometidos a condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada

3.3.2.3 Fibra

En la tabla 3.18 se muestra el contenido de fibra presente en los germinados de amaranto, el contenido de fibra al tercer día después de la siembra es menor que el contenido de fibra que presentan las semillas de quinua antes del proceso de germinación (Tabla 3.3).

El contenido de fibra durante el proceso de germinación se incrementa para los dos tratamientos a partir del día 3, se observa que a los 21 días los germinados presentan mayor contenido de fibra, 2,42 ± 0,04 y 2,78 ± 0,14 respectivamente para los germinados de amaranto obtenidos en condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada. Nishimura, Taniguchi y Kiriyama (2000), reportaron incremento en el contenido de fibra durante la germinación a partir del quinto día, el comportamiento del contenido de fibra fue similar en este experimento.

El contenido de fibra en los germinados de amaranto se reduce al tercer día en comparación con el contenido inicial de la semilla debido a la degradación de la pared celular para permitir el proceso de germinación, en los siguientes días tiende a incrementar el contenido de fibra debido a la generación de estructuras y mayor presencia de celulosa (Buenrostro, Jiménez y Martínez, 2016, p.10).

Tabla 3.18. Contenido de fibra en los germinados de amaranto obtenidos en condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada

Tratamiento	3 Días	9 días	15 días	21 días
Germinados de amaranto obtenidos en gravedad normal	1,42 ± 0,061[a]	1, 57 ± 0,00[b]	2, 31± 0,01[d]	2,42 ± 0,04[d]
Germinados de amaranto obtenidos en microgravedad simulada	1,98 ± 0,01[c]	2,03 ± 0,03[c]	2,62 ± 0,03[e]	2,78 ± 0,14[f]

$\bar{x} \pm \sigma$ (n = 2)
Letras iguales indican que no existe diferencia estadística significativa (p>0,05) método 95% LSD.

En la **Figura 3.11.** se evidencia que los germinados de amaranto obtenidos en condiciones de microgravedad simulada presentan mayor contenido de fibra en

comparación con los germinados obtenidos en condiciones de gravedad normal durante los 21 días de experimentación.

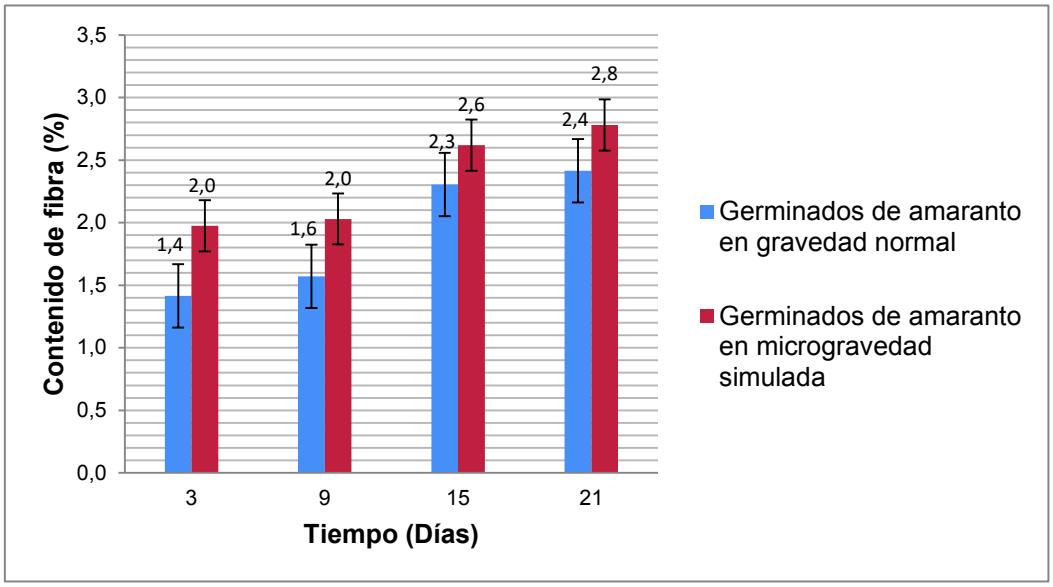

Figura 3.11. Contenido de fibra en los germinados de amaranto sometidos a condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada

En la tabla 3.19 se reporta el contenido de fibra de los germinados de quinua, se puede observar que el contenido de fibra en el primer muestreo a los 3 días después de la siembra presenta menor porcentaje de fibra que las semillas de quinua antes de germinar.

Tabla 3.19. Contenido de fibra en los germinados de quinua obtenidos en condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada

Tratamiento	3 Días	9 días	15 días	21 días
Germinados de quinua obtenidos en gravedad normal	$1,44 \pm 0,00^{a}$	$1,68 \pm 0,01^{c}$	$1,84 \pm 0,06^{d}$	$2,16 \pm 0,00^{f}$
Germinados de quinua obtenidos en microgravedad simulada	$1,54 \pm 0,02^{b}$	$1,75 \pm 0,03^{c}$	$1,93 \pm 0,02^{e}$	$2,17 \pm 0,00^{f}$

$\bar{x} \pm \sigma$ (n = 2)
Letras iguales indican que no existe diferencia estadística significativa (p>0,05) método 95% LSD.

El contenido de fibra de los germinados obtenidos en las dos condiciones de gravedad incrementa con el tiempo durante los 21 días de experimentación, el

porcentaje de fibra a los 21 días en los germinados de quinua obtenidos en gravedad normal y microgravedad simulada son 2,16 ± 0,00 % y 2,17 ± 0,00 %, respectivamente.

Nishimura et al. (2000), reportaron incremento en el contenido de fibra durante la germinación, el comportamiento del contenido de fibra en los germinados de quinua fue similar en este experimento.

El contenido de fibra en los germinados de quinua al igual que en los germinados de amaranto, se reduce en el día 3 después de la siembra en comparación con el contenido de la semilla, esto se debe a la degradación de la pared celular durante el proceso de germinación, en los siguientes posteriores incrementa debido a la generación de estructuras y mayor presencia de celulosa (Buenrostro et al., 2016, p.10).

En la **Figura 3.12.** se puede observar que no existe diferencia significativa en el contenido de fibra de los germinados de quinua en los muestreos a los 9 y 21 días.

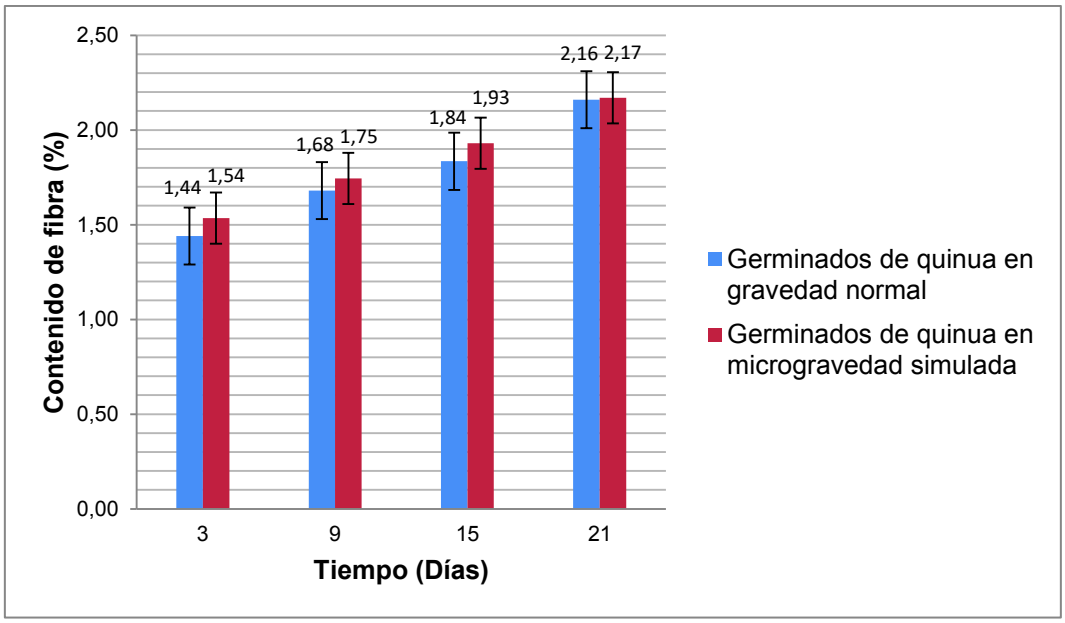

Figura 3.12. Contenido de fibra en los germinados de quinua sometidos a condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada

3.3.2.4 Calcio

En las tablas 3.20 y 3.21 se puede observar el contenido de calcio de las dos especies sometidas a dos condiciones de gravedad a los 3, 9,15 y 21 días después de la siembra.

El contenido de calcio de los germinados de amaranto obtenidos en gravedad normal y microgravedad simulada se presentan en la tabla 3.20 a los 3, 9 ,15 y 21 días después de la siembra.

Los germinados de amaranto obtenidos en las dos condiciones de gravedad presentan incremento en el contenido de calcio durante el periodo de experimentación en comparación con las semillas de amaranto (Tabla 3.3), en el caso de los germinados obtenidos en condiciones de gravedad normal se evidencia un incremento del 161,7 %, mientras que los germinados obtenidos en condiciones de microgravedad simulada presentan un incremento del 164,6 %. Chaparro et al. (2011) reportan un incremento del 169 % en el contenido de calcio debido al proceso de germinación en amaranto bajo condiciones de gravedad normal (p.56).

Tabla 3.20. Contenido de calcio en los germinados de amaranto obtenidos en condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada

Tratamiento	3 Días	9 días	15 días	21 días
Germinados de amaranto obtenidos en gravedad normal	$173,13 \pm 0,21^{b}$	$273,12 \pm 0,04^{c}$	$276,62 \pm 0,01^{d}$	$391,49 \pm 0,06^{g}$
Germinados de amaranto obtenidos en microgravedad simulada	$161,6 \pm 0,07^{a}$	$282,00 \pm 0,21^{e}$	$289,15 \pm 0,04^{f}$	$395,81 \pm 0,02^{h}$

$\bar{x} \pm \sigma$ (n = 2)
Letras iguales indican que no existe diferencia estadística significativa (p>0,05) método 95% LSD.

El incremento del contenido de calcio en los germinados de amaranto se debe a la activación de la enzima oxalato oxidasa, enzima importante en el metabolismo

de la planta debido a que descompone el ácido oxálico en dióxido de carbono y peróxido de hidrogeno y libera calcio (Murugkar, Gulati y Gupta, 2013, p.5).

En la **Figura 3.13.** se observa que el contenido de calcio en los germinados de amaranto obtenidos en condiciones de microgravedad simulada es mayor en comparación a los germinados obtenidos en condiciones de gravedad normal desde el día 9 después de la siembra. United Nations (2013), afirma que el estímulo de la microgravedad simulada durante el desarrollo de las plantas provoca un incremento en el contenido de calcio (p.8).

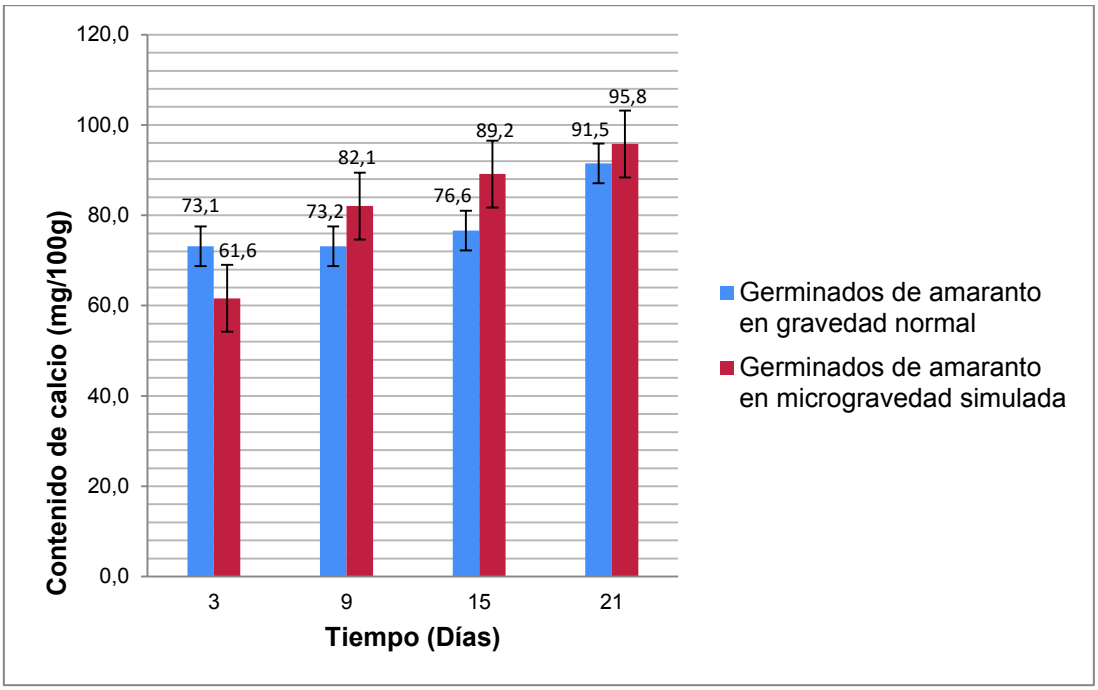

Figura 3.13. Contenido de calcio en los germinados de amaranto sometidos a condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada

El contenido de calcio de los germinados de quinua sometidos a dos condiciones de gravedad se muestra en la tabla 3.21, se puede evidenciar que el proceso de germinación género cambios en el contenido de calcio, en los germinados de quinua se incrementó el contenido de calcio desde el tercer día hasta la finalización de la experimentación.

Los germinados obtenidos en condiciones de gravedad normal tuvieron un incremento de 26,63 % hasta los 21 días. Chaparro et al. (2011) mencionan en su estudio un incremento de 24,75 % en el contenido de calcio debido al proceso de germinación en la quinua (p.56).

En los germinados de quinua obtenidos bajo condiciones de microgravedad se observa un incremento de 33.91% en el contenido de calcio.

Tabla 3.21. Contenido de calcio en los germinados de quinua obtenidos en condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada

Tratamiento	3 Días	9 días	15 días	21 días
Germinados de quinua obtenidos en gravedad normal	64,60 ± 0,06[a]	66,42 ± 0,04[b]	70,05± 0,03[d]	78,31 ± 0,08[f]
Germinados de quinua obtenidos en microgravedad simulada	68,60 ± 0,08[c]	70,51 ± 0,08[c]	75,59 ± 0,04[e]	82,81 ± 0,09[g]

$\bar{x} \pm \sigma$ (n = 2)
Letras iguales indican que no existe diferencia estadística significativa (p>0,05) método 95% LSD.

El incremento del contenido de calcio en los germinados de quinua al igual que en los germinados de amaranto se debe a la activación de la enzima oxalato oxidasa, la cual descompone el ácido oxálico en dióxido de carbono y peróxido de hidrogeno y permite la liberación del calcio (Murugkar, Gulati y Gupta, 2013, p.5).

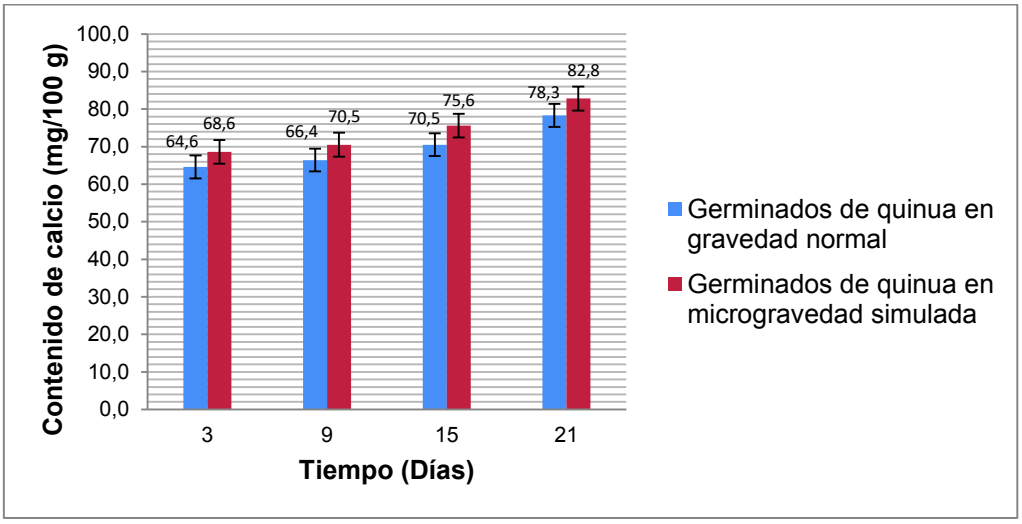

Figura 3.14. Contenido de calcio en los germinados de quinua sometidos a condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada

En la **Figura 3.14.** se puede notar que el contenido de calcio durante el proceso de germinación es mayor en el proceso en condiciones de microgravedad simulada. United Nations (2013), asegura que el estímulo de la microgravedad en las plantas genera un incremento en la concentración de calcio (p.8).

3.3.2.5 Hierro

Los resultados obtenidos del contenido de hierro expresado en mg de hierro por cada 100 g de muestra para los germinados de amaranto y quinua, se muestran en las tablas 3.22 y 3.23, respectivamente.

En la tabla 3.22 se muestran los resultados del contenido de hierro de los germinados de amaranto obtenidos en condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada.

El contenido de hierro de los germinados de amaranto obtenidos en gravedad normal y microgravedad simulada a los 3 días después de la siembra son 3,27 ± 0,01 mg/100g y 2,86 ± 0,06 mg/100g, respectivamente; los contenidos son menores en comparación al contenido de las semillas de amaranto (4,77 ± 0,11 mg/100g).

Tabla 3.22. Contenido de hierro en los germinados de amaranto obtenidos en condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada

Tratamiento	3 Días	9 días	15 días	21 días
Germinados de amaranto obtenidos en gravedad normal	$3,27 \pm 0,01^{f}$	$2,75 \pm 0,04^{de}$	$2,67 \pm 0,06^{cd}$	$2,50 \pm 0,04^{ab}$
Germinados de amaranto obtenidos en microgravedad simulada	$2,86 \pm 0,06^{e}$	$2,73 \pm 0,03^{d}$	$2,60 \pm 0,07^{bc}$	$2,46 \pm 0,09^{a}$

$\bar{x} \pm \sigma$ (n = 2)
Letras iguales indican que no existe diferencia estadística significativa (p>0,05) método 95% LSD.

El contenido de hierro disminuye durante los 21 días de experimentación, tanto en condiciones de gravedad normal y microgravedad. Chaparro et al. (2011), afirman que el proceso germinativo disminuye el contenido de hierro en las semillas de amaranto (p.55).

La reducción del contenido de hierro en los germinados de amaranto se debe a la síntesis de la enzima nitrogenaza, esta enzima está compuesta principalmente por hierro y está encargada de la formación de compuestos nitrogenados y de la reducción de nitrógeno (Chaparro et al., 2011, p.55).

La **Figura 3.15.** muestra el contenido de hierro presente en los germinados de amaranto obtenidos en gravedad normal y microgravedad simulada, se observa diferencia estadísticamente significativa en el contenido de hierro. Los germinados de quinua obtenidos en condiciones gravedad normal presentan mayor concentración de hierro en comparación a los germinados obtenidos en microgravedad simulada.

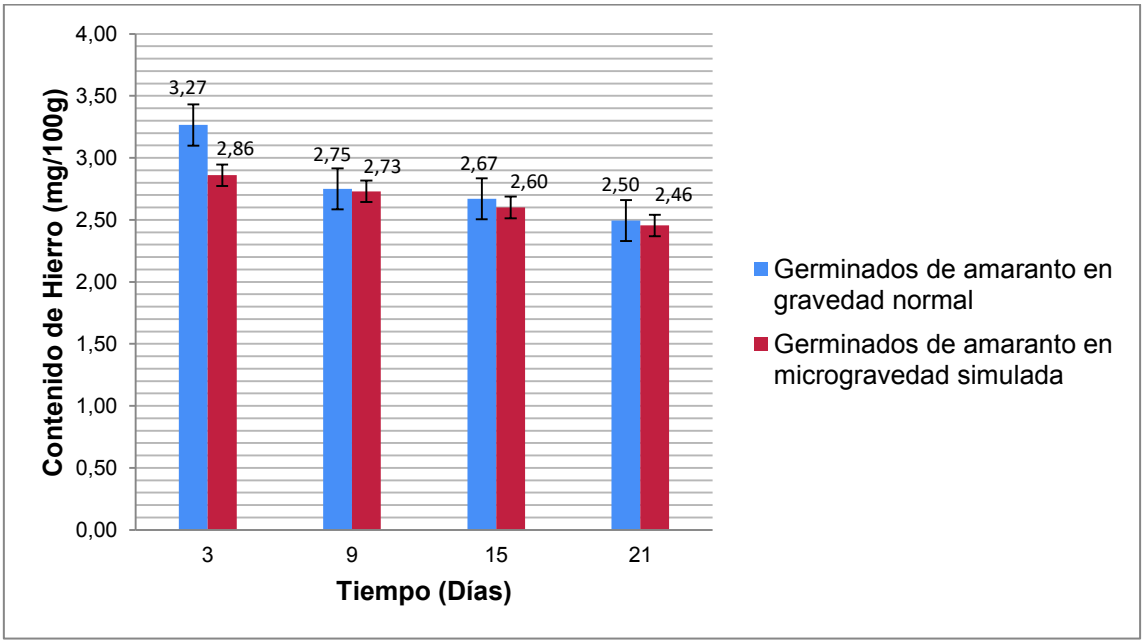

Figura 3.15. Contenido de hierro en los germinados de amaranto sometidos a condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada

En la tabla 3.23 se muestra el contenido de hierro de los germinados de amaranto obtenidos en condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada.

Tabla 3.23. Contenido de hierro en los germinados de quinua obtenidos en condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada

Tratamiento	3 Días	9 días	15 días	21 días
Germinados de quinua obtenidos en gravedad normal	2,61 ± 0,08[d]	2,60 ± 0,05[d]	2,20± 0,02[c]	1,92 ± 0,01[a]
Germinados de quinua obtenidos en microgravedad simulada	2,58 ± 0,01[d]	2,57 ± 0,04[d]	2,05 ± 0,03[b]	1,87 ± 0,08[a]

$\bar{x} \pm \sigma$ (n = 2)
Letras iguales indican que no existe diferencia estadística significativa (p>0,05) método 95% LSD.

El contenido de hierro de los germinados de quinua se ve afectado de forma negativa durante el proceso de experimentación, los dos tratamientos presentan una disminución del contenido de hierro en comparación al contenido de hierro presente en las semillas (Tabla 3.4).

Los resultados indican que el contenido de hierro tiende a disminuir a medida que avanza el proceso de germinación, tanto en condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada. Chaparro et al. (2011), indican que durante el proceso de germinación el contenido de hierro tiende a disminuir en las semillas de quinua y amaranto (p.55).

La reducción del contenido de hierro en los germinados de quinua al igual que sucedió en los germinados de amaranto se debe a la síntesis de la enzima nitrogenasa, que está compuesta principalmente por hierro, esta enzima está encargada de la formación de compuestos nitrogenados y por tanto la reducción de nitrógeno (Chaparro et al., 2011, p.55).

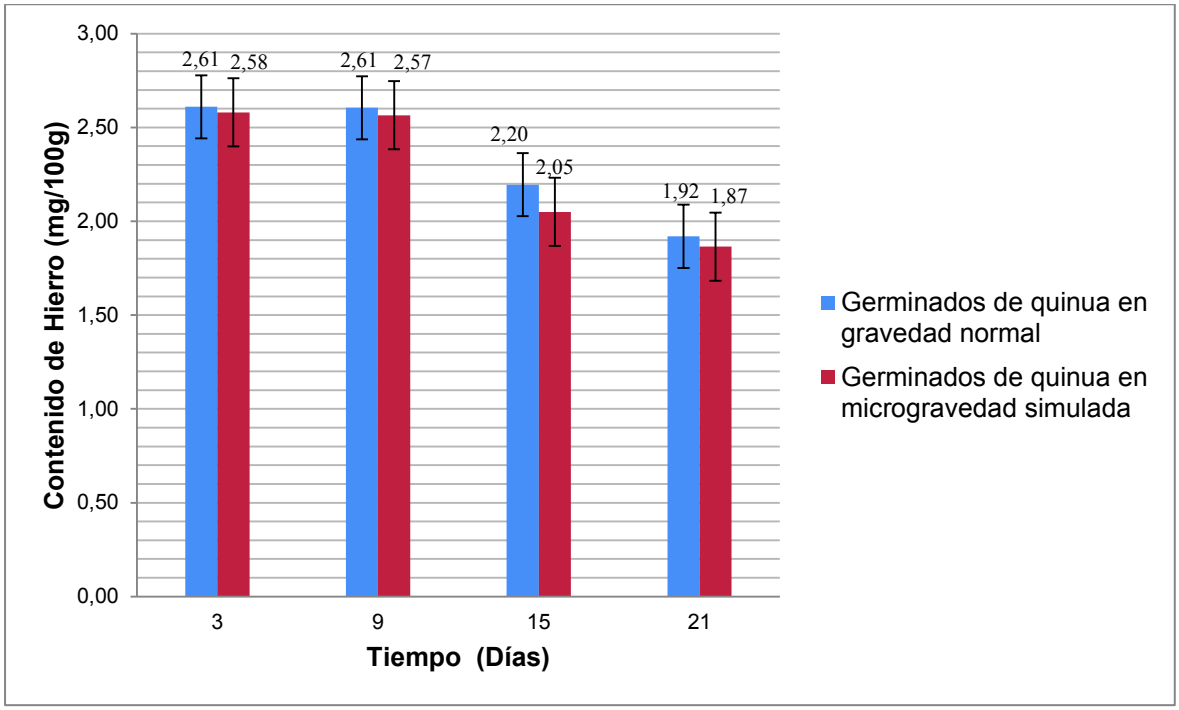

Figura 3.16. Contenido de hierro en los germinados de quinua sometidos a condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada

En la **Figura 3.16.** se observa la representación gráfica del contenido de hierro de los germinados de quinua obtenidos bajo dos condiciones de gravedad, se evidencia una ligera diferencia en el contenido de hierro de los germinados. Los germinados de quinua obtenidos en condiciones de microgravedad simulada presentan menor concentración de hierro en comparación a los germinados obtenidos en gravedad normal.

3.3.2.6 Ácido ascórbico

En las tablas 3.24 y 3.25 se reporta el porcentaje de incremento en el contenido de ácido ascórbico de los germinados de amaranto y quinua obtenidos bajo dos condiciones de gravedad a los 3, 9, 15 y 21 días.

En la tabla 3.21 se indica el porcentaje de incremento de ácido ascórbico para los germinados de amaranto obtenidos en dos condiciones de gravedad.

Tabla 3.24. Porcentaje de incremento de ácido ascórbico en los germinados de amaranto obtenidos en condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada

Tratamiento	3 Días	9 días	15 días	21 días
Germinados de amaranto obtenidos en gravedad normal	73,80 % ± 0,99[a]	74,30 % ± 0,85[a]	97,80 % ± 1,06[b]	139,20 % ± 1,13[d]
Germinados de amaranto obtenidos en microgravedad simulada	76,70 % ± 1,2[a]	97,20 % ± 0,57[b]	107,20 % ± 0,92[c]	151,70 % ± 2,9[e]

$\bar{x} \pm \sigma$ (n = 2)
Letras iguales indican que no existe diferencia estadística significativa (p>0,05) método 95% LSD.

El porcentaje de incremento del contenido de ácido ascórbico para los germinados de amaranto obtenidos en condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada son 139,2 % y 151, 7 %, respectivamente; en los dos tratamientos se da un incremento considerable de ácido ascórbico. Bravo et al. (2013) obtienen un incremento del 161,72 % de ácido ascórbico durante el proceso de germinación de semillas de amaranto en su estudio químico y nutricional de granos andinos germinados (p.59), por lo tanto los resultados son aceptables.

Tabla 3.25. Porcentaje de incremento de ácido ascórbico en los germinados de quinua obtenidos en condiciones de gravedad normal y microgravedad simulada

Tratamiento	3 Días	9 días	15 días	21 días
Germinados de quinua obtenidos en gravedad normal	20,60 % ± 1,13[a]	118,20 % ± 1,69[c]	178,40 % ± 0,57[d]	413,80 % ± 6,5[f]
Germinados de quinua obtenidos en microgravedad simulada	40,20 % ± 2,62[b]	179,90 % ± 1,34[d]	217,70 % ± 0,28[e]	421,70 % ± 1,48[g]

$\bar{x} \pm \sigma$ (n = 2)
Letras iguales indican que no existe diferencia estadística significativa (p>0,05) método 95% LSD.

En la tabla 3.20 se puede observar el incremento porcentual del contenido de ácido ascórbico de los germinados de quinua, en el caso de los germinados obtenidos en gravedad normal alcanza un incremento de 413,7 % y los germinados obtenidos en microgravedad simulada alcanzan un incremento del 421,7 %, en comparación al contenido presente en las semillas de quinua. Bravo

et al. (2013) reportan un incremento del 336 % de ácido ascórbico durante el proceso de germinación de semillas de quinua, por lo tanto se podría considerar aceptables los resultados obtenidos.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- El porcentaje de germinación de las semillas de amaranto en gravedad normal es 86,7 % con una índice de la tasa de germinación de 29,83, mientras que el porcentaje de germinación en microgravedad es 90 % con un índice de la tasa de germinación de 40,56. El porcentaje de germinación y el índice de la tasa de germinación son mayores en condiciones de microgravedad simulada.

- El porcentaje de germinación de las semillas de quinua en gravedad normal es 93,3 % con una índice de la tasa de germinación de 56,67, mientras que el porcentaje de germinación en microgravedad es 96,7 % con un índice de la tasa de germinación de 59,72. El porcentaje de germinación y el índice de la tasa de germinación son mayores en condiciones de microgravedad simulada.

- La emergencia de los germinados de amaranto inició el séptimo día en microgravedad simulada y al octavo día en gravedad normal, mientras que la emergencia de la quinua inició el séptimo día en las dos condiciones de gravedad.

- La altura de las plántulas y el tamaño de raíz son mayores en los germinados de amaranto y quinua obtenidos en condiciones de microgravedad simulada.

- El contenido de humedad incrementa durante el proceso de germinación en las dos especies y es igual en los dos tratamientos.

- El contenido de proteína y fibra en las dos especies, bajo gravedad normal y microgravedad simulada, disminuyen en el tercer día en comparación al contenido inicial, en los días posteriores se incrementan de forma progresiva.

- El contenido de calcio incrementa en los germinados de las dos especies, bajo las dos condiciones de estudio y es mayor en los germinados obtenidos en condiciones de microgravedad simulada.

- El contenido de hierro disminuye en los germinados de las dos especies, bajo las dos condiciones de estudio y es menor en los germinados obtenidos en condiciones de microgravedad simulada.

- El contenido de ácido ascórbico en los germinados de amaranto incrementa en 139,2 % hasta los 21 días bajo condiciones de gravedad normal y 151,7 % bajo microgravedad simulada en el mismo tiempo de estudio.

- El contenido de ácido ascórbico en los germinados de quinua incrementa en 413,18 % hasta los 21 días bajo condiciones de gravedad normal y 421,7 % bajo microgravedad simulada en el mismo tiempo de estudio.

- Las condiciones de microgravedad simulada reducen el tiempo de germinación de las 2 especies andinas (amaranto y quinua) e incrementa el contenido de calcio y tamaño de plántula.

4.2 RECOMENDACIONES

- Evaluar los cambios en el contenido de almidón durante la germinación de las semillas de quinua y amaranto.

- Realizar la evaluación química de proteína, humedad, almidón, fibra, hierro, calcio, ácido ascórbico durante los 3 primeros días de germinación.

- Realizar el estudio con otras especies andinas de alto valor nutricional u otras variedades de las especies utilizadas.

- Realizar el estudio con otras condiciones de operación del clinostat.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

1. Alegría, W. (2016). Texto básico para profesionales en ingeniería forestal, en el área de fisiologia vegetal. Iquitos, Perú.

2. AOAC. (2007). Asociation of Official Analytical Chemist, 2005, “Official Methods of Analysis”, 18th Edition, Virgina, D. C. USA.

3. Barrón, M., Villanueva, C., García, M. y Colinas, M. (2009). Valor nutricio y contenido de saponinas en germinados de huauzontle (chenopodium nuttalliae saff.), calabacita (cucurbita pepo l.), canola (brassica napus l.) y amaranto (amaranthus leucocarpus S. Watson, syn. hypochondriacus l.). *Revista Chapingo serie horticultura*, vol. 15, núm. 3, pp. 237-243, Universidad Autónoma Chapingo Chapingo, México

4. Becerra, R. (2000). El amaranto: nuevas tecnologías para un antiguo cultivo. CONABIO. *Biodiversitas* 30:1-6.

5. Bravo, M., Reyna, J., Gómez, I. y Huapaya, M. (2013). Estudio químico y nutricional de granos andinos germinados de quinua (*Chenopodium quinoa*) y Kiwicha (*Amaranthus caudatus*).

6. Breis, F. (2000). Diccionario de ciencias naturales y términos afines. Murcia, España.

7. Buenrostro, R., Jimenez, V. y Martinez, E. (2016). Efecto de la germinación de semillas de chía (*salvia hispánica* l.) sobre su calidad nutrimental. Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Vol.1, No. 2 (2016), p.7-12. México.

8. Chagaray, A. (2005). Estudio de factibilidad del cultivo de amaranto. Recuperado de:

www.produccioncatarmaca.gov.ar/Publicaciones/contador. asp?id=13 (Junio, 2017).

9. Chaparro, D., Pismag, R. y Elizalde, A. (2011). Efecto de la germinación sobre el contenido de hierro y calcio en amaranto, quinua, guandul y soya.

10. Chaparro, D., Portilla, Y., Elizalde, A. Vivas, N. y Erazo, C. (2009). Estrategia ARPCC en la producción de semillas germinadas. Facultad de Ciencias Agropecuarias Universidad del Cauca, Vol 7 No. 1. Cauca – Colombia.

11. Clavijo, J. y Baker, J. (2000). Germinación, Emergencia y Crecimiento Temprano de Arroz Rajo y Cuatro Variedades de Arroz. Agronomía Colombiana, Volumen V: 3.7

12. Colla, G., Rouphael, Y., Cardarelli, M., Mazzucato, A. y Olimpieri, I. (2007). Growth, yield and reproduction of dward tomato grown under simulated microgravity conditions. Plant Biosystems- An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology, 141(1), 75-81, Doi: 10.1080/11263500601153735

13. Courtis, A. (2013). Germinación de semillas. Fisiología vegetal, Universidad Nacional de Nordeste. Argentina.

14. De la Cuadra, C. (2002). Germinación, latencia y dormición de las semillas, Dormición en las avenas locas. Hojas divulgadoras N° 3/92 HD. Madrid, España.

15. Dirección de Investigación y Generación de Datos Multisectoriales – DIGDM. 2014. Zonificación agroecológica-económica del cultivo de amaranto (*amaranthus sp*.) en el Ecuador continental a escala 1:250.000. Quito, Ecuador.

16. Duque, P. (2006). Ciencia en microgravedad. Centro español de asistencia a los usuarios de las instalaciones experimentales de la agencia espacial europea. Madrid, España.

17. Encuesta Nacional de Salud y Nutrición – Ensanut-Ecu-2012. (2014). Disponible en: http://www.salud.gob.ec/encuesta-nacional-de-salud-y-nutricion-ensanut/.

18. Flores, A., Álvarez, J., Rodríguez, J. y Corona, A. (2008). Germinación in vitro de semillas de Nolina parviflora (H.B.K) Hemsl. Foresta Veracruzana, 10(2), 17-33. México.

19. Flores, E. (2000). Morfofisiología, comportamiento y germinación de semillas forestales. Pp. 149-152. Costa Rica

20. Gómez, L. y Aguilar, E. (2016). Guía de cultivo de la quinua. Lima, Perú: Organización de las naciones unidas para la alimentación y agricultura, Universidad Agraria la Molina.

21. Gonzáles, P. (2007). Experimentos en ambientes de gravedad extrema: Experimentos sobre macro y microgravedad. Instituto San Felipe Neri. Buenos Aires, Argentina.

22. Gilles, C. y Klaus, S. (2006). Fundamentals of Space Biology, Research on Cells, Animals, and Plants in Space. Alemania.

23. Herrera, J., Alizaga, R., Guevara, E. y Jiménez, V. (2006). Germinación y crecimiento de la planta. Fisiología de la producción de cultivos tropicales.22p. Costa Rica

24. Herrera, S. y Montenegro, A. (2012). Amaranto: prodigioso alimento para la longevidad y la vida. Kalpana Num. 8 (p. 50-66). ISSN: 1390-5775

25. Horton, D. (2014). Investigación colaborativa de granos andinos en Ecuador. Quito, Ecuador: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.

26. Hoson, T. (1994). Automorphogenesis of maize roots under simulated microgravity conditions. Plant and Soil, 165(2), 309-314. Doi:10.1007/BF00008074

27. Hoson T., Soga K., Wakabayashi K., Hashimoto T., Karahara I., Yano S., Tanigaki F., Shimazu T., Kasahara H. y Masuda D. (2004). Growth stimulation in inflorescences of an Arabidopsis tubulin mutant under microgravity conditions in space. Plant Biol 2014, 16(1), 91–96. Doi: 10.1111/plb.12099.

28. Huaraca, H. (2011).Manejo integrado de los cultivos de quinua, amaranto y ataco: Módulos de capacitación para capacitadores. Módulo 2. Quito, Ecuador: INIAP. (Publicación Miscelánea no. 182).

29. Hurtado, J. (2000). Comportamiento de cuatro especies de amaranto en el municipio de Manizales-Caldas. Fitotecnia. Universidad de Caldas. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Disponible en http://ciagrope.tripod.com/fitote24.html. Octubre 2017.

30. INEN. (1987). Instituto Ecuatoriano de Normalización. Catálogo de Normas Técnicas Ecuatorianas, NTE INEN 1514, Granos y cereales. Determinación de la masa de 1000 granos.

31. INEN. (2012). Instituto Ecuatoriano de Normalización. Catálogo de Normas Técnicas Ecuatorianas, NTE INEN 2646, Granos y cereales. Grano de amaranto. Requisitos e inspección.

32. INEN. (2013). Instituto Ecuatoriano de Normalización. Catálogo de Normas Técnicas Ecuatorianas, NTE INEN 1673, Quinua: Requisitos.

33. Japtap, S., Awhad, R., Santosh, B. y Vidyasagar, P. (2011). Effects of Clinorotation on Growth and Chlorophyll Content of rice seeds. Microgravity Science and Technology, 23(1), 41-48. Doi: 10.1007/s12217-010-9222-9

34. Lallana, V., Elizalde, J. y García, L. (2002). Germinacion y latencia de semillas y yemas. Fisiología vegetal. Paraná

35. Laván, D. (2012). Análisis de la expresión génica en pupas de *Drosophila melonogaster* expuestas a microgravedad. Departamento de Bioquímica, facultad de Medicina, universidad autónoma de Madrid. Madrid, España.

36. León, J. (2003), Cultivo de la Quinua en Puno-Perú: Descripción, manejo y producción, Perú 62 p.

37. Mapes, C. (2010). El amaranto: planta originaria de México. AAPAUNAM Academia, Ciencia y Cultura. P. 217-222.

38. Mapes, C. (2015). El amaranto. AAPAUNAM Academia, Ciencia y Cultura. P. 8-15.

39. Martín, T., Marchese, J., Fernández, A., Curti, G., Fogolari, H. y Cunha, V. (2013). Uso do software ImageJ na estimativa de área foliar para a cultura do feijao. Interciencia, 38(2), 842-848.

40. Matía, I. (2008). La organización funcional del nucléolo, la proliferación y el ciclo celular en *Arabidopsis thaliana*. Alteraciones inducidas por cambios gravitatorios. Madrid, España.

41. Matilla, A. (2016). Desarrollo y germinación de las semillas. *Seed Science Research*, 27 (1)-27(22).

42. Meza, N., Arizaleta, M. y Bautista, D. (2007). Efecto de la salinidad en la germinación y emergencia de semillas de parchita (Passiflora edulis f. flavicarpa). Revista de la Facultad de Agronomía, 24(2), 69-80. ISSN 0378-7818.

43. Ministerio Coordinador de Desarrollo Social. (2013). Proyecto para la reducción acelerada de la malnutrición en el ecuador– inti. 2014-2015. Disponible en: http://www.desarrollosocial.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/04/ Proyecto.pdf

44. Morales, L. y Moniesdecca, F. (2000). Comportamiento de dos líneas de quinua con diferentes densidades y sistemas de siembra en tres localidades de la sierra ecuatoriana. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarías. Quito, Ecuador.

45. Montes, G., Solis, S. y Quintos, M. (2001). Efecto del inoculante comercial burize (glomus intraradices) sobre el desarrollo de pinus engelmannii carr. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 7(2): 123-126.

46. Mujica, A.; Jacobsen, S. (2013). La quinua (Chenopodium quinoa Willd.) y sus parientes silvestres. Botánica Económica de los Andes Centrales. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz. Pp 449-457

47. Mujica, A., Berti, M. e Izquierdo, J. (1997). El cultivo del amaranto (*Amaranthus spp*.): producción, mejoramiento genético y utilización Puno, PE. FAO. 145 p.

48. Murugkar DA, Gulati P, Gupta C. Effect of sprouting on physical properties and functional and nutritional components of multi-nutrient mixes. Int J Food Nutr Sci. 2013; 2(2):2–15.

49. Nieto, C. (1987). El cultivo de amaranto (*Amaranthus spp*) una alternativa agronómica para Ecuador. Quito, Ecuador: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.

50. Nishimura, N., Taniguchi, T. y kiriyama, S. (2000). Plasma cholesterollowering effect on rats of dietary fiber extracted from immature plants. Bioscience Biotechnology and Biochemistry 64: 2543-2551.

51. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2000). Anteproyecto de código de prácticas de higiene para el cultivo, la cosecha y el empacado de las frutas y hortalizas frescas – comisión del Codex alimentarius. Roma, Italia, 27 p.

52. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2011). La quinua: cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial.

53. Peralta, E., Mazón, N., Murillo, A. y Rodríguez D. (2014). Manual Agrícola de granos andinos: chocho, quinua, amaranto y ataco. Cultivos, variedades y costos de producción. Cuarta edición. Publicación Miscelánea N°69. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Programa nacional de Leguminosas y granos andinos. Estación experimental Santa Catalina. Quito, Ecuador. 72p.

54. Peralta, E. (2012). El amaranto en Ecuador “Estado del Arte”. Quito, Ecuador: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.

55. Peralta, E. (2009). Quinua en Ecuador “Estado del Arte”. Experimental Santa Catalina. INIAP. Quito – Ecuador.

56. Peralta, E. (2009).Amaranto y ataco: preguntas y respuestas. Boletin divulgativo N°359. Programa Nacional de leguminosas y granos andinos. Estación Experimental Santa Catalina. INIAP. Quito – Ecuador. 8 p.

57. Peralta, E., Villacrés, E., Mazón, N., Rivera, M. y Subía, C. (2008). El ataco, sangorache o amaranto negro (Amaranthus hybridus L.) en Ecuador. Quito, Ecuador: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. (Publicación Miscelánea no. 143).

58. Pérez, F. (2002). Germinación y dormición de semillas, Material vegetal de reproducción: Manejo, conservación y tratamiento. Ministerio de agricultura pesca y alimentación. Madrid, España.

59. Pita, J. y Pérez, F. (2000). Germinación de semillas. Hojas divulgadoras 2090 HD, Ministerio de agricultura pesca y alimentación. Madrid, España.

60. Ponce de León, C., Torija, M. y Cruz, M. (2012). Utilidad en la alimentación de algunas semillas germinadas: brotes de soja y trigo. Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. Sec. Biol., 107. ISSN: 0366-3272

61. PRO ECUADOR -Instituto de promoción de exportaciones e inversiones. (2015). Análisis sectorial quinua 2015. Quito, Ecuador.

62. Racines, A. (2011), Investigación de los germinados de lenteja, quínoa, zanahoria, mostaza y su aplicación a la gastronomía actual. Universidad tecnológica Equinoccial. Quito – Ecuador.

63. Ramos, C. y Villanueva, C. (2001). Producción de germinados de frijol mungo (*Vigna radiata*) y calabaza pipiana (*Cucurbita argyrosperma*), Revista Chapingo serie horticultura 4(2), pp. 95-100, Universidad Autónoma Chapingo Chapingo, México

64. Rivera, W. (2016). Diseño y construcción de un germinador de semillas para consumo humano. Universidad tecnológica de Pereira. Pereira, Colombia.

65. Suárez, D. y Melgarejo, L. (2010). Biología y germinación de semillas, Experimentos en fisiología vegetal. Pp.13-24. Colombia

66. Tapia, M.,Gandarillas, H., Alandia, S., Cardozo, A. y Mujica, A. (1999). Quinua y la kañiwa: cultivos andinos. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Bogota, Colombia. 227 p.

67. Tejerina, J. y Arenas, R. (2001). Guia para el cultivo y aprovechamiento del coime o amaranto (amaranthus caudatus linneo), Bogotá – Colombia.

68. Tustón, S. (2007). Adaptación de cinco líneas de amaranto de grano blanco Amaranthus caudatus y cinco líneas de ataco o sangorache Amaranthus hybridus en los cantones Otavalo y Antonio Ante., Universidad Técnica del Norte., Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales., Escuela de Ingeniería Agropecuaria., Ibarra-Ecuador., TESIS., Pp. 4-10.

69. United Nations Programme on Space Applications. (2014). Zero-Gravity Instrument Project (ZGIP) and Human Space Technology Initiative (HSTI). Vienna.

70. United Nations. (2013). Teacher´s Guide to Plant Experiments in Microgravity (ST/SPACE/63). New York.

71. Valdivia, J. y Silva, M. (2016). La microgravedad y la Astrobiología: un enfoque multidisciplinario. Revista Peruana de Divulgación Científica en Genética y Biología Molecular 1(1): 14-22.

72. Valencia, P. (2015). Evaluación tecnológica de la germinación y clarificación de las bebidas tradicionales fermentadas y pasteurizadas de maíz morado (*Zea Mays*) y quinua (*Chenopodium quinoa*) variedad INIA 420 negra collana. Arequipa, Perú.

73. Varela, S. y Arana, V. (2011). Latencia y germinación de semillas. Tratamientos pre germinativos. INTA EEA Bariloche.

74. Wyatt, S. y Brown, C. (2015). Clinorotation. Gravitational Biology, department of botany. Carolina Del Norte.

75. Zhao, H., Zhu, T., Wu, J. y Xi, V. (2002). Effect of simulated microgravity on aged pea seed vigour and related physiological properties. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces 27 (2003), 311-314, Beijing, China.

ANEXOS

ANEXO I

DETERMINACIÓN DE ÁCIDO ASCORBICO

Extracción

- Pesar 10g de germinados de quinua o amaranto previamente congelados y moler con ayuda de un mortero.
- Colocar los germinados macerados en un matraz con 30 mL de ácido metafosfórico de concentración 3 % y 5 mL de solución de homocisteina al 0,2 %.
- Colocar el matraz en un baño de ultrasonido por un periodo de 15 min.
- Filtrar el extracto obtenido.
- Aforar a 50 mL con agua destilada y centrifugar a 5500 rpm.
- Recoger el sobrenadante.

Durante el procedimiento de extracción se requiere mantener la muestra protegida de la luz y a temperaturas bajas, para evitar pérdidas del contenido de ácido ascórbico.

Determinación

Filtrar 1 mL de extracto con un filtro de tamaño 0,45 µm e inyectar al UPLC.

Las condiciones estándar de operación del UPLC de marca Waters son:

- Fase móvil: 20 mM KH_2PO_4 (pH 2.5)
- Separación: isocrática y en fase reversa
- Detección: 240 nm
- Flujo: 0,3 mL/min
- Temperatura: 20 °C
- Volumen de inyección: 0,7 µL
- Tiempo de corrida: 1 min

Se utilizó la columna ACQUITY UPLC C18

ANEXO II

CÁLCULO DE VELOCIDAD DE ROTACIÓN PARA CLINOSTAT

Características del clinostat de un eje:

- Radio de giro: 8 cm
- Velocidad de rotación: 0 – 20 rpm (incremento de 0,5 rpm) y de 20 a 90 rpm (incremento de 5 rpm).

La aceleración residual utilizada es de $10^{-3}g$

La velocidad de rotación se calcula con la siguiente ecuación:

$$RFC = 1{,}118 \times 10^{-5} \times r \times N^2$$

Dónde:

RFC = aceleración residual

r = radio de giro en cm

N = velocidad de rotación en rpm

$$10^{-3}g = 1{,}118 \times 10^{-5} \times 8\ cm \times N^2$$

$$N^2 = \frac{10^{-3}g}{(1{,}118 \times 10^{-5}) \times 8\ cm}$$

$$N^2 = 10{,}96\ rpm$$

$$N = 3{,}31\ \ rpm$$

La velocidad de rotación utilizada fue 3,5 rpm, debido a que el incremento de la velocidad de rotación es de 0,5 rpm en el rango de 0 a 20 rpm.

ANEXO III

CROMATOGRAMAS DE ÁCIDO ASCÓRBICO DE LA MUESTRA ESTANDAR Y DE GERMINADOS DE AMARANTO

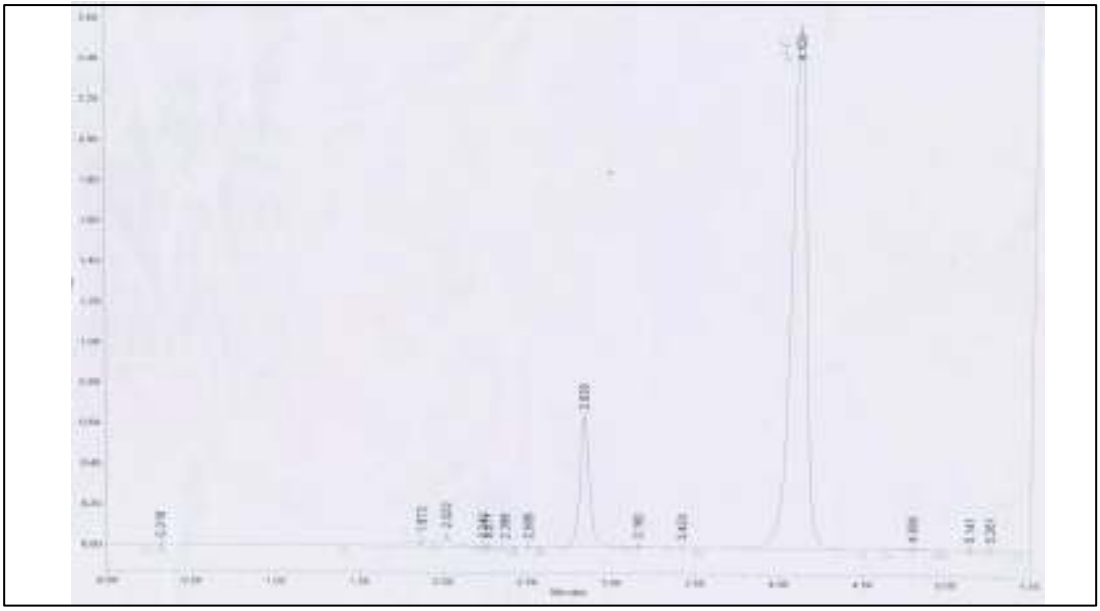

Figura AIII.1 Cromatograma de la muestra estándar de ácido ascórbico

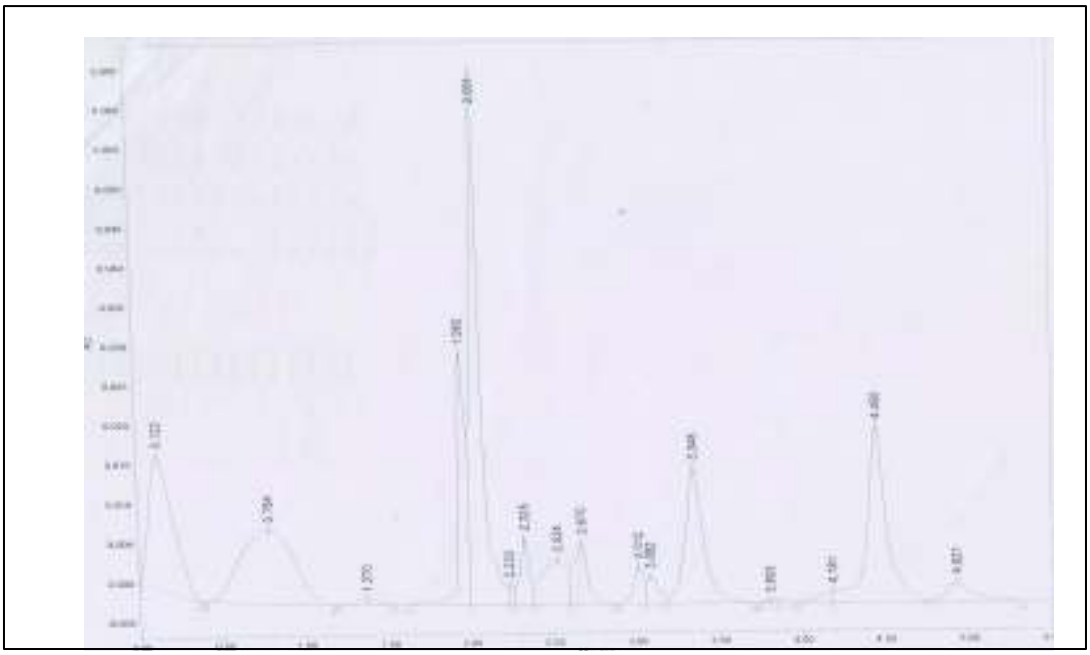

Figura AIII.2 Cromatograma de ácido ascórbico de muestra de germinado de amaranto

ANEXO IV

EQUIPO PARA SIMULACIÓN DE MICROGRAVEDAD

Figura AIV.1. Clinostat de un eje

Figura AIV.2. Clinostat de un eje con acople para 20 tubos de ensayo

ANEXO V

GERMINADOS DE AMARANTO Y QUINUA OBTENIDOS EN CONDICIONES DE GRAVEDAD NORMAL Y MICROGRAVEDAD SIMULADA

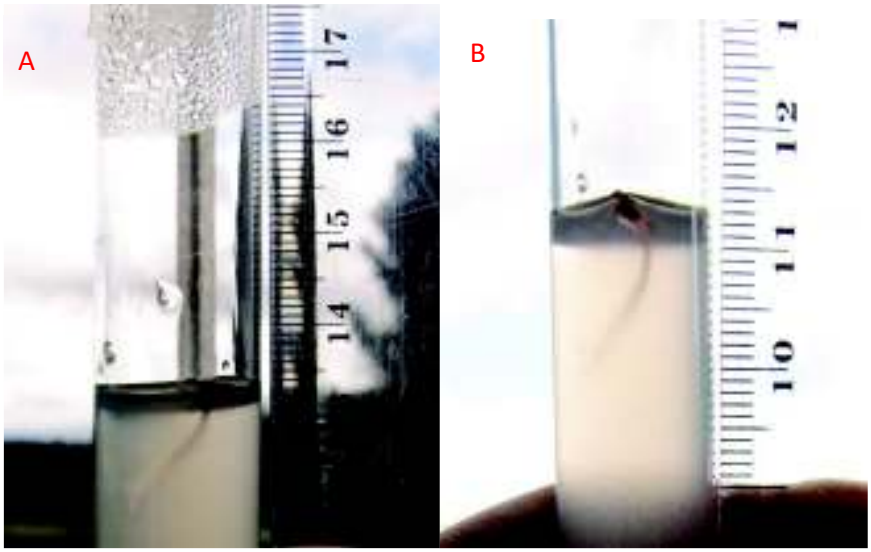

Figura AV.1. Germinados de amaranto, A – gravedad normal, B – Microgravedad simulada

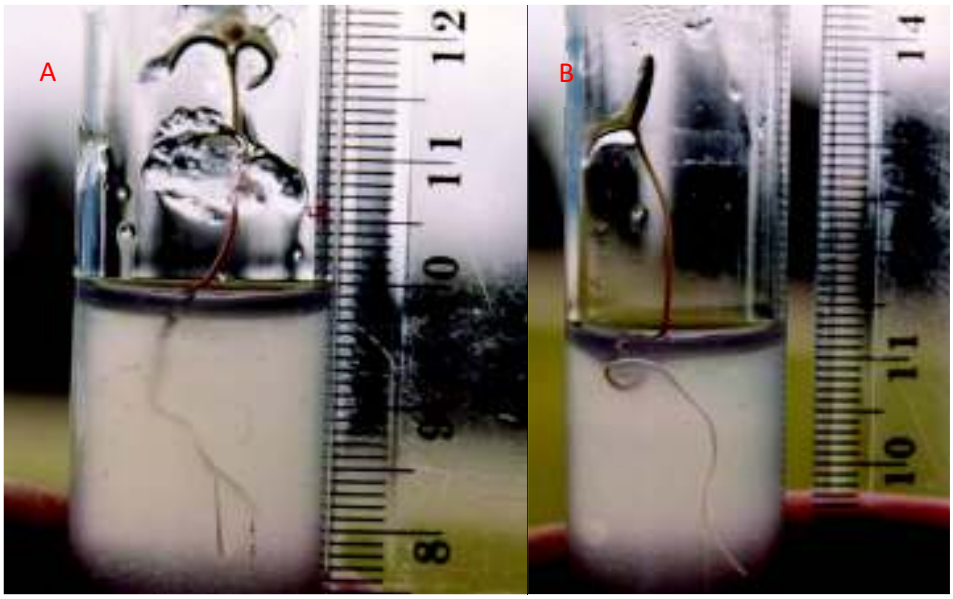

Figura AV.2. Germinados de quinua, A – gravedad normal, B – Microgravedad simulada

ANEXO VI

MEDICIÓN DE TAMAÑO DE RAIZ DE GERMINADOS OBTENIDOS EN CONDICIONES DE GRAVEDAD NORMAL Y MICROGRAVEDAD SIMULADA CON AYUDA DEL SOFWARE IMAGEJ (IMAGE PROCESSING AND ANALYSIS IN JAVA)

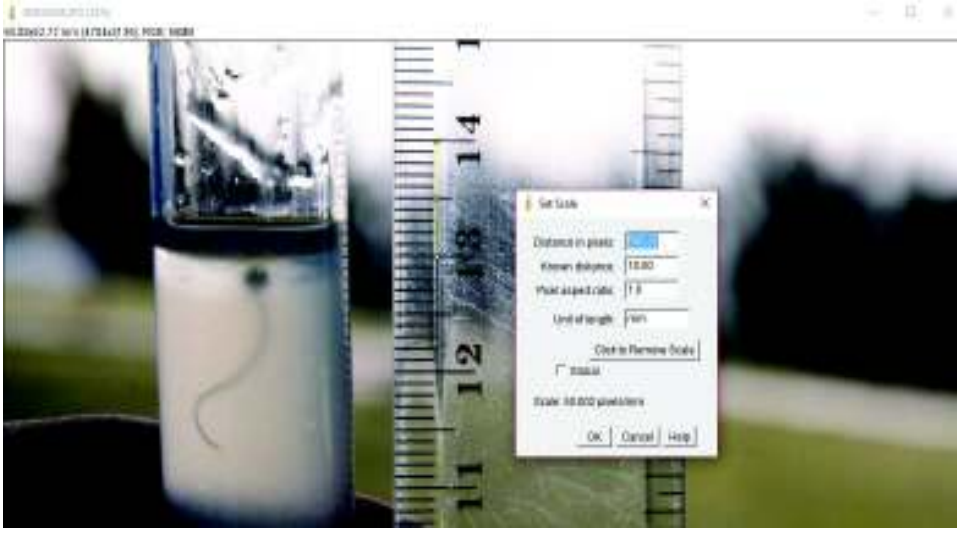

Figura AVI.1. Fijación de la escala en el software ImageJ

Figura AVI.2. Medición del tamaño de raíz de los germinados en el software ImageJ