



FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS

DETERMINACIÓN DE ETAPAS FENOLÓGICAS FLORALES DE CHÍA
(*Salvia hispanica* L.), QUINUA (*Chenopodium quinoa*) Y AMARANTO
(*Amaranthus sp. L*) EN LA ZONA DE NONO.

Autoras

Ena Lucía Arteaga Rodríguez
María Alejandra Rosales Lalama

Año
2018



FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS

DETERMINACIÓN DE ETAPAS FENOLÓGICAS FLORALES DE CHÍA
(*Salvia hispanica* L.), QUINUA (*Chenopodium quinoa*) Y AMARANTO
(*Amaranthus sp.* L) EN LA ZONA DE NONO.

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos
establecidos para optar por el título de Ingenieras Agroindustriales y de
Alimentos

Profesor Guía

Doc. Mauricio Andrés Racines Oliva

Autoras

Ena Lucía Arteaga Rodríguez

María Alejandra Rosales Lalama

Año

2018

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

"Declaro haber dirigido el trabajo, Determinación de etapas fenológicas florales de chía (*Salvia hispánica* L.), quinua (*Chenopodium quinoa*) y amaranto (*Amaranthus sp.* L) en la zona de Nono, a través de reuniones periódicas con las estudiantes Ena Lucía Arteaga Rodríguez y María Alejandra Rosales Lalama, en el período 2018-2, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".

Mauricio Andrés Racines Oliva
Doctor of Bioscience Engineering
C.I.: 171090216-2

DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

“Declaro haber dirigido el trabajo, Determinación de etapas fenológicas florales de chía (*Salvia hispánica* L.), quinua (*Chenopodium quinoa*) y amaranto (*Amaranthus sp.* L) en la zona de Nono, a través de reuniones periódicas con las estudiantes Ena Lucía Arteaga Rodríguez y María Alejandra Rosales Lalama, en el período 2018-2, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.

Wilson Arturo Vásquez Castillo
Philosophy Doctor in Plant Physiology
C.I.: 1001186210

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaramos que este trabajo es original, de nuestra autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.”

Ena Lucía Arteaga Rodríguez
C.I 1717468837

María Alejandra Rosales Lalama
C.I 1722557814

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a la Universidad de las Américas y al Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) que nos abrieron las puertas y nos brindaron sus conocimientos para la culminación de este estudio.

DEDICATORIA

A todas las personas que hicieron posible la elaboración de este estudio y también a todos los interesados en la fenología, la agricultura y los alimentos.

RESUMEN

El presente estudio fue realizado en la parroquia de Nono al noroccidente de Quito-Ecuador, la cual se encuentra a 2827 msnm y tiene una temperatura que oscila entre los 14°C y 18°C. Se cultivó quinua (*Chenopodium quinoa*), chía (*Salvia hispánica* L.) y amaranto (*Amaranthus* sp.L.) en condiciones controladas, durante los meses de octubre 2017 a abril 2018. Se realizó el seguimiento fenológico de la población de 30 plantas por cultivo mediante el registro de la información y fotografías. Las variables cuantitativas registradas fueron: altura de planta, diámetro de yema, tamaño de panojas y cantidad de flores abiertas. Las variables cualitativas registradas: color y forma de las diferentes estructuras de la planta. Con las variables cuantitativas se realizó el análisis de la estadística descriptiva (media, desviación estándar, coeficiente de variación, varianza y rango) y con las variables cualitativas se realizó la escala visual y descriptiva según la escala BBCH, también se determinó las etapas fenológicas florales de los cultivos de acuerdo a la escala. Se obtuvo la fenología de las distintas etapas de los cultivos, en el cultivo de quinua la etapa vegetativa duró 63 días y la etapa reproductiva duró 83 días, la chía tuvo una etapa vegetativa que duró 55 días y una etapa reproductiva que duró 91 días, a su vez en el cultivo de amaranto la etapa vegetativa duró 58 días mientras que la etapa reproductiva duró 88 días. Además, se obtuvieron los datos de temperatura diaria durante todo el ciclo de los cultivos, con la cual se calculó las unidades calor (UC) necesarias para el desarrollo y crecimiento de las plantas. Durante todo el ciclo del cultivo la quinua requirió 1489,70 UC, la chía 1072,76 UC y el amaranto 844,34 UC. El rendimiento del cultivo de quinua fue 652,2 g/9m², en el cultivo de amaranto fue 429,7 g/9m² y en el cultivo de chía fue 200,2 g/9m². En las pruebas de germinación se obtuvo un 100% en el cultivo de quinua, un 59% en el cultivo de amaranto y 81% en el cultivo de chía.

Palabras clave: Unidades calor, escala BBCH, fenología, *Chenopodium quinoa*, *Salvia hispánica* L., *Amaranthus* sp.L.

ABSTRACT

The present study was conducted in the parish of Nono north of Quito-Ecuador, which is 2827 meters above sea level and has a temperature that ranges between 14°C and 18°C. Quinoa (*Chenopodium quinoa*), chia (*Salvia hispanica* L.) and amaranth (*Amaranthus* sp.L.) were cultivated under controlled conditions, during the months of October 2017 to April 2018. The phenological monitoring of the population of 30 plants was carried out by cultivation by photos and data collection. The quantitative data taken into account were: days after sowing, plant height, polar and equatorial diameter, size of panicles and number of open flowers. The qualitative data taken into account were: color and shape of the plant. With the quantitative data obtained, the descriptive statistics were calculated (mean, standard deviation, coefficient of variation, variance and range) and with the qualitative data the visual scale was made and described according to the BBCH scale. The phenology of the different stages of the crops was obtained, in the quinoa crop the vegetative stage lasted 63 days and the reproductive stage lasted 83 days, the chia had a vegetative stage that lasted 55 days and a reproductive stage that lasted 91 days, and in the amaranth crop the vegetative stage lasted 58 days while the reproductive stage lasted 88 days. In addition, the temperature data was obtained during the whole period of the crops, with the calorific characteristics necessary for the development and growth of the plants, obtaining in the quinoa 1489.70 heat units, in the chia 1072.76 heat units and in the amaranth 844.34 heat units. Upon reaching physiological maturity, the seeds were harvested obtaining a yield in the population of the quinoa crop 652.2 grams/9m², in the amaranth crop 429.7 grams/9m² and in the chia crop 200,2 grams/9m². In the germination tests 100% was obtained in the cultivation of quinoa, 59% in the amaranth cultivation and 81% in the cultivation of chia.

Key words: Heat units, BBCH scale, phenology, *Chenopodium quinoa*, *hispanica* L., *Amaranthus* sp.L

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Alcance	2
1.2 Justificación	2
2. OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo General.....	3
2.2 Objetivos Específicos	3
3. REVISIÓN DE LITERATURA	3
3.1 Fenología	3
3.2 Escala Biologische Bundesantalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie (BBCH)	6
3.3 Especies estudiadas.....	10
3.3.1 Quinua o quinoa (<i>Chenopodium quinoa</i>)	10
3.3.2 Amaranto (<i>Amaranthus sp. L.</i>).....	13
3.3.3 Chía (<i>Salvia hispanica L.</i>)	16
3.3.4 Cosecha y postcosecha de granos	19
4. MATERIALES Y MÉTODOS	19
4.1 Materiales y Equipos	19
4.2 Métodos	20
4.2.1 Ubicación del estudio.....	20
4.2.2 Análisis estadístico	20
4.2.3 Variables.....	21
4.3 Manejo del experimento	22
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
5.1. Etapas analizadas de la escala BBCH.....	23
5.2. Cultivo de quinua.....	24
5.2.1 Altura de la planta de quinua	24
5.2.2 Crecimiento de la yema apical del tallo principal en el cultivo de quinua	24
5.2.3 Longitud de la panoja apical del tallo principal de la planta de quinua	25

5.2.4 Longitud de la panoja del tallo secundario de la planta de quinua....	25
5.2.5 Número de panojas por planta en el cultivo de quinua	26
5.2.6 Fenología floral del cultivo de quinua.....	27
5.2.7 Grados días desarrollo en el cultivo de quinua	27
5.2.8 Escala visual del cultivo de quinua	29
5.2.9 Rendimiento del cultivo de quinua	37
5.2.10 Calidad de semilla.....	37
5.3. Cultivo de chía	38
5.3.1 Altura de la planta de la chía	38
5.3.2 Crecimiento de la yema apical del tallo principal en el cultivo de chía.....	39
5.3.3 Crecimiento de espiga en el cultivo de chía.....	39
5.3.4 Longitud de espiga en tallo secundario del cultivo de chía	40
5.3.5 Número de espigas en el cultivo de chía	41
5.3.6 Fenología en floración del cultivo de chía	41
5.3.8 Grados días desarrollo en el cultivo de chía	42
5.3.9 Escala visual del cultivo de la chía.....	44
5.3.10 Rendimiento del cultivo de chía	55
5.4. Cultivo de amaranto.....	56
5.4.1 Altura del cultivo de amaranto	56
5.4.2 Crecimiento de yema apical del tallo principal en el cultivo de amaranto.....	56
5.4.3 Crecimiento de panoja en el cultivo de amaranto	57
5.4.4 Número de panojas en el cultivo de amaranto.....	57
5.4.5 Fenología en floración del cultivo de amaranto	58
5.4.6 Grados días desarrollo en el cultivo de amaranto.....	58
5.4.7 Escala visual del cultivo de amaranto	60
5.4.8 Rendimiento del cultivo de amaranto.....	69
5.4.9 Calidad de semilla.....	69
5.4.10 Germinación de semillas.....	69
5.13 Discusión.....	70

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	72
6.1 Conclusiones.....	72
6.2 Recomendaciones.....	72
REFERENCIAS.....	73
ANEXOS.....	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Altura de planta del cultivo de quinua (n=30), Nono 2018.....	24
Figura 2. Diámetro polar y ecuatorial (mm) de la yema principal del cultivo de quinua (n=30), Nono 2018.....	25
Figura 3. Longitud de la panoja del tallo principal (cm) del cultivo de quinua (n=30), Nono 2018.....	25
Figura 4. Longitud de la panoja en tallo secundario del cultivo de quinua (n=30), Nono 2018.....	26
Figura 5. Número total de panojas por planta en el cultivo de quinua (n=30), Nono 2018.....	26
Figura 6. Flores abiertas de la panoja en el cultivo de quinua (n=30), Nono 2018.....	27
Figura 7. Unidades calor acumuladas en el cultivo de quinua.....	29
Figura 8. Emergencia de las primeras panículas apicales de la planta de quinua (51).	29
Figura 9. Hinchazón de las panículas apicales de la planta de quinua (52).	30
Figura 10. Formación de las panículas de la planta de quinua (53).	30
Figura 11. Elongación de la panícula principal en forma conífera de la planta de quinua (54).....	30
Figura 12. Flores aún cerradas de la planta de quinua (55).....	31
Figura 13. Flores aún cerradas de la planta de quinua (59).....	31
Figura 14. Primera flor abierta en la panícula de la panoja de quinua (60).	31
Figura 15. 10% de flores abiertas de la panoja de quinua (61).	32
Figura 16. 20% de flores abiertas de la panoja de quinua (62).	32
Figura 17. 30% de flores abiertas de la panoja de quinua (63).	33
Figura 18. 50% de flores abiertas de la panoja de quinua (65).	33
Figura 19. 60% de flores abiertas de la panoja de quinua (66).	34
Figura 20. Pétalos secos de la flor de la planta de quinua (67).....	34
Figura 21. Acabado floral de la planta de quinua (68).....	35
Figura 22. Fin de floración de la planta de quinua (69).	35
Figura 23. Formación de las semillas.....	35

Figura 24. Semilla madura de la planta de quinua (89).....	36
Figura 25. Altura de planta en el cultivo de chíá (n=30), Nono 2018.....	39
Figura 26. Diámetro polar y ecuatorial (mm) de la yema principal del cultivo de chíá (n=30), Nono 2018.....	39
Figura 27. Longitud de la espiga del tallo principal (cm) del cultivo de chíá (n=30), Nono 2018.....	40
Figura 28. Longitud de panoja en tallo secundario central en el cultivo de chíá (n=30), Nono 2018.....	40
Figura 29. Número de espigas por planta en el cultivo de chíá (n=30), Nono 2018.....	41
Figura 30. Flores abiertas de la espiga en el cultivo de chíá (n=30), Nono 2018.....	42
Figura 31. Unidades calor acumuladas para las diferentes fases fenológicas del cultivo de chíá, Nono 2018	43
Figura 32. Emergencia de primeras panículas apicales de la planta de chíá (51).	44
Figura 33. Hinchazón y crecimiento de panículas apicales de la planta de chíá (52).	44
Figura 34. Formación de panículas apicales de la planta de chíá (53).	44
Figura 35. Elongación de panícula principal de la planta de chíá (54).	45
Figura 36. Flores aún cerradas de la planta de chíá (55).	45
Figura 37. Primeros pétalos visibles de la planta de chíá (59).	46
Figura 38. Primera flor abierta de la planta de chíá (60).	46
Figura 39. 10% y 20% de flores abiertas de la espiga de chíá (61) y (62).	47
Figura 40. 30% de flores abiertas de la espiga de chíá (63).	47
Figura 41. 40% de flores abiertas de la espiga de chíá (64).	48
Figura 42. 50% de flores abiertas de la espiga de chíá (65).	48
Figura 43. 80% de flores abiertas de la espiga de chíá (66).	49
Figura 44. Pétalos secos de la flor de chíá (67).	49
Figura 45. Fin de floración de la planta de chíá (68).	50
Figura 46. Primeras semillas visibles de la planta de chíá (70).....	50
Figura 47. 30% de crecimiento de la semilla de la planta de chíá (73).	51

Figura 48. 50% de crecimiento de la semilla de la planta de chíá (75).	51
Figura 49. 80% de crecimiento de la semilla de la planta de chíá (78).	52
Figura 50. Tamaño final de la semilla de la planta de chíá (79).	52
Figura 51. Maduración de semilla de la planta de chíá (80).	53
Figura 52. Semilla madura de la planta de chíá (89).	53
Figura 53. Altura de planta en el cultivo de amaranto (n=30), Nono 2018.	56
Figura 54. Diámetro polar y ecuatorial (mm) de yema principal del cultivo de amaranto (n=30), Nono 2018.	56
Figura 55. Longitud de la panoja del tallo principal (cm) del cultivo de amaranto (n=30), Nono 2018.	57
Figura 56. Número de panojas por planta en el cultivo de amaranto (n=30), Nono 2018.	57
Figura 57. Flores abiertas del racimo en el cultivo de amaranto (n=30), Nono 2018.	58
Figura 58. Unidades calor acumuladas en el cultivo de amaranto.	59
Figura 59. Emergencia de primeras panículas de la planta de amaranto (51). 60	
Figura 60. Formación de panículas apicales de la planta de amaranto (52). ...	60
Figura 61. Elongación de panículas apicales de la planta de amaranto (53). ...	61
Figura 62. Elongación de panículas apicales de la planta de amaranto (54). ...	61
Figura 63. Flores aún cerradas de la planta de amaranto (55).	61
Figura 64. Primeros pétalos visibles de la planta de amaranto (59).	62
Figura 65. Primera flor abierta de la planta de amaranto (60).	62
Figura 66. 10% de flores abiertas de la panoja de amaranto (61).	63
Figura 67. 20% de flores abiertas de la panoja de amaranto (62).	63
Figura 68. 30% de flores abiertas de la panoja de amaranto (64).	64
Figura 69. 50% de flores abiertas de la panoja de amaranto (65).	64
Figura 70. 60% de flores abiertas de la panoja de amaranto (66).	65
Figura 71. Pétalos secos de la flor de amaranto (67).	65
Figura 72. Fin de floración de la planta de amaranto (69).	66
Figura 73. Primeras semillas visibles de la planta de amaranto (70).	66
Figura 74. 30% de crecimiento de la semilla de la planta de amaranto (74). ...	67
Figura 75. 50% de crecimiento de la semilla de la planta de amaranto (78). ...	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estadios de crecimiento principal de las plantas según la escala BBCH.....	7
Tabla 2. Estadios de crecimiento secundarios de una planta según la escala BBCH.....	8
Tabla 3. Emergencia de la inflorescencia (5)	23
Tabla 4. Floración (6)	23
Tabla 5. Unidades calor acumuladas en las diferentes fases fenológicas del cultivo de quinua	28
Tabla 6. Fenología reproductiva de la quinua según la escala BBCH, Nono 2018	36
Tabla 7. Calidad de semilla del cultivo de quinua.....	37
Tabla 8. Germinación y vigor del cultivo de quinua	38
Tabla 9. Unidades calor acumuladas en el cultivo de chía.....	42
Tabla 10. Fenología reproductiva de la chía según la escala BBCH, Nono 2018	54
Tabla 11. Calidad de semilla del cultivo de chía.....	55
Tabla 12. Germinación de semillas del cultivo de chía.....	55
Tabla 13. Unidades calor acumuladas en el cultivo de amaranto	59
Tabla 14. Fenología reproductiva del amaranto según la escala BBCH, Nono 2018	68
Tabla 15. Calidad de semilla del cultivo de amaranto	69
Tabla 16. Germinación de semillas del cultivo de amaranto	69

1. INTRODUCCIÓN

La quinua (*Chenopodium quinoa*) es un pseudocereal consumido por las primeras civilizaciones en América. Se utiliza como materia prima por su valor nutricional, económico y cultural. Pertenece al orden Caryophyllales familia Amaranthaceae, subfamilia Chenopodioideae, (Capparelli, Pochettino, Lema, López y Andreoni, 2017). En los últimos años, la quinua ha adquirido una alta relevancia como cultivo alternativo a los cereales debido a su excelente valor nutricional. Los países donde se cultiva y exporta la quinua son Bolivia, Perú, Ecuador y Chile (Capparelli, Pochettino, Lema, López y Andreoni, 2017).

El cultivo de amaranto (*Amaranthus sp.* L) es un alimento potencial de gran valor económico y nutricional, debido a la alta proteína del grano y calidad del almidón (Cai, Sun y Corke, 1998). Además, es comercializado como materia prima para tinte natural, productos farmacéuticos y lubricantes para piel.

La chía (*Salvia hispanica* L.), originaria del sur de México, es usada para alimentación de las personas como semilla entera o como derivados: harina, aceite y mucílago, por su gran fuente de fibra y ácidos grasos poliinsaturados (Fernández y Salas-Mellardo, 2017).

La presente investigación describe las etapas fenológicas florales de la quinua, chía y amaranto por medio de la escala extendida Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie (BBCH), la cual es una herramienta uniforme, suficiente y precisa en la descripción de cualquier cultivo. Se han escogido los cultivos anteriormente mencionados debido a la escasa información sobre sus estadios fenológicos florales.

En los últimos años alrededor de 205 millones de niños menores de 5 años padecen de desnutrición crónica en países subdesarrollados (MSP, 2016). Tomando en cuenta que la niñez es la etapa fundamental para el desarrollo de las personas, los pseudocereales estudiados en el presente estudio son una alternativa ideal a la desnutrición, por su contenido y calidad nutricional. Además, las tres especies son considerados dentro de los cultivos

prometedores del mundo entero, según una investigación realizada en el año 1975 por la Academia Nacional de ciencias de los Estados Unidos (Sánchez, 2010). En la actualidad la oferta de la industria alimentaria se ha direccionado a la producción de suplementos sintéticos, por lo cual el mercado se ha limitado a su consumo. La quinoa, chía y amaranto son cultivos con alto potencial para sustituir de manera natural a los productos sintéticos a un menor costo.

1.1 Alcance

Los estadios fenológicos que se describen en la presente investigación acorde a la BBCH, son la etapa de crecimiento principal 5 que corresponde a la emergencia de la inflorescencia, la etapa de crecimiento principal 6 que corresponde a floración, la etapa de crecimiento principal 7 que corresponde a formación de semilla y la etapa de crecimiento principal 8 que corresponde a maduración de semilla, de las tres especies.

El estudio se realizó en la zona de Nono ubicada al norte de Quito, la cual se ubica a 2 724 msnm y posee una temperatura que varía entre 12 y 18°C (Agricultura, 2017).

1.2 Justificación

Existen varias herramientas para la descripción de los estadios fenológicos de las plantas, como la escala de Baggiolini (1992), la de Eichhorn y Lorenz (1977) y la BBCH (1998). Se ha seleccionado la escala BBCH por su precisión y especificidad en cada cultivo, en comparación con las otras escalas que fueron desarrolladas específicamente para el cultivo de la vid.

Determinar la fenología floral de la quinua, chía y amaranto mediante la escala BBCH, aportará conocimiento sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas, el cual se puede aplicar en el manejo agronómico para implementar las Buenas Prácticas Agrícolas, fitosaneamiento e incluso para programas de mejoramiento genético de las especies estudiadas. Esto beneficiará directamente a la comunidad científica, horticultores y fitomejoradores de la región.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Determinar las etapas fenológicas florales de quinua (*Chenopodium quinoa*), chía (*Salvia hispanica* L.) y amaranto (*Amaranthus sp.L.*) mediante la escala Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie (BBCH) en Nono

2.2 Objetivos Específicos

- Describir las etapas fenológicas de la fase reproductiva de quinua, chía y amaranto mediante la escala BBCH bajo condiciones controladas en Nono.
- Crear una escala visual de los cambios fenológicos florales, de las tres especies indicadas.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

Para iniciar este estudio, es importante comprender la diferencia entre crecimiento y desarrollo, ya que ambos están combinados en los procesos de la planta. Según Vásquez (1993) el crecimiento es el aumento de volumen, peso, longitud, anchura o algún otro parámetro cuantitativo, mientras que el desarrollo es el cambio estructural y fisiológico conformado por eventos sucesivos más complejos, es decir, la aparición de botones florales, cambios en las fases, etc., que se detallan cualitativamente, por lo tanto, no puede haber desarrollo sin que haya crecimiento o viceversa (Neyoy, 2009).

3.1 Fenología

La fenología trata el estudio en el tiempo de los sucesos biológicos de la planta. Entre ellos se incluye el desarrollo de hojas, floración, fructificación y senescencia. Los eventos fenológicos se ven especialmente por la temperatura, por lo cual la fenología es una herramienta esencial para poder entender como las especies responden al clima (Wills, Ellwood, Primack, Davis y Pearson, 2017).

Al referirse al ciclo de vida de una planta, la fenología se puede clasificar en fases como la vegetativa y la reproductiva, dentro de estas fases, se halla las subfases que son aquellas que presentan la presencia de órganos en una etapa específica de desarrollo, por ejemplo, flores abiertas, flores marchitas, frutos maduros, etc. y las fenofases que son aquellas que se pueden sobreponer (traslapar), es decir, en la fenofase de floración puede presentarse paralelamente la fenofase de fructificación debido al comportamiento de cada especie (Delnevo, Petraglia, Carbognani, Vandvik y Halbritter, 2018).

Es importante comprender la diferencia de fase y de etapa. Fase es la aparición de los órganos vegetales, por ejemplo, emergencia, brotación, floración; mientras que la etapa es el conjunto de fases sucesivas. El comienzo y final de fases y etapas ayudan a determinar la rapidez del crecimiento y desarrollo de las especies vegetales (Basaure, 2009).

Ciertos eventos fenológicos, como el desarrollo de hojas y la floración se ven afectados por el clima. Se conoce el comportamiento fenológico en un número limitado de especies, la mayoría con escalas de tiempo corto (Wills, Ellwood, Primack, Davis y Pearson, 2017). Debido a la importancia de la fenología se han llevado a cabo estudios en especies de gran importancia comercial en todo el mundo, como el arroz, el maíz, el girasol, los guisantes, entre otras (Liu y otros, 2015).

La fenología reproductiva facilita la comprensión de los aspectos morfológicos, fisiológicos y pueden ser utilizados en programas de mejoramiento genético, que determinan el comportamiento de reproducción (sexual) de una especie vegetal, permitiendo conocer la estructura floral y los tipos de polinización natural de la planta (Corredor y García , 2011).

Para determinar la fenología en las plantas se pueden utilizar tres métodos:

1. Grados días desarrollo

La temperatura es considerada el factor climático más importante que influye sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas (Hoyos y otros, 2012). Los Grados Días Desarrollo (GDD) es el índice aplicado a varios cultivos para predecir su madurez fisiológica, también es conocido como el reloj térmico para los cambios que se dan en la planta, ya que para pasar de una etapa a otra depende de la cantidad de calor acumulado (Endicott, Brueland, Keith, Schon y Bremer, 2015). El desarrollo sucede dentro de un rango de temperaturas, a medida que la temperatura aumenta, el desarrollo de la planta se acelera, mientras que se reduce si la temperatura baja. Lo ideal es llegar a la temperatura óptima, que es aquella en la cual el desarrollo ocurre rápidamente. Temperaturas más altas o más bajas que la óptima pueden afectar la velocidad de desarrollo y crecimiento e incluso puede llegar a matar a la planta (FAO, 2001).

Cada etapa de desarrollo de una planta requiere un mínimo de acumulación de calor para alcanzar una etapa y así la planta pueda pasar a la siguiente etapa. Es así que la planta acumula la temperatura de cada día. El total acumulado por cada día se mide en unidades térmicas o unidades calor que son los grados/días (°C) y es determinado como tiempo térmico o suma de calor (FAO, 2001).

2. Edad de la planta

El estudio de la fenología, en donde se ve involucrada la edad de la planta y la comprensión de las distintas especies vegetales han sido muy importantes en la historia. Hasta los años ochenta, no existía un método de codificación uniforme para describir etapas de desarrollo de las principales plantas cultivadas y las etapas fenológicas se caracterizaban habitualmente combinando letras y números (Rajan, Saxena, Singh, Reddy y Upreti, 2011). Fleckinger (1948), desarrolló una escala para árboles frutales que no cumplía con los requisitos de una escala de crecimiento y describía principalmente las yemas florales y no el desarrollo de las hojas y los órganos vegetativos (Rajan,

Saxena, Singh, Reddy y Upreti, 2011). Baggiolini (1952), estableció una escala en la cual identificaba diez estadios fenológicos desde brotación de la yema hasta crecimiento del fruto, los cuales eran catalogados con letras desde la A hasta la letra O (Torres, Shmitz y Stockel, 1992). Otra escala propuesta por Aubert y Lossois (1972) se centró únicamente en el desarrollo de brotes y panículas.

3. Escalas

Zadoks y otros (1974) publicaron el primer código decimal para estandarizar la descripción de las etapas de desarrollo parecidas en diferentes cultivos usando códigos estándar. Eichhorn y Lorenz (1977) tomaron los diez estadios fenológicos de la escala de Baggiolini y la subdividieron, obteniendo un total de 47 estadios. Esta escala se caracterizó por ser codificada con números de dos dígitos, permitiendo un sistema más preciso (Gonzalez, 2011).

3.2 Escala *Biologische Bundesantalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie* (BBCH)

Un desarrollo adicional en la metodología de registro de la fenología de las plantas es la escala *Biologische Bundesantalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie* conocido como BBCH propuesto por (Bleiholder, Buhr, Feller, Hack y Hess, 1998) y la escala extendida a la BBCH propuesta por Hack y otros (1992). La ventaja de esta escala es su simplicidad, uniformidad y facilidad de uso para las plantas anuales, bianuales y perennes. Además describe las etapas vegetativas y reproductivas del crecimiento de la planta. Desde entonces, la escala BBCH ha sido ampliamente aceptada en cultivos como cereales, colza, frijol, girasol, remolacha, papa, árboles frutales como granada, cítricos, níspero, aceituna, vid, vegetales y otros (Rajan, Saxena, Singh, Reddy y Upreti, 2011).

La escala extendida BBCH es un sistema de codificación que identifica fenológicamente los estadios de crecimiento para todas las especies de plantas monocotiledóneas y dicotiledóneas. Este sistema de codificación corresponde

al Centro Federal de Investigaciones Biológicas para Agricultura y Silvicultura (BBA) de la República Federal Alemana (Bleiholder, Buhr, Feller, Hack y Hess, 1998).

Esta escala generalmente consta de diez etapas principales (0-9), las cuales se dividen en diez etapas secundarias de crecimiento (0-9). Se fracciona especialmente entre estadios de crecimiento principales y secundarios, como fueron establecidos en el código creado por Zadoks y otros (1974) con el propósito de brindar un mayor uso a las claves fenológicas.

Los estadios de crecimiento principal describen tiempos amplios en el desarrollo de la planta, estos se detallan en la tabla 1:

Tabla 1.

Estadios de crecimiento principal de las plantas según la escala BBCH

0	Corresponde a la germinación, brotación y desarrollo de la yema.
1	Corresponde al desarrollo de las hojas (brote o tallo principal).
2	Corresponde a la formación de brotes laterales/macollaje.
3	Corresponde al crecimiento longitudinal del tallo y desarrollo de brotes.
4	Corresponde al desarrollo de las partes vegetativas cosechables de la planta o de órganos vegetativos de propagación.
5	Corresponde a la emergencia de la inflorescencia (tallo principal).
6	Corresponde a la floración.
7	Corresponde al desarrollo del fruto.
8	Corresponde a la maduración de frutos y semillas.
9	Corresponde a la senescencia donde empieza la dormancia.

Adaptado de Bleiholder, Buhr, Feller, Hack y Hess (1998).

La escala extendida BBCH es la base para todas las especies. Esta posee una escala individual de cultivos específicos como frutales, hortalizas, cereales, entre otros, que se desarrollan a partir de escala extendida. También posee una escala general que puede ser aplicada en aquellas especies para las cuales no existe una escala individual (Bleiholder, Buhr, Feller, Hack y Hess, 1998).

Las distintas especies deben tener el mismo estadio fenológico con el mismo código. Para cada código, la descripción es fundamental, y para algunos estadios de importancia, se pueden incluir dibujos o fotografías (Bleiholder, Buhr, Feller, Hack y Hess, 1992). En la descripción de los estadios fenológicos de desarrollo, se utilizan características externas reconocibles, el desarrollo del tallo principal se debe tomar en cuenta ya que es una regla de la escala.

Los estadios secundarios de 0 a 9 corresponden al valor porcentual. Estos deben ser identificados para una descripción detallada del cultivo, ya que el estadio tres puede corresponder a la tercera hoja verdadera, tercer brote, 30% de la longitud final característica de la especie o el 30% de las flores abiertas.

Los procesos de post-cosecha o de almacenamiento se incluyen en el código 99, mientras que los procesos previos a la siembra de la semilla incluyen en el código 00.

Tabla 2.

Estadios de crecimiento secundarios de una planta según la escala BBCH

00	Semilla seca.
10	Primeras hojas se separan del brote.
20	Primer brote lateral visible.
30	Tallo principal alcanza el 10% de su longitud y grosor final.
40	Inicio del desarrollo de partes vegetativas cosechables de la planta o de los órganos de propagación vegetativa.
50	Órganos florales visibles.
60	Primeras flores abiertas.
70	Primeros frutos visibles.
80	Inicio de maduración o coloración de frutos.
90	Fin del crecimiento, follaje se mantiene verde.

Los estadios de crecimiento secundarios son utilizados para describir con mayor precisión fases cortas del desarrollo de las plantas. Estos también son codificados de manera ascendente con números del 0 a 9.

La escala posee un ciclo completo de desarrollo que se subdivide en diez estadios principales de crecimiento notoriamente distinguibles. Estos estadios principales de crecimiento son descritos usando números que van del 0 al 9 de manera ascendente. Dependiendo de la especie pueden producirse cambios en el proceso de desarrollo, o también puede que determinados estadios no se presenten.

Los estadios principales de crecimiento no ocurren de manera ascendente y de forma secuencial necesariamente, se pueden desarrollar en forma paralela. Cuando se desarrollan de manera paralela, los códigos deben ser señalados usando una raya diagonal, que indica que se encuentran presentes de manera similar (Bleiholder, Buhr, Feller, Hack y Hess, 1998).

La combinación de números en un estadio principal de crecimiento y en un estadio secundario de crecimiento llevan al código digital de dos cifras, este ofrece la posibilidad de precisar y definir todos los estadios fenológicos para la mayoría de las especies vegetales (Bleiholder, Buhr, Feller, Hack y Hess, 1998).

Son pocos los casos que necesitan una subdivisión más detallada junto a un estadio principal de crecimiento como son el pepino, la papa, el tomate y la cebolla, en estos casos se presenta una escala de tres dígitos en lugar de la escala de dos dígitos. La escala de tres dígitos involucra a los mesoestadios, que son aquellos que se encuentran entre los estadios principales y secundarios, haciendo una subdivisión más extendida. Los mesoestadios del 0 al 1 detallan solamente el tallo principal, mientras que los mesoestadios del 2 al 9 detallan los brotes laterales (Bleiholder, Buhr, Feller, Hack y Hess, 1998).

La escala BBCH permite la comparación de códigos individuales siempre que estén dentro de un estadio principal de crecimiento, es decir, un código mayor indica una planta más adulta fisiológicamente, ya que así se logra establecer una lista en función a la madurez fisiológica de la especie vegetal. Para amplios periodos de tiempo en el desarrollo de la planta, se puede codificar dos estadios a la par conectados mediante un guion (Bleiholder, Buhr, Feller, Hack y Hess, 1998).

La descripción de un estadio de crecimiento en la escala BBCH se basa en las características principales de una planta individual, si la escala es usada en una población de plantas debe por lo menos describir el 50% de la misma (Bleiholder, Buhr, Feller, Hack y Hess, 1998).

Es importante conocer también sobre los cultivos, su manejo y requerimientos para comprender su comportamiento ante los diversos métodos utilizados para determinar su fenología.

3.3 Especies estudiadas

3.3.1 Quinua o quinoa (*Chenopodium quinoa*)

Estudios indican, que el cultivo de quinoa se domesticó hace 5000 años en el lago Titicaca por culturas prehispánicas. En ese entonces él pseudocereal se le conocía con el nombre de “jiwra” o “kiwna” en el idioma Quechua. En dicho lugar antiguamente hubo largos años de sequía constante, lo que provocó altas pérdidas en la cosecha hasta la muerte de sus habitantes por la falta de comida (Murillo y Sánchez, 2013). Los pocos sobrevivientes que quedaron se alimentaron con granos de quinua, por esta razón su nombre jiwra que significa “levanta moribundos”. Desde entonces la cuenca del lago Titicaca se considera el centro de origen de dicho cultivo por la gran variabilidad genética (Agroscopio, 2017).

En el Ecuador, los primeros cultivos de quinua se encontraron en el año de 1548 en la cultura Cañaris, antes de la venida de los españoles. Luego en el

año 1605 las comunidades indígenas de Ambato y Chimbo que empiezan a cultivar quinua, quienes la consideraban tan buena como el arroz, con el pasar de los años se fue conociendo a la quinua en todo el país a través de la comercialización de esa época (Peralta, 2009).

Hasta el año 1960, el consumo de la quinua no tuvo gran acogida en comparación con la cebada y el trigo, considerándolo como comida de indígenas o de bajo nivel económico. Sin embargo, para los campesinos era uno de los alimentos principales en su dieta. Hoy en día la quinua se consume alrededor de todo mundo, considerándolo un alimento con gran valor nutricional (Murillo, 2013).

Los centros de producción de la quinua en el Ecuador son el Carchi, Pichincha, Imbabura, Cotopaxi, Loja y Chimborazo. En el año 1975, la superficie cultivada en todo el país era 1200 hectáreas (Tapia, 2007). Hoy en día, se cuenta con dos mil hectáreas cultivadas con quinua (MAG, 2017). A nivel mundial, el 80% de producción de quinua se obtiene de Bolivia, Perú y Ecuador (Morillo, Castro y Morillo, 2017).

La quinua es un pseudocereal que pertenece a la familia Chenopodiaceae. Es un cultivo anual, dicotiledónea, su material genético $2n$ contiene 36 cromosomas (Morillo, Castro y Morillo, 2017). Se siembra desde 0-4000 msnm y se caracteriza por tener una gran adaptación a diferentes tipos de suelo y a condiciones climáticas, tolera sequías, alta radiación solar y bajas temperaturas (Morillo, Castro y Morillo, 2017).

Es una planta que puede tener una altura entre 1-3 metros, tiene hojas anchas en forma de triángulo y el tallo es ramificado (FAO, 2011). La inflorescencia de la quinua es considerada una panoja por la disposición y agrupamiento de las flores, las panojas se clasifican en dos tipos amarantiforme o glomerular (Tapia, Gandarillas, Alandia y Cardozo, 1979).

Las flores no tienen pétalos por lo que se consideran incompletas, son pequeñas de color amarillo y se encuentra en las panículas. Las flores de la panícula central son masculinas o hermafroditas y las flores de las panículas laterales son femeninas, el porcentaje de flores masculinas, hermafroditas y femeninas depende de la variedad (Peralta, 2010). Las flores hermafroditas tienen un perigonio sepaloide que se forma del androceo compuesto por cinco estambres cortos y un filamento, este rodea los estigmas y el gineceo que contiene el ovario elipsoidal (Peralta, 2010). La flor pistilada o femenina contiene el gineceo y el perigonio. Las flores se mantienen abiertas en un tiempo de cinco a siete días y el tiempo de floración dura entre doce y quince días (FAO, 2011).

La planta de quinua presenta autofecundación. La semilla se considera un aquenio que se encuentra cubierto por un perigonio para sostenerse de la planta. Este perigonio es el responsable del color de la semilla que puede ser púrpura, verde, rojo o habano. El pericarpio de la semilla contiene la saponina que le transfiere el sabor amargo a la misma, en algunas variedades el pericarpio se puede extraer fácilmente (Peralta, 2009).

La quinua tiene grandes propiedades nutricionales, entre ellas su alto contenido de proteína debido a que presenta todos los aminoácidos esenciales, cuenta con cantidades significativas de vitaminas (B1, B2, B3, C y E) y minerales (Mn^{+2} , K^{+1} , Fe^{+2} , Ca^{+2} , y Mg^{+2}). Tiene componentes antioxidantes debido a las isoflavonas presentes en su composición química, los ácidos grasos de calidad y no contiene gluten (Morillo, Castro y Morillo, 2017).

Por lo expuesto anteriormente y su capacidad de soportar condiciones extremas la quinua se considera como un cultivo de seguridad alimentaria desde el siglo XXI, por lo que tiene una alta participación en los mercados a nivel nacional e internacional (Sven, 2014).

3.3.1.1 Requerimientos edafoclimáticos de quinua

El cultivo de quinua tiene un ciclo entre 150-170 días después de la siembra (dds), lo que va a depender de la variedad y las condiciones ambientales. Requiere de 500 a 800 mm de precipitación. La temperatura varía entre los 7°C y 17°C. El suelo debe ser franco arenoso con buen drenaje y un pH de 5,5 a 8,0 (Gomez y Aguilar, 2016). De acuerdo a la fertilidad de suelo se determina la fertilización necesaria según las necesidades del cultivo (Huamán, 2015). Los requerimientos nutricionales de la quinua en macronutrientes son: nitrógeno (N) 43-44%, fósforo (P^2O^5) 12-13%, potasio (K^2O) 44% y en micronutrientes son: hierro, zinc, cobre, cloro, manganeso, molibdeno y boro.

3.3.1.2 Manejo agronómico de quinua

Según el manual agrícola de granos andinos propuestos por INIAP (2014) para el cultivo de quinua se debe considerar: para la siembra se realiza surcos a una distancia entre 40 a 60 cm, se coloca la semilla a chorro continuo a 1 cm de profundidad. Se necesita entre 12-16 kg de semilla por hectárea.

En el control de arvenses se debe realizar mediante una deshierba semanal por las primeras tres o cuatro semanas. Un raleo de las plantas a la tercera o cuarta semana dependiendo del tamaño de la planta y se deja 15 cm entre planta y finalmente un aporque cuando el cultivo lo requiera (60 días). Se debe evitar que este seco el suelo durante la germinación, emergencia, floración y en la formación de semilla.

3.3.2 Amaranto (*Amaranthus sp. L.*)

El cultivo de amaranto se conoce desde hace 4000 años atrás en Latinoamérica. En la conquista de los españoles se encontraron varios cultivos como el amaranto, fréjol, quinua y maíz. El amaranto se utilizaba para ritos religiosos en la cultura Azteca, por esta razón los españoles prohibieron al cultivo como alimento. Lo que provocó un rechazo por la comunidad durante muchos años. Sin embargo, actualmente se están realizando investigaciones

sobre el cultivo, su valor alimenticio y además por su adaptación a ambientes hostiles (Mapes, 2015).

Se considera que el cultivo de amaranto tiene su centro de origen en Latinoamérica. Existen tres especies que han sido domesticadas, el *A. hypochondriacu*, *A. cruentus* y *A. caudatus*. La mayor producción de amaranto se encuentra en Perú, México, India, Bolivia, Pakistán, Guatemala, Malasia, China e Indonesia (Espitia, 2012).

En el Ecuador el cultivo se conoce con los nombres de ataco, quinua de castilla o sangorache. El cultivo no se ha desarrollado, algunos casos se lo considera como maleza o como planta ornamental. Sin embargo, se ha domesticado en la Sierra en su mayoría la especie *A. quitensis* y en la Costa la especie *A. dubitus* (Becerra, 2000).

El amaranto pertenece a la familia Amarantaceae, es un cultivo anual, es $2n$ con 34 cromosomas (Sánchez, 2010). Puede llegar a medir hasta dos metros de altura, dependiendo de la especie. Tiene una raíz pivotante y muchas raíces secundarias y terciarias. Tiene un eje central el cual se ramifica desde la base o desde media altura del tallo. Sus hojas son alternas de forma elíptica con algunas nervaduras. Según la especie puede variar entre colores verde y morados (Sánchez, 2010).

Las inflorescencias o panojas son de color amarillo, morada o café, pueden ser glomerulada o rectas. Es una planta con flores hermafroditas, el gineceo contiene el ovario que está rodeado por tres estigmas, donde se alberga una sola semilla y el androceo presenta cinco estambres con anteras. Las plantas se componen por una panoja principal y varias panojas secundarias que nacen generalmente de la panoja principal. En cada panoja se pueden encontrar más de 250 flores. (Salas, 2014)

La semilla del amaranto puede llegar a medir 1,5 mm de diámetro, son circulares y de color habano, amarillos o blancos. La capa externa de la semilla se llama pericarpio, la segunda capa es la que contiene la mayor cantidad de proteína y se forma de dos cotiledones, la capa interna llamada endosperma es rica en almidón. La cosecha de la semilla se realiza aproximadamente a los 150 o 180 días (Porr, 2009).

El amaranto es uno de los alimentos más completos de origen vegetal, es una fuente muy importante de proteína por la gran cantidad de aminoácidos esenciales como la lisina, además contiene minerales (Ca^{+2} , P^{+1} y Fe^{+2}), vitaminas (B1, B2, B3, A, B, C), ácido fólico y niacina. El colorante de este cultivo presenta también proteína, antioxidantes y minerales (Fierro y Recalde, 2012).

Por su composición nutritiva está recomendado el consumo de amaranto para prevenir enfermedades como la diabetes, mellitus, osteoporosis, obesidad, estreñimiento, hipertensión arterial, diverticulosis, insuficiencia renal o hepática, encefalopatía; además es un alimento apto para personas celiacas y se recomienda para personas con autismo (Porr, 2009).

Se considera que, si el alimento fuera consumido por todas las familias ecuatorianas junto con la quinua, la desnutrición sobre todo infantil disminuiría, debido a que la causa de esta anomalía principalmente es la falta de proteína. También mejoraría las habilidades motrices de las personas. (Fierro y Recalde, 2012).

3.3.2.1 Requerimientos edafoclimáticos de amaranto

Se siembra entre los 2000-2900 msnm, requiere de 300-600 mm de precipitación. El tipo de suelo debe ser franco arenoso con buen drenaje y con un pH entre 6,0 – 7,5. Los requerimientos nutricionales del amaranto en cuanto a macronutrientes son: nitrógeno (N) 80%, fósforo (P^2O^5) 60%, potasio (K^2O) 40%, calcio y azufre; y en micronutrientes son: hierro, zinc, cobre y boro

(Indesol, 2014). De acuerdo a la fertilidad de suelo se determina la fertilización necesaria según las necesidades del cultivo (Peralta, Mazón, Murillo, Rivera y Rodríguez, 2012).

3.3.2.2 Manejo agronómico de Amaranto

Según el manual agrícola de granos andinos propuestos por INIAP (2014) el manejo agronómico del cultivo de amaranto se debe considerar, para la siembra se debe preparar el suelo, luego se forman los surcos a 60 cm de distancia, la semilla se coloca a chorro continuo. Se requiere 8 kg de semilla por hectárea.

El control de arvenses se debe realizar a través de una deshierba semanal por las primeras tres o cuatro semanas. El raleo a la tercera o cuarta semana dependiendo del tamaño de la planta y se deja 15 cm entre planta y finalmente un aporque cuando el cultivo tiene unos 50 cm de alto. Se debe mantener el suelo con humedad durante la germinación, emergencia, floración y en la formación de semilla.

3.3.3 Chía (*Salvia hispanica* L.)

El cultivo de chía se lo conoce desde 3500 años antes de Cristo en México y Guatemala, por ende, las culturas precolombinas como los Aztecas iniciaron su cultivo. El cultivo tenía un papel muy importante en la dieta, la economía, la medicina y el arte de estos pueblos. Luego, en la conquista española muchos de los cultivos nativos fueron reemplazados, lo que provocó la desaparición de la chía en gran parte de México (Bueno, Busilacchi, Quiroga y Severin, 2012). El cultivo logró resurgir a los 500 años de la conquista. En el año 1965 se lo consideró como un producto importante en la nutrición de las personas debido a la composición química de la semilla y sus propiedades nutricionales sobre todo en Estados Unidos la cual comienza a venderse en centros naturistas (Rovati, Escobar y Prado, 2012).

Los países de mayor producción son México, Colombia, Guatemala, Bolivia, Australia, Ecuador y Argentina. En Ecuador, los cultivos de chía han tenido un protagonismo importante desde el siglo pasado y su cultivo se ha expandido en el país especialmente en la provincia de Santa Elena, Imbabura y Los Ríos. La semilla de chía se ha destinado específicamente para la exportación desde el año 2005 (Busilacchi, Bueno, Di Sapio y Quiroga, 2013). Según estadísticas de Proecuador en el año 2012, existían más de 700 hectáreas cultivadas con chía, con un rendimiento de 800,000 kg/ha de grano (Cisneros, 2016).

El cultivo de chía es una planta herbácea anual, pertenece a la familia Lamiaceas, $2n$ con 12 cromosomas (Pizarro, 2014). La altura de la planta varía entre 1-2 metros, el tallo es cuadrado, muy ramificado y con un aroma fuerte, tiene hojas verdes simple, opuestas con margen dentado y nervaduras en el envés (Pizarro, 2014).

Las flores se presentan en la espiga central y axial, ordenadas en grupos, tienen un pedúnculo pequeño, cáliz en forma de tubo y corola de color azul-moradas. Contiene cuatro estambres de los cuales dos son estériles. Las flores tienen polinización cruzada (Pizarro, 2014). La semilla es de color negro o blanco según la variedad, aplanada, con manchas oscuras (Hernández y Salvador, 2008).

Se conoce a la chía como un pseudocereal, su composición química presenta un 35% de ácidos grasos, resaltando el linolénico (Omega 3), 20% de proteína y 25% de fibra. Además, es un pseudocereal antioxidante y no contiene gluten, considerándose un alimento completo. Por lo cual su demanda ha ido creciendo tanto en semilla como en productos elaborados a base de chía. También es utilizado en la industria como secante de pintura (Pizarro, 2014).

Una de las ventajas del cultivo de chía comparando con otros cultivos, es que posee poca cantidad de sodio, tiene mayor cantidad de proteína y vitaminas que muchos otros cereales como el trigo, arroz, cebada y avena. El contenido

de vitamina B3 es más alto en comparación con el arroz, la soja y el maíz y el cártamo y el contenido de fibra es mayor que el de la cebada, maíz, trigo, arroz y avena (Rovati, Escobar y Prado, 2012).

La recomendación de consumo de omega 3 es 4 g/día. La chía tiene un 30% de lípidos de los cuales el 64% es omega 3, teniendo como resultado que el consumo de 24 gramos de semilla al día cubre las necesidades de las personas (Busilacchi, Bueno, Di Sapio y Quiroga, 2013).

3.3.3.1 Requerimientos edafoclimáticos de la chía

El cultivo de chía requiere de mucha luz, la temperatura óptima se encuentra entre 18-26°C, no tolera temperaturas superiores a 30°C ni inferior de 11°C. Necesita un suelo muy húmedo al momento de la germinación, y luego la necesidad de agua es mínima, una vez por semana. El suelo debe ser arenoso-limoso con buen drenaje, para evitar la pudrición en el tallo. Los requerimientos nutricionales de la chía son nitrógeno 2,8-3%, fósforo 2,3-2,5%, potasio 2,5-3%, magnesio 0,5-0,9%, calcio 2,4-3%, azufre 0,4-0,62%, Zinc 250-276 ppm, boro 42-60 ppm, manganeso 345-465 ppm (Alvario, 2013). De acuerdo a la fertilidad de suelo se determina la fertilización necesaria según las necesidades del cultivo.

3.3.3.2 Manejo agronómico de chía

Según las labores culturales propuestos por Tapia (2007) para el cultivo de chía se debe considerar: preparar el terreno para eliminar arvenses. Se forman los surcos a una distancia de 60 cm y se siembra a chorro continuo a una profundidad de 1 cm.

En el control de arvenses se debe realizar cuando sea necesario por las primeras tres o cuatro semanas. Un raleo cuando la planta tenga unos 20 cm, dejando a una planta a 15 cm, finalmente un aporque cuando el cultivo lo requiera. El riego debe ser adecuado a las necesidades del cultivo para tener una buena germinación, emergencia, floración y en la formación de semilla.

3.3.4 Cosecha y postcosecha de granos

Es importante que la cosecha se realice al llegar a la madurez fisiológica, fase en la cual alcanza la calidad máxima del grano. A partir de esta, es posible realizar la cosecha del cultivo sin afectar el rendimiento del mismo. En este estadio fenológico, el alto contenido de humedad de los granos no permite almacenar por lo que debe proceder a secarse (Choque, 2010). En los granos se evalúa la calidad física a través del color en la planta, dureza de la semilla y del hilum, el cual conecta el grano con la planta.

Se realiza la cosecha manualmente o mecánicamente con una trilladora. Es necesario evitar que existan impurezas o agentes extraños. Después de la cosecha la semilla debe pasar por un proceso de limpieza y clasificación. Luego se procede a secar la semilla, puede ser al ambiente o mecánicamente para almacenar la semilla con 13% de humedad, se debe empacar en sacos o en empaques con tapa, apilarlos lejos del suelo (sobre pallets o canastos plásticos) y paredes. Los cuartos deben ser limpios, libres de humedad y plagas con ventilación constante.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Materiales y Equipos

Material biológico

- Semillas de quinua (*Chenopodium quinoa*)
- Semillas de chía (*Salvia hispanica L.*)
- Semillas de amaranto (*Amaranthus sp. L.*)

Material de laboratorio

- Estereoscopio Micros Austria
- Cámara Infinity de Estereoscopio
- Lámpara

Material de invernadero

- *Data Logger* Hobo
- Cámara fotográfica Cannon EOS 950 Rebel
- Equipo de riego por goteo y aspersión
- Etiquetas plásticas
- Cinta de mediciones
- Cuerda

Otros

- Computadores
- Software Winjoe específico para toma de fotografías
- Windows Office
- Libro de campo

4.2 Métodos

4.2.1 Ubicación del estudio

La presente investigación, se desarrolló en el invernadero de la granja experimental UDLA que se encuentra en la parroquia de Nono cantón Quito, sus coordenadas son: 0°02'38.0" S; 78°33'46.5" W. Se registraron los datos de temperatura del invernadero.

4.2.2 Análisis estadístico

Para el presente estudio se realizó una estadística descriptiva a través de la media, el rango, la varianza, el coeficiente de variación y la desviación estándar de los datos recolectados en cada cultivo, de esta manera se determinó el comportamiento de quinua, chíca y amaranto bajo condiciones controladas.

Para calcular los grados días desarrollo (GDD) de cada cultivo, se utilizó los datos obtenidos de temperatura y humedad relativa del *data logger* Hobo, lo que permitió analizar las unidades térmicas de las diferentes fases fenológicas.

En cada cultivo se tomó una población de treinta plantas, las cuales fueron analizadas de acuerdo a las mediciones cuantitativas y cualitativas descritas a continuación.

4.2.3 Variables

Las variables analizadas para el desarrollo del estudio fueron las siguientes:

Altura de planta (cm).- Se midieron las plantas con una cinta métrica desde la base del tallo hasta la panoja principal una vez por semana desde la emergencia de la plántula hasta la madurez fisiológica.

Crecimiento de yema (mm).- Se midió el diámetro polar y ecuatorial de las yemas mediante un calibrador eléctrico una vez por semana desde yema latente hasta yema hinchada.

Crecimiento de la panoja/espiga (cm).- Se midió el tamaño de las panojas con una cinta métrica desde la base hasta el fin de la panoja una vez por semana.

Número Panoja/ espiga en tallo secundario.- Se enumeró las panojas/espigas del tallo secundario una vez por semana.

Número de panojillas/ espiguillas por planta.- Se enumeró las panojas/espiguillas de toda la planta una vez por semana.

Inicio de floración.- Se identificó mediante la primera flor abierta por panoja/espiga.

Floración.- Se enumeró la cantidad de flores abiertas en planta para obtener el porcentaje del 10% al 50%.

Grados días desarrollo.- Se calcularon las unidades calor acumuladas en cada fase fenológica mediante la fórmula de GDD, con las temperaturas bases de cada cultivo al final del estudio.

4.3 Manejo del experimento

Para el manejo del experimento se inició con la adquisición de la semilla certificada de quinua, chía y amaranto para dar paso al proceso de siembra de los cultivos, mediante la preparación del suelo, formación de los surcos y siembra a chorro continuo a un centímetro de profundidad. Se instaló riego por goteo y se programó dos veces al día por seis minutos cada uno. La deshierba y raleo se realizó una vez por semana.

Se etiquetó treinta plantas de cada cultivo para el registro de las variables cuantitativas y cualitativas, así como también fotografías en campo y en laboratorio una vez por semana.

La cosecha se realizó de forma manual a los 175 días, para esto se consideró la coloración del *hilum* en la semilla. Posteriormente se realizó la trilla y limpieza del grano con un separador neumático.

Se realizó el análisis de calidad de semilla y se determinó la viabilidad de las semillas, el porcentaje de humedad y porcentaje de impurezas, finalmente se analizó con las semillas viables el porcentaje de germinación y vigor de cada especie.

El porcentaje de humedad de quinua, chía y amaranto, se lo realizó mediante los parámetros del equipo *Stanlite Eletronic Tester*. Se calculó la humedad con tres repeticiones de 100 gramos de semillas limpias de cada cultivo.

Para la germinación de semillas se realizó tres repeticiones de las muestras de cada cultivo, las mismas que fueron sometidas a una cámara de germinación que posee una temperatura de 20 a 22°C, 70-80% de humedad relativa y 8 horas luz.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Etapas analizadas de la escala BBCH

Para el presente estudio se analizaron la etapa de crecimiento principal 5: emergencia de las inflorescencias y la etapa de crecimiento principal 6: floración de acuerdo a la escala BBCH en cada cultivo.

En la tabla 4 y 5 se detalla la descripción de las etapas mencionadas anteriormente:

Tabla 3.

Emergencia de la inflorescencia (5)

Código	Descripción
51	Inflorescencia o capullos visibles.
55	Primeras flores individuales visibles (aún cerradas).
59	Primeros pétalos de flores visibles (en formas de pétalos).

Adaptado de Bleiholder, Buhr, Feller, Hack y Hess (1998).

Tabla 4.

Floración (6)

Código	Descripción
60	Primeras flores abiertas (esporádicamente).
61	Inicio de la floración: 10% de las flores abiertas.
62	20% de las flores abiertas.
63	30% de las flores abiertas.
64	40% de las flores abiertas.
65	Floración completa: 50% de las flores abiertas, los primeros pétalos pueden caerse.
67	Acabado floral: la mayoría de los pétalos caídos o secos.
69	Fin de la floración: conjunto de frutos visibles.

Adaptado de Bleiholder, Buhr, Feller, Hack y Hess (1998).

5.2. Cultivo de quinua

5.2.1 Altura de la planta de quinua

En la figura 1 de acuerdo a la línea sigmoïdal se muestra el incremento en altura de la planta durante todo el ciclo del cultivo desde la siembra del cultivo de quinua hasta la madurez fisiológica que duró 146 días. Se observó un crecimiento lento hasta los 70 dds (44,23 cm), luego hasta los 118 días un crecimiento rápido (193,57 cm) y posteriormente vuelve a ser lento alcanzando la media final de 221,47 cm.

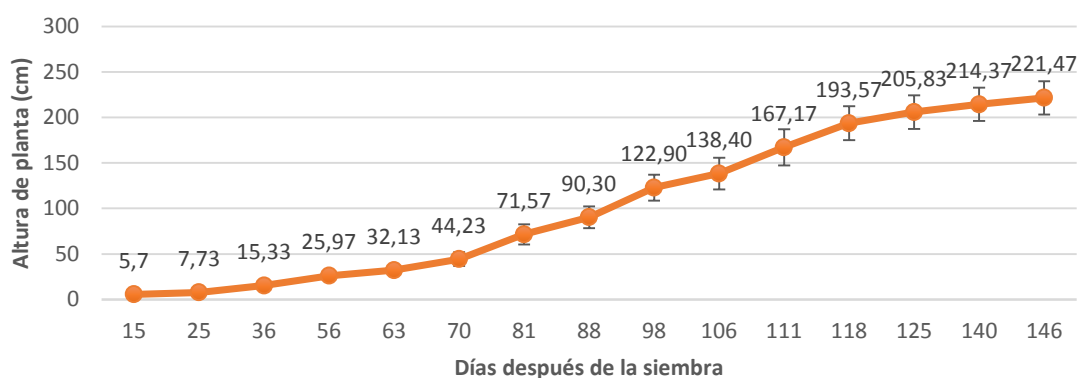


Figura 1. Altura de planta del cultivo de quinua (n=30), Nono 2018.

5.2.2 Crecimiento de la yema apical del tallo principal en el cultivo de quinua

La yema apical del tallo principal se consideró al primer brote de la planta, el que posteriormente se convirtió en la inflorescencia que se denomina panoja.

En el cultivo de quinua las yemas principales que originan la inflorescencia se forman a partir de los 63 dds, y se mantienen latentes hasta los 81 dds. Se puede observar que el crecimiento de las yemas es gradual, cuando llega a yema hinchada, el diámetro ecuatorial (3,51 mm) es menor que el diámetro polar (4,51 mm) es decir las yemas tienden a ser más alargadas (figura 2).

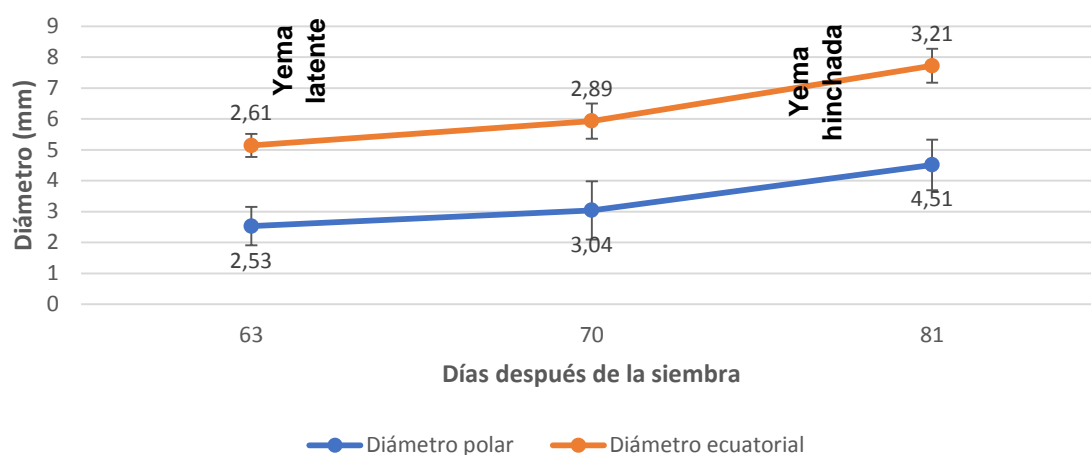


Figura 2. Diámetro polar y ecuatorial (mm) de la yema principal del cultivo de quinua (n=30), Nono 2018.

5.2.3 Longitud de la panoja apical del tallo principal de la planta de quinua

Se observó un crecimiento lento desde los 88 a los 106 dds (22,7 cm), posteriormente ocurrió un crecimiento rápido a los 146 dds (62,33 cm) en la panoja como se observa en la figura 4.

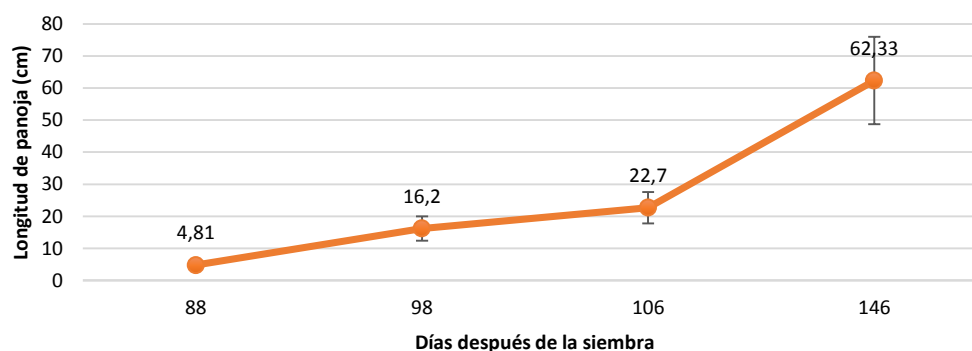


Figura 3. Longitud de la panoja del tallo principal (cm) del cultivo de quinua (n=30), Nono 2018.

5.2.4 Longitud de la panoja del tallo secundario de la planta de quinua

Se observó un crecimiento rápido en la longitud de las panojas del tallo secundario tomadas a los 98 días (5,1 cm) y 106 dds (12,53 cm) como se observa en la figura 5.

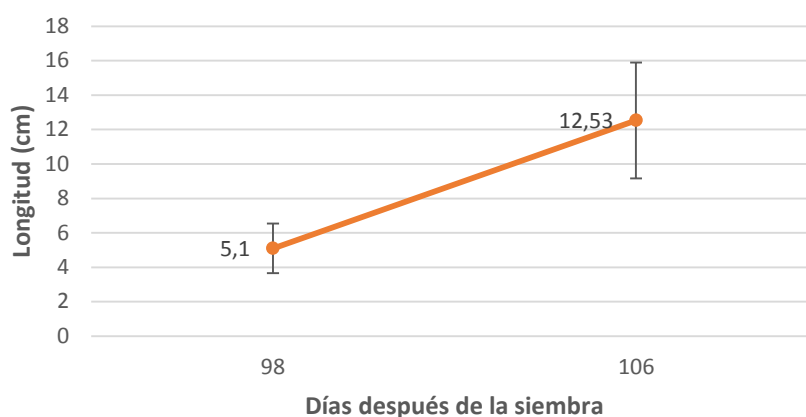


Figura 4. Longitud de la panoja en tallo secundario del cultivo de quinua (n=30), Nono 2018.

5.2.5 Número de panojas por planta en el cultivo de quinua

Es importante calcular el número de panojas contenidos en la planta, debido a que es un componente para estimar el rendimiento de producción del cultivo.

Se contó el número de panojas por planta a partir de los 98 días, en la cual se produjo un aumento de flores abiertas en un el 10%. En la figura 6, a partir de los 111 dds existe un alto crecimiento de panojas por planta hasta los 118 dds donde se estabilizó su número.

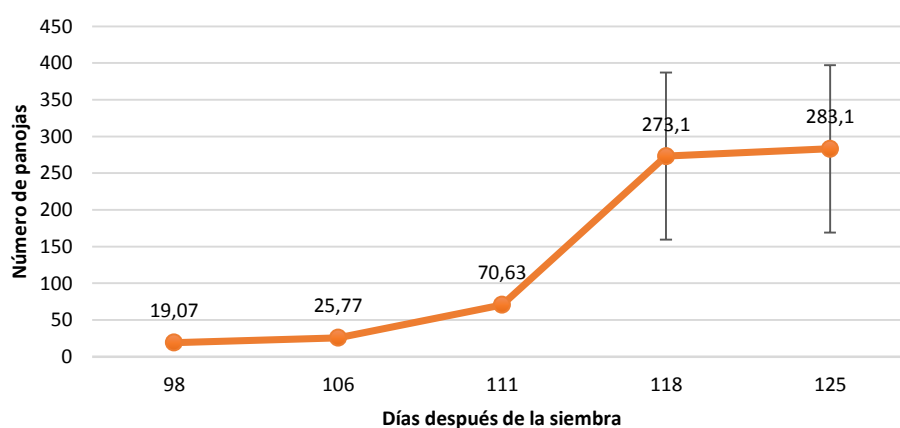


Figura 5. Número total de panojas por planta en el cultivo de quinua (n=30), Nono 2018.

5.2.6 Fenología floral del cultivo de quinua

El inicio de floración fue a los 88 dds donde se identificó las primeras flores individuales visibles (4,75 flores abiertas por planta). Posteriormente, se identificó el 10% de floración a los 98 dds, seguido del 30% a los 106 días, el 50% a los 111 días, finalmente se obtuvo el 70% de flores abiertas a los 125 días, donde los glomérulos se encontraban hinchados debido a la formación de la semilla. El fin de floración ocurrió a los 140 días cuando las semillas se encontraban visibles en la panoja. A los 146 días el cultivo llegó a la madurez fisiológica, donde se procedió a cosechar las plantas.

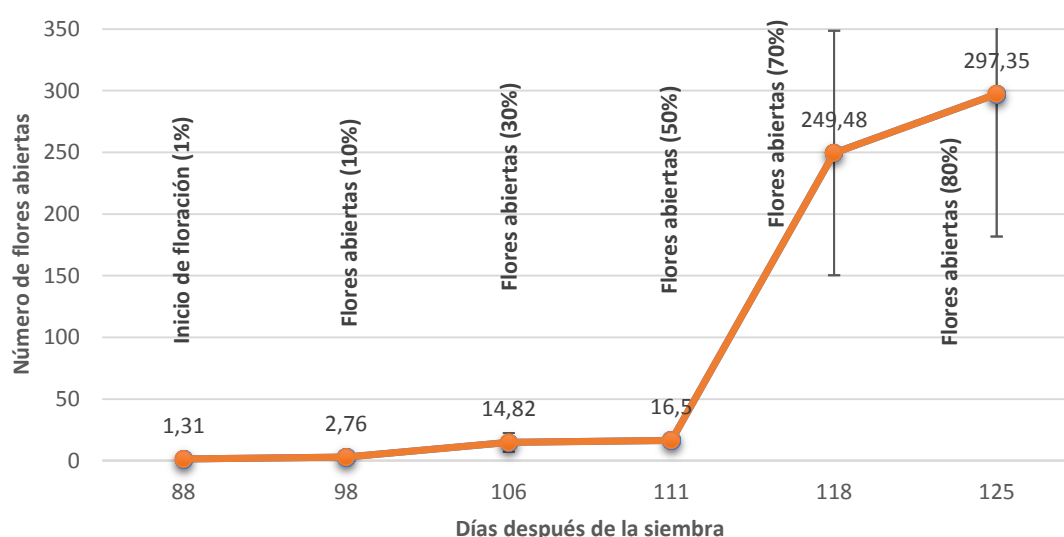


Figura 6. Flores abiertas de la panoja en el cultivo de quinua (n=30), Nono 2018.

5.2.7 Grados días desarrollo en el cultivo de quinua

Para el cálculo de los GDD se empleó la siguiente fórmula.

(Ecuación 1)

$$\text{GDD} = \sum ((T_x + T_n)/2 - T_b) \quad T_x < T_c \text{ y } T_n > T_b$$

$$\text{GDD} = \sum ((T_c + T_b)/2 - T_b) \quad T_x > T_c \text{ y } T_n < T_b$$

Tomado de (Perry y Wehner, 1996)

Donde, T_x y T_n son las temperaturas diarias máximas y mínimas respectivamente, T_b es la temperatura base (10 °C) y T_c es la temperatura máxima (22 °C) para el cultivo de quinua (Sephu, 2010)

Se presentan las unidades calor acumuladas en las fases fenológicas del cultivo de quinua, donde acumuló en su ciclo 1489,70 UC para alcanzar la madurez fisiológica, siendo el acabado floral el que menos unidades calor necesitó con 46,39 UC.

Tabla 5.

Unidades calor acumuladas en las diferentes fases fenológicas del cultivo de quinua

Fases fenológicas	BBCH	Unidades térmicas acumuladas	Tiempo (días)
Emergencia	51	145,25	15
Desarrollo foliar	53	343,92	36
Yema latente	56	571,47	63
Yema hinchada	58	714,26	81
Primera flora abierta/ Crecimiento de la panoja	60	778,69	88
10% de flores abiertas	61	859,44	98
30% de flores abiertas	63	921,83	106
50% de flores abiertas	65	972,09	111
60% de flores abiertas	66	1027,13	118
Fin de floración	69	1193,49	140
Acabado floral	68	1239,89	146
Madurez fisiológica	89	1489,70	175

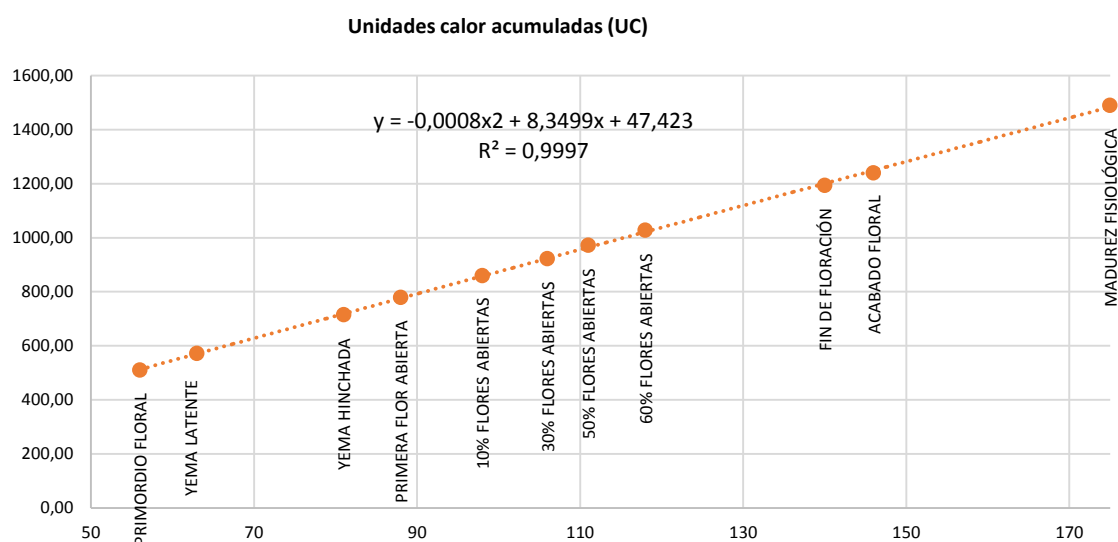


Figura 7. Unidades calor acumuladas en el cultivo de quinua.

Se presentan las unidades calor acumuladas en las fases fenológicas del cultivo de quinua. Para todo el ciclo, el cultivo necesitó acumular 1489,70.

5.2.8 Escala visual del cultivo de quinua

5.2.8.1 Etapa de crecimiento principal 5

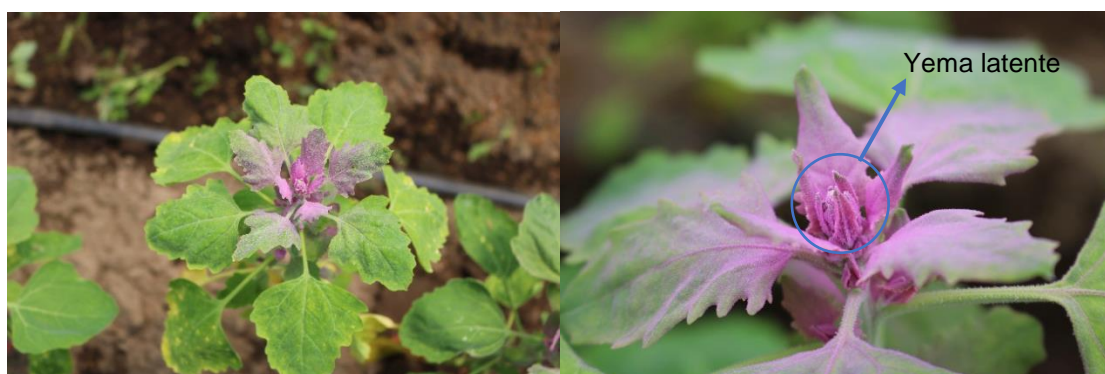


Figura 8. Emergencia de las primeras panículas apicales de la planta de quinua (51).



Figura 9. Hinchazón de las panículas apicales de la planta de quinua (52).



Figura 10. Formación de las panículas de la planta de quinua (53).



Figura 11. Elongación de la panícula principal en forma conífera de la planta de quinua (54).



Figura 12. Flores aún cerradas de la planta de quinua (55).



Figura 13. Flores aún cerradas de la planta de quinua (59).

5.2.8.2 Etapa de crecimiento principal 6

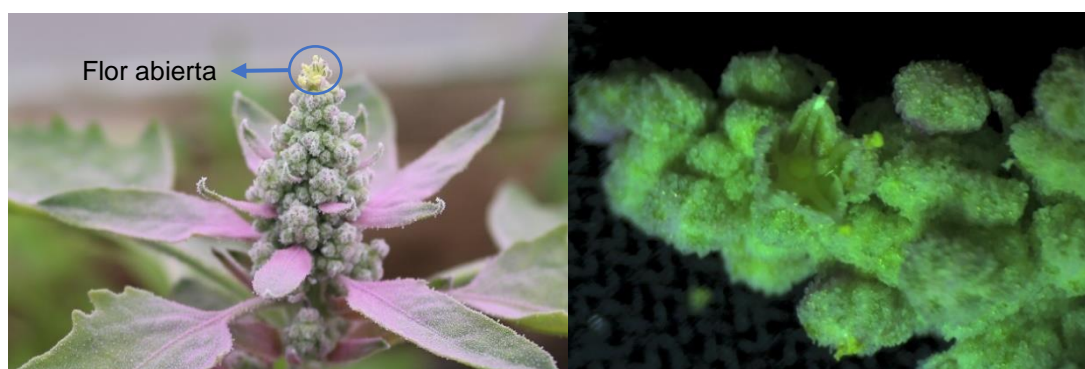


Figura 14. Primera flor abierta en la panícula de la panoja de quinua (60).

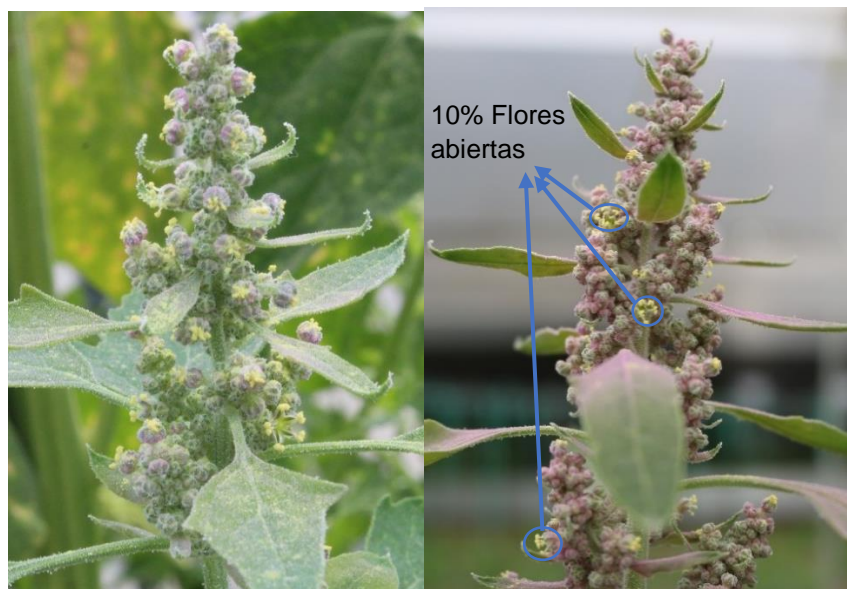


Figura 15. 10% de flores abiertas de la panoja de quinua (61).



Figura 16. 20% de flores abiertas de la panoja de quinua (62).



Figura 17. 30% de flores abiertas de la panoja de quinua (63).



Figura 18. 50% de flores abiertas de la panoja de quinua (65).



Figura 19. 60% de flores abiertas de la panoja de quinua (66).



Figura 20. Pétalos secos de la flor de la planta de quinua (67).



Figura 21. Acabado floral de la planta de quinua (68).



Figura 22. Fin de floración de la planta de quinua (69).

5.2.8.3 Etapa de crecimiento principal 7

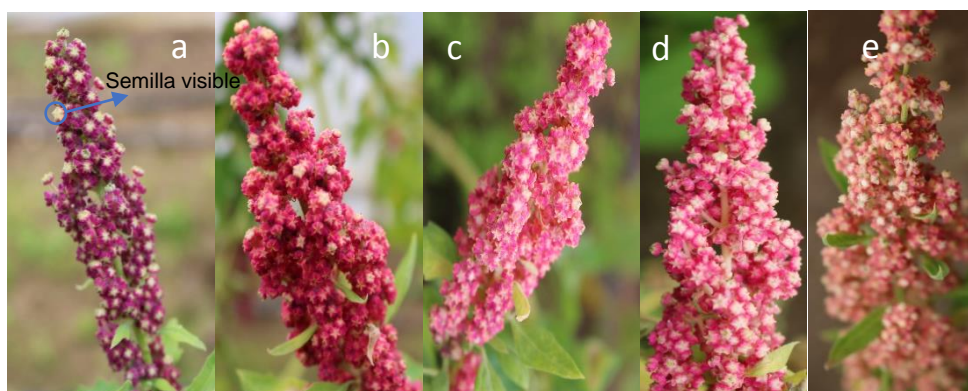


Figura 23. Formación de las semillas.

Nota:

- a. Primeras semillas visibles de la planta de quinua (70)
- b. 30% de crecimiento de la semilla de la planta de quinua (73)
- c. 50% de crecimiento de la semilla de la planta de quinua (76)
- d. 80% de crecimiento de la semilla de la planta de quinua (78)
- e. Tamaño final de la semilla de la planta de quinua (79)

5.2.8.4 Etapa de crecimiento principal 8



Figura 24. Semilla madura de la planta de quinua (89).

Tabla 6.

Fenología reproductiva de la quinua según la escala BBCH, Nono 2018

	DESCRIPCIÓN	*GDD
EMERGENCIA DE LAS INFLORESCENCIAS		
	5	
51	Emergencia de las primeras panículas apicales de color violeta ** (CIE L: 50,22; A: 88; B: -50), protegidas por pequeñas hojas escarchadas alrededor.	180,44
52	Hinchazón de las panículas apicales manteniendo la coloración violeta. Las hojas de protección empiezan abrirse debido al crecimiento de la panícula.	209,78
53	Alargamiento de las panículas, reduciendo la intensidad del color violeta (CIE L: 76; A: 88; B: -50). Apertura de hojas de protección.	257,87
54	Elongación de las panículas en forma conífera con hojas de protección abiertas, la intensidad de color disminuye (CIE L: 87; A: 88; B: -50).	424,06
55	Presencia de capullos aún cerrados.	510,11
59	Incremento de capullos aun cerrados con anteras y polen. Salida de panículas completa, donde se retoma el color violeta (CIE L: 50,22; A: 88; B: -50).	714,26
FLORACIÓN		
	6	
60	Aparición de la primera flor abierta en panículas.	778,69
61	Inicio de floración con el 10% de flores abiertas en planta.	859,44
62	20% de flores abiertas en planta.	892,67
63	30% de flores abiertas en planta.	921,83
65	Floración completa con el 50% de flores abiertas en planta.	972,09
66	70% de flores abiertas en planta.	1027,13
67	Pétalos secos comienzan a caerse.	1083,34

68	Acabado floral: hinchazón de capullos intensificando el color a morado.	1139,19
69	Fin de floración: formación de la semilla.	1193,49
FORMACIÓN DE SEMILLA		7
70	Primeras semillas visibles, panículas de color morado oscuro (CIE L: 26; A: 88; B: -50).	1239,89
73	30% de crecimiento de la semilla, panículas de color fucsia (CIE L: 54; A: 90; B: -39).	1301,4
75	50% de crecimiento de la semilla, panículas de color rosado intenso (CIE L: 62; A: 108; B: -17).	1368,9
78	80% de crecimiento de la semilla, panículas de color rosado intenso.	1426,1
79	Las semillas han alcanzado su tamaño final, panículas de color rosado (CIE L: 86; A: 108; B: -17).	1449,9
MADURACIÓN DE SEMILLAS		8
89	Semilla madura: plantas completamente secas listas para cosechar.	1489,7

Nota: *Grados Días Desarrollo **Escala de colorimetría CIELAB

5.2.9 Rendimiento del cultivo de quinua

El rendimiento se llevó a cabo después de la trilla manual de las plantas evaluadas que tenían un área de (n=30) y de su posterior limpieza mediante un separador neumático para eliminar material ajeno a la semilla, obteniendo de la población de quinua 652,2 g/m².

5.2.10 Calidad de semilla

La calidad de semilla es un parámetro determinante que se evalúa a través de la viabilidad de las semillas que sirve para la siembra o almacenamiento. Estos fueron realizados en el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Ecuador (INIAP).

En la tabla 7 se detalla los distintos métodos para la obtención de la calidad de semilla del cultivo de quinua.

Tabla 7.

Calidad de semilla del cultivo de quinua

Humedad (%)	
Promedio	12,46
Moda	/
Desviación estándar	0,11

Varianza	0,01
Rango	0,21
Mediana	12,41
Análisis físico (%)	
Grano limpio	91,59
Impureza	8,41
*Semilla	99,60
**Otras Semillas	0,00
***Materia Inerte	0,40

Nota: *Semilla con peso (cantidad de reservas) adecuado. **Material ajeno a la especie (piedras, cáscaras, palos, entre otros). *** Semillas de otras especies que se mezclaron en la trilla.

En la tabla 8 se detalla el porcentaje de germinación y vigor de la planta de quinua, estos son importantes ya que determinarán la viabilidad de la semilla evaluada.

Tabla 8.

Germinación y vigor del cultivo de quinua

Quinua	
Germinación (%)	100
Vigor (%)	98

5.3. Cultivo de chía

5.3.1 Altura de la planta de la chía

Se muestra en la figura 111 el cultivo de chía y su altura durante todo el ciclo de la planta, el crecimiento fue lento desde los 15 hasta los 70 dds (20,27 cm), se aceleró desde los 81 hasta los 111 días (91,12 cm). Finalmente el crecimiento volvió a ser lento a partir de los 118 hasta los 146 días donde la planta llegó a medir 94,63 cm.

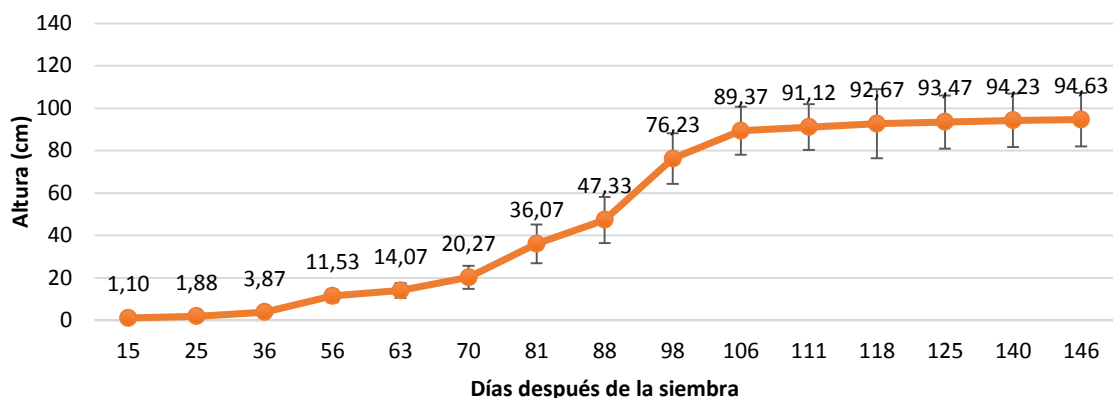


Figura 25. Altura de planta en el cultivo de chíá (n=30), Nono 2018.

5.3.2 Crecimiento de la yema apical del tallo principal en el cultivo de chíá

La yema se forma y es visible a los 63 dds, y se mantiene latente por un período de 7 días, pasado este período la yema incrementa su volumen (hinchada), es decir, a los 81 dds.

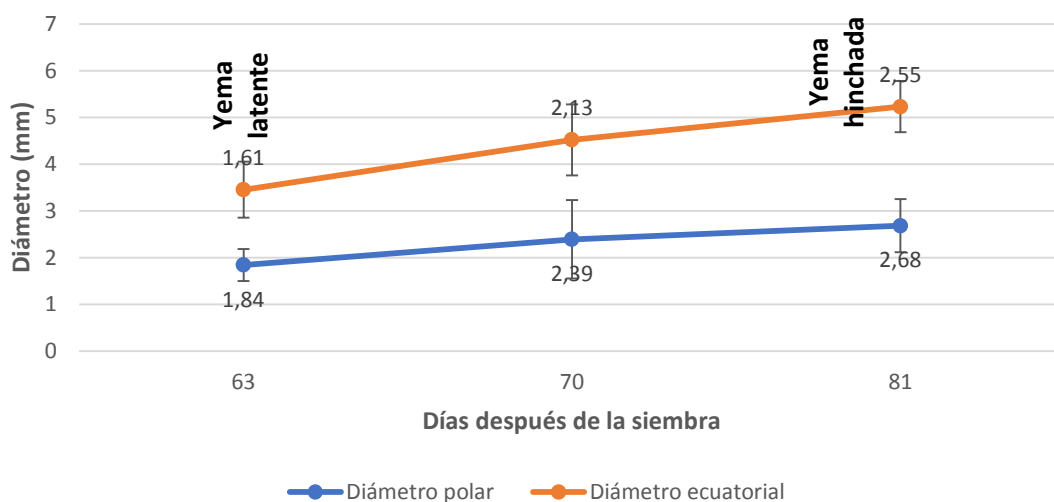


Figura 26. Diámetro polar y ecuatorial (mm) de la yema principal del cultivo de chíá (n=30), Nono 2018.

5.3.3 Crecimiento de espiga en el cultivo de chíá

El crecimiento de la espiga principal inició a los 88 dds, la cual tuvo un aumento de tamaño considerable hasta los 111 días, posteriormente el crecimiento no

tuvo mayor cambio posiblemente debido a que la semilla se encontraba en desarrollo, por lo cual las reservas se trasladan principalmente a la semilla para ser acumuladas.

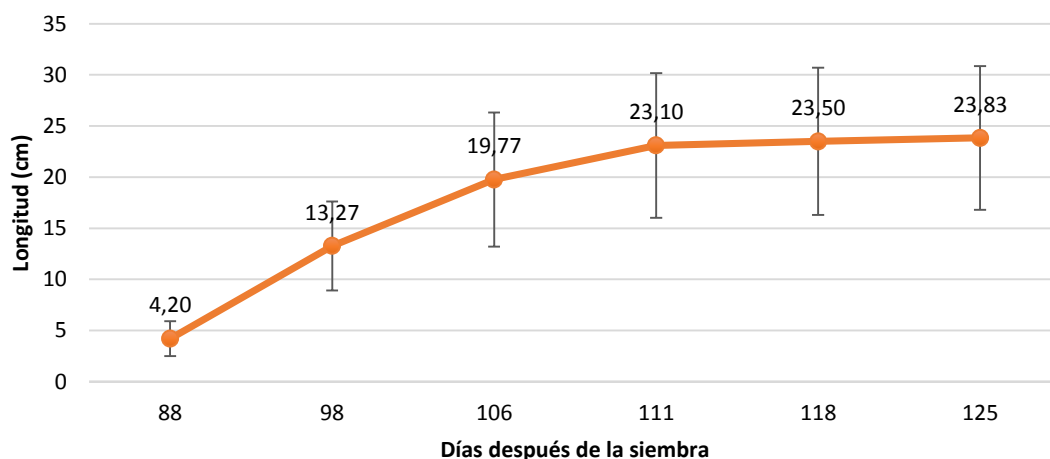


Figura 27. Longitud de la espiga del tallo principal (cm) del cultivo de chía (n=30), Nono 2018.

5.3.4 Longitud de espiga en tallo secundario del cultivo de chía

En el cultivo de chía las espigas del tallo secundario, crecieron conjuntamente con las espigas del tallo principal, sin embargo se identificaron que las del tallo secundario fueron más pequeñas todo el ciclo. Desde el día 88 hasta los 125 dds las espigas crecieron constantemente como se muestra en la figura 30.

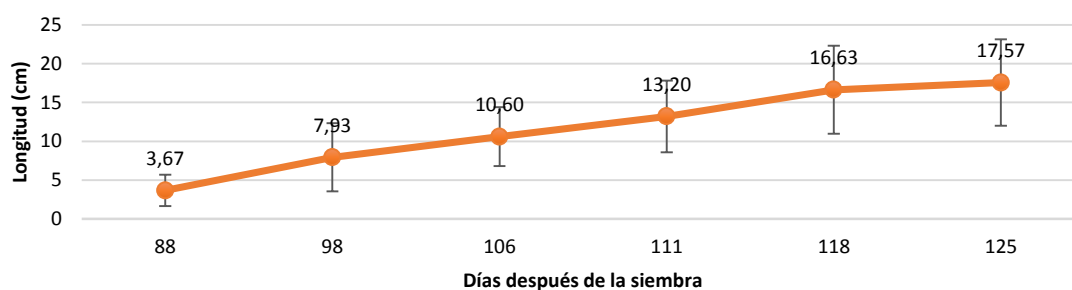


Figura 28. Longitud de panoja en tallo secundario central en el cultivo de chía (n=30), Nono 2018.

5.3.5 Número de espigas en el cultivo de chíá

La chíá presentó un gran número espiguillas que crecieron desde los 98 dds, donde se inicia la etapa de crecimiento principal 5: emergencia de las inflorescencias, hasta los 146 dds donde se alcanzó la madurez fisiológica. Como se muestra en la figura 31 el número de espigas se incrementa desde los 118 hasta los 140 dds.

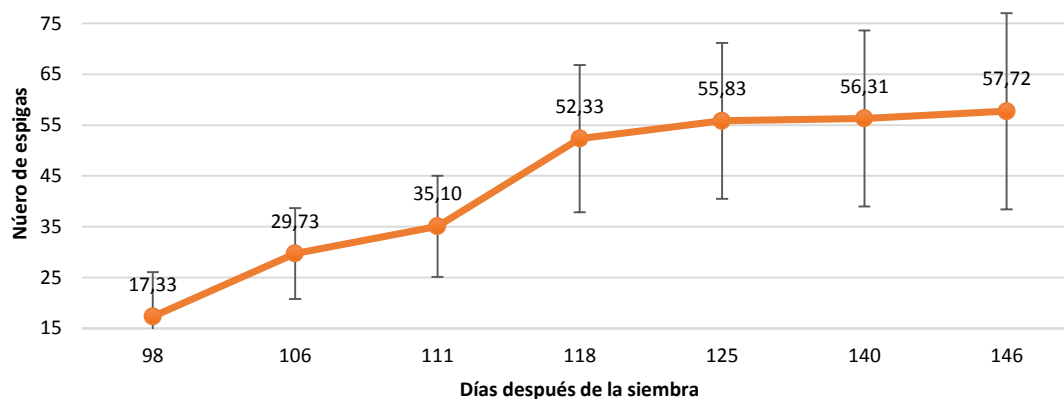


Figura 29. Número de espigas por planta en el cultivo de chíá (n=30), Nono 2018.

5.3.6 Fenología en floración del cultivo de chíá

A los 81 dds se identificó las primeras flores individuales visibles. El 10% de floración a los 98 dds, luego a los 106 dds llegó al 30%, a los 111 días llegó el 50%, seguido del 60% a los 118 días. Finalmente se obtuvo el 80% de flores abiertas a los 125 días, donde los antecios se encontraban hinchados debido al cuajado flor, además los pétalos comenzaron a marchitarse y caerse. El fin de floración sucedió a los 140 días cuando las semillas estaban completamente visibles en la panoja. A los 146 dds se presentó la madurez fisiológica en donde el cultivo estaba listo para cosecharse.

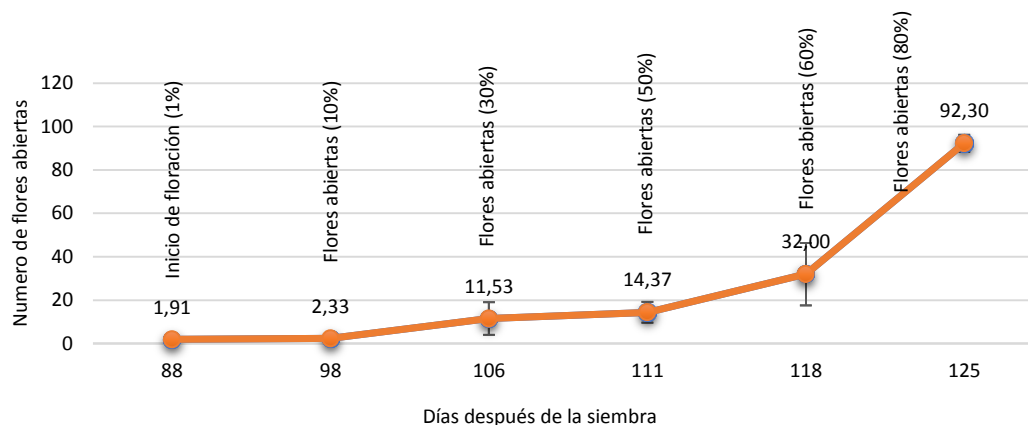


Figura 30. Flores abiertas de la espiga en el cultivo de chía (n=30), Nono 2018.

5.3.8 Grados días desarrollo en el cultivo de chía

En el cultivo de chía, se considera la temperatura base de 11 °C según Herrera (2014).

Se presentan las unidades calor acumuladas en las fases fenológicas del cultivo de chía, el cual requirió 1072,76 UC para llegar a la madurez fisiológica. La fase que menos acumulación de calor fue cuando alcanzó el 60% de flores abiertas con 14,68 UC.

Tabla 9.

Unidades calor acumuladas en el cultivo de chía

Fases fenológicas	BBCH	Unidades térmicas acumuladas	Tiempo (días)
Emergencia	51	130,25	15
Desarrollo foliar	53	307,91	36
Primordio floral	55	454,11	56
Yema latente	56	508,47	63
Yema hinchada	58	633,26	81
Primera flora abierta/ Crecimiento de la panoja	60	681,56	88
10% de flores abiertas	61	754,84	98
30% de flores abiertas	63	808,14	106
50% de flores abiertas	65	851,00	111
60% de flores abiertas	66	865,68	118
80% de flores abiertas	68	851,47	125
Fin de floración	69	803,53	140
Acabado floral	70	843,90	146
Madurez fisiológica	89	1072,76	175

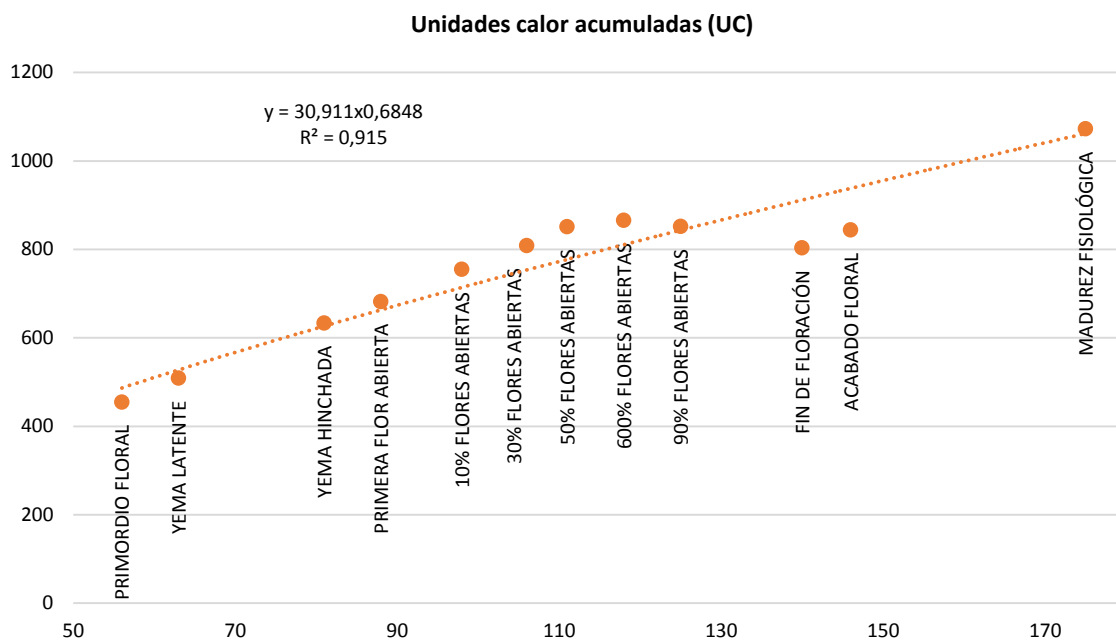


Figura 31. Unidades calor acumuladas para las diferentes fases fenológicas del cultivo de chía, Nono 2018

5.3.9 Escala visual del cultivo de la chía

5.3.9.1 Etapa de crecimiento principal 5

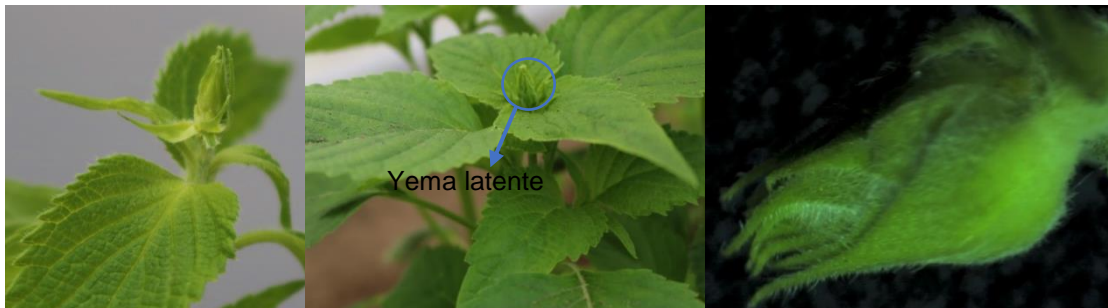


Figura 32. Emergencia de primeras panículas apicales de la planta de chía (51).



Figura 33. Hinchazón y crecimiento de panículas apicales de la planta de chía (52).



Figura 34. Formación de panículas apicales de la planta de chía (53).



Figura 35. Elongación de panícula principal de la planta de chía (54).



Figura 36. Flores aún cerradas de la planta de chía (55).



Figura 37. Primeros pétalos visibles de la planta de chía (59).

5.3.9.2 Etapa de crecimiento principal 6



Figura 38. Primera flor abierta de la planta de chía (60).



Figura 39. 10% y 20% de flores abiertas de la espiga de chía (61) y (62).



Figura 40. 30% de flores abiertas de la espiga de chía (63).



Figura 41. 40% de flores abiertas de la espiga de chía (64).



Figura 42. 50% de flores abiertas de la espiga de chía (65).



Figura 43. 80% de flores abiertas de la espiga de chía (66).



Figura 44. Pétalos secos de la flor de chía (67).



Figura 45. Fin de floración de la planta de chía (68).

5.3.9.3 Etapa de crecimiento principal 7



Figura 46. Primeras semillas visibles de la planta de chía (70).



Figura 47. 30% de crecimiento de la semilla de la planta de chía (73).



Figura 48. 50% de crecimiento de la semilla de la planta de chía (75).



Figura 49. 80% de crecimiento de la semilla de la planta de chía (78).

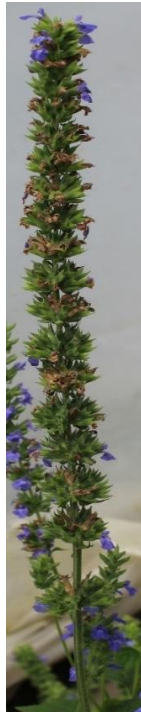


Figura 50. Tamaño final de la semilla de la planta de chía (79).

5.3.9.4 Etapa de crecimiento principal 8



Figura 51. Maduración de semilla de la planta de chía (80).



Figura 52. Semilla madura de la planta de chía (89).

Tabla 10.

Fenología reproductiva de la chíá según la escala BBCH, Nono 2018

DESCRIPCIÓN		*GDD
EMERGENCIA DE LAS INFLORESCENCIAS		5
51	Emergencia de las primeras panículas apicales.	354,3
52	Hinchazón y crecimiento de las panículas apicales.	
53	Elongación de panículas apicales y emergencia de panículas secundarias.	433,3
54	Elongación de las panículas apicales y propagación de panículas secundarias.	476,21
55	Presencia de capullos aún cerrados.	508,47
59	Primeros pétalos de flores visibles.	633,26
FLORACIÓN		6
60	Aparición de la primera flor abierta con anteras en panículas apicales de color azul ** (CIE L: 22; A: 30; B: -90) con dos líneas blancas en el centro y presencia de anteras.	681,57
61	Inicio de floración con el 10% de flores abiertas en planta.	754,85
62	20% de flores abiertas en planta.	
63	30% de flores abiertas en planta.	808,15
65	Floración completa con el 50% de flores abiertas en planta.	851,01
66	80% de flores abiertas en planta, los pétalos de las flores pierden intensidad de color (CIE L: 37; A: 70; B: -17).	851,48
67	Pétalos secos comienzan a caerse.	824,41
68	Acabado floral: hinchazón de antecios, deshidratación de espiga.	803,54
FORMACIÓN DE SEMILLA		7
70	Primeras semillas visibles, apertura de antecios.	843,9
73	30% de crecimiento de la semilla.	924,1
75	50% de crecimiento de la semilla.	994,15
78	80% de crecimiento de la semilla.	1024,97
79	Semillas han alcanzado su tamaño final.	1041,01
MADURACIÓN DE SEMILLAS		8
80	Comienzo de maduración de semilla	1050,68
89	Semilla madura, plantas completamente secas listas para cosechar.	1072,77

Nota. *Grados Días Desarrollo **Escala de colorimetría CIELAB

5.3.10 Rendimiento del cultivo de chía

Cuando el cultivo alcanzó la madurez fisiológica se realiza la trilla manual de las plantas evaluadas que tenían un área de (n=30), se procedió a limpiarla semilla mediante un separador neumático para eliminar material ajeno a la semilla, obteniendo 200,2 g/9m² de semillas de chía. El bajo rendimiento se debió a que las plantas fueron afectadas por una enfermedad (anexo 4).

Tabla 11.

Calidad de semilla del cultivo de chía

Humedad (%)	
Promedio	9,58
Moda	#N/A
Desviación estándar	0,38
Varianza	0,15
Rango	0,73
Mediana	9,45
Análisis físico (%)	
Grano limpio	86,50
Impureza	13,50
*Semilla	99,30
**Otras Semillas	0,20
***Materia Inerte	0,50

Nota: *Semilla con peso (cantidad de reservas) adecuado. **Material ajeno a la especie (piedras, cáscaras, palos, entre otros). *** Semillas de otras especies que se mezclaron en la trilla.

Tabla 12.

Germinación de semillas del cultivo de chía

Chía	
Germinación (%)	81
Vigor (%)	76

5.4. Cultivo de amaranto

5.4.1 Altura del cultivo de amaranto

El cultivo de amaranto presentó un crecimiento lento desde los 15 a los 63 dds, (18,73 cm), posteriormente su crecimiento es acelerado hasta el día 106 pasando de los 18,7 cm a 95,8 cm y finalmente el crecimiento es lento llegando la planta tener al final del ciclo 127,60 cm de altura.

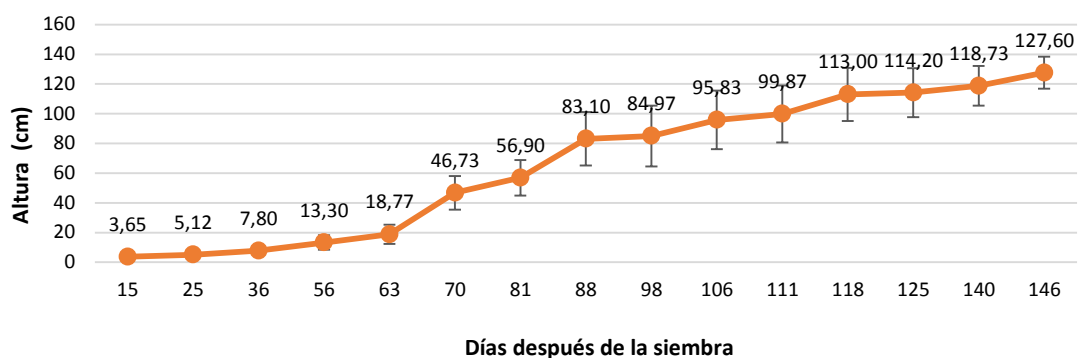


Figura 53. Altura de planta en el cultivo de amaranto (n=30), Nono 2018.

5.4.2 Crecimiento de yema apical del tallo principal en el cultivo de amaranto

En la figura 54 se presentó la media de crecimiento del diámetro ecuatorial y polar de la yema hinchada, que ocurrió a los 63 días.

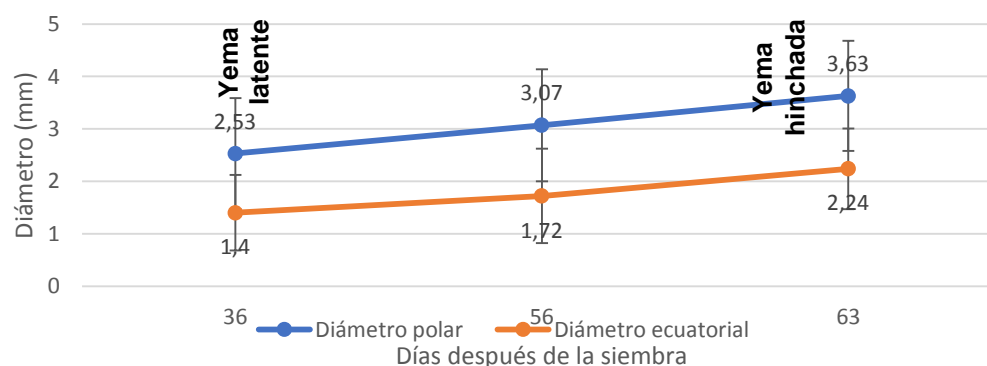


Figura 54. Diámetro polar y ecuatorial (mm) de yema principal del cultivo de amaranto (n=30), Nono 2018.

5.4.3 Crecimiento de panoja en el cultivo de amaranto

La longitud de la panoja principal en el amaranto empieza a los 70 dds. Tiene un crecimiento acelerado a partir de los 98 hasta los 111 dds creciendo de manera semierecta o decumbente, posteriormente su crecimiento comienza a mantenerse.

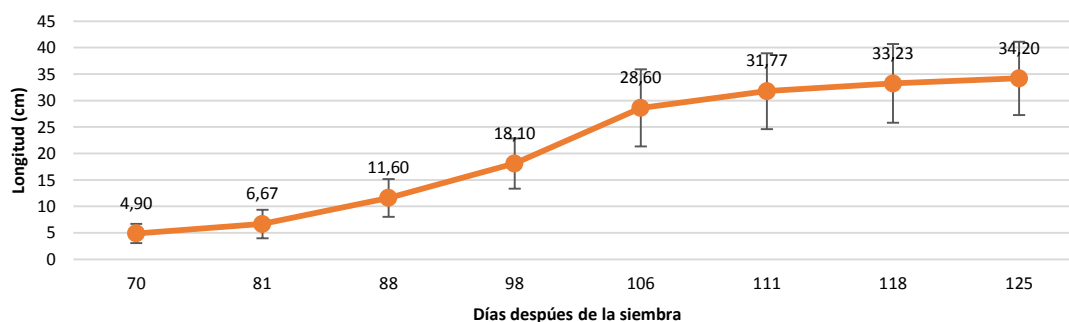


Figura 55. Longitud de la panoja del tallo principal (cm) del cultivo de amaranto (n=30), Nono 2018.

5.4.4 Número de panojas en el cultivo de amaranto

El amaranto inicia la ramificación. En el día 98 después de la siembra se obtuvo una media de 18,2 panojas por planta, la cual fue aumentando hasta alcanzar las 36,5 panojas por planta a los 140 dds.

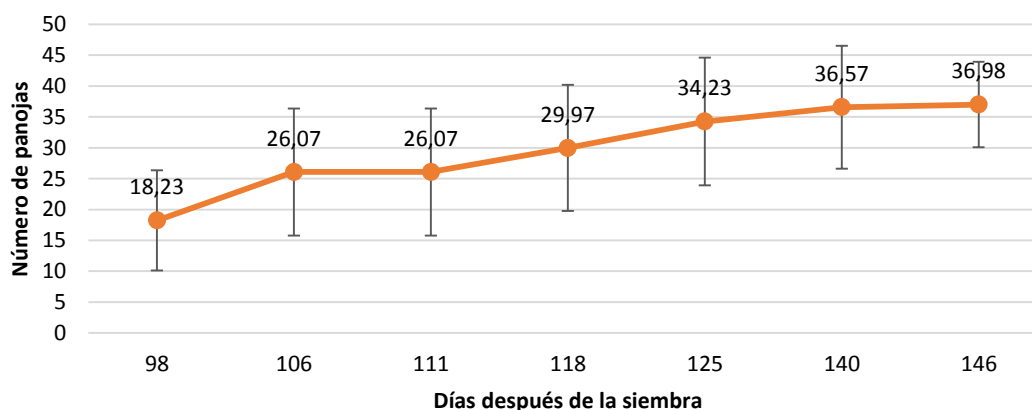


Figura 56. Número de panojas por planta en el cultivo de amaranto (n=30), Nono 2018.

5.4.5 Fenología en floración del cultivo de amaranto

En el cultivo de amaranto se inició la floración a los 70 dds. Las primeras flores visibles con una media de 1,09 flores abiertas por planta, el 10% de flores abiertas con un promedio de 8,7 flores abiertas por planta a los 98 dds, el 50% de flores abiertas se presentó a los 111 días con un promedio de 22,03 flores abiertas por planta y en donde aparecieron los primeros pétalos marchitos lo que significa que las plantas se han fecundado. Finalmente, a los 118 días con un promedio de 29,77 flores abiertas por planta llegó al 70% de flores abiertas donde se observó que la mayoría de los pétalos estaban secos.

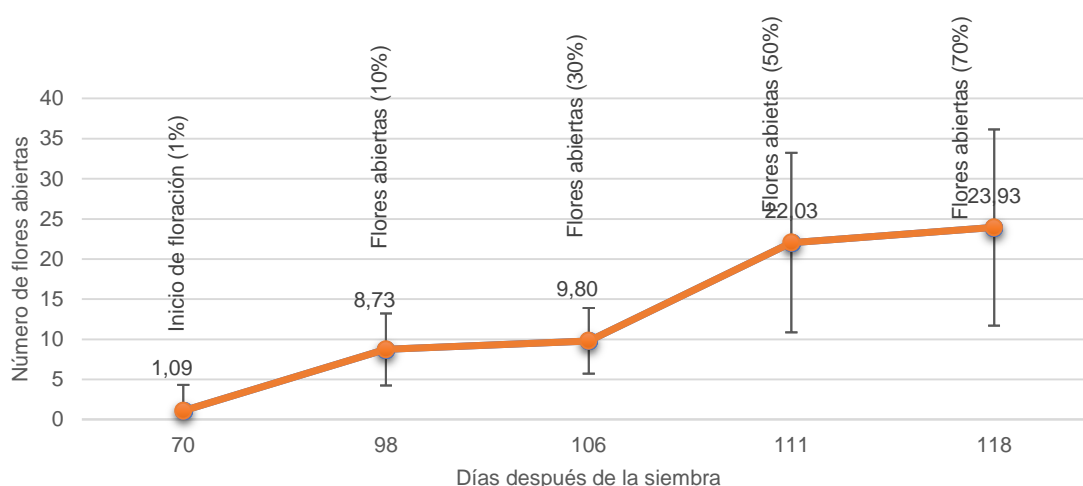


Figura 57. Flores abiertas del racimo en el cultivo de amaranto (n=30), Nono 2018.

5.4.6 Grados días desarrollo en el cultivo de amaranto

En el caso del cultivo de amaranto, se trabajó con una temperatura base de 13,7 °C según Rubio, Medina, Alvarado y Alejandre (2016).

Tabla 13.

Unidades calor acumuladas en el cultivo de amaranto

Fases fenológicas	BBCH	Unidades térmicas acumuladas	Edad (días)
Emergencia	51	89,75	15
Desarrollo foliar	53	150,62	36
Primordio floral	54	210,71	56
Yema latente	56	302,91	63
Yema hinchada	58	414,56	81
Primera flora abierta/ Crecimiento de la panoja	60	449,38	88
10% de flores abiertas	61	493,13	98
30% de flores abiertas	63	525,92	106
50% de flores abiertas	65	557,69	111
70% de flores abiertas	67	586,82	118
Fin de floración	68	673,93	140
Acabado floral	69	698,13	146
Madurez fisiológica	89	844,34	175

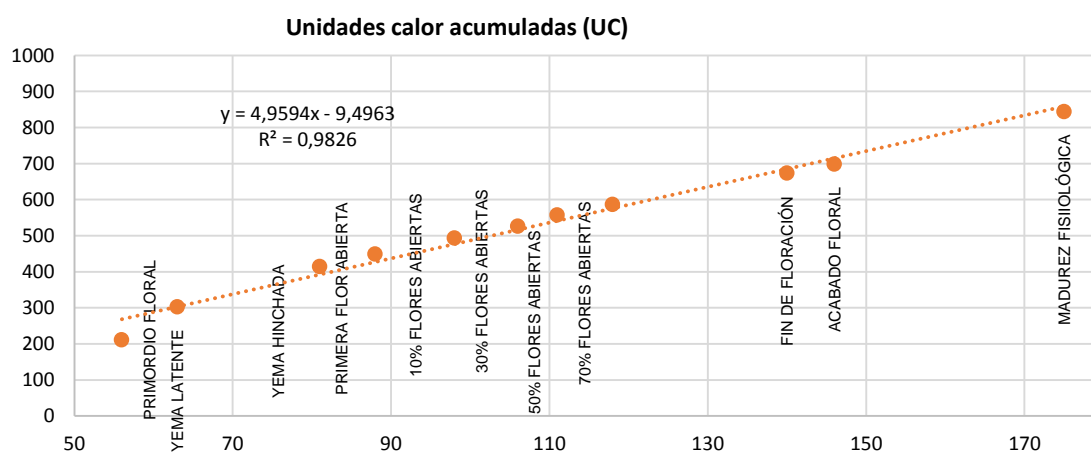


Figura 58. Unidades calor acumuladas en el cultivo de amaranto.

En la figura 58, se presentan las unidades calor acumuladas en las diferentes fases fenológicas del cultivo de amaranto, para llegar a la madurez fisiológica se requirió acumular 844,34 UC. En la fase del 50% flores abiertas se requirió 31,76 UC, siendo esta la de menor necesidad calórica.

5.4.7 Escala visual del cultivo de amaranto

5.4.7.1 Etapa de crecimiento principal 5



Figura 59. Emergencia de primeras panículas de la planta de amaranto (51).



Figura 60. Formación de panículas apicales de la planta de amaranto (52).



Figura 61. Elongación de panículas apicales de la planta de amaranto (53).



Figura 62. Elongación de panículas apicales de la planta de amaranto (54).



Figura 63. Flores aún cerradas de la planta de amaranto (55).



Figura 64. Primeros pétalos visibles de la planta de amaranto (59).

5.4.7.2 Etapa de crecimiento principal 6



Figura 65. Primera flor abierta de la planta de amaranto (60).

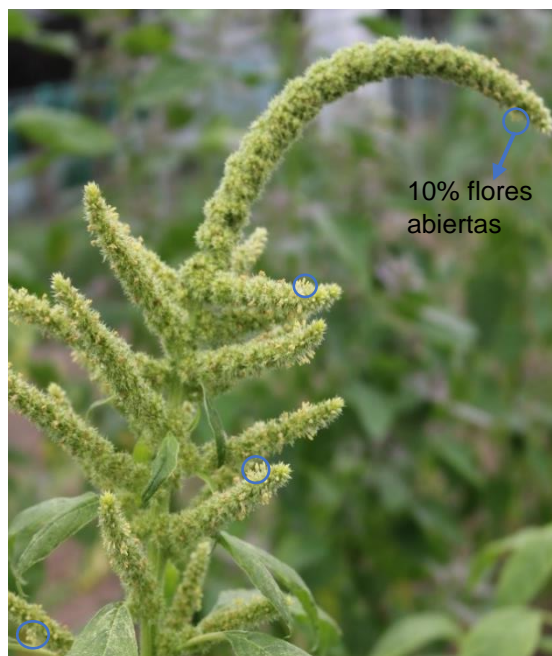


Figura 66. 10% de flores abiertas de la panoja de amaranto (61).



Figura 67. 20% de flores abiertas de la panoja de amaranto (62).



Figura 68. 30% de flores abiertas de la panoja de amaranto (64).

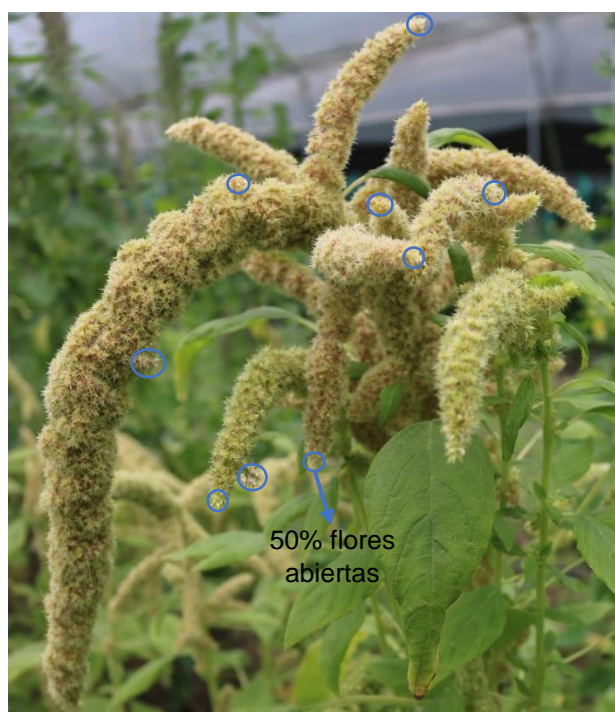


Figura 69. 50% de flores abiertas de la panoja de amaranto (65).



Figura 70. 60% de flores abiertas de la panoja de amaranto (66).



Figura 71. Pétalos secos de la flor de amaranto (67).



Figura 72. Fin de floración de la planta de amaranto (69).

5.4.7.3 Etapa de crecimiento principal 7

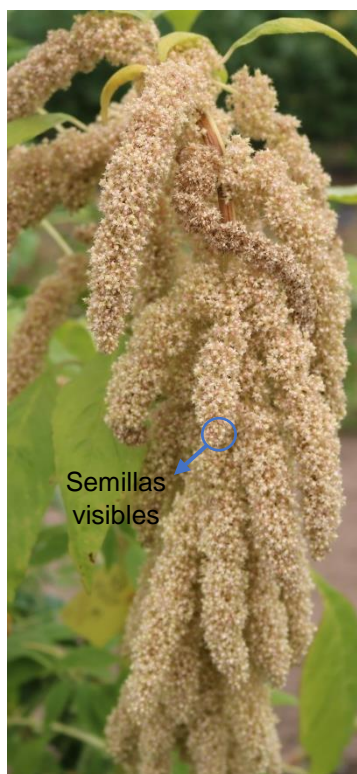


Figura 73. Primeras semillas visibles de la planta de amaranto (70).



Figura 74. 30% de crecimiento de la semilla de la planta de amaranto (74).



Figura 75. 50% de crecimiento de la semilla de la planta de amaranto (78).

Tabla 14.

Fenología reproductiva del amaranto según la escala BBCH, Nono 2018

DESCRIPCIÓN		*GDD
EMERGENCIA DE LAS INFLORESCENCIAS		5
51	Emergencia de las primeras panículas apicales.	190,84
52-54	Elongación de panículas apicales.	210,72
55	Presencia de capullos aún cerrados, con anteras y polen.	302,91
59	Incremento de capullos aun cerrados con anteras y polen. Salida de panículas completa.	414,56
FLORACIÓN		6
60	Aparición de la primera flor abierta en panículas. La flor tiene cinco pétalos blancos con líneas verdes **CIE L: 97; A: 35; B: -28.	449,39
61	Inicio de floración con el 10% de flores abiertas en planta.	493,14
62	20% de flores abiertas en planta.	506,28
63	30% de flores abiertas en planta.	525,93
65	Floración completa con el 50% de flores abiertas en planta.	557,69
66	70% de flores abiertas en planta. Las panículas comienzan a caerse y su coloración es más clara.	586,83
67	Acabado floral: pétalos secos comienzan a caerse.	617,14
69	Fin de floración: formación de la semilla. Las panículas toman un color rosado CIE L: 87; A: 72; B: 10.	673,94
FORMACIÓN DE SEMILLA		7
70	Primeras semillas visibles, panículas de color rosado.	698,13
73	30% de crecimiento de la semilla, panículas de color rosado.	743,35
75	50% de crecimiento de la semilla, panículas de color habano CIE L: 91; A: 0; B: 24.	770,82
78	80% de crecimiento de la semilla, panículas de color habano.	813,54
79	Las semillas han alcanzado su tamaño final, panículas de color habano.	837,26
MADURACIÓN DE SEMILLAS		8
89	Semilla madura: plantas completamente secas listas para cosechar.	844,34

Nota: Pese a ser un pseudocereal al igual que la quinua, en el amaranto no se observaron cambios significativos de color, esto pudo producirse debido a la variedad del cultivo.

*Grados Días Desarrollo **Escala de colorimetría CIELAB

5.4.8 Rendimiento del cultivo de amaranto

Después de la trilla manual de las plantas evaluadas que tenían un área de (n=30) y de su posterior limpieza mediante un separador neumático para eliminar material ajeno a la semilla se obtuvo el rendimiento del cultivo de amaranto que fue de 429,7 g/m².

5.4.9 Calidad de semilla

Tabla 15.

Calidad de semilla del cultivo de amaranto

Humedad (%)	
Promedio	12,47
Moda	12,51
Desviación estándar	0,06
Varianza	0,00
Rango	0,11
Mediana	12,51
Análisis físico (%)	
Grano limpio	92,66
Impureza	7,34
*Semilla	99,40
**Otras Semillas	0,20
***Materia Inerte	0,40

Nota: *Semilla con peso (cantidad de reservas) adecuado. **Material ajeno a la especie (piedras, cáscaras, palos, entre otros). *** Semillas de otras especies que se mezclaron en la trilla.

De acuerdo a los resultados de humedad, se determina que tanto la chíá, la quinua y el amaranto alcanzaron la humedad óptima comercial de semilla, el cual va desde el 9% al 13% según (FAO, 2003)

5.4.10 Germinación de semillas

Tabla 16.

Germinación de semillas del cultivo de amaranto

Amaranto	
Germinación (%)	59,67
Vigor (%)	57

La calidad de semilla se determina según el porcentaje de germinación y vigor de una muestra de semillas.

5.13 Discusión

La escala BBCH es un método de codificación que define los sucesos fenológicos de las especies vegetales del ciclo de vida de la planta. En el presente estudio la BBCH fue una herramienta fundamental para determinar la fenología floral de los 3 cultivos estudiados. Según Bleiholder, Buhr, Feller, Hack y Hess (1998) el comportamiento de los cultivos difiere de una especie a otra debido su material genético, por esta razón los estadios principales de crecimiento no siempre ocurren en secuencia, también puede ocurrir el desarrollo de varias fases al mismo tiempo. En el estudio de la fenología floral de quinua, chíca y amaranto se evidenció varias fases al mismo tiempo, es decir mientras los cultivos se encontraban en la última fase de la etapa de crecimiento principal 5 (emergencia de las inflorescencias), la etapa de crecimiento principal 6 (floración) ya había iniciado, este suceso se debe a la rápida acumulación de calor en las diferentes fases.

También es importante mencionar que la escala BBCH permite relacionar cultivos de la misma familia (Bleiholder, Buhr, Feller, Hack y Hess,1998), mediante los códigos establecidos en cada etapa de crecimiento principal que se encuentran en función a la madurez fisiológica de la planta. Esto se confirmó en los cultivos estudiados ya que en las etapas de crecimiento principal analizadas (5, 6 y 7) se cumplieron con todas las subfases descritas en la escala BBCH.

Mendoza (2013) determina que la acumulación de grados días desarrollo en quinua en el altiplano chileno, a 3800 msnm, las UC en todo el ciclo del cultivo fueron 1243,5. A su vez Quillatupa (2009) determina las unidades calor de quinua en Perú, en todo el ciclo del cultivo se requiere 1804,29 UC. En el presente estudio el cultivo quinua requirió 1489,70 UC desde siembra a madurez fisiológica, esto puede ser debido a la diferencia entre variedades y

talvez al manejo agronómico, sin embargo, las condiciones ambientales sometidas también pueden influir en el resultado.

Fariña y Lorenzini (2003) afirman que el cultivo de la chíá pese a requerir temperaturas altas para su crecimiento y desarrollo, necesita de cantidades módicas de UC para poder cambiar de etapa. En el presente estudio se obtuvo que el cultivo de chíá de siembra hasta la madurez fisiológica acumuló 1072,76 UC.

El requerimiento de unidades calor en el cultivo de amaranto como indica Rubio, Medina, Alvarado y Alejandre (2016) donde analizan 5 genotipos de amaranto en México, desde la siembra hasta la madurez fisiológica, las unidades calor variaron entre 959 a 977. Las UC del cultivo de amaranto desde siembra hasta madurez fisiológica en este estudio fueron 844,34. Estos resultados se diferencian estrictamente por la variedad.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Al describir las etapas fenológicas florales de quinua, chía y amaranto se concluye que en el cultivo de quinua en la etapa vegetativa duró 63 días y en la etapa reproductiva duró 83 días, en el cultivo chía en la etapa vegetativa duró 55 días y en la etapa reproductiva duró 91 días y en el cultivo de amaranto en la etapa vegetativa duró 58 días y en la etapa reproductiva duró 88 días. Los cultivos presentaron una fase reproductiva larga, lo que provocó un mayor rendimiento de semilla.

Al realizar la escala visual según la BBCH, se detallaron las características cualitativas de las diferentes estructuras de la planta, en las etapas 5, 6, 7 y 8 de quinua, chía y amaranto.

6.2 Recomendaciones

El presente estudio realizó una vez por semana la toma de datos en campo, sin embargo, en la etapa de floración al ser muy variable, se debe realizar la toma de datos mínimo tres veces por semana.

Es importante realizar el estudio de las fases vegetativas desde germinación (etapa 0) de quinua, chía y amaranto, para obtener un estudio fenológico del ciclo de la planta.

Es recomendable realizar el estudio histológico vegetal de chía, quinua y amaranto en las estructuras internas de la planta en cada etapa.

REFERENCIAS

- Agricultura. (2017). *Estudios agroeconomicos zonas prioritarias*. Recuperado el 01 de junio de 2018, de http://sinagap.agricultura.gob.ec/pdf/estudios_agroeconomicos/zonas_prioritarias.pdf
- Agroscopio. (2017). *Chenopodium quinoa*. Recuperado el 12 de junio de 2018, de <http://www.agroscopio.com/ec/aviso/quinua-iniap-tunkahuan/>
- Alvario, S. (2013). Estudio de adaptabilidad y densidades de siembra de chíca en la provincia de Los Rios. *Universidad Técnica de Babahoyo*, 7-11. Recuperado el 30 de mayo de 2018, de <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/49000/193/6/T-UTB-FACIAG-AGR-000056.pdf>
- Basaure, P. (2009). *Fenología vegetal*. Recuperado el 30 de mayo de 2018, de <http://www.manualdelombricultura.com/foro/mensajes/18577.html>
- Becerra, R. (2000). *El amaranto: nuevas tecnologías para un antiguo cultivo*. Recuperado el 05 de junio de 2018, de <http://www.biodiversidad.gob.mx/Biodiversitas/Articulos/biodiv30art1.pdf>
- Bleiholder, H., Buhr, L., Feller, C., Hack, H. y Hess, M. (1998). *Escala BBCH extendida*. Bogotá: Novartis. https://www.agro.basf.es/agroportal/es/media/migrated/es/pdf_1/services/descarga.pdf
- Bleiholder, H., Weber, E., Feller, C., Hess, M. y Wicke, H. (1992). The extended BBCH scale, general. p.12. doi:10.5073/bbch0515
- Bueno, M., Busilacchi, H., Quiroga, M. y Severin, C. (2012). Caracterización Morfoanatómica de Hoja, Tallo, Fruto y Semilla de *Salvia hispanica* L. (Lamiaceae). Recuperado el 05 de junio de 2018, de <http://www.redalyc.org/html/856/85622739007/>
- Busilacchi, I., Bueno, C., Di Sapio, O. y Quiroga, M. (2013). *Evaluación de Salvia hispanica L. cultivada en el sur de Santa Fe (República Argentina)*. Recuperado el 28 de mayo de 2018, de

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362013000400009

- Cai, Y., Sun, M. y Corke, H. (1998). Colorant properties and stability of *Amaranthus* betacyanin pigments. *Food Chemistry*, 4491-4495. doi:10.1021/jf980457g
- Capparelli, A., Pochettino, M. L., Lema, V., López, M. L. y Andreoni, D. (2017). The contribution of ethnobotany and experimental archaeology to interpretation of ancient food processing: Methodological proposals based on the discussion of several case studies on *Prosopis* spp, *Chenopodium* spp. *Food Chemistry*, 285-294. Recuperado el 05 de junio de 2018, de <http://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/32518>
- Choque, A. (2010). *Comportamiento agronómico y evaluación del periodo de maduración de granos en diez variedades de quinua (Chenopodium quinoa Willd.), en la estación experimental de choquenaira*. Recuperado el 04 de junio de 2018, de <http://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/5152/T-1412.pdf?sequence=1>
- Cisneros, P. (2016). La chíá cultivada en Ecuador se abre paso en los mercados internacionales. *Andes*. Recuperado el 05 de junio de 2018, de <https://www.andes.info.ec/es/noticias/actualidad/1/chia-cultivada-ecuador-abre-paso-mercados-internacionales>
- Corredor , P. y García , J. (2011). Fenología reproductiva, biología floral y visitantes florales en los cultivares de mango (*Mangifera indica* L.) Hilacha y Tommy Atkins en el valle del alto Magdalena (Colombia). *Ecofisiología*, 21-32. Recuperado el 03 de junio de 2018, de <http://revista.corpoica.org.co/index.php/revista/article/view/212>
- Delnevo, N., Petraglia, A., Carbognani, M., Vandvik, V. y Halbritter, A. H. (2018). Plastic and genetic responses to shifts in snowmelt time affects the reproductive phenology and growth of *Ranunculus acris*. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 62-70. doi:10.1016/j.ppees.2017.07.005

- Endicott, S., Brueland, B., Keith, R., Schon, R. y Bremer, C. (2015). *Maíz, Crecimiento y desarrollo*. Recuperado el 04 de junio de 2018, de https://www.pioneer.com/CMRoot/International/Latin_America_Central/Chile/Servicios/Informacion_tecnica/Corn_Growth_and_Development_Spanish_Version.pdf
- Espitia, E. (2012). *Amaranto ciencia y tecnologia*. Recuperado el 05 de junio de 2018, de https://www.researchgate.net/profile/Hiran_Moran/publication/256422672_AMARANTO_Ciencia_y_Tecnologia_2012/links/00b7d5227dc72c4d2f000000/AMARANTO-Ciencia-y-Tecnologia-2012.pdf
- FAO. (2011). *La Quinoa: cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial*. Recuperado el 05 de junio de 2018, de http://www.fao.org/fileadmin/templates/aiq2013/res/es/cultivo_quinoa_es.pdf
- FAO. (2013). Descriptores para quinoa (*Chenopodium quinoa*) y sus parientes silvestres. Recuperado el 07 de junio de 2018, de <http://www.fao.org/docrep/018/aq658s/aq658s.pdf>
- Fariña , J., & Lorenzini, R. (2003). Vigor de la planta de algodón (*Gossypium hirsutum* L.). *Publicación Miscelánea N° 2. INTA-EEA Reconquista*. Recuperado el 11 de junio de 2018, de <http://agrolluvia.com/wp-content/uploads/2010/05/EL-VIGOR-DE-LA-PLANTA-DE-ALGOD%C3%93N-GOSSYPIUM-HIRSUTUM.pdf>
- Fernández, S. y Salas-Mellardo, M. (2017). Addition of chia seed mucilage for reduction of fat content in bread and cakes. *Food Chemistry*, 237-244. doi:10.1016/j.foodchem.2017.01.075
- Fierro, E. y Recalde, F. (2012). *EL AMARANTO COMO ALTERNATIVA ALIMENTARIA PARA EL MEJORAMIENTO NUTRICIONAL*. Recuperado el 10 de junio de 2018, de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/2837/2/06%20NUT%20143%20ARTICULO%20CIENTIFICO.pdf>
- Gomez, L. y Aguilar, E. (2016). *Guia del cultivo de la Quinoa*. Recuperado el 30 de mayo de 2018, de <http://www.fao.org/3/a-i5374s.pdf>

- Gonzalez, M. (2011). *Estudio fenológico y aerobiológico en un viñedo en la Comarca del Ribeiro*. Recuperado el 15 de junio de 2018, de <http://www.investigacion.biblioteca.uvigo.es/xmlui/bitstream/handle/11093/227/Estudio%20fenol%C3%B3gico%20y%20aerobiol%C3%B3gico%20en%20un%20vi%C3%B1edo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hernández, J. y Salvador, M. (2008). Caracterización morfológica de chíca. Recuperado el 12 de junio de 2018, de <http://www.redalyc.org/html/610/61031203/>
- Herrera, D. (2014). *Efecto de la fecha de siembra sobre el crecimiento y rendimiento de chíca blanca (Salvia hispanica L.)*. Recuperado el 30 de julio de 2018, de http://www.chica.uchile.cl/docs/tesis/6.Memoria_de_T%C3%ADtulo_-_Diego_Tello.pdf
- Hoyos, D., Morales, J., Chavarría, H., Montoya, P., Correa, G. y Jaramillo, S. (2012). Acumulación de Grados-Día en un Cultivo de Pepino (*Cucumis sativus L.*). Recuperado el 14 de junio de 2018, de <https://search.proquest.com/openview/0d24ee945c35ad63b17e3b2834846b3f/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2035754>
- Huamán, H. (2015). *Manual de Nutrición y Fertilización de la Quinoa*. Recuperado el 17 de junio de 2018, de <http://www.care.org.pe/wp-content/uploads/2015/06/Manual-de-Fertilizacion-de-La-Quinoa.pdf>
- Liu, K., Li, H., Yuan, C., Huang, Y., Chen, Y. y Liu, J. (2015). Identification of phenological growth stages of sugar apple (*Annona squamosa L.*) using the extended BBCH-scale. *Scientia Horticulturae*, 76-80. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2014.10.046>
- Mapes, E. (2015). *El Amarantho*. Recuperado el 19 de junio de 2018, de https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/66_3/PDF/Amaranto.pdf
- Mendoza, V. (2013). *Comparativo de accesiones de quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) en condiciones de costa central*. Recuperado el 17 de junio de 2018, de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/1778>

- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2017). *2017, Año clave para Ecuador en exportación de quinua*. Recuperado el 10 de junio de 2018, de <https://www.agricultura.gob.ec/2017-ano-clave-para-ecuador-en-exportacion-de-quinua/>
- Morillo, A., Castro, M. y Morillo, Y. (2017). CARACTERIZACIÓN DE LA DIVERSIDAD GENÉTICA DE UNA COLECCIÓN DE QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd). *Ebsco*,, 51-52. doi:10.18684/BSAA(15)49-56.
- Murillo, A., y Sánchez, A. (2013). *Quinua: Pasado, presente y futuro*. FOOD & Agriculture Organization of the United Nations. UNITED Nations. General Assembly, 13-14. Recuperado el 27 de mayo de 2018, de <http://web.b.ebscohost.com/bibliotecavirtual.udla.edu.ec/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vi>
- Neyoy, C. (2009). *Crecimiento y desarrollo vegetal*. Recuperado el 18 de junio de 2018, de <https://es.scribd.com/doc/92187682/Crecimiento-y-Desarrollo-Vegetal-reguladores-de-Crecimiento-Vegetal>
- Peralta, E. (2009). *La quinua en Ecuador "Estado del Arte"*. Recuperado el 28 de julio de 2018, de <http://repositorio.iniap.gob.ec/jspui/bitstream/41000/805/1/iniapsclgaq1.pdf>
- Peralta, E. (2010). *Granos andinos chocho, quinua y amaranto*. Recuperado el 11 de junio de 2018, de http://balcon.magap.gob.ec/mag01/magapaldia/Quinua/pdf%20publicaciones/13.PROD_SEMILLA_ANDINOS.pdf
- Peralta, I., Mazón, N., Murillo, A., Rivera, M. y Rodríguez, D. (2012). *Manual Agrícola de Granos Andinos*. Recuperado el 17 de junio de 2018, de <http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/MANUAL%20AGRICOLA%20GRANOS%20ANDINOS%202012.pdf>
- Perry, K. y Wehner, T. (1996). *A heat unit accumulation method for predicting cucumber harvest date*. (2.-3. . HortTechnology, Editor) Recuperado el 28 de julio de 2018, de <http://cucurbitbreeding.com/wp->

content/uploads/2016/04/a-heat-unit-accumulation-method-for-predicting-cucumber-harvest-date.pdf

- Pizarro, L. (2014). *Caracterización fenológica y rendimiento de dos genotipos de chíá*. Recuperado el 2018, de http://www.chia.uchile.cl/docs/tesis/7.Tesis_Leslie2.pdf
- Porr, M. (2009). *Amaranto: planta latinoamericana con fuerzas colosales*. Recuperado el 17 de junio de 2018, de <http://www.madeleine-porr.de/Amaranto2.pdf>
- Ministerio de Salud Pública (2016). La Desnutricion Infantil. *unicef*, 5. Recuperado el 29 de julio de 2018, de <https://www.salud.gob.ec/wp-content/uploads/2016/09/Dossierdesnutricion.pdf>
- Instituto Nacional de Desarrollo Social. (2014). *Manual para la producción de amaranto*. Recuperado el 12 de junio de 2018, de <http://www.puentemexico.org/sites/default/files/puente/attachments/manualecoamarantofinal.pdf>
- Quillatupa, R. (2009). *Caracterización de las fases fenológicas, determinación de unidades de calor y rendimiento de 16 genotipos de quinua (Chenopodium quinoa Willd) en condiciones de la malina. Lima - Perú*. Recuperado el 04 de junio de 2018, de <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=tesispe.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=009721>
- Rajan, S. T., Saxena, P., Singh, S., Reddy, Y. y Upreti, K. (2011). Application of extended BBCH scale for phenological studies in mango (*Mangifera indica* L.). *Journal of Applied Horticulture*, 108-114. Recuperado el 30 de mayo de 2018, de http://horticultureresearch.net/journal_pdf/2011108-114.pdf
- Rovati, A., Escobar, E. y Prado, C. (2012). *Particularidades de la semilla de chíá*. Recuperado el 16 de junio de 2018, de <http://www.eeaoc.org.ar/upload/publicaciones/archivos/269/20121114121551000000.pdf>

- Rubio, R., Medina, R., Alvarado, O., y Alejandre, G. (2016). *Requirement of heat units in the crop of the amaranth*. Recuperado el 11 de junio de 2018, de https://www.researchgate.net/publication/306256145_Requerimiento_de_unidades_calor_en_el_cultivo_del_amaranto
- Salas. (2014). *Identificador inválido*. Recuperado el 30 de julio de 2018, de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/2837>.
- Sánchez, C. (2010). *El amaranth*. Recuperado el 11 de junio de 20148, de <http://www.medigraphic.com/pdfs/aapaunam/pa-2010/pa104e.pdf>
- Sephu. (2010). *Cultivo de la quinua orgánica*. Recuperado el 30 de julio de 2018, de https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/81972/051---15.07.10---Cultivo-de-la-Qui--769-noa-Orga--769-nica-2.pdf
- Sven, J. (2014). *Informe sobre lo rubros de quinua, chocho y amaranth*. Recuperado el 28 de mayo de 2018, de www.share4dev.info/ffsnet/documents/3441.pdf
- Tapia, M. (2007). *Historia, distribución geográfica, actual producción y usos*. Recuperado el 18 de junio de 2018, de <http://www.revistaambienta.es/WebAmbienta/marm/Dinamicas/secciones/articulos/quinua.htm>
- Tapia, M. y Fries, A. (2007). *GUÍA DE CAMPO DE LOS CULTIVOS ANDINOS*. Recuperado el 12 de junio de 2018, de <http://www.fao.org/docrep/010/ai185s/ai185s.pdf>
- Tapia, M., Gandarillas, H., Alandia, S. y Cardozo, A. (1979). *La Quinua y la Kañiwa*. Bogota: CIID.
- Universidad Técnica del Norte*. (2014). Recuperado el 08 de junio de 2018, de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/2837/2/06%20NUT%20143%20ARTICULO%20CIENTIFICO.pdf>.
- Vásquez, W. (1993). *Temperaura, fenología y calidad física del maíz*.
- Wills, C., Ellwood, E., Primack, R., Davis, C. y Pearson, K. (2017). *Old Plants, New Tricks: Phenological Research Using Herbarium Specimens*.

Trends in Ecology & Evolution, 531-545.
doi:10.1016/j.tree.2017.03.015

ANEXOS

Anexo 1: GLOSARIO

Amarantiforme: Es un tipo de panoja donde los glomérulos están separados entre ellos y son alargados.

Androceo: Estructura masculina que contiene los estambres, los cuales contienen los granos de polen.

Aporque: Práctica donde se remonta tierra en la base de la planta para ayudar al crecimiento adecuado de la planta y para un mejor asentamiento de las raíces al suelo.

Aquenio: Es un fruto seco que procede de un ovario productor de una sola semilla.

Arvenses: también llamado malezas, son plantas que crecen de forma silvestre en los cultivos previamente sembrados que afectan negativamente al cultivo por su crecimiento agresivo.

Corola: Conjunto de pétalos de las flores que protegen a los órganos reproductivos.

Diámetro ecuatorial: Es aquel que hace referencia a la medida del extremo este al extremo oeste.

Diámetro polar: Es aquel que hace referencia a la medida de polo norte al polo sur.

Endospermo: Es la segunda capa de la semilla desde afuera hacia dentro, donde se encuentran las reservas nutricionales de la semilla.

Espiga: Es un tipo de inflorescencia formada por el conjunto de antecios, donde se encuentran las flores.

Fecundación: Es cuando el polen de las anteras se introduce en el estigma, el polen baja por el tubo polínico hasta el ovulo uniendo los gametos.

Gineceo: Estructura femenina que contiene los estigmas por donde ingresa el polen hasta el ovario.

Glomerular: Es un tipo de panoja donde los glomérulos tienen una disposición compacta.

Glomérulo: Estructura donde se forma la flor.

Hermafrodita: Es una flor que contiene los dos órganos sexuales: masculino y femenino.

Inflorescencia: Panoja que sostiene a los glomérulos.

Macollos: Son los brotes secundarios a partir del tallo principal consideradas plantas completas.

Pedúnculo: Es el tallo de la flor, fruta u hoja con el cual se une con el tallo de la planta.

Pericarpio: Capa externa de las semillas o frutos.

Perigonio: Estructura que contiene los órganos sexuales de la planta, se compone del cáliz o corola.

Primordio floral: Es el estado donde las células tienen la capacidad de dividirse rápidamente para formar un nuevo órgano.

Raleo: Es la eliminación de plántulas en exceso dentro de un cultivo.

Tallo principal: Es el sostén de la planta.

Tallo secundario: Es aquel que nace del tallo principal debajo de la panoja principal.

Yema latente: Es la estructura que protege al primordio floral, el cual en la división celular al aumentar su tamaño forma la yema hinchada.

Anexo 2: Ubicación geográfica granja experimental UDLA. Tomado de Googlemaps, 2018



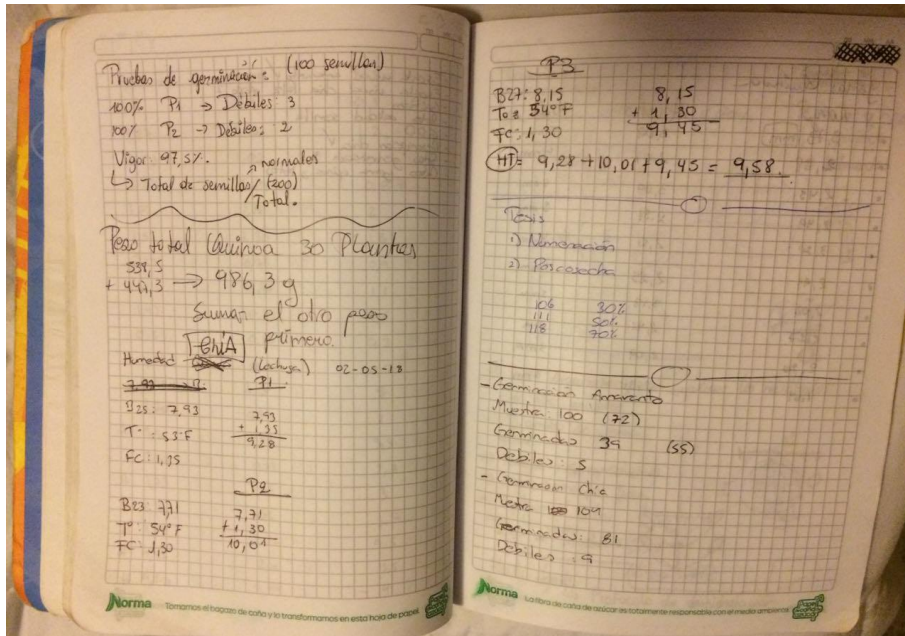
Anexo 3: Cultivos de chía, amaranto y quinua



Cultivos de chía, amaranto y quinua (de izq. a der.), tres y cinco meses después de la siembra



Toma de datos cualitativos y cuantitativos en campo



Libro de campo para la toma de datos cualitativos y cuantitativos

Anexo 4: Cosecha y secado de panojas

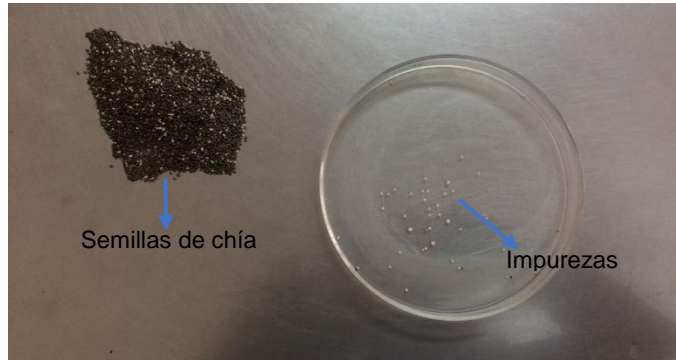


Cosecha y secado de panojas

Anexo 5: Análisis de calidad de semilla



Limpieza y clasificación de la semilla de quinua



Separación de las impurezas de la semilla de chía



Separación de las impurezas de la semilla de amaranto



Pruebas de germinación de semillas de quinua

Anexo 6: Planta de chía enferma



Enfermedad de la chía que produjo el bajo rendimiento en el cultivo

