



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

ESTUDIO DE LA FENOLOGÍA FLORAL DE LA JÍCAMA
(*Smallanthus sonchifolius*) PARA POTENCIAR SU USO AGROINDUSTRIAL.

Autora

Tania Alejandra Correa Sánchez

Año
2019



FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS APLICADAS

ESTUDIO DE LA FENOLOGÍA FLORAL DE LA JÍCAMA (*Smallanthus
sonchifolius*) PARA POTENCIAR SU USO AGROINDUSTRIAL.

“Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos establecidos
para optar por el título de Ingeniero Agroindustrial y de Alimentos”

Profesor Guía
Dr. Mauricio Andrés Racines Oliva

Autor
Tania Alejandra Correa Sánchez

Año

2019

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

"Declaro haber dirigido el trabajo, Estudio de la fenología floral de la jícama (*Smallanthus sonchifolius*) para potenciar su uso agroindustrial, a través de reuniones periódicas con el estudiante Tania Alejandra Correa Sánchez, en el periodo 201910, 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 revisado este trabajo, Estudio de la fenología floral de la jícama (*Smallanthus sonchifolius*) para potenciar su uso agroindustrial, de Tania Alejandra Correa Sánchez, en el periodo 201910, 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

“Declaro que este trabajo es original, de 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.”

Tania Alejandra Correa Sánchez

C.I 1720736899

AGRADECIMIENTOS

Mi más profundo agradecimiento a Dios, a mi tío Geovany Sánchez quien me ha apoyado durante toda la carrera. Al Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) los cuales me permitieron utilizar el material genético para el estudio.

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico con amor y cariño a mi familia, a mis padres, mis hermanos, a las personas que me colaboraron en la elaboración de este estudio y en especial a mi madre Gladys Sánchez quien me ha ayudado y apoyado con sus sabios consejos durante toda la carrera.

RESUMEN

El estudio se llevó a cabo en una granja experimental ubicada en Urcuquí, Ibarra. El lugar tiene una altura promedio de 2220 msnm y temperaturas de 13 a 24°C. El objetivo fue generar información sobre la fenología floral de la jícama o también conocida como yacón en el Ecuador, para potenciar su uso agroindustrial. El trabajo fue efectuado mediante la selección de 30 plantas de la accesión 1249 del Instituto Nacional de investigaciones Agropecuarias (INIAP), se capturaron imágenes del desarrollo de las estructuras donde se identificó las partes de la flor de jícama, mismas que en el documento se encuentran detalladas con información para uso de usuarios interesados. En la parte cualitativa mencionada, para la caracterización estructural se utilizó una cámara Cannon en el campo y un estereoscopio trinocular en el laboratorio con el que se observaron estructuras características de la flor de jícama (flor ligulada, flor tubular, fruto). El color de las estructuras se determinó con la ayuda de la carta de colores codificados de la Royal Horticultural Society (sexta edición), que permitieron describir cada color mediante un código. Con lo mencionado se realizó una descripción visual y teórica en base a la escala BBCH, determinando así cada etapa fenológica de la flor. Se registraron variables cuantitativas tales como el diámetro polar y ecuatorial de la yema, con los que se obtuvieron datos de promedio, varianza, desviación estándar, coeficiente de variación para las curvas de crecimiento. La etapa reproductiva de esta accesión ocurrió a los 105 días después del crecimiento del botón floral, donde comienza la antesis y se pueden ver las primeras flores femeninas extendidas registrada como fase (61) en base a la escala BBCH. Desde esta fase comienza el crecimiento de la flor masculina. Se registraron datos de los grados días desarrollo que requirió el cultivo para su crecimiento a partir de esta fase, siendo 432.50 GDA, en el que la flor llega a la senescencia.

Palabras clave: escala BBCH, unidades térmicas, fenológica, yacón, *Smallanthus sonchifolius*.

ABSTRACT

The study was carried out in an experimental farm located in Urcuquí, Ibarra. The place has an average height of 2220 meters above sea level and temperatures of 13 to 24 ° C. The objective was to generate information on the floral phenology of jicama or also known as yacon in Ecuador, to enhance its agro-industrial use. The work was carried out through the selection of 30 plants of the accession 1249 of the National Institute of Agricultural Research (INIAP), images were captured of the development of the structures where the parts of the jicama flower were identified, which are found in the document. detailed with information for the use of interested users. In the qualitative part mentioned, for the structural characterization a Cannon camera was used in the field and a trinocular stereoscope in the laboratory with which characteristic structures of the jicama flower (ligulate flower, tubular flower, fruit) were observed. The color of the structures was determined with the help of the color code letter of the Royal Horticultural Society (sixth edition), which allowed each color to be described by means of a code. With the aforementioned, a visual and theoretical description was made based on the BBCH scale, thus determining each phenological stage of the flower. Quantitative variables such as the polar and equatorial diameter of the yolk were recorded, with which we obtained data of average, variance, standard deviation, coefficient of variation for the growth curves. The reproductive stage of this accession occurred 105 days after the growth of the floral bud, where the anthesis begins and the first extended female flowers registered as a phase (61) can be seen based on the BBCH scale. From this phase begins the growth of the male flower. Data were recorded of the days development degrees that the crop required for its growth from this phase, being 432.50 GDA, in which the flower reaches senescence.

Keywords: BBCH scale, thermal units, phenological, yacon, *Smallanthus sonchifolius*.

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 Composición química y nutritiva	3
3.2 Descripción taxonómica.....	4
3.2.1 Descripción botánica.....	5
3.2.2 Inflorescencia.....	5
3.3.3 Fruto	5
3.3 Requerimiento de clima y suelo para el cultivo	6
3.3.1 Manejo del cultivo	6
3.4 Fenología	7
3.4.1 Métodos para estudiar la fenología:.....	8
3.4.2 Grados día desarrollo	8
3.4.3 Edad de la planta	9
3.5 Escalas fenológicas de las plantas	9

3.6 Escala Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische (BBCH).....	10
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
4.1 Materiales y equipos.....	11
4.2 Métodos.....	12
4.2.1 Ubicación del experimento.....	12
4.2.2 Estadística descriptiva.....	12
4.2.3 Variables del estudio.....	13
4.2.4 Manejo del experimento.....	14
5. RESULTADOS	16
5.1 Fase 5: Crecimiento principal en base a la escala BBCH	16
5.1.2 Crecimiento de las yemas vs Tiempo	19
5.2 Fase 6: Floración.....	25
5.3 Fase 9: Senescencia de la inflorescencia	33
5.3.1 Curva de crecimiento floral: Fases fenológicas, tiempo y grados días acumulados para las diferentes fases fenológicas de la flor de jícama, según la BBCH.	35
5.3.2 Estructura floral.....	38
5.4 Fenología de la jícama en base a la escala BBCH.....	43
6. DISCUSIÓN	48
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	50
7.1 Conclusiones.....	50

7.2 Recomendaciones:	50
REFERENCIAS	51
ANEXOS	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Yema latente visible dentro de las brácteas (51).	16
Figura 2. Yema hinchada dentro de las brácteas (52).....	17
Figura 3. El 30% de la yema hinchada separada de las hojas más jóvenes (53)..	18
Figura 4. 50% de la yema hinchada se distingue de las hojas de follaje (54).	18
Figura 5. Diámetro polar y ecuatorial (mm) de la yema principal de la jícama (n=30), Ibarra 2018.....	19
Figura 6. Botón floral visible y totalmente separada de la hoja de follaje más joven (55).	21
Figura 7. Botón floral, las brácteas totalmente pegadas entre sí (56).	21
Figura 8. La inflorescencia está totalmente separada de las hojas del follaje (57).....	22
Figura 9. 8% de las brácteas abiertas (58).....	23
Figura 10. Flores liguladas visibles entre las brácteas, inflorescencia aun cerrada. (59).....	23
Figura 11. Inicio de la floración (61).	26
Figura 12. 50% de las flores liguladas se han desarrollado (62).	26
Figura 13. El 35% del largo de las flores de disco de la parte exterior de la inflorescencia están en desarrollo (63).....	27
Figura 14. Floración completa (65).....	27
Figura 15. Floración declinante (67).....	28
Figura 16. Fin de la floración (69).....	29
Figura 17. Inflorescencia muy madura, las semillas tienen más del 80% de materia seca (92).	33
Figura 18. Flor marchita y muerta (97).....	34
Figura 19. Curva de crecimiento de las fases de floración de la jícama (N=30), Ibarra 2018.....	36
Figura 20. Unidades de calor acumuladas en el cultivo de jícama.....	38
Figura 21. Caracterización de la flor de jícama (<i>Smallanthus sonchifolius</i>).	39

Figura 22. Caracterización de la flor tubular.....	40
Figura 23. Crecimiento de la flor ligulada de la jícama en base a la fase 6 de la escala BBCH.	41
Figura 24. Crecimiento de la flor tubular de la jícama en base a las fases 5 y 6 de la escala BBCH.	42
Figura 25. Fenología de la jícama <i>Smallanthus sonchifolius</i> según la escala BBCH.	43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Codificación BBCH del estadio principal de las plantas	10
Tabla 2 Estadísticos descriptivos de diámetro polar y ecuatorial (mm) de yema latente y yema hinchada en jícama (n=30).....	20
Tabla 3 Estadísticos descriptivos de diámetro polar y ecuatorial (mm) del botón floral de la jícama (n=30).....	24
Tabla 4 Estadísticos descriptivos de diámetro polar y ecuatorial (mm) de las flores liguladas visibles de jícama (n=30).....	24
Tabla 5 Estadísticos descriptivos de diámetro polar y ecuatorial (mm) de las flores liguladas extendidas (LE) y del 50 % del crecimiento de la flor ligulada (FL) de jícama (n=30).....	29
Tabla 6 Estadísticos descriptivos de diámetro polar y ecuatorial (mm) del 35% y 50% del crecimiento de las flores tubulares (FT) de la jícama (n=30).....	30
Tabla 7 Estadísticos de diámetro polar y ecuatorial (mm) donde el crecimiento de las flores tubulares de jícama han alcanzado un 75% del desarrollo (n=30)....	31
Tabla 8 Estadísticos descriptivos de diámetro polar y ecuatorial (mm) del fin de la floración de la jícama (n=30).	32
Tabla 9 Estadísticos descriptivos de diámetro polar y ecuatorial (mm) de la senescencia de la flor de jícama (n=30).....	34
Tabla 10 Grados días acumulados en las fases fenológicas de la jícama	37
Tabla 11 Fenología de la flor de jícama según la escala BBCH, Ibarra 2018.	46

1. INTRODUCCIÓN

La jícama (*Smallanthus sonchifolius*) conocida también como yacón es un cultivo procedente de los Andes, considerada por varios investigadores como un cultivo prominente. Es perenne y ha sido domesticada desde la cultura preincaica, se dice que ha sido usada por las culturas Mochica y Nazca en la Costa peruana, también en Sierras de Medina ubicadas en Argentina (Hermann, 1997).

Su alta productividad y el bajo costo de producción, convierte a la jícama en cultivo conveniente para la exportación, sobre todo para aquellos pequeños agricultores en países en vías de desarrollo, además de convertirse en un producto económico para el consumidor local (Barrera, Tapia y Monteros, 2003). El bajo impacto ambiental generado, debido al limitado uso de fertilizantes y pesticidas, junto a la capacidad que tiene para usar el nitrógeno atmosférico, lo convierte en el cultivo casi perfecto para una agricultura sostenible (Phillips-Mora, Morera, y Sorensen, 1993).

La principal característica de la jícama es su fácil adaptación a diversos climas, desde el punto de vista agrícola, la jícama tiene una alta estabilidad en cuanto a producción, el manejo agronómico es relativamente fácil y no tiene muchos enemigos naturales (Phillips *et al*, 1993).

El yacón generalmente se propaga de forma vegetativa a través de su tronco tuberoso o por el rizoma. Una ventaja de este tipo de reproducción es la conservación genética del material a través de clones, aunque entre los peligros esta crear cultivos propensos a infecciones (Fernández, 2010). Una de las características de esta especie es la escasa o nula reproducción sexual. Esto se le atribuye a la ausencia de polinizadores, esterilidad de los granos de polen, problemas en la meiosis y lo recalcitrante de las semilla que han sido evidenciados en trabajos de investigación realizados en Argentina y Ecuador (Coelho, 2012).

Documentos relacionados con esta especie están dispersos y hay información limitada con respecto a su crecimiento y desarrollo floral. Por este motivo, se consideró revisar la literatura que se encuentra disponible, generando un documento sobre la fase reproductiva de este cultivo. La base de este estudio es la escala Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie-BBCH (Hack *et al*, 1992), para que se pueda conocer el desarrollo y crecimiento de esta especie y fomentar su uso agrícola.

1.1 Alcance

Este estudio permitió determinar la fenología reproductiva de la jícama, en base a la escala BBCH, que se inició desde la etapa de floración, hasta su madurez fisiológica, determinando de esta manera el tiempo necesario para el crecimiento y desarrollo de la flor de esta especie. Realizando el estudio para proporcionar información útil en programas de fitomejoramiento y su posterior aplicación agroindustrial.

1.2 Justificación

El Ecuador tiene una gran variabilidad de plantas, por lo que, tiene una biodiversidad vegetal muy amplia. Esos recursos genéticos tienen gran valor nutritivo mismo que pueden ser de mucho potencial para el mercado Nacional e Internacional (Rengifo, 2014).

Los lugares con mayor siembra del cultivo de jícama se ubican en la Sierra Centro-Norte del Ecuador, aunque también están en algunos sectores de las provincias sureñas como Cañar, Azuay y Loja, donde se lo consume fresca, pues posee importantes propiedades nutraceuticas, es decir que además de ser alimento, también es medicinal (Arrobo, 2013).

La jícama debe ser estudiada para su expansión mediante diferentes acciones: realizar colecciones de las especies; caracterizarlas y estudiar plagas y enfermedades (Hernández y León, 1992).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Estudiar la fenología de la jícama según la escala BBCH como base para la mejora de la productividad.

2.2 Objetivos específicos

- Desarrollar de forma gráfica la fenología reproductiva del cultivo de jícama.
- Determinar las diferentes fases fenológicas de jícama mediante estadísticos cualitativos y cuantitativos.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

La jícama (*Smallanthus sonchifolius*), se cultiva entre los 2100 hasta los 3000 msnm. La planta tiene tallos aéreos cilíndricos que llegan a medir hasta 1,5 metros de altitud. Las hojas de la jícama tiene forma triangular en la parte apical (Machuca, 2013). El período vegetativo y reproductivo oscila alrededor de ocho meses y alcanza un rendimiento promedio de tubérculos de hasta 38 t/ha. El potencial de producción de la jícama es muy alto, según Nieto (1988), debido a que se ha logrado un rendimiento de 70 t/ha. La parte que se usa de este cultivo es el tubérculo, además es importante porque forma parte de la alimentación y cultura de las poblaciones locales (Barrera *et al*, 2003).

La jícama fue domesticada en la época prehispánica, actualmente es conocida por las poblaciones campesinas e indígenas de la Sierra. Por la dulzura de sus tubérculos son consumidas como fruta fresca luego de colocarla en el sol para que aumenten los azúcares (Suquilanda, 2010).

3.1 Composición química y nutritiva

Es un alimento con bajo contenido calórico (38kcal/100g) y alto en vitamina C. Se distingue de otros tubérculos porque contiene entre 86-91% de agua. El 90% de su peso seco son carbohidratos, de los cuales un 70% son fructooligosacáridos y el resto glucosa, fructosa y sacarosa.

En los últimos años el cultivo se ha convertido en una buena opción para generar economía a los agricultores. Tiene importancia a nivel internacional debido a que se ha difundido la información sobre los beneficios de la mínima cantidad de azúcares complejos presentes en la raíz, incluso puede ser consumido por diabéticos (Mercola, 2018). Por estos motivos, se espera que en los próximos años tenga un uso industrial donde se puedan obtener diferentes productos (miel, harinas, jarabe, sus hojas para infusiones, entre otros (Suquilanda, 2010).

La jícama es utilizada para la rotación de cultivos ya que está asociada con el frijol y maíz. Las semillas botánicas al madurar contienen rotenona lo que las convierte en tóxicas para los animales y en menor proporción para el hombre pero, se pueden usar como plaguicidas aunque para su manejo tendrá que pasar cierto tiempo (Suquilanda, 2010).

Esta planta es conocida en Bolivia como lacjon, en Ecuador como jícama jiquima o yacón, Colombia y Venezuela jiquima, jiquimilla, en el norte y centro de Perú yacón o llacón, y lajuash, aricoma o aricona respectivamente (Según Tapia y Fries 2007).

3.2 Descripción taxonómica

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Asterales

Familia: Asteraceae

Subfamilia: Asteroideae

Tribu: Millerieae

Género: *Smallanthus*

Especie: ***Smallanthus sonchifolius***

3.2.1 Descripción botánica

La jícama (*Smallanthus sonchifolius*) es un tubérculo de la familia Asteráceae, llega de 1.5 a 2 metros de altura, es un cultivo perenne. El tallo es compuesto por vástagos aéreos que se secan cuando ya ha pasado la floración. De los nudos del tallo surgen dos hojas triangulares (León, 2000).

3.2.2 Inflorescencia

Por lo general las inflorescencias llamadas capítulos (Seminario y Valderrama, 2003), están compuestas por cinco brácteas de color verde, con flores liguladas (femeninas) en la parte externa de color amarillo o anaranjado, y las del centro son tubulares ubicadas en el receptáculo (León, 2000).

El conjunto de brácteas que rodea a la yema es oval con medidas de 10 a 15 milímetros de largo y ancho respectivamente. Las inflorescencias tienen alrededor de 15 flores liguladas, de 12 milímetros de largo y 7 milímetros de ancho. Las flores tubulares miden alrededor de siete milímetros de largo (Flores, 2010). El desarrollo floral de la jícama es limitado, depende de las condiciones ambientales del lugar donde se la haya cultivado. En favorables condiciones la floración comienza a los 6 hasta los 9 meses. Se asume que la polinización del yacón es cruzada (Jáuregui, 2010).

3.3.3 Fruto

El fruto de esta especie es un aquenio, que procede de un ovario ínfero. Tiene forma piramidal y es exalbuminosa, es decir carece de endospermo en la madurez. Pesa de 0.7 a 1.2 gramos. La semilla está pegada al pericarpio por medio del funículo. Es de forma piramidal (Seminario *et al*, 2003). El aquenio mide de 2.5 a 3.8 mm, es de color café, endocarpio caracterizado por el fácil desprendimiento del pericarpio; ciertos ecotipos no generan fruto y si los generan no son viables (Flores, 2010).

3.3 Requerimiento de clima y suelo para el cultivo

Según el manual de producción de cultivos andinos propuesto por la FAO (2010), la jícama suele adaptarse a varios suelos, pero su mejor desarrollo es en suelos franco arenoso, toleran un rango de pH de 6 a 7.5.

En los Andes del Ecuador se siembra desde los 900 a 3500 msnm. Se sabe que el cultivo también es producido a nivel del mar en Nueva Zelanda y EEUU (FAO, 2010).

Se desarrolla bien en temperaturas anuales de 18 a 20 grados centígrados, en valles interandinos y en la Sierra. A temperaturas inferiores a los 10 grados centígrados el crecimiento disminuye y se reduce el rendimiento. La planta se estresa y marchita, cuando la temperatura excede los 26 centígrados, y la cantidad agua en el suelo es escasa, perturbando su crecimiento. La jícama es muy sensible a heladas, a pesar de ser un limitante, el mismo aumenta su capacidad de rebrote. El cultivo se desarrolla también en la Costa, aunque existen evidencias de que a esa altitud, la eficiencia de la tuberización disminuye (Suquilanda, 2010).

El cultivo por lo menos debe recibir nueve horas de luz, a pesar de que se ha visto que su comportamiento es indiferente a la fuerza de la luz y a la prolongación del día. Se desarrolla bien en el sol como en la sombra de árboles frutales, de igual forma asociado con hortalizas y maíz (Suquilanda, 2010).

3.3.1 Manejo del cultivo

La jícama se la puede cultivar de forma asociada con haba, maíz para choclo, col de repollo, haba, al borde de maíz o papa, estos cultivos no se ven afectados por el otro (FAO, 2010).

La distancia de siembra entre surcos debe estar entre 80 a 100 centímetros, y entre planta 50 centímetros (Suquilanda, 2010). El tape del cultivo se lo hace de

forma manual colocando un tubérculo por sitio, dejando el brote para arriba para que el enraizamiento se facilite (FAO, 2012).

Es recomendable utilizar de 6 a 8 ton de compost o estiércol descompuesto previo a la siembra (Suquilanda, 2010).

3.4 Fenología

La fenología estudia los cambios biológicos que son afectados por el clima, y a las condiciones a las que se hallan sometidas las plantas, tales como el desarrollo de yemas, brotes, flores, fruto, entre otros. Desde un punto de vista agrícola, la fenología y la relación que tiene su desarrollo a determinadas condiciones ambientales, permite generar controles sobre el comportamiento y crecimiento de la planta. En cuanto al manejo agronómico, favorablemente estos datos permiten determinar los requerimientos nutricionales, el manejo de plagas y enfermedades, entre otras (Radville, McCormack, Post, Eissenstat, 2016).

En varios estudios se ha manifestado que las plantas tienen una mejor adaptación en climas cálidos, mismos que no han sido demostrados con exactitud debido a que los factores que intervienen sobre la fenología de tubérculos son escasos. Esto porque los tubérculos constituyen gran parte de la biomasa debajo del suelo y posiblemente la el desarrollo del tubérculo puede no ser igual al desarrollo de los brotes por el calor que estos reciben. Por este motivo es importante comprender de qué manera influye el cambio climático en el rendimiento y sobre todo en la fenología de toda la planta (Radville *et al*, 2016).

Es importante conocer definiciones como fase y etapa. Donde fase es la transformación de los órganos vegetales de la planta. Entre ellas está, la fase vegetativa, reproductiva y la maduración. Etapa es el intervalo de tiempo entre las dos fases donde la planta muestra sensibilidad a fenómenos meteorológicos que determinan el rendimiento del cultivo (Azkues, 2010).

La literatura menciona que la fenología reproductiva de varias especies que crecen en ambientes cálidos, templados, subtropicales húmedos, ocurre en la primavera y el verano, donde la floración por lo general comienza en primavera (Balladares y Travez, 2009). El Ecuador cuenta con dos temporadas; lluviosa y seca, donde generalmente las estructuras reproductivas ocurren generalmente en la temporada seca, lo que favorece a aumentar la polinización, y más aún en especies entomófilas, debido a que en esta época el año hay mayor cantidad de insectos (Henríquez, Sotes, Bustamante, 2012).

3.4.1 Métodos para estudiar la fenología:

Por lo general se utilizan tres métodos para determinar la fenología de las plantas, que se mencionan a continuación:

Uno de los métodos que se está usando para evaluar el tiempo de desarrollo de los cultivos, es el tiempo cronológico (días), en el que la influyente es la variable clima; mientras que en el fisiológico que es expresado en Grados Día (GD), es determinado solamente por la temperatura, debido a que esta variable controla la rapidez con la que se produce una reacción bioquímica (Méndez, 2015).

El tiempo fenológico se fundamenta en que un organismo necesita de un determinado aporte de energía, dada por la suma de grados día que se necesitan para una fase fenológica estipulada o todo el ciclo, debido a que existe una dependencia entre la temperatura y el crecimiento de la planta (Méndez, 2015).

3.4.2 Grados día desarrollo

Según Rawson y Gómez (2001), los grados días (GD) es la diferencia de la temperatura media del día en una determinada localidad y una temperatura base para el cultivo que puede ser calculada para días, semanas, mes o años, para un periodo o para todo el ciclo del cultivo (Rodríguez, 2013).

Por otra parte, los grados día acumulados (GDA), es la suma de los grados de cada día, en un tiempo determinado, como una “suma de calor” donde se detalla

el total de energía a la que la planta estuvo sometida parcial o totalmente en su periodo de crecimiento hasta llegar a la maduración. Los GDA calculan la cantidad de energía requerida para pasar a la siguiente fase de crecimiento (Méndez, 2015).

3.4.3 Edad de la planta

Dentro de la fenología está implicada la edad de las plantas y el entendimiento de las diferentes especies vegetativas las cuales, han tenido una evolución muy importante en toda la historia. En el año de 1990, se creó una codificación uniforme para la representación de los estadios implicados en el desarrollo de las plantas. Los métodos que se utilizaban para la caracterización de los estadios eran mixtos, por lo que se usaban números y letras que, por lo general no coincidían con otros géneros, para similares fases de desarrollo. Fue preciso establecer un método de numeración en el que, a través de dígitos, se pueda identificar de forma equivalente los diferentes estadios de desarrollo de plantas y así facilitar su informatización, aceptando a la escala Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische (BBCH), como escala fenológica estándar (Agustí, Zaragoza, Bleiholder, Buhr, Hack, 1998).

3.5 Escalas fenológicas de las plantas

Baggiolini (1952) realizó una de las primeras propuestas para las fases fenológicas de las plantas y aun ha sido usada. En el año de 1977, Eichhorn y Lorenz plantearon una codificación más exhaustiva, en la que identificaron 47 estados, a los que Coombe (1995) le asignó una numeración específica desde yema dura hasta la defoliación (González, 2011).

En el año de 1990, se creó una codificación uniforme para la descripción de los estadios presentes en el desarrollo de las plantas. Los métodos que se utilizaban para la caracterización de los estadios eran mixtos, por lo que se usaban números y letras que, por lo general no coincidían con otros géneros, para similares fases

de desarrollo. Para esto se estableció un método de numeración de dígitos, que permitan identificar de forma equivalente los diferentes estadios de desarrollo de plantas y así facilitar el análisis (Agustí *et al*, 1998). De tal forma que se aceptó a la escala BBCH, adaptada en el año 2001 por Meier.

3.6 Escala Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische (BBCH)

La escala BBCH consta de una codificación uniforme de los estados fenológicos para todas las plantas, en primera instancia se creó una escala general para el cultivo, basándose en un código decimal, donde son diez los estadios principales (Tabla 1), describiendo la madurez fisiológica de las plantas (Hack *et al*, 1992).

La escala BBCH, está conformado por dos dígitos decimales, los cuales codifican la fenología en las etapas de crecimiento de plantas mono y dicotiledóneas. Este sistema fue desarrollado por diferentes entidades alemanas, tales como el Instituto Federal de Variedades Vegetales (BSA), Investigaciones Biológicas para Agricultura y Silvicultura (BBA), el Instituto para Horticultura y Floricultura (IGZ) y, la Asociación Alemana de Agroquímicos (IVA) (Hack, 1992).

En la escala BBCH la codificación del desarrollo de las plantas se compone de dos cifras en las que consta el estadio principal más el estadio secundario. El estadio principal tiene una codificación de 0 a 9 son correspondientes a las fases de desarrollo de las plantas que se identifican con facilidad en el desarrollo de las plantas, como se puede ver en la tabla 1.

Tabla 1.

Codificación BBCH del estadio principal de las plantas

Fase 0	Germinación, brotación, desarrollo de la yema
Fase 1	Desarrollo de las hojas (tallo principal)
Fase 2	Formación de brotes laterales / (ahijamiento)
Fase 3	Crecimiento longitudinal del tallo o crecimiento en roseta,

Fase 4	desarrollo de brotes (retoños) / encañado (tallo principal) Desarrollo de las partes vegetativas cosechables de la planta o de órganos vegetativos de propagación / embuchamiento
Fase 5	Emergencia de la inflorescencia (tallo principal)
Fase 6	Floración (tallo principal)
Fase 7	Desarrollo del fruto
Fase 8	Coloración o maduración de frutos y semillas
Fase 9	Senescencia

Adaptado de (Bleiholder, Feller, Hess, Meier, Van den Boom, 2001).

Las principales etapas de crecimiento por sí solas no bastan para precisar con exactitud el tiempo de evaluación, ya que representan los períodos de tiempo en la trayectoria del desarrollo de una planta. Las etapas secundarias son codificadas de igual manera de 0 a 9, se usan si el tiempo de desarrollo de la planta debe ser indicado con precisión, con diferencia a las etapas de crecimiento principal. Estas etapas son definidas como etapas cortas de crecimiento, dependiendo de las características respectivas de cada especie, y el desarrollo continuo junto con la etapa de crecimiento principal respectiva (Bleiholder *et al*, 2001).

La conformación de ambos códigos dados para la etapa principal y secundaria da como resultado el código de dos dígitos. El mencionado código es una escala que define con exactitud las etapas de crecimiento fenológico para la mayoría de las plantas (Bleiholder *et al*, 2001).

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Materiales y equipos

Material biológico

- Plantas de jícama (*Smallanthus sonchifolius*), accesión 1249 (INIAP).

Material de campo

- Etiquetas plásticas
- Piola blanca
- Marcador a prueba de agua
- Cámara fotográfica
- Calibrador
- Cuaderno de campo
- Data logger para registrar temperatura

Material de laboratorio

- Estereoscopio N° 5
- Cámara del estereoscopio
- Bisturí
- Computador
- Software Winjoe
- Microsoft Excel (2010)

4.2 Métodos

Los métodos empleados en el estudio fueron los descritos a continuación:

4.2.1 Ubicación del experimento

El estudio se realizó en una granja en la ciudad de Ibarra en la parroquia de Imbaya, ubicada en las coordenadas: 0° 21' 46" N, 78° 7' 48" W, con 2.192 metros de altitud de los valles. La temperatura media anual es de 16.3 °C. Precipitación de 623 mm al año.

4.2.2 Estadística descriptiva

Los estadísticos utilizados fueron: la media, la mediana, la varianza, desviación estándar, el máximo, mínimo, rango y el coeficiente de variación. Se tomó el valor máximo y mínimo, para establecer la variabilidad de crecimiento en cada fase. El

rango el cual muestra la distribución de valores en una determinada serie y el coeficiente de variación que refleja la dispersión relativa de un conjunto de datos (Gorostizaga, 2015). Para este estudio se realizó estadística descriptiva, donde se registró el cambio que existe de crecimiento desde la yema latente hasta el inicio de la formación del fruto.

Para establecer la fase de floración y la escala visual, se usó la escala Internacional BBCH, “Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt Chemische” diseñada por Bleiholder, Feller, Hess, Meier, Van den Boom, (2001) con respecto a las asteráceas.

4.2.3 Variables del estudio

Se rotularon 30 plantas, a las que se las etiquetó para el seguimiento de las fases de floración. Seguido de esto se midió la elongación de sus estructuras en diámetro polar y ecuatorial. Finalmente se tomaron fotografías cada semana para el registro de su crecimiento semanal y a través de una tabla de colores se caracterizó el color de las estructuras.

Yema latente: se registró el diámetro longitudinal y ecuatorial de la yema tomando las medidas con el calibrador, se caracterizó el color con la carta de colores del Royal Horticultural Society (sexta edición). Los datos se registraron semanalmente hasta el cambio de fase.

Yema hinchada: se tomaron medidas del diámetro longitudinal y ecuatorial de la yema tomando las medidas con el calibrador, se caracterizó el color con la carta de colores del Royal Horticultural Society (sexta edición). Los datos se registraron semanalmente hasta el cambio de fase.

Botón floral: se registró el diámetro longitudinal y ecuatorial del brote tomando las medidas con el calibrador, se caracterizó el color con la carta de colores del Royal Horticultural Society (sexta edición). Los datos se registraron semanalmente hasta el cambio de fase.

Floración: la floración se distingue cuando son visibles las flores liguladas entre las brácteas.

Flores liguladas: son las primeras flores que se pueden ver en la floración cuando las brácteas empiezan a abrirse. Estas flores son femeninas.

Flores tubulares: se identificó su crecimiento después de las primeras flores liguladas entre las brácteas. Estas flores son masculinas.

Estructura floral: se realizó el conteo de las flores que conforman el yacón, las cuales son flores liguladas y tubulares. Se midieron y se caracterizó su color.

Fructificación: se pudieron observar aquenios dentro de un ovario ínfero, es decir las flores liguladas que se encontraban sobre el ovario mencionado.

4.2.4 Manejo del experimento

Se debe hacer una deshierba al mes después de haber realizado la siembra. Esta planta suele cubrir totalmente el terreno, aproximadamente a los dos meses y medio, es rara la ocasión en que se deba realizar un segundo deshierbe.

Para establecer la fase de floración y la escala visual, se usó la escala Internacional BBCH, “Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt Chemische” diseñada por Bleiholder, Feller, Hess, Meier, Van den Boom, (2001) con respecto a las asteráceas.

En la codificación para la fenología floral se usó la escala BBCH por medio de una tabla en la cual se describe el desarrollo con cada parte de la planta, su forma y las mediciones que se lograron registrar en el periodo de análisis, considerando los dos dígitos establecidos. Los dígitos indican; el primero señala el estadio principal, el segundo dígito el estadio secundario junto con descripción correspondiente a cada fase determinada en la flor de la jícama.

En el cálculo de los grados días desarrollo (GDD) de las fases de floración y la temperatura, permitieron determinar las unidades térmicas de las fases fenológicas de la jícama.

Para el cálculo de los grados días desarrollo se utilizó la fórmula descrita a continuación:

$$GDD = \frac{(T_o + T_f)}{2} - T_{base}$$

Ecuación 1. Grados días desarrollo (Méndez, 2015).

Donde, T_o es la temperatura mínima y T_f es la temperatura máxima diaria, T_{base} es la temperatura base (18°C) para el cultivo de jícama según Valdivieso (2014).

Para el registro de los colores de las partes externas e internas de la jícama, se usó la Carta de colores Royal Horticultural Society (sexta edición), el cual tiene 920 colores, cada uno con un único número, letra y nombre (RHS, 2017).

4.2.5 Cosecha y post-cosecha

La madurez de los tubérculos de la jícama ocurre entre los 6 y 10 meses, esto dependiendo del clima. Para identificar que la planta ha llegado a su madurez, el follaje comienza a secarse y los tubérculos tienen un tamaño de entre 10 a 20 centímetros de diámetro. El cultivo puede permanecer en la tierra sin sufrir daño hasta por 3 meses sin riego (Heredia, 1996). En la zona Andina la cosecha es de forma manual. Para el consumo en fresco se expone los tubérculos al sol entre 3 a 8 días para el incremento de azúcares (Heredia, 1996).

Para el procesamiento de los tubérculos de jícama, estos deben ser firmes y lisos, con forma simétrica, la epidermis no debe tener daño, en cuanto la pulpa tiene que ser suave, gustosa y blanca con sabor característico al almidón dulce (Tapia *et al*, 2007).

Aún no se han establecido parámetros para para la exportación de tubérculos de la jícama. Es importante mencionar que el producto debe estar limpio, con buen color y sin daños. (Tapia *et al*, 2007).

5. RESULTADOS

En base a los objetivos planteados, se presentan los resultados descritos a continuación:

5.1 Fase 5: Crecimiento principal en base a la escala BBCH

A continuación se detalla las fases fenológicas que se determinaron en el crecimiento y de desarrollo de la flor de jícama según la escala BBCH. Es importante indicar que la flor es compuesta y tiene flores masculinas (tubulares) y femeninas (liguladas).

Yema latente: Es la que se forma entre las hojas más jóvenes y está cubierta de brácteas. Tiene una longitud de 1.55 milímetros y 0.83 milímetros de ancho (Figura 1) de color amarillo verde brillante (150C) según la carta de colores codificados de la Royal Horticultural Society (sexta edición).

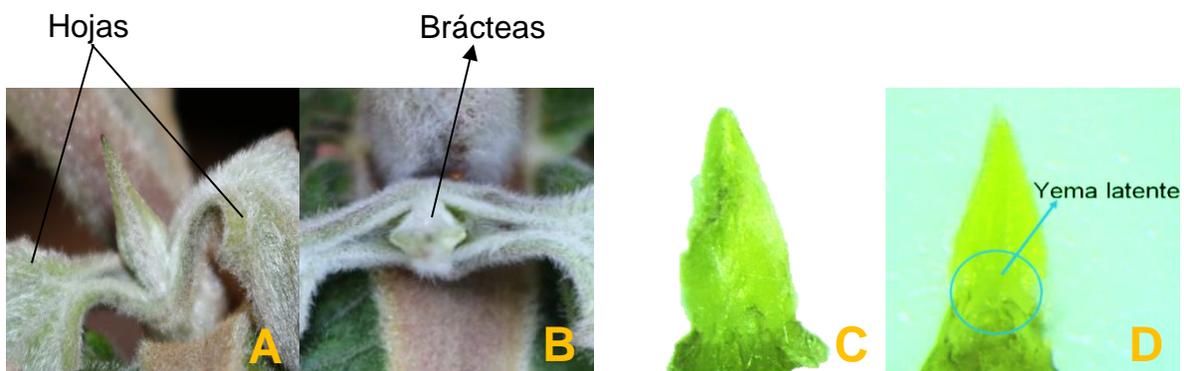


Figura 1. Yema latente visible dentro de las brácteas (51).

A: Vista lateral de una bráctea cubriendo la yema latente. B: Vista frontal de una bráctea cubriendo la yema latente. C: Vista de yema latente en el estereoscopio. D: Vista de corte longitudinal en estereoscopio de la yema latente.

Yema hinchada: En esta fase la yema ha tenido un cambio estructural, el tamaño ha incrementado y se puede distinguir al receptáculo. Esta yema tiene una longitud de 2.39 milímetros y 1.16 milímetros de ancho (Figura 2), presenta un color amarillo verde brillante (150 C) según la carta de colores codificados de la Royal Horticultural Society (sexta edición).

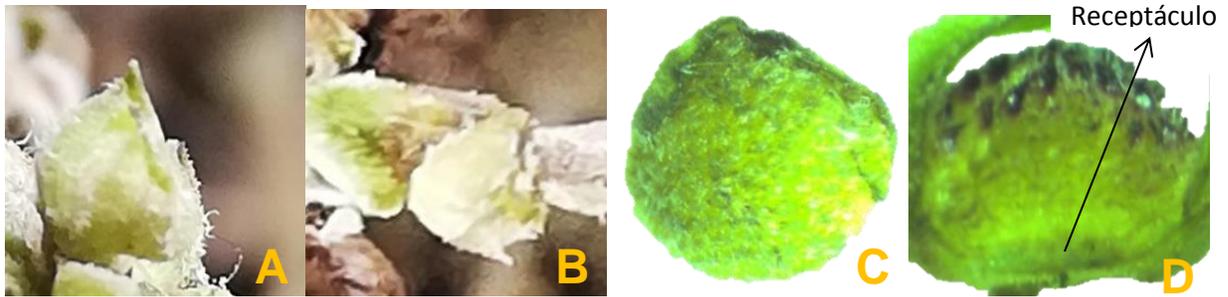


Figura 2. Yema hinchada dentro de las brácteas (52).

A: Vista lateral de una bráctea cubriendo la yema latente. B: Vista frontal de una bráctea cubriendo la yema latente. C: Vista de yema latente en el estereoscopio. D: Vista de corte longitudinal en estereoscopio de la yema latente con mayor tamaño.

En esta fase las hojas triangulares por las que está conformada la jícama empiezan a separarse de las brácteas. La yema se ha hinchado y ha aumentado el tamaño. Esta yema tiene una longitud de 3.46 milímetros y 2.31 milímetros de ancho (Figura 3), presenta un color amarillo verde brillante (150 A) según la carta de colores codificados de la Royal Horticultural Society (sexta edición).

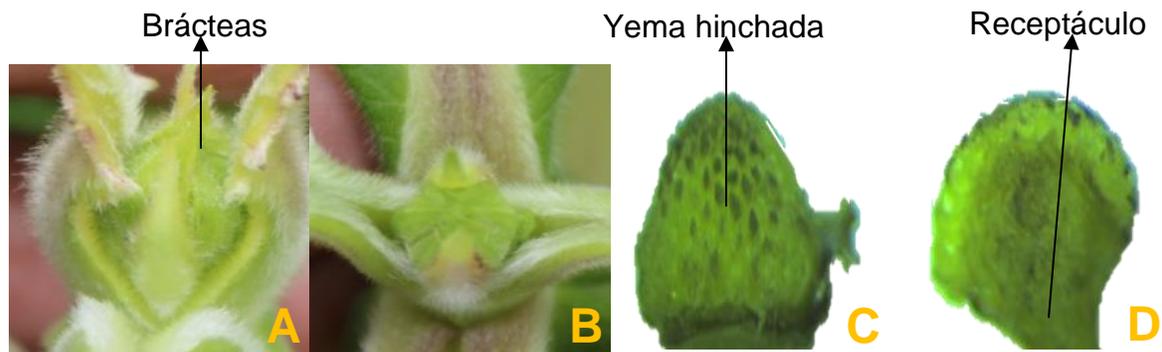


Figura 3. El 30% de la yema hinchada separada de las hojas más jóvenes (53).

A: Vista lateral de una bráctea cubriendo la yema hinchada. B: Vista frontal de una bráctea cubriendo la yema hinchada. C: Vista de yema hinchada en el estereoscopio. D: Vista de corte longitudinal en el estereoscopio de la yema hinchada.

En esta fase la yema hinchada se distingue con mayor facilidad entre las hojas, se puede identificar el receptáculo con mayor facilidad. El tamaño longitudinal de la yema es de 5.23 milímetros y 2.31 milímetros de ancho (Figura 4). Presenta un color amarillo verde brillante (149 C), según la carta de colores codificados de la Royal Horticultural Society (sexta edición).



Figura 4. 50% de la yema hinchada se distingue de las hojas de follaje (54).

A: Vista lateral de una bráctea cubriendo la yema hinchada. B: Vista frontal de una bráctea cubriendo la yema hinchada. C: Vista de yema hinchada en el estereoscopio. D: Vista de corte longitudinal en el estereoscopio de la yema hinchada.

5.1.2 Crecimiento de las yemas vs Tiempo

Se realizó un gráfico del crecimiento de la yema para mostrar el desarrollo en días antes de que se forme el botón floral. La yema latente fue considerada como el primer brote de la planta.

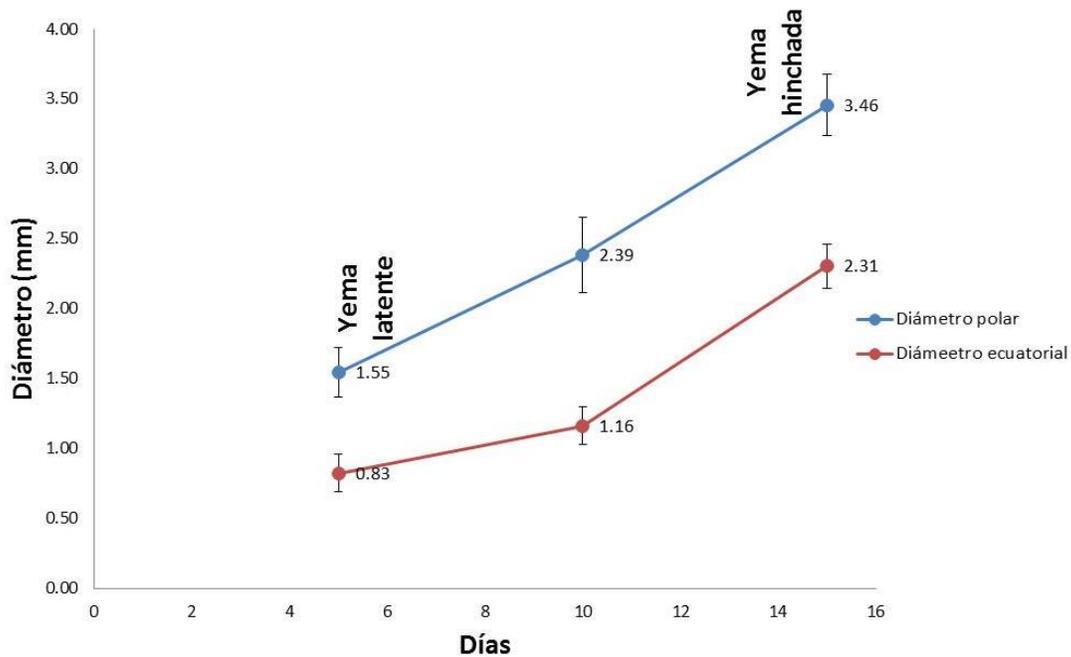


Figura 5. Diámetro polar y ecuatorial (mm) de la yema principal de la jícama (n=30), Ibarra 2018.

En el cultivo de la jícama las yemas principales se formaron a los 81 días después de iniciado el estudio, y permanecen latentes hasta los 103 días. Cuando la yema latente se desarrolla y se convierte en yema hinchada, el diámetro polar mide

(3.46 mm) es mayor al diámetro ecuatorial (2.31 mm). Las yemas suelen ser alargadas (Tabla 2).

Tabla 2.

Estadísticos descriptivos de diámetro polar y ecuatorial (mm) de yema latente y yema hinchada en jícama (n=30).

Estadísticos	Diámetro polar de yema latente (mm)	Diámetro ecuatorial de yema latente (mm)	Diámetro polar de yema hinchada (mm)	Diámetro ecuatorial de yema hinchada (mm)
Media	1.55	0.83	3.46	2.31
Mediana	1.53	0.83	3.47	2.32
Desviación estándar	0.18	0.13	0.22	0.16
Varianza	0.03	0.02	0.05	0.03
Rango	0.78	0.44	1.09	0.53
Mínimo	1.23	0.57	3.07	1.97
Máximo	2.01	1.01	4.16	2.50
CV (%)	11.3 %	15.9 %	6.3 %	6.9 %

Botón floral: En esta fase en botón floral está completamente separado de las hojas, su tamaño longitudinal es de 7.01 milímetros y 4.18 milímetros de ancho (Figura 6). Presenta un color amarillo verde brillante (149 C) según la carta de colores codificados de la Royal Horticultural Society (sexta edición).



Figura 6. Botón floral visible y totalmente separada de la hoja de follaje más joven (55).

A: Vista lateral de una bráctea cubriendo el botón floral. B: Vista frontal de una bráctea cubriendo el botón floral. C: Vista del botón floral en el estereoscopio. D: Vista de corte longitudinal en el estereoscopio del botón floral.

En esta fase el receptáculo ha aumentado el tamaño y se han generado inflorescencias en la parte superior. Tiene un tamaño longitudinal de 8.91 milímetros y 5.25 milímetros de ancho (Figura 7). El color es amarillo verde brillante (149B) según la carta de colores codificados de la Royal Horticultural Society (sexta edición).



Figura 7. Botón floral, las brácteas totalmente pegadas entre sí (56).

A: Vista lateral de una bráctea cubriendo el botón floral. B: Vista frontal de una bráctea cubriendo el botón floral. C: Vista del botón floral en el estereoscopio. D: Vista de corte longitudinal en el estereoscopio del botón floral.

El botón floral ha aumentado su tamaño, 10.91 milímetros de largo y 6.48 milímetros de ancho (Figura 8). Presenta un color amarillo verde brillante (149 B) según la carta de colores codificados de la Royal Horticultural Society (sexta edición).



Figura 8. La inflorescencia está totalmente separada de las hojas del follaje (57).

A: Vista lateral de una bráctea cubriendo el botón floral. B: Vista frontal de una bráctea cubriendo el botón floral. C: Vista del botón floral en el estereoscopio. D: Vista de corte longitudinal en el estereoscopio del botón floral.

El botón floral ha aumentado su tamaño, 13.04 milímetros de largo y 7.70 milímetros de ancho (Figura 9). Presenta un color amarillo verde brillante (149 A) según la carta de colores codificados de la Royal Horticultural Society (sexta edición). Las brácteas se han abierto en un 8 %.

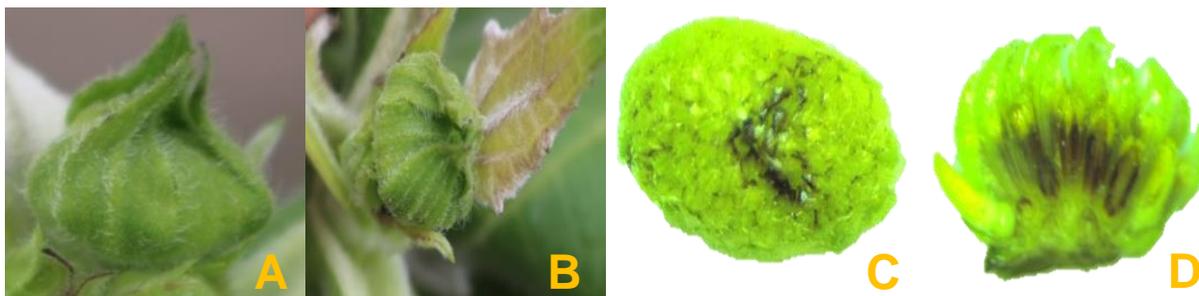


Figura 9. 8% de las brácteas abiertas (58).

A: Vista lateral de una bráctea cubriendo el botón floral. B: Vista frontal de una bráctea cubriendo el botón floral. C: Vista del botón floral en el estereoscopio. D: Vista de corte longitudinal en el estereoscopio del botón floral.

En esta fase el botón floral ha llegado a un tamaño longitudinal de 8.91 milímetros y 5.25 milímetros de ancho. Se pueden observar las primeras flores liguladas visibles entre las brácteas (Figura 10), la inflorescencia sobre el receptáculo aún sigue cerrada. Las flores liguladas presentan un color amarillo verde brillante (149 A) según la carta de colores codificados de la Royal Horticultural Society (sexta edición). En esta fase se puede observar el inicio de fructificación (aquenio).



Figura 10. Flores liguladas visibles entre las brácteas, inflorescencia aun cerrada. (59).

A: Vista lateral de brácteas 8% abiertas cubriendo el botón floral. B: Vista frontal de brácteas 8% abiertas cubriendo el botón floral. C: Vista del botón floral en el estereoscopio. D: Vista de corte longitudinal en el estereoscopio del botón floral.

Tabla 3.

Estadísticos descriptivos de diámetro polar y ecuatorial (mm) del botón floral de la jícama (n=30).

Estadísticos	Diámetro polar (mm)	Diámetro ecuatorial (mm)
Media	8.91	5.25
Mediana	8.94	5.31
Desviación estándar	0.18	0.18
Varianza	0.03	0.03
Rango	0.58	0.67
Mínimo	8.54	4.83
Máximo	9.12	5.50
CV (%)	2.0 %	3.4 %

Tabla 4.

Estadísticos descriptivos de diámetro polar y ecuatorial (mm) de las flores liguladas visibles de jícama (n=30).

Estadísticos	Diámetro polar (mm)	Diámetro ecuatorial (mm)
Media	15.19	9.16
Mediana	15.21	9.22
Desviación estándar	0.20	0.18
Varianza	0.04	0.03
Rango	0.88	0.67
Mínimo	14.81	8.74
Máximo	15.69	9.41
CV (%)	1.3 %	2.0 %

En la fase 5 de la inflorescencia, se pudo observar el crecimiento y desarrollo de la yema latente, yema hinchada, botón floral y la aparición de las flores liguladas (femeninas) que se pudieron visualizar de mejor forma expandiendo las brácteas que solamente tenían una abertura del 8%. Tal como se puede ver en la figura 10, fotografía C, en el estereoscopio se obtuvo una fotografía clara de las flores liguladas.

5.2 Fase 6: Floración

En esta fase las flores liguladas (f) se han extendido, el tamaño longitudinal es de 20.50 milímetros y 11.71 m milímetros de ancho (Figura 11). Presentan un color amarillo verde pálido (149 D) según la carta de colores codificados de la Royal Horticultural Society (sexta edición). Las flores tubulares (m) son visibles en la parte exterior de la inflorescencia.

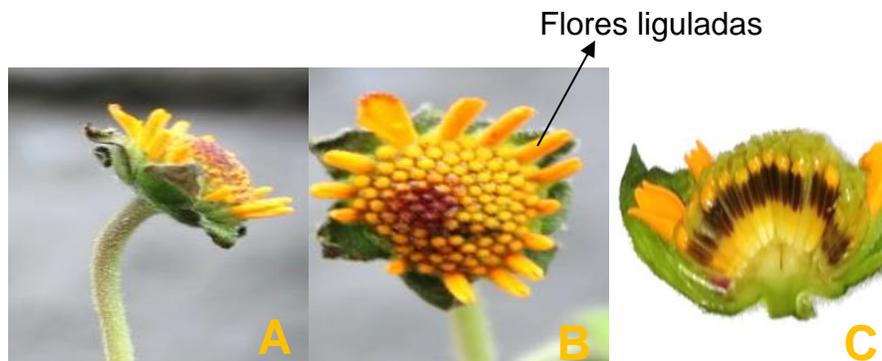


Figura 11. Inicio de la floración (61).

A: Vista lateral de flores liguladas extendidas. B: Vista frontal de flores liguladas extendidas. C: Vista interna de la floración.

El 50 % de las flores liguladas (f) se han desarrollado, el tamaño longitudinal es de 23.50 y 13.14 de ancho, el color es amarillo verde pálido (149 D) según la carta de colores codificados de la Royal Horticultural Society (sexta edición). Las flores tubulares (m) se logran identificar con mayor facilidad.

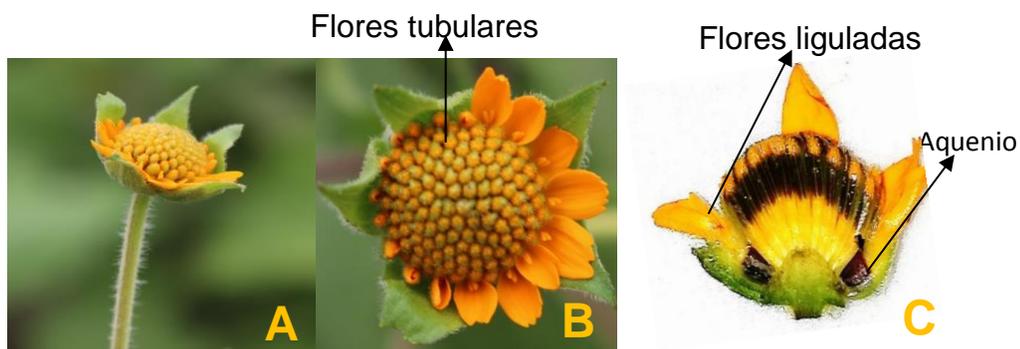


Figura 12. 50% de las flores liguladas se han desarrollado (62).

A: Vista lateral de flores liguladas extendidas. B: Vista frontal de flores liguladas extendidas. C: Vista interna de la floración.

El 35% del largo de las flores tubulares (m) están en desarrollo. Presentan un tamaño longitudinal es de 35.02 milímetros y 17.40 milímetros de ancho (Figura 13), con un color amarillo verde claro (145 D) según la carta de colores codificados de la Royal Horticultural Society (sexta edición).



Figura 13. El 35% del largo de las flores de disco de la parte exterior de la inflorescencia están en desarrollo (63).

A: Vista lateral de flores tubulares extendidas. B: Vista frontal de flores tubulares extendidas. C: Vista interna de la floración.

Las flores tubulares de la parte exterior de la inflorescencia han llegado al 50% de su desarrollo (estambres y estigmas visibles). Tamaño longitudinal 44.42 milímetros y 20.29 milímetros de ancho, de color amarillo verde claro (145 D) según la carta de colores codificados de la Royal Horticultural Society (sexta edición).

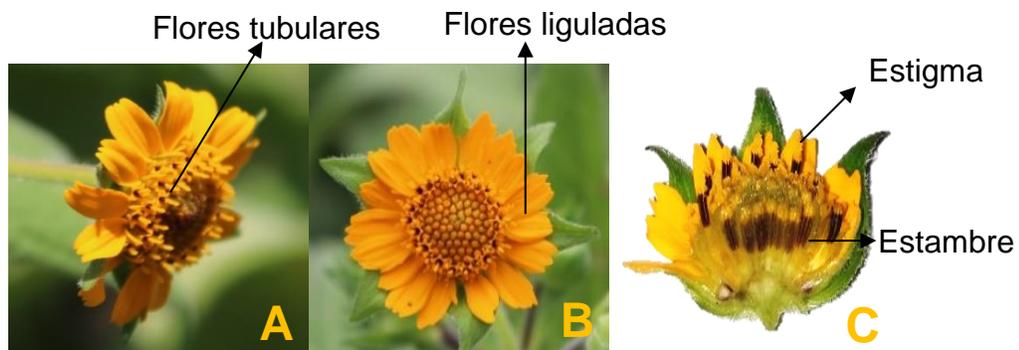


Figura 14. Floración completa (65).

A: Vista lateral del 50 % de las flores tubulares extendidas. B: Vista frontal del 50 % de las flores tubulares extendidas. C: Vista interna de la floración.

Flores tubulares de la parte interior de la inflorescencia están en flor (estambres y estigmas visibles), tamaño longitudinal 54.69 milímetros y 23.99 milímetros de ancho (Figura 15), con un color amarillo verde claro (145 D) según la carta de colores codificados de la Royal Horticultural Society (sexta edición).

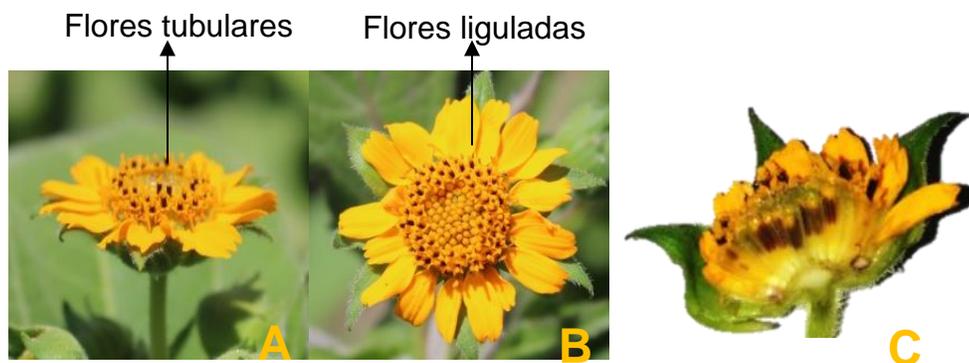


Figura 15. Floración declinante (67).

A: Vista lateral de las flores tubulares de la parte interior de la inflorescencia. B: Vista frontal de las flores tubulares de la parte interior de la inflorescencia. C: Vista interna de la floración.

La mayoría de las flores tubulares han terminado la floración, con un tamaño longitudinal de 63.27 milímetros y 27.20 milímetros de ancho (Figura 16), presentan un color amarillo verde claro (145 D) según la carta de colores codificados de la Royal Horticultural Society (sexta edición).

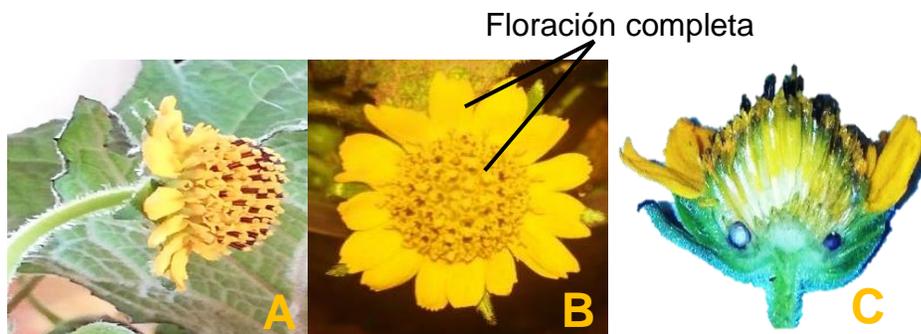


Figura 16. Fin de la floración (69).

A: Vista lateral de la floración de las flores tubulares. B: Vista frontal de la floración de las flores tubulares. C: Vista interna de la floración.

Tabla 5.

Estadísticos descriptivos de diámetro polar y ecuatorial (mm) de las flores liguladas extendidas (LE) y del 50 % del crecimiento de la flor ligulada (FL) de jícama (n=30).

Estadísticos	Diámetro polar de flor (LE) (mm)	Diámetro ecuatorial de flor (LE) (mm)	Diámetro polar del 50 % del crecimiento de (FL) (mm)	Diámetro ecuatorial del 50 % del crecimiento de (FL) (mm)
Media	20.50	11.71	23.50	13.14
Mediana	20.51	11.77	23.51	13.20
Desviación estándar	0.22	0.18	0.22	0.18
Varianza	0.05	0.03	0.05	0.03
Rango	1.06	0.67	1.11	0.67

Mínimo	20.11	11.29	23.11	12.72
Máximo	21.17	11.96	24.22	13.39
CV (%)	1.1 %	1.5 %	0.9 %	1.4 %

Tabla 6.

Estadísticos descriptivos de diámetro polar y ecuatorial (mm) del 35% y 50% del crecimiento de las flores tubulares (FT) de la jícama (n=30).

Estadísticos	Diámetro polar del 35% de (FT) (mm)	Diámetro ecuatorial 35% de (FT) (mm)	Diámetro polar del 50% de (FT) (mm)	Diámetro ecuatorial 35% de (FT) (mm)
Media	35.02	17.40	44.42	20.29
Mediana	35.03	17.46	44.42	20.35
Desviación estándar	0.25	0.18	0.26	0.18
Varianza	0.06	0.03	0.07	0.03
Rango	1.33	0.67	1.47	0.67
Mínimo	34.63	16.98	44.02	19.87
Máximo	35.96	17.65	45.49	20.54
CV (%)	0.7 %	1.0 %	0.6 %	0.9 %

Tabla 7.

Estadísticos de diámetro polar y ecuatorial (mm) donde el crecimiento de las flores tubulares de jícama han alcanzado un 75% del desarrollo (n=30).

Estadísticos	Diámetro polar (FT) (mm)	Diámetro ecuatorial (FT) (mm)
Media	54.69	23.99
Mediana	54.68	24.05
Desviación estándar	0.30	0.18
Varianza	0.09	0.03
Rango	1.75	0.67
Mínimo	54.28	23.57
Máximo	56.03	24.24
CV (%)	0.6	0.7

Tabla 8.

Estadísticos descriptivos de diámetro polar y ecuatorial (mm) del fin de la floración de la jícama (n=30).

Estadísticos	Diámetro polar (mm)	Diámetro ecuatorial (mm)
Media	63.27	27.20
Mediana	63.25	27.26
Desviación estándar	0.26	0.18
Varianza	0.07	0.03
Rango	1.20	0.67
Mínimo	62.85	26.78
Máximo	64.05	27.45
CV (%)	0.4 %	0.7 %

Se puede observar en las tablas 7 y 8 de las fases fenológicas analizadas que el coeficiente de variación (CV) es bajo, esto indica que existe una baja variabilidad para estas características.

En la fase 6 de la floración, de acuerdo a las imágenes, se puede ver que las primeras flores en crecer son las liguladas (femeninas), después empieza el crecimiento de las flores tubulares (masculinas) hasta que todas florecen.

5.3 Fase 9: Senescencia de la inflorescencia

Las flores liguladas y tubulares se han secado, disminuyendo su tamaño longitudinal a 58.83 milímetros y 23.85 milímetros de ancho, con un color amarillo verde pálido (155 C), tal como se puede observar en la figura 17. El aquenio ha llegado a su madurez presentando dentro a la semilla (Figura 17-C).



Figura 17. Inflorescencia muy madura, las semillas tienen más del 80% de materia seca (92).

A: Vista lateral de la flor seca. B: Vista frontal de la flor seca. C: Vista interna de la flor seca.

En la senescencia de la inflorescencia, se pudo observar que la flor empieza a secarse cada vez más rápido y su tamaño continuó reduciéndose (Figura 18), asemejando las medidas a cuando el crecimiento de la flor ligulada estaba en 50% de su crecimiento. Tamaño longitudinal 27.95 milímetros y 15.61 milímetros de ancho. Color amarillo verde claro (158 C) según la carta de colores codificados de la Royal Horticultural Society (sexta edición).



Figura 18. Flor marchita y muerta (97).

A: Vista lateral de la flor seca. B: Vista frontal de la flor seca. C: Vista interna de la flor seca.

Tabla 9.

Estadísticos descriptivos de diámetro polar y ecuatorial (mm) de la senescencia de la flor de jícama (n=30).

Estadísticos	Diámetro polar (mm)	Diámetro ecuatorial (mm)
Media	58.83	23.85
Mediana	57.51	23.62
Desviación estándar	0.34	0.26
Varianza	0.12	0.07
Rango	1.31	1.31

Mínimo	56.64	22.65
Máximo	57.95	23.96
CV (%)	1.6%	1.1%

5.3.1 Curva de crecimiento floral: Fases fenológicas, tiempo y grados días acumulados para las diferentes fases fenológicas de la flor de jícama, según la BBCH.

A través de las medidas del diámetro polar y ecuatorial de la inflorescencia, en la figura 19 se muestra la curva de crecimiento de las fases fenológicas que se determinaron en el cultivo de jícama en base a la escala BBCH. En el eje Y consta el tiempo en días y en el eje X las fases de desarrollo constituidas desde la yema latente hasta el crecimiento total de la flor que tuvo una duración de 22 semanas.

Es importante calcular los grados días desarrollo que la flor necesita para las diferentes fases, debido a que temperaturas inferiores a los 14°C la jícama deja de crecer. Se muestra el desarrollo de las diferentes fases reproductivas de la jícama con las variables de grados días. La floración ocurrió a los 127 días después de la siembra donde se observaron flores liguladas visibles con una medida promedio de 15.19 mm de largo x 9.16 mm de ancho. Después, se pudo observar flores tubulares extendidas a los 134 dds, posteriormente el 50% de flor ligulada a los 141 dds, luego 35% de flor tubular a los 148 dds, el 50% de flor tubular y flor ligulada completa a los 155 dds, seguido el 75% de flores tubulares a los 162 dds, en la figura 19 se detallan las unidades térmicas que la flor necesito para cada fase. Por último se obtuvo todas las flores abiertas a los 169 días (23 semanas), donde inicia la fructificación. El cultivo acumulo 400.13 unidades de térmicas, alcanzando un diámetro polar de 63.27 mm y diámetro ecuatorial de 27.20 mm. A los 176 días la flor llegó a su marchitez.

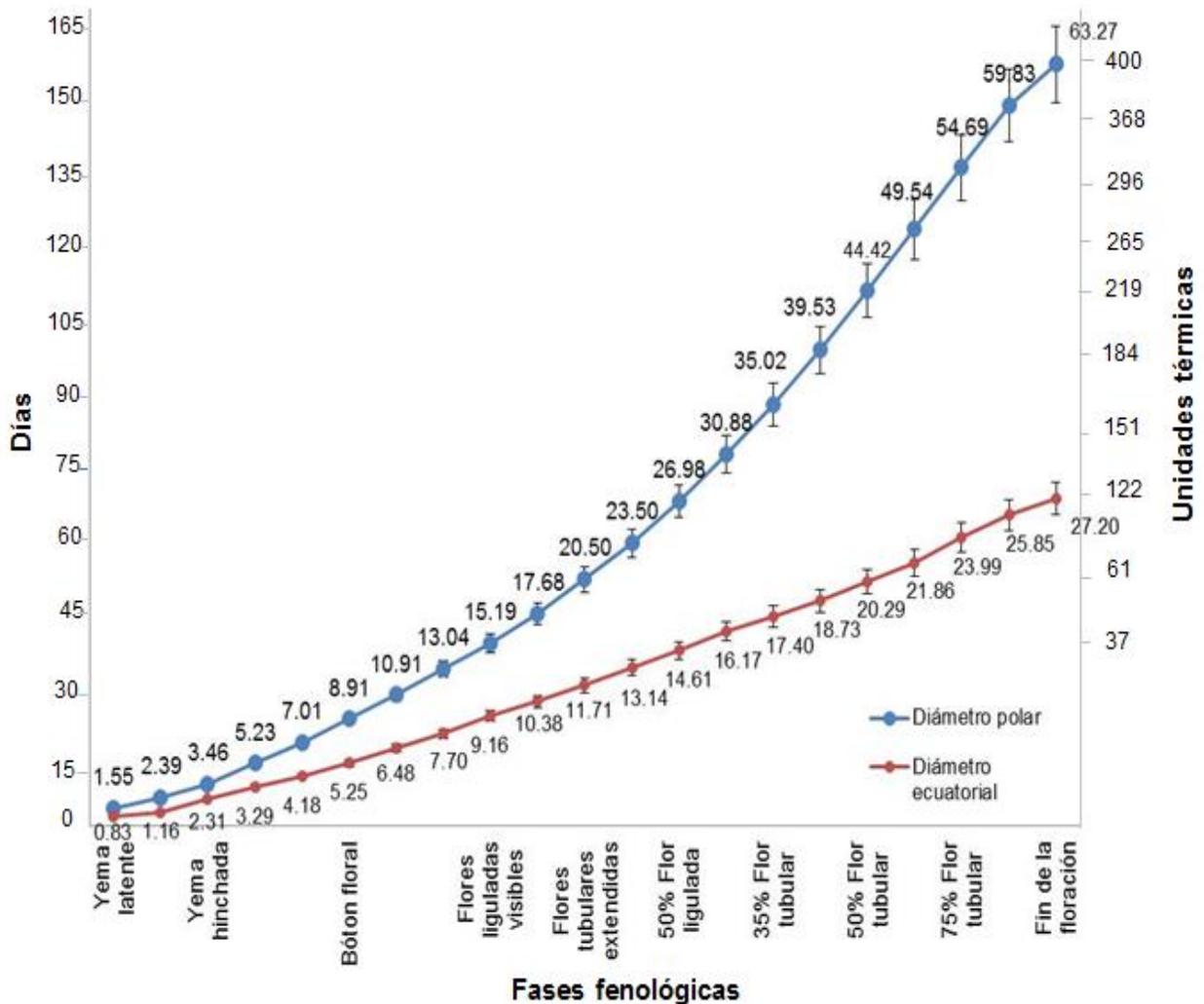


Figura 19. Curva de crecimiento de las fases de floración de la jícama (N=30), Ibarra 2018.

Se observó que el desarrollo de la yema latente fue lento hasta la semana 11 con 20.50 (mm) de alto y 11.71 (mm) de ancho, luego un crecimiento moderado alcanzando una altura de 63.67 (mm) y un ancho de 27.20 (mm) al final de la floración.

En la tabla 10, se muestran los resultados de los cálculos de los grados días acumulados (GDA) en las fases fenológicas de la jícama, desde flor ligulada extendida hasta el fin de la floración.

Tabla 10.

Grados días acumulados en las fases fenológicas de la jícama

Fase fenológica	BBCH	Grados días acumulados	Tiempo (días)
Flor ligulada extendida	61	37.37	134
50% flor ligulada	62	61.03	141
35% flor tubular	63	122.44	148
50% flor tubular	65	219.41	155
75% flor tubular	67	296.35	162
Fin de la floración	69	400.13	169
Senescencia de la inflorescencia	97	432.50	176

Toda la fase de floración de la jícama acumulo 400.13 GDA para alcanzar la senescencia floral.

Se realizó el cálculo de las unidades de calor acumulado, para cada fase fenológica de la flor de la jícama. Esto se representa en la figura 6.

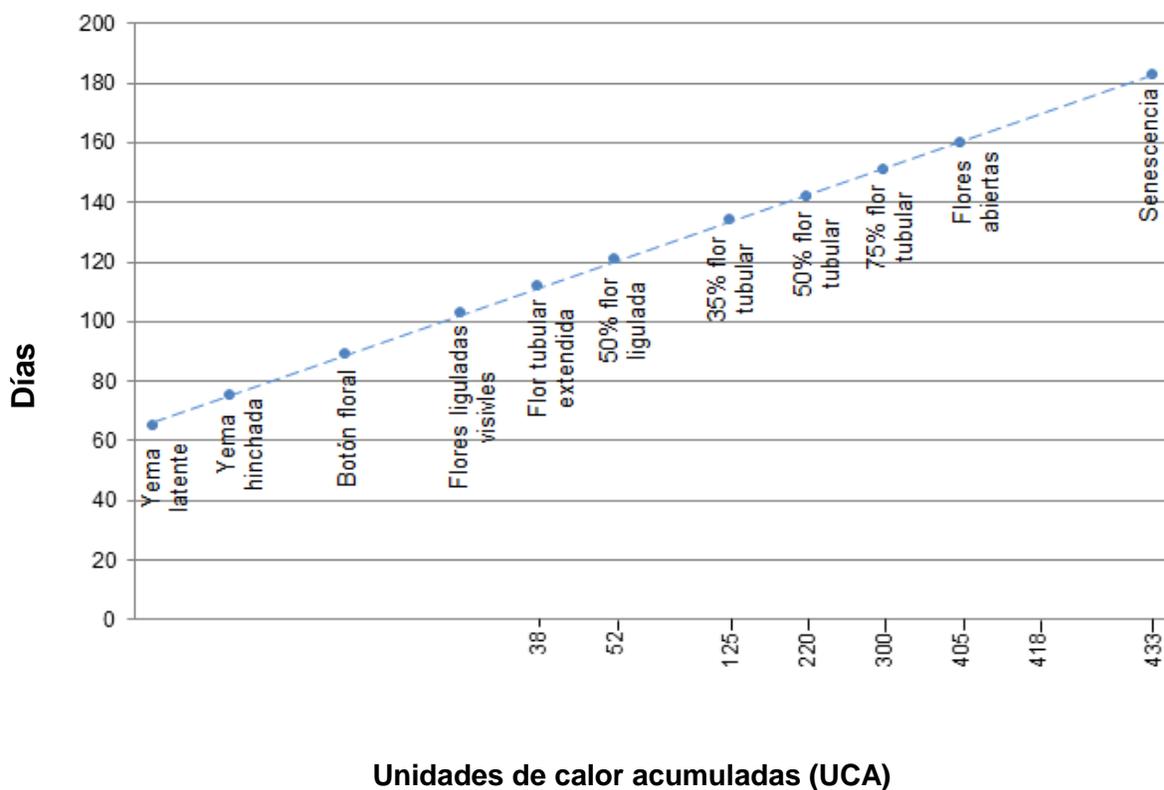


Figura 20. Unidades de calor acumuladas en el cultivo de jícama.

En la figura se muestran las unidades de calor acumuladas en cada fase fenológica del cultivo de jícama. Todo el ciclo acumuló 432.50 Ut.

5.3.2 Estructura floral

Se realizó la caracterización de las partes internas y externas de la jícama, que tal como lo menciona Herman (1997), la jícama o yacón es un pariente muy cercano del girasol (*Helianthus annuus*) y el topinambo (*Helianthus tuberosus*).

La rama floral del yacón está compuesta por inflorescencias, denominados capítulos. Cada capítulo tiene flores liguladas (femeninas) y tubulares

(masculinas). Las flores femeninas se encuentran ubicadas en el exterior del capítulo y las masculinas en la parte interior.

Las flores tubulares (masculinas) son pequeñas y se encuentran en el receptáculo, rodeado de 5 a 6 brácteas. Al abrirse las brácteas se observa al botón floral con unos puntos amarillos alrededor, los que han sido identificados como flores liguladas (femeninas) el capítulo tiene de 14 a 16 flores, son las primeras en desarrollarse; tiene de 79 a 91 flores tubulares (masculinas) que se marchitan después que las flores femeninas, el capítulo floral alcanzo a medir en diámetro polar desde el receptáculo 59.80 y 25.41 (mm) de diámetro ecuatorial (Figura 21) como se pudo observar en el presente estudio.

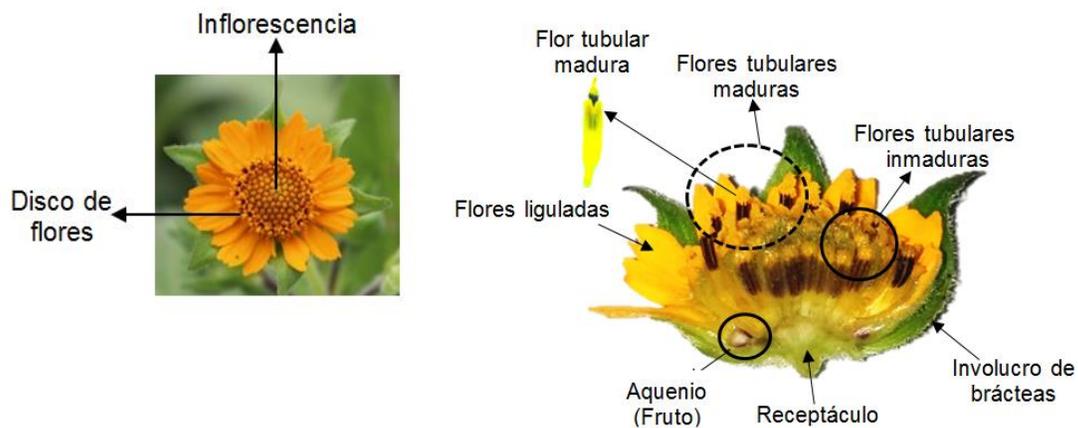


Figura 21. Caracterización de la flor de jícama (*Smallanthus sonchifolius*).

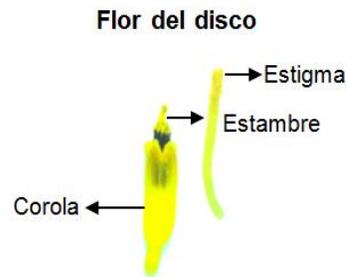


Figura 22. Caracterización de la flor tubular

En base al análisis de las partes externas e internas que conforman la jícama se realizó la descripción de las fases de floración de esta planta.

En la figura 23 se muestra el crecimiento y desarrollo de la flor ligulada (femenina) en base a la escala BBCH, junto con el tamaño. Medidas que se tomaron al momento de la toma de fotografías con el estereoscopio.

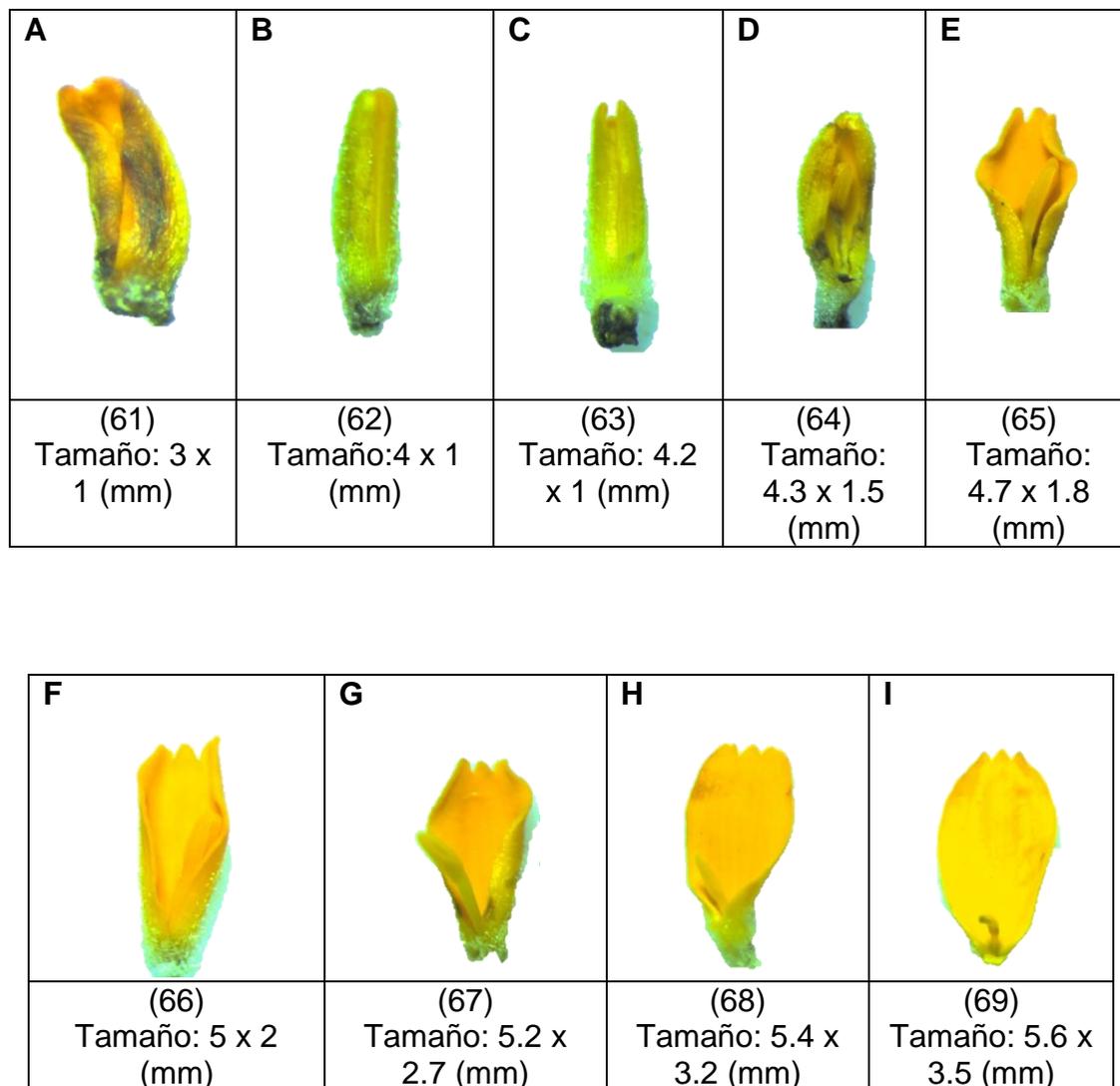


Figura 23. Crecimiento de la flor ligulada de la jícama en base a la fase 6 de la escala BBCH.

En la figura se puede observar que el crecimiento de la flor ligulada (femenina) de la jícama va aumentando su largo y ancho durante la fase de floración. La flor alcanza un tamaño promedio de 5.6 x 3.5 (mm). Además se identificó los colores de las flores mencionadas para facilitar su distinción, el color va desde amarillo vivo (9 A) a amarillo naranja fuerte (17 A).

Se realizó un análisis del desarrollo de la flor tubular (masculina) de la jícama de acuerdo a las fases analizadas en la escala BBCH (Figura 24). Esta flor crece después de las primeras flores liguladas visibles en la fase (59).

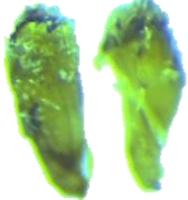
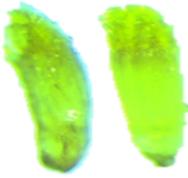
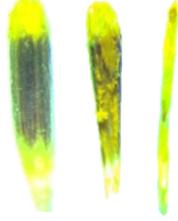
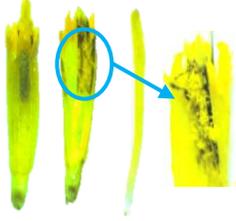
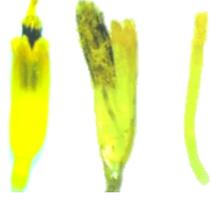
A 	B 	C 	D 
(55) Tamaño: 0.78 x 0.24 (mm)	(56) Tamaño: 1.14 x 0.55 (mm)	(57) Tamaño: 1.77 x 0.70 (mm)	(58) Tamaño: 1.94 x 0.76 (mm)
E 	F 	G 	H 
(59) Tamaño: 4.48 x 0.85 (mm)	(62) Tamaño: 5.60 x 0.98 (mm)	(67) Tamaño: 6.25 x 1.14 (mm)	(68) Tamaño: 6.73 x 1.20 (mm)
I 	J 		K 
(69) Tamaño: 7.95 x 1.38 (mm)	(92) Tamaño: 5.76 x 0.59 (mm)		(97) Tamaño: 5.08 x 0.48 (mm)

Figura 24. Crecimiento de la flor tubular de la jícama en base a las fases 5 y 6 de la escala BBCH.

La flor tubular alcanzó un tamaño de 6.37 x 1.20 milímetros (Figura 24-H) cuando llega al final de la floración. En su marchitez se reduce con medidas de 5.76 x 0.59 milímetros (Figura 24-J). Finalmente, la flor tubular continua secándose y se sigue reduciendo, presentando medidas 5.08 x 0.48 milímetros (Figura 24, K). Se identificaron colores desde amarillo verde claro (1 C) hasta amarillo naranja claro (16 B).

5.4 Fenología de la jícama en base a la escala BBCH

En base al estudio realizado se determinó las siguientes fases fenológicas en la flor de la jícama (*Smallanthus sonchifolius*).

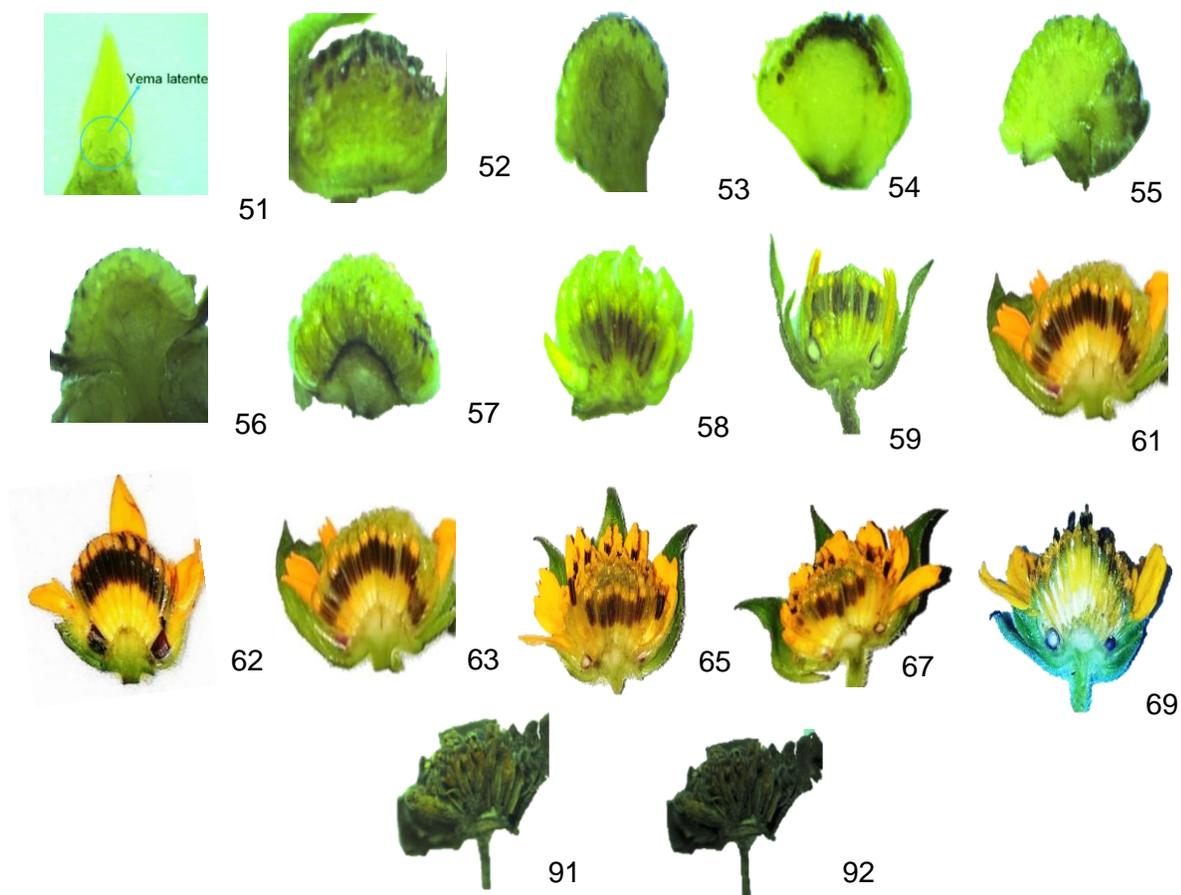


Figura 25. Fenología de la jícama *Smallanthus sonchifolius* según la escala BBCH.

La categorización del desarrollo de la jícama se realizó a través de la composición de dos cifras, estadio principal más el estadio secundario según la escala BBCH de las Asteráceas. Los principales estadios, constan de una codificación de 5 a 9, los secundarios de 1 a 9, correspondientes a las fases que se identificaron en el desarrollo de la flor, tal como se describe en la figura 25.

En la tabla 12, Con base a lo estudiado se caracterizó las etapas con sus fases de la flor de jícama *Smallanthus sonchifolius*.

Tabla 11.

Fenología de la flor de jícama según la escala BBCH, Ibarra 2018.

	DESCRIPCIÓN	*GDA
EMERGENCIA DE LAS INFLORESCENCIAS		5
51	Yema latente poco visible, cubierta con brácteas, ambas de color amarillo verde brillante (RHS, 150: C).	
52	Yema hinchada visible dentro de las hojas del follaje, las dos de color amarillo verde brillante (RHS, 150: A).	
53	30% de la yema hinchada separada de las hojas más jóvenes, de color amarillo verde brillante (RHS, 149: C) y, amarillo verde fuerte (143: C) respectivamente.	
54	50% de la yema hinchada visible en las hojas más jóvenes, de color amarillo verde brillante (RHS, 149: C) y, amarillo verde fuerte (143: C) respectivamente.	
55	Yema hinchada apartada de las hojas más jóvenes del follaje, de color amarillo verde brillante (RHS, 149: C) y, amarillo verde fuerte (142: C) respectivamente.	
56	Botón floral rodeado de brácteas muy cerradas, de color amarillo verde brillante (RHS, 149: B) y, amarillo verde fuerte (142: A) respectivamente.	
57	Botón floral de color amarillo verde brillante (RHS, 149: B) notoriamente separada de la hoja de follaje de color (141: D).	

58 8% brácteas abiertas de color amarillo verde fuerte (RHS, 141: D) e inflorescencia de color amarillo verde brillante (149: A).

59 Flores liguladas visibles entre las brácteas, inflorescencia aun cerrada (RHS, 141: D) e inflorescencia de color amarillo verde brillante (149: A).

FLORACIÓN		6	*GDA
61	Flores tubulares extendidas de color amarillo verde pálido (RHS, 149: D), brácteas de color amarillo verde fuerte (141: C).		37.37
62	50% de flores liguladas desarrolladas de color amarillo verde pálido (RHS, 149: D), brácteas de color amarillo verde fuerte (141: C).		61.03
63	Flores tubulares de la parte exterior de la inflorescencia de color amarillo verde claro (RHS, 145: D) en desarrollo, brácteas de color amarillo verde fuerte (141: C).		122.44
65	Floración completa: 50% de las flores tubular de la parte exterior desarrolladas, color amarillo verde claro (RHS, 145: D) y, brácteas de color amarillo verde fuerte (141: C).		219.41
67	Floración: flores tubulares de la parte interior de la inflorescencia en flor de color amarillo verde claro (RHS, 145: D), color de las brácteas amarillo verde fuerte (141: C)		296.41
69	Fin de la floración: las flores liguladas y tubulares han terminado la floración con un color amarillo verde claro (RHS, 145: C) y las brácteas amarillo verde fuerte (141: C)		333.94
SENESCENCIA DE LA INFLORESCENCIA		9	
92	Flor madura, de color amarillo verde pálido (RHS, 155: D), brácteas de color amarillo verde pálido (145: C). La semilla tiene más del 80% de materia seca.		400.13
97	Flor marchita y seca de color amarillo verde pálido (RHS, 158: D) y brácteas de color (148: C).		432.50

Nota: *Grados días desarrollo **Carta de colores RHS (sexta edición)

Se determinaron 3 etapas fenológicas, 5, 6 y 9 cada una con la descripción de cada fase fenológica a las que se les asignó un código establecido por la BBCH, donde se detalla y se distingue con claridad el crecimiento en base a porcentajes de la yema latente, hinchada, botón floral, flor ligulada (femenina), flor tubular (masculina) y senescencia. Además en la tabla 11 se incluyó los colores que se determinó a cada estructura y los grados días acumulados desde la fase 6.

6. DISCUSIÓN

La jícama es susceptible a temperaturas inferiores a los 10°C según Valderrama (2005), es decir una helada afecta al cultivo. Tal como ocurrió en el Instituto Nacional de Investigaciones (INIAP) de Santa Catalina, donde en un inicio se aspiraba realizar el estudio. El cultivo de jícama se vio gravemente afectado en las partes aéreas tales como el tallo y hojas (Doster, Roque, Cano y Maximilan, 2009). La planta estaba en la fase fenológica de yema latente en base a la escala BBCH descrita por Bleiholder, (2001), siendo esta la fase requerida para el estudio.

Según la FAO (2010) en concordancia con Levitt (1980), en una helada las células de la planta mueren gradualmente debido a que la masa de hielo extracelular crece. Se debe recordar que la presión de vapor a saturación es menor sobre hielo que sobre el agua líquida. Como consecuencia de la formación de hielo extracelular, el agua se evapora desde el agua líquida que está dentro de las células pasando por medio de las membranas semipermeables y se ubican sobre los cristales de hielo que están fuera de las células, las cuales provocan la desecación ya que a medida que el hielo sigue creciendo, las células se van desecando más (Levitt (1980). El hielo extracelular producido provoca una segunda alteración de agua a las células cercanas, lo que genera la deshidratación de las células y por tanto de la planta (Siminovitch, Singh y de la Roche, 1978). Por tal motivo se corrobora que la jícama se desarrolla bien en

climas cálidos y templados, a una temperatura promedio de 18 - 20 °C durante el año (Valderrama, 2005) para las fases fenológicas del cultivo.

Existen aspectos de las flores y semillas de jícama que aún faltan por estudiar. Una de las características de la jícama es la protoginia, lo que significa que las flores liguladas (femeninas, figura 23) se abren y tienen mayor receptividad, previo a la liberación de polen de las tubulares (masculinas, figura 24). Posiblemente la jícama o yacón tenga polinización cruzada. Grau y Rea (1997) afirman que esto ocurre en el topinambur (*Helianthus tuberosus*) y el girasol (*Helianthus annuus*), dos especies pertenecientes a la especie del yacón, que se pueden observar en las figuras previamente mencionadas la flor tiene características muy similares a ambos cultivos, por ejemplo, las flores liguladas (femeninas) están ubicadas en la parte exterior de la inflorescencia cuyo color es amarillo naranja vivo (RHS, carta de colores sexta edición).

Según Graefe (2002), el fruto de la jícama es un aquenio, con un pericarpio muy fino y seco cuando llega a la madurez tal como se puede ver en la figura 17. El fruto en el exterior tiene líneas alargadas que forman unos canalillos paralelos. Dentro del fruto se observó la semilla, que tal como menciona Graefe (2002), la semilla está pegada al pericarpio por el funículo, es exalbuminosa es decir carece de endospermo por lo que las reservas están en los cotiledones los cuales ocupan la mayor parte en la semilla, esto fue visible a través del estereoscopio. Cabe mencionar que las semillas exalbuminosas son características de las especies dicotiledóneas (Pérez, 2001).

La fase de floración en el presente estudio tuvo una duración de 169 días, en el cual la planta necesito 400.13 unidades de calor, como menciona Seminario *et al*, (2003), esto dependerá de la ubicación geográfica donde se encuentre el cultivo. El crecimiento de los brotes es lento en los primeros 4 meses, luego el crecimiento y desarrollo de las flores liguladas y tubulares se va incrementando, la flor llega la marchitez a los 176 días. Se pudo observar que en este periodo se incrementa también la formación y crecimiento de los tubérculos.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

Se desarrolló de forma gráfica la fenología reproductiva de la jícama, concluyendo que para lograr una amplia descripción de las fases fenológicas es necesario tomar fotografías del desarrollo de la yema latente, yema hinchada, botón floral, flor ligulada (femenina), flor tubular (masculina) e inicio de fructificación en la flor de jícama, lo que será de mucho apoyo para otros estudios ya que las características dependerán de la accesión con la que se trabaje.

Se determinó que para diferenciar las fases fenológicas de jícama es necesario aplicar un modelo estadístico para la curva de crecimiento donde por medio de la media, la mediana, la varianza, el máximo, el mínimo, la desviación estándar y el coeficiente de variación se logra obtener datos detallados del crecimiento y desarrollo de la flor en las diferentes fases. Determinando que el diámetro polar y ecuatorial de la flor junto con el tallo donde se formaron las yemas, alcanzan medidas de 67.27 y 27.20 milímetros respectivamente. Además de concluir que la flor de la jícama empieza la etapa reproductiva a los 134 días donde se pueden observar las primeras flores liguladas, en esta fase la inflorescencia tiene un tamaño longitudinal de 15.19 milímetros y 9.16 milímetros de ancho.

7.2 Recomendaciones:

Es recomendable que se realice un estudio histológico de las partes internas de la flor masculina de la jícama.

Para obtener información sobre las mejores accesiones de *Smallanthus sonchifolius*, se recomienda realizar estudios sobre el tipo de polinización, protoginia para encontrar una accesión viable para su propagación.

REFERENCIAS

- Agustí, M., Zaragoza, S., Bleiholder, H., Buhr, L., Hack, H. (1998). Codificación BBCH de los estadios fenológicos del desarrollo de los Agridos. Recuperado el 01 diciembre de 2018, de <http://www.ivia.gva.es/documents/161862582/161863620/Codificaci%C3%B3n+BBCH+de+los+estadios+fenol%C3%B3gicos+del+desarrollo+de+los+agrios/127b4d39-2bcc-4206-9537-247e049f7649>
- Arrobo, J. (2013). La fruta de jícama una alternativa de nutrición y salud. *Revista Científica Yachana*, 2(2), 219-223.
- Azkues, M. (2010). La fenología como herramienta en la agroclimatología. Recuperado el 23 de noviembre de 2018, de <http://www.infoagro.com/frutas/fenologia.htm>
- Balladares, M., Travez, B. (2009). "Evaluación de seis morfotipos (ecu-1247, ecu-1251, ecu-9109, ecu-12767 del banco germoplasma del INIAP; Sanbuenaventura y Locoá) de Jícama (*smallanthus sonchifolius* poep. & endl) con tres fertilizaciones de fondo en San José Pichul – Cotopaxí". Recuperado el 25 de noviembre de 2018, de <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/853>
- Bleiholder, H., Feller, C., Hess, M., Meier, U., Van den Boom, T. (2001). Etapa de crecimiento de plantas mono y dicotiledóneas. Recuperado el 02 de diciembre de 2018, de <https://www.politicheagricole.it/flex/AppData/WebLive/Agrometeo/MIEPFY800/BBCHengl2001.pdf>
- Barrera, V., Tapia, C., Monteros, A. (2003). Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos: Una década de investigación para el desarrollo. Recuperado el 24 de mayo de 2018, de <http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/Ra%C3%ADces%20y>

%20Tub%C3%A9rculos%20Alternativas%20para%20el%20uso%20sostenible%20en%20Ecuador.pdf

Coelho, A., Morais, K., Haywood, D., Giacomini, S., Tedesco, S. (2012). Viabilidad del grano de polen en accesiones de *Crotalaria juncea* L. (Fabaceae). Recuperado el 25 de diciembre de 2018, de https://www.researchgate.net/publication/262633301_Viabilidad_del_grano_de_polen_en_accesiones_de_Crotalaria_juncea_L_FABACEAE

Dostert, N., Roque, J., Cano, A., Maximilian, W. (2009). Datos botánicos de yacón. Recuperado el 08 de enero de 2019, de <https://www.researchgate.net/publication/43178819>

FAO. (2010). Protección contra heladas: fundamentos práctica y economía. (1.^a ed.). Roma:FAO.

FAO. (2012). Propuesta de nuevo trabajo sobre un estándar regional del codex para yacón. Recuperado el 08 de diciembre de 2018 de, http://www.fao.org/tempref/codex/Meetings/CCLAC/cclac19/la19_06e.pdf

Fernández, E., Iva, V., Milella, L., Robles, D. (2010). Micropropagación del yacón [*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. Et Endl.) H.Robinson] a partir de segmentos nodales. (Tesis de maestría). Universidad Checa de Agricultura Praga, República Checa.

Flores, D. (2010). Yacón (*Smallanthus sonchifolius*). Recuperado el 23 de diciembre de 2018, de repositorio/bitstream/handle/123456789/1375/Uso_historico_yacon_2010_keyword_principal.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- González, M. (2011). Estudio fenológico y aerobiológico en un viñedo en la Comarca del Ribeiro. Recuperado el 08 de Enero de 2019, de 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 estudio biológico y aerobiológico en un viñedo en la comarca
- Graefe, S (2002). Cambios en la composición después de la cosecha de las raíces de yacón según las condiciones de almacenamiento. (Tesis de Maestría). Universidad de Kassel, Alemania.
- Grau, A., Rea, J. (1997). Yacón, *Smallanthus sonchifolius*. Recuperado el 22 de diciembre de 2018, de <https://cipotato.org/market/>
- Hack, H. (1992). La escala extendida BBCH, esquema general. Recuperado el 24 de noviembre de 2018, de: <file:///C:/Users/hp/Downloads/1184-Artikeltext-4431-1-10-20100707.pdf>
- Henríquez, C., Sotes, G., Bustamante, R. (2012). Fenología reproductiva de *Pouteria splendens*(Sapotaceae). Recuperado el 25 de noviembre de 2018 de, https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-66432012000200004
- Heredia, A. (1996). Guía para cultivar jícama. Recuperado el 10 de diciembre de 2018, de <http://www.cofupro.org.mx/cofupro/publicaciones.php?publicaciones=170>
- Hermann, M. (1997). Raíces y tubérculos Andinos. (1.^a ed.). [versión electrónica] Recuperado de https://books.google.com.ec/books?id=O_QfhwPEajoC&printsec=frontcover&dq=Andean+roots+and+tubers&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjZqf_H

-
 OHeAhUitlkKHWmKCNAQ6AEIKTAA#v=onepage&q=Andean%20roots
 %20and%20tubers&f=false

Hernández, J., León, J. (1992). Cultivos Marginados. [versión electrónica]
 Recuperado de
[https://books.google.com.ec/books?id=1_RetgEACAAJ&dq=Cultivos+M
 arginados&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwio9LL89-
 HeAhUBxVkkHRXCA8EQ6AEILjAB](https://books.google.com.ec/books?id=1_RetgEACAAJ&dq=Cultivos+Marginados&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwio9LL89-HeAhUBxVkkHRXCA8EQ6AEILjAB)

INIAP. (2018). La institución. Recuperado el 23 de abril de 2018, de
<http://www.iniap.gob.ec/web/la-institucion/>

Jáuregui, A. (2010). Desarrollo de monografías para cinco cultivos peruanos del
 Proyecto Perubiodiveriso. Recuperado el 21 de enero de 2018,
 de [http://repositorio.promperu.gob.pe/repositorio/bitstream/handle/1234
 56789/1374/Monografia_yacon_2010_keyword_principal.pdf?sequence
 =1&isAllowed=y](http://repositorio.promperu.gob.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/1374/Monografia_yacon_2010_keyword_principal.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

León, J. (1964). Plantas alimenticias andinas. Instituto Interamericano de Ciencias
 Agrícolas-Zona Andina. Lima, Perú. Boletín Técnico. 5(6), 5-34.

Levitt, J. (1980). Respuestas de las plantas a tensiones ambientales. (2.^a ed.).
 [versión electrónica] Recuperado de
[https://www.researchgate.net/publication/44361300_Responses_of_Pla
 nts_to_Environmental_Stresses](https://www.researchgate.net/publication/44361300_Responses_of_Plants_to_Environmental_Stresses)

Machuca, F. (2013). La cadena de valor del yacón en la región Cajamarca.
 Recuperado el 21 de enero de 2018 de [https://docplayer.es/43611790-
 La-cadena-de-valor-del-yacon-en-la-region-cajamarca-analisis-y-
 lineamientos-estrategicos-para-su-desarrollo.html](https://docplayer.es/43611790-La-cadena-de-valor-del-yacon-en-la-region-cajamarca-analisis-y-lineamientos-estrategicos-para-su-desarrollo.html)

- Méndez, C. (2015). Edad fisiológica de los cultivos: el uso de los grados día. Recuperado el 27 de noviembre de 2018, de www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/av-1816.pdf
- Mercola, S. (2018). Beneficios de la jícama. Recuperado el 22 de octubre de 2018, de <https://alimentossaludables.mercola.com/jicama.html>
- Nieto, C. (1988). Estudios preliminares, agronómicos y bromatológicos en Jícama *Polymnia sonchifolia*. [versión electrónica] Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=LIAzAQAAMAAJ&pg=PA52&dq=Estudios+preliminares,+agron%C3%B3micos+y+bromatol%C3%B3gicos+en+J%C3%ADcama+Polymnia+sonchifolia.&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjG6LOZ9uHeAhXRjVvKHb7YBugQ6AEIjAA#v=onepage&q=Estudios%20preliminares%2C%20agron%C3%B3micos%20y%20bromatol%C3%B3gicos%20en%20J%C3%ADcama%20Polymnia%20sonchifolia.&f=false>
- Pérez, F. (2001). Germinación y dormición de semillas. Recuperado el 22 de diciembre de 2018, de https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/consolidado/publicacionesdigitales/80-402_MATERIAL_VEGETAL_DE_REPRODUCCION__MANEJO_CONSERVACION_Y_TRATAMIENTO/80-402/7_GERMINACION_Y_DORMICION_DE_SEMILLAS.PDF
- Phillips-Mora, W., Morera, J., y Sorensen, M. (1993). Las jícamas Silvestres y Cultivadas. Turrialba: Catie.
- Radville, L., McCormack, M., Post, E., Eissenstat, D. (2016). Root phenology in a changing climate. 37 (12), 3637-28 doi: 10.1093/jxb/erw062
- Rawson, H., Gómez, H., (2001). Trigo regado. Recuperado el 28 de diciembre de 2018, de <http://www.fao.org/docrep/006/x8234s/x8234s00.htm#Contents>

- Rengifo, D. (2014). Caracterización estructural, histológica y espectral del cultivo de jícama (*Smallanthus sonchifolius*) en el cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi. Recuperado el 24 de mayo de 2018, de file:///C:/Users/hp/Downloads/T-UTC-00082.pdf
- RHS. (2017). Carta de colores grande (sexta edición revisada). Recuperado el 19 de diciembre de 2018, de <http://www.rhsshop.co.uk/productdetails.aspx?id=10000006&itemno=MARK0011>
- Rodríguez, M. (2013). Uso y concepto de los grados día. Revista digital INESEM. 26 (4), 24-30.
- Seminario, J., Valderrama, M., Manrique, I. (2003). El yacón: fundamentos para el aprovechamiento de un recurso promisorio. (1.^a ed.). [versión electrónica] Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=ELZkWwWekv4C&printsec=frontcover&dq=el+yacon:+fundamentos+para&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjgoJcKy77fAhWtr1kKHbs9DiwQ6AEIjzAA#v=onepage&q=el%20yacon%3A%20fundamentos%20para&f=false>
- Siminovitch, Singh y de simila Roche (1978). Fisiología y biología molecular de la tolerancia al estrés en plantas. (1.^a ed.). [versión electrónica] Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=9n3cJiYchtkC&pg=PA8&lpg=PA8&dq=Freezing+tolerance+is+associated+with+the+accumulation+of+sugars,+several+types+of+proteins+including+heat+shock+proteins,+lipids,+abscisic+acid+and+other+products+of+altered+metabolism&source=bl&ots=os76HfKwpH&sig=5u0rvVt15C08RdWX34DFaSSmCgY&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiMj-Hk5=false>
- Suquilanda, M. (2010). Producción orgánica de cultivos Andinos Recuperado el 10 de noviembre de 2018, de <https://es.calameo.com/books/004164863e55ffc6edbb4>.

Manual técnico de producción de cultivos andinos. Recuperado el 09 de diciembre de 2018, de <http://www.fao.org/search/es/?cx=018170620143701104933%3Aqq82jsfba7w&q=producci%C3%B3n+org%C3%A1nica+de+cultivos+andinos&cof=FORID%3A9&siteurl=www.fao.org%2Fhome%2Fes%2F&ref=www.google.com.ec%2F&ss=4571j6429789j8>

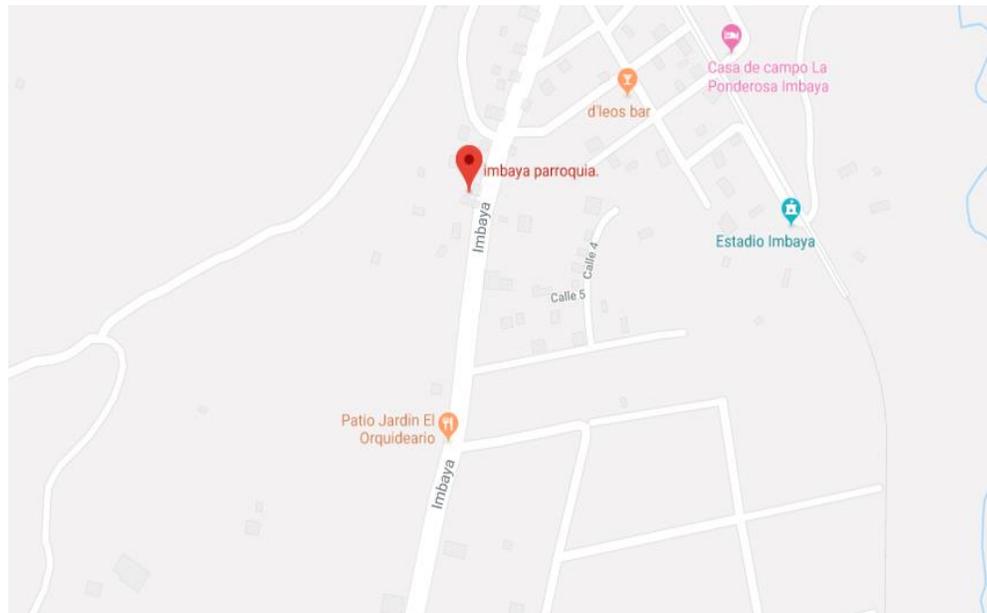
Tapia, M., Fries, A. (2007). Guía de campo de los cultivos andinos. (1.^a ed.). Perú:Pratec.

Valderrama, M. (2005). Manual del cultivo de yacón. Recuperado el 23 de diciembre de 2018, de <http://www.asocam.org/sites/default/files/publicaciones/files/74455093814a213d6976637f4f71ad5f.pdf>.

Valdivieso, J. (2014). El yacón: origen, propiedades y calorías. Recuperado el 23 de diciembre de 2018, de <http://hablemosdealimentos.com/c-tuberculos/el-yacon/>

ANEXOS

Anexo 1: Ubicación geográfica granja experimental UCE, Ibarra.



Tomado de googlemaps, 2018

Anexo 2: Cultivo de jícama



Anexo 3: Estereoscopio utilizado en la investigación



