

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMIA



**“BIOLOGIA REPRODUCTIVA DE CUATRO GRUPOS
FENOTIPICOS DE MACA (*Lepidium meyenii* Walpers)”**

Presentado por:

ROSMERY KATHERINE ENCISO HUAMANI

Tesis para optar el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Lima – Perú

2017

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**“BIOLOGÍA REPRODUCTIVA DE CUATRO GRUPOS
FENOTÍPICOS DE MACA *Lepidium meyenii* Walpers”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO**

ROSMERY KATHERINE ENCISO HUAMANÍ

Sustentada y aprobada por el siguiente jurado:

Ing. M.S. Andrés Casas Díaz
PRESIDENTE

Ing. Mg. Sc. Rolando Egúsqiza Bayona
ASESOR

Dr. Hugo Soplín Villacorta
MIEMBRO

Ing. Mg. Sc. Elías Huanuqueño Coca
MIEMBRO

LIMA-PERÚ

2017

DEDICATORIA

Dedico de manera especial a mi hija y abuelitos, quienes fueron mi principal motivo para seguir adelante. Y a mis padres Sergio y Esther, quienes con sus consejos y apoyo incondicional han sabido guiarme para culminar mi carrera profesional.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida.

Al Ing. Rolando Egúsqiza, asesor de tesis, por su valiosa guía y asesoramiento a la realización de la misma.

A mis padres, quienes con su demostración ejemplar me han enseñado a no desfallecer ni rendirme ante nada y siempre perseverar a través de sus sabios consejos.

A mi hermano, por ser un gran amigo para mí y uno de los seres más importantes en mi vida.

A Jorge, por su apoyo incondicional en el transcurso de mi carrera universitaria, por compartir momentos de alegría, tristeza y demostrarme que siempre podré contar con él.

A mis amigas, Edennis, Claudia y Soledad porque cada una con sus valiosas aportaciones hicieron posible este proyecto y por la gran calidad humana que me han demostrado con su amistad.

A la profesora Ana Eguiluz por toda la colaboración brindada, durante la elaboración de este proyecto.

Al Ing. Cornelio Taipe por toda su colaboración brindada, durante la elaboración de este proyecto.

Gracias a todas las personas que ayudaron directa e indirectamente en la realización de este proyecto.

INDICE GENERAL

I Introducción	1
II Revisión de literatura	2
2.1 Morfología de la planta.....	6
2.2 Sistema reproductivo	12
2.3 Biología reproductiva	13
2.4 Producción de semillas	14
III Materiales y métodos.....	16
3.1 Material vegetal.....	16
3.2 Localidad experimental	17
3.3 Características del campo experimental	17
3.4 Evaluaciones realizadas.....	18
3.5 Análisis estadístico	26
IV Resultados y Discusión	27
4.1 Crecimiento de la planta.....	27
4.2 Características morfológicas.....	29
4.3 Sistema reproductivo	59
4.4 Producción de semillas	60
V Conclusiones.....	63
VI Recomendaciones.....	64
VII Referencias bibliográficas.....	65
VIII Anexos	69

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Ritmo de crecimiento del diámetro de roseta de plantas de cuatro grupos fenotípicos de maca en condiciones del IRD Sierra de la UNALM	27
Cuadro 2. Número total de ramas primarias y de tipos de ramas.....	33
Cuadro 3. Número de ramas secundarias por planta	34
Cuadro 4. Longitud promedio de ramas primarias “Menores” en 7 evaluaciones durante su desarrollo	36
Cuadro 5. Longitud promedio de ramas primarias “Mayores” en 7 evaluaciones durante su desarrollo.....	36
Cuadro 6. Número de plantas de acuerdo al color de la rama por grupo fenotípico.....	38
Cuadro 7. Inicio (Días después del trasplante) de los estados de desarrollo de la inflorescencia de la primera floración.....	42
Cuadro 8. Duración (días) de los estados de desarrollo de la inflorescencia de la primera floración.....	42
Cuadro 9. Inicio (Días después del trasplante) de los estados de desarrollo de la inflorescencia de la rama primaria.....	43
Cuadro 10. Período (días) de los estados de desarrollo de la inflorescencia de la rama primaria.....	43
Cuadro 11. Inicio (Días después del trasplante) de los estados de desarrollo de la inflorescencia de la rama secundaria.....	44
Cuadro 12. Período (días) de los estados de desarrollo de la inflorescencia de la rama secundaria.....	44
Cuadro 13. Número de inflorescencia por planta, rama primaria y rama secundaria	46

Cuadro 14. Número de inflorescencia por planta.....	47
Cuadro 15. Coeficiente de correlación entre el diámetro de roseta y número de ramas y el número de inflorescencias	48
Cuadro 16. Número de frutos por planta	55
Cuadro 17. Número de frutos por rama primaria, rama secundaria e inflorescencia	55
Cuadro 18. Coeficiente de correlación entre el número de inflorescencias y ramas y tipo de rama primaria con el número de frutos.....	56
Cuadro 19: Número de inflorescencias y semillas por rama primaria excluida.....	59
Cuadro 20. Número de semillas	60
Cuadro 21. Rendimiento en gramos por planta	61
Cuadro 22. Porcentaje de pérdida de semilla	62

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diámetro de roseta en los cuatro grupos fenotípicos de maca	28
Figura 2. Porcentaje del número de ramas primarias según su tipo	34
Figura 3. Número de ramas secundarias por rama primaria.....	35
Figura 4. Longitud de la rama primaria “Menor” en diferentes evaluaciones	37
Figura 5. Longitud de la rama primaria “Mayor” en diferentes evaluaciones	37
Figura 6. Porcentaje del número de plantas de acuerdo al color de la rama	38
Figura 7. Periodo (días) total de desarrollo de inflorescencia	45
Figura 8. Período (días) de los estados del desarrollo de la inflorescencia de la primera floración (PF) y de las ramas primarias (RP) y secundarias (RS)	45
Figura 9. Desarrollo de las estructuras de la planta en la fase generativa	46
Figura 10. Porcentaje del número de plantas de acuerdo al número de estambres por grupo fenotípico	50
Figura 11. Diagrama floral de la maca	53

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Análisis de varianza del diámetro de roseta de cuatro grupos fenotípicos de maca en cuatro fechas de evaluación.....	69
Anexo 2: Prueba de Tukey del diámetro de roseta de cuatro grupos fenotípicos de maca en cuatro fechas de evaluación.....	69
Anexo 3: Análisis de varianza del número de ramas primarias de cuatro grupos fenotípicos de maca.....	69
Anexo 4: Análisis de varianza del número de ramas secundarias de cuatro grupos fenotípicos de maca.....	70
Anexo 5: Análisis de varianza de la longitud de ramas primarias “Menores” de cuatro grupos fenotípicos de maca en seis fechas de evaluación	70
Anexo 6: Prueba de Tukey de longitud de ramas primarias “Menores” de cuatro grupos fenotípicos de maca en seis fechas de evaluación	70
Anexo 7: Análisis de varianza de longitud de ramas primarias “Mayores” de cuatro grupos fenotípicos de maca en cinco fechas de evaluación	71
Anexo 8: Análisis de varianza del periodo total del desarrollo de inflorescencia en las tres partes de la planta de la fase generativa de cuatro grupos fenotípicos de maca	71
Anexo 9: Análisis de varianza del número de inflorescencias por planta de cuatro grupos fenotípicos de maca	71
Anexo 10: Análisis de varianza del número de frutos por planta de cuatro grupos fenotípicos de maca.....	72
Anexo 11: Análisis de varianza del porcentaje de pérdida de semillas de cuatro grupos fenotípicos de maca	72
Anexo 12: Datos para el análisis de correlación del diámetro de roseta, número total de ramas, número de ramas primarias tipo 1, 2 y 3 y el número de inflorescencias.	73
Anexo 13: Datos para el análisis de correlación del número de ramas secundarias, inflorescencias, tipo de rama primaria y número de frutos	74

RESUMEN

La presente investigación se realizó con el objetivo de ampliar la información sobre las estructuras florales de la maca, caracterizar la biología reproductiva y la producción de semillas en plantas de cuatro grupos fenotípicos agrupadas de acuerdo al color del hipocotilo de procedencia (Negro, Morado, Amarillo y Bicolor).

El estudio se realizó en el IRD Sierra de la UNALM (3220 msnm) durante los meses de diciembre 2015 a marzo 2016. Con frecuencia semanal se registró el diámetro de rosetas, la longitud de ramas y los estadios de floración. Con ayuda de un estereoscopio se caracterizó las estructuras florales. Se excluyeron inflorescencias con bolsas de papel glacyne para registrar el número de semillas; en plantas maduras se registró el número de ramas, inflorescencias, frutos y semillas.

Respecto a la estructura de los órganos florales se encontró que el cáliz es dialisépalo con 4 y 5 sépalos, la corola es dialipétala con 4 pétalos que alternan con los sépalos. Con relación al androceo se encontraron flores con 2, 3, 4 y 5 estambres y se encontró que el gineceo es sincárpico, con ovario supero, bicarpelar y bilocular. No se encontraron diferencias en características florales entre los grupos fenotípicos.

En el sistema reproductivo se encontró que la planta de maca es alógama para todos los grupos fenotípicos; las condiciones de exclusión de las ramas mediante la bolsa de papel glacyne evitó la polinización cruzada y por tanto no hubo semillas.

La producción de semillas guardó relación directa con el número de inflorescencias, el diámetro de roseta y el tipo de rama incrementó significativamente el número de inflorescencias, el número de frutos y, en consecuencia, el número de semillas.

Palabras claves: *Lepidium meyenii* W.; órganos florales; biología floral; sistema reproductivo; producción de semillas.

I. INTRODUCCIÓN

La maca, *Lepidium meyenii* Walpers, es una especie nativa de los Andes Peruanos que se cultiva principalmente en la zona de la meseta de Bombón, en la Región Junín, entre los 3 700 y 4 500 msnm donde se presenta un clima agreste y bajas temperaturas extremas. La maca es conocida y empleada desde los tiempos precolombinos principalmente como una planta medicinal y/o alimenticia; la medicina tradicional peruana hace mención de sus principales propiedades como estimulante de la reproducción (García y Chirinos, 1999) y energizante o revitalizadora (Quiroz y Aliaga, 1997); y en la parte alimenticia muestra una gran variedad de recetas tradicionales (Sandoval y Giurfa, 2000).

En el 2014 se dio el llamado “boom de la maca”, debido a que las exportaciones sumaron 28.7 millones de dólares, lo que significó un crecimiento de 109 por ciento en relación al 2013. Ese año, un gran número de compradores asiáticos invadieron la Región Junín para comprar la mayor cantidad posible de hipocotilos lo que produjo que su precio se multiplicara hasta por 10 o más. Según el Ministerio de Agricultura y Riego (2015) el aumento del precio produjo un incremento del 173% de la producción acumulada en el periodo enero – setiembre del 2015 (58 mil toneladas) con relación al mismo periodo del año anterior (21 mil toneladas), principalmente en Junín y Pasco.

La adaptación de esta planta a lugares tan adversos se expresa en su morfología que consiste en una parte aérea muy pequeña y una zona reservante (hipocotilo) voluminosa que se produce en el interior de la tierra de cultivo. El interés por esta planta ha traspasado nuestras fronteras de tal manera que se ha intentado cultivarla fuera de su hábitat natural.

Su ciclo de vida tiene dos etapas definidas, en la primera denominada vegetativa, la planta produce la estructura reservante o hipocotilo que es utilizada como alimento por la población. En la otra etapa conocida como la reproductiva, la planta produce semilla botánica. Ambas etapas se completan en dos años por lo que se conoce como un cultivo bienal.

La biología floral es importante para el conocimiento de la biología reproductiva de las plantas; investiga las relaciones mutuas entre las flores y su ambiente. En sentido estricto, comprende los procesos del desarrollo de las estructuras sexuales, la polinización y fecundación.

Por otra parte, es posible proponer unidades intraespecíficas de maca como grupos fenotípicos de acuerdo al color predominante del hipocotilo: rojo, morado, negro, plomo, amarillo y blanco. Estos diferentes colores reflejan distinta composición bromatológica y organoléptica. Se ha determinado que la maca negra de la Meseta del Bombón alcanza el mayor valor en contenido de carbohidratos y mayor valor en el análisis de energía total.

El presente trabajo identifica como problema de investigación el que no se cuenta con suficientes estudios sobre la biología reproductiva de la maca y al mismo tiempo, identifica como problema el que no se cuenta con suficiente documentación sobre las diferencias morfológicas de los grupos fenotípicos de la maca.

Por lo expuesto, con el propósito de ampliar el conocimiento de la biología reproductiva de grupos fenotípicos de maca que permitan generar propuestas y recomendaciones para su mejoramiento genético y para la producción comercial de semillas, el presente trabajo de investigación se planteó los siguientes objetivos:

- ✓ Definir la forma y estructura de cada uno de los órganos florales de maca.
- ✓ Determinar características de la biología floral y del sistema reproductivo.
- ✓ Determinar las características de la producción de semillas.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

La maca es una planta peruana única con cualidades de crecer y desarrollarse entre los 4000 y 4500 m de altitud, hábitat donde predominan bajas temperaturas, intensa radiación solar y fuertes vientos y donde ninguna otra planta cultivada puede sobrevivir. Esta planta se cultiva desde hace muchos siglos en las alturas de los Andes centrales peruanos, que antiguamente se llamaba Chinchaycocha (Cieza, 1553; Cobo, 1956) y que actualmente se le conoce como la Meseta de Junín o Meseta de Bombón.

El término “MACA” es explicado por el distinguido peruano Javier Pulgar Vidal como proveniente de dos voces de la lengua chibcha “MA” que tiene significado de origen: de la altura (que ha sido encontrada o cultivada en la altura) y “CA” que significa: alto, excelso, comida buena que fortalece (Pulgar, 1996), significando armónicamente su posición geográfica en la zona alto andina de puna y su empleo en la vida del hombre andino quien le asigna beneficios en la fertilidad y fortaleza física (Palacín, 1988).

La maca es conocida por varios nombres, pero sin duda el nombre más común que lleva esta planta alto andina es el de “Maca”, descrita así por innumerables autores desde el siglo XVI hasta la actualidad. Sin embargo también se le han asignado otros nombres pocos conocidos. Obregón (1998) reporta como otros nombres a los siguientes: Ginseng peruano (Nombre internacionalmente difundido, 1988); Ma-ca (Pulgar Vidal, 1978), Macca (Garay Canales Oscar, 1992), Maca-maca (Soukup, 1973; Jeri Cárdenas, 1995), Maha (Álvarez Medrano C., 1973), Huto-huto (Soukup, 1973) y Maino (nombre antiguo de documentos del siglo XVI: Álvarez Medrano, 1993).

Se halla aún en discusión el origen del cultivo de maca en el Perú antiguo. Bianchi (2003) menciona que la civilización Inca cultivó la maca. Sin embargo, no hay ningún documento histórico que lo respalde y por el contrario los documentos históricos disponibles contradicen esta afirmación. Los cronistas Cieza (1553) y Cobo (1956) reportan que la Maca fue cultivada exclusivamente en la zona de Chinchaycocha (Meseta del Bombón) en los Andes Centrales del

Perú. Esta población fue conquistada por los Incas en 1470 (Carrillo y Poma, 1992), lo cual contradice la afirmación anterior, ya que no hay evidencia que indique que los Incas en Cusco cultivaran la Maca o que lo utilizaran antes de 1470. El padre Bernabé Cobo, Jesuita español que visito el Perú entre 1603 y 1629 fue el primero quien describió y publicó sobre la maca y sus propiedades en su libro “Historia del Nuevo Mundo” (Cobo, 1956), Cobo menciona que la maca crece en áreas más frías donde ninguna otra planta puede crecer para el sustento humano.

La distribución de la Maca en el antiguo Perú es aún incierta. El español Hipólito Ruiz (1952) quien visito al Perú entre 1777 – 1778 reporta que las áreas de producción y consumo de maca eran Carhuamayo, Pampa de los Reyes (Junín), Ninacaca y su vecindad (Pasco).

El *Lepidium meyenii* (Maca) es una planta cultivada que pertenece a la familia de las Brassicaceae (Crucíferas), a la tribu Lepideae, a la sección Monoploca y al Genus *Lepidium* (Quiroz y Aliaga, 1997). El hábitat natural donde se cultiva y crece la maca se caracteriza por tener una media de temperatura mínima de 1.5°C y de la máxima de 12°C (Tello et al., 1992).

Dos nombres científicos diferentes, cuya validez y prioridad no son claros, se emplean para identificar a la maca. El nombre más antiguo es *Lepidium meyenii* Walp. La descripción original se basa en un espécimen (holotipo) que fue colectado en Perú, departamento de Puno, cerca de Pisacoma, a una altura de 15000 pies (4500 m).

Chacón (2001) señala la clasificación taxonómica de *Lepidium meyenii* Walp. descrita en la Tabla 1.

Tabla 1: Clasificación taxonómica de la maca según Walpers

Clasificación	Descripción
Reino	Vegetal
División	Phanerogama
Clase	Dicotyledonea
Subclase	Archichlamydea
Orden	Rhoedales
Familia	Cruciferae
Genero	<i>Lepidium</i>
Especie	<i>Lepidium meyenii</i> Walp.

Chacón (1990), en un estudio tan amplio como poco claro, separa la forma cultivada, *Lepidium peruvianum* Chacón, de la especie silvestre comestible *Lepidium meyenii*. Si bien el catálogo de la flora de Perú menciona ambos nombres, el nombre *Lepidium peruvianum* es escasamente reconocido por otras fuentes. La posición taxonómica de *Lepidium peruvianum* Chacón se muestra en la **Tabla 2**.

Tabla 2: Clasificación taxonómica de la maca según Chacón (1990)

Clasificación	Descripción
Reino	Vegetal
División	Angiospermae (Magnoliophyta)
Clase	Dicotyledonea
Subclase	Archichlamydeae
Orden	Rhoedales
Familia	Cruciferae (Brassicaceae)
Genero	<i>Lepidium</i>
Especie	<i>Lepidium peruvianum</i> Chacón

Un juicio científico sobre la validez del nombre *L. peruvianum* requiere de una revisión sistemática crítica. Sobre la base de los datos disponibles, la separación de *L. meyenii* en varias especies no es científicamente justificable y debería adoptarse el nombre científico *L. meyenii* de acuerdo al principio de prioridad del Código Internacional de Nomenclatura Botánica.

El género *Lepidium* comprende una serie poliploide con un número básico de $x=8$ cromosomas, agrupa especies diploides ($2n=2x=16$), tetraploides ($2n=4x=32$) y octaploides ($2n=8x=64$). Estudios de recuentos cromosómicos en células madres del polen en la meiosis (Quiroz *et al.*, 1996, Quiroz y Aliaga, 1997), indicaron que la maca cultivada es un octoploide de $2n=8x=64$ cromosomas que se aparean predominantemente como 32 bivalentes en la diakinesis y en la metafase I. Este tipo de apareamiento muestra que es un poliploide disómico.

Quiroz y Aliaga (1997) evaluaron entradas de macas cultivadas y silvestres provenientes de Perú y Bolivia con marcadores RADP y RFLP. Encontraron que las especies silvestres presentaron niveles de ploidía de $4x$ y $8x$ y que ninguna de las especies silvestres evaluadas se encontraba relacionada con la maca cultivada.

2.1 MORFOLOGÍA DE LA PLANTA DE MACA

Según León (1964) y Tello *et al.* (1992) la planta de maca se caracteriza por presentar externamente una roseta de hojas con un órgano subterráneo carnosos formado por la raíz y la parte inferior del hipocotilo. Tello *et al.* (1992), Quiroz y Aliaga (1997), y Gonzales *et al.* (2014) agregan que la maca es considerada como una planta bienal (su ciclo de vida tiene dos etapas bien definidas): una fase vegetativa o de producción de hipocotilo y una fase reproductiva o de producción de semilla. La primera fase finaliza con el desarrollo de una roseta foliar basal visible y del órgano reservante y dura casi siete meses (Quirós y Aliaga, 1997; Obregón, 1998). En la segunda fase se forman los tallos florales, primero formándose unas pocas flores en el centro de la roseta basal y otras aisladas en las axilas foliares, las que, sin embargo, forman muy pocos frutos (Rea, 1994; Quirós *et al.*, 1996). Aliaga (1995) encontró que el diámetro promedio general de la roseta fue de 53 cm, 53.7 cm en plantas provenientes de hipocotilo amarillo y 48.5 cm en plantas provenientes de hipocotilo morado.

Quiroz y Aliaga (1997) y Aliaga (2004), mencionan que la maca se comporta como una especie bianual en la sierra alta. Sin embargo, consideran que puede completar su ciclo de vida dentro de un año cuando las condiciones climáticas son favorables (ausencia de heladas y abundante humedad). Para Chacón (1990) la maca (*Lepidium peruvianum* Chacón) es una especie anual, ya que su raíz se hace muy fibrosa y se seca a los once meses.

Quiroz y Aliaga (1997), describen morfológicamente a la maca como una planta típica de la puna andina, de hábito arrosado con una raíz pivotante que forma con el hipocotilo un órgano de almacenamiento subterráneo que es la parte comestible. Aliaga (2004), menciona que la planta de fase reproductiva de la maca presenta una corona de hojas basales que surgen por encima de un eje carnosos en el suelo.

2.1.1 El hipocotilo

El órgano reservante corresponde a la parte comestible de la planta y es un poco difícil afirmar si es un tallo (hipocótilo) o raíz. Marín (2003) afirma que es muy probable que la región de

transición entre el tallo y la raíz asumiría la mayor parte de engrosamiento del órgano de reserva. Obregón (1998), señala que la parte carnosa de la maca es una raíz (sin raicillas secundarias) y no hipocotilo. De acuerdo a observaciones hechas sobre la germinación de la maca, Chacón (1997) señala que los cotiledones se desarrollan fuera de la tierra, es decir es epigea, el hipocotilo da lugar al tallo y la radícula a la raíz.

Font Quer (1982) indica que el término hipocotilo hace referencia a la sección del tallo inmediatamente debajo de los cotiledones. Al ser la germinación epigea y al localizarse el tubérculo de maca entre el futuro tallo y la raíz, parecería correcto definirlo como hipocotilo aunque se requiere estudios anatómicos para mayor precisión.

El tubérculo de maca presenta colores que varían de planta en planta, desde una coloración externa que va del amarillo claro al rojo oscuro, morado hasta negro o con variaciones de color en una misma raíz (Obregón, 1998). Sobre la base de su coloración se diferencian 4 a 8 "formas", cultivares o grupos de cultivares (León, 1964; Rea, 1994; Ochoa y Ugent, 2001). Al respecto Aliaga (2009) en un estudio realizado en la meseta de Bombón, diferenció seis colores (amarillo, morado, crema, morado claro ("rojo"), negro y plomo así como combinaciones de estos. Por otra parte, Tello *et al.* (1992), encontraron en Junín y Huayre hasta trece colores que variaron del blanco al negro, encontrando en mayor porcentaje (47.8%) los de color amarillo y en menor porcentaje (entre 0.5 – 16.5) a los bicolores. Garay (1991) también mencionó que el color amarillo se produce en mayor cantidad.

Gonzales *et al.* (2014) encontraron que las variedades de color negro y rojo mostraron distintas propiedades biológicas. Estas diferencias parecen depender del suelo antes que de los morfotipos (Zhao *et al.*, 2012) aunque en este caso todas las variedades estudiadas se cosecharon en un mismo suelo (Tello *et al.*, 1992).

Córdova y Vélchez (1980) y Obregón (1998) mencionan a las variedades de diferentes colores externos como ecotipos. Sin embargo Chacón (1997) y Chacón y Jara (1998) mencionan que la maca no tiene variedades ni ecotipos, observaron que los cultivos producen plantas con diferentes colores, es decir no existen ecotipos solo formas de diferentes colores. Según Chacón

(1997), el termino ecotipo de acuerdo al color de la raíz no indica que es una variedad ya que éstos colores provienen de una misma planta madre y además el termino ecotipos no es utilizado en taxonomía. Sugden (1986) menciona el termino ecotipo como un conjunto de individuos o poblaciones de un hábitat particular que difieren fenotípicamente de los miembros de la misma especie de otro hábitat.

Para Garay (1991) la coloración se debe a las antocianinas presentes en el eje de la planta. Chacón (1997), manifiesta que la variación de colores es debido a la fuente de nutrientes y minerales que tiene el suelo donde crece y que esta variación puede ocurrir en el momento de la absorción de los nutrientes por medio de las raíces secundarias. Chacón y Ticlavilca, mencionados por Chacón (2012) indican que los minerales del suelo influyen en la densidad de colores por su acción metabólica que producen compuestos químicos de los pigmentos presentes en la corteza y médula.

2.1.2 El tallo

Según Obregón (1998) y Chacón (2012), el tallo es pequeño, casi acaule y es la base de la formación de las hojas basales y los tallos secundarios o ramas primarias. Chacón menciona que el tallo es conocido por los agricultores como “ojo” o punto de inserción de las hojas y que cuanto mayor es el diámetro del ojo es mejor para el desarrollo de la planta semillera para que las ramas secundarias que dan lugar a las flores e inflorescencias crezcan con mayor amplitud.

Chacón (2012) menciona que las ramas o tallos secundarios se presentan solo en la fase reproductiva o generativa y aparecen cuando las hojas basales se vuelven amarillas y caen. Sus ramas extendidas miden 16 cm de largo. La disposición de los tallos secundarios o ramas, denominadas como ramas generativas primarias por Aliaga (2004) se presentan en forma de roseta. Aliaga (1995) indica que se producen aproximadamente 20 ramas generativas primarias por planta y cada una de éstas producirá aproximadamente 13 ramas generativas secundarias.

2.1.3 La hoja

Según Chacón (2012), la planta de maca presenta dos tipos de hojas durante todo su desarrollo de vida anual: (1) hojas basales, que son caducas al sexto o séptimo mes de desarrollo de la planta y (2) hojas caulinares que forman parte de los tallos secundarios o ramas.

Las hojas basales se presentan durante toda la fase vegetativa y al inicio de la fase generativa para luego caer; Aliaga (1999) denominó a las hojas basales de la fase generativa como de segunda fase vegetativa. Según Tello *et al.* (1992), Quiroz y Aliaga (1997) y Aliaga (2004) las hojas basales son compuestas y presentan dimorfismo, siendo más largas en la fase vegetativa y más reducidas en la fase reproductiva. Por otra parte, Chacón (1990) señala que las hojas basales son arrosetadas, pecioladas largamente y el limbo pinnatífidas y bipinnatífidas de 23 cm de largo. Para Aliaga (1999) las hojas basales de la fase vegetativa miden entre 12 a 18 cm y las de la fase reproductiva menos de 5 cm.

Chacón (1990) denomina hojas caulinares a las que nacen en las yemas de las ramas o tallos secundarios de la fase reproductiva, aparecen cuando las hojas basales han caído y el limbo es bipinnatífido. El tamaño de estas hojas varía de acuerdo a la disposición en la rama, siendo así que las hojas caulinares basales son más largas que las hojas caulinares intermedias y estas más que las hojas caulinares apicales, midiendo de 5 a 6 cm la basal, 4 cm la intermedia y de 1 a 2 cm la apical. Para Aliaga (1999) las hojas caulinares de la base presentan el limbo doblemente partido, las hojas intermedias son pinnatipartidas y las hojas apicales ligeramente partidas. Tanto Aliaga (1999) como Chacón (2001) señalan que las hojas caulinares son algo reducidas y alternas. Aliaga (2004) menciona que las hojas caulinares de los botones florales son reducidas, enteras, lobadas o profundamente crenadas.

2.1.4 Inflorescencia

Según Chacón (1990 y 2012) la Inflorescencia es racimosa, localizada en el extremo de las ramas y rara vez es axilar; indica que las flores se encuentran agrupadas en la base de la yema de la hoja, como también, en inflorescencias de racimo simple que se encuentran en los extremos

de las ramas y que presentan también flores axilares pedunculadas. En el caso del racimo simple, sus flores presentan un pedicelo con aproximadamente la misma longitud.

Chacón agrega que a medida que crece longitudinalmente el eje principal del racimo, las flores más antiguas quedan en la base de la inflorescencia y las más jóvenes en el ápice. Es así que los frutos maduros se encuentran cerca de la base, mientras que en el extremo superior hay yemas diminutas que contienen partes florales rudimentarias o que las semillas de los frutos de la base están dehiscentes mientras que se siguen formando flores en la parte superior.

Para Aliaga (1995 y 2004), las inflorescencias son panículas (racimos compuestos); señala también que en estado de primera floración hay flores solitarias, pequeños racimos simples y muy rara vez pequeños racimos compuestos, paucifloras. Quiroz y Aliaga (1997) señalan que las flores están agrupadas en racimos axilares.

2.1.5 La flor

Chacón (1990, 2001), Aliaga (1995, 2004) y Ponce (1997) describen que la flor es completa, pequeña, actinomorfa, hipoginea y bisexual. Chacón describe al cáliz como de 4 sépalos libres de forma aovada elíptica cóncava de 1.2 a 1.4 mm de largo por 0.7 a 0.8 mm de ancho y de color verde claro y blancuzco en los bordes. Por otro lado, Aliaga (1995) menciona que el cáliz es dialisépalo regular, con 4 sépalos persistentes, cóncavos y que su color varía entre el verdoso, violáceo o verde – violáceo y en 1999 señala que los sépalos miden en promedio 1.3 mm de largo y 0.4 mm de ancho.

Chacón (1990, 2001) describe a la corola como con 4 pétalos libres de color blanco, dispuestos en cruz, alternisepalos, lineales, ligeramente encorvados hacia el ápice, de 1.4 a 1.6 mm de largo y que sobrepasan al cáliz. Aliaga (1995) menciona que la Corola es dialipétala, regular, con 4 pétalos que se alternan con los sépalos (alterninsépalos), de color blanco y en 1999 señala que los pétalos miden en promedio 0.7 mm.

Chacón (1990 y 2001), describió al Androceo como con 6 estambres tetradínamos, dos de ellos fértiles con filamentos engrosados, anteras ditésicas, basifija, con dehiscencia longitudinal y 4 estambres restantes (estaminodios) estériles, pequeños y dispuestos a los lados de los fértiles. Aliaga (1995 y 2004) describió al androceo como formado por dos estambres, con anteras amarillentas de dehiscencia longitudinal y 4 nectarios verdosos, ubicados en la base del ovario, 2 a cada lado de los estambres. Ponce (1997), indicó que los dos estambres son homodinamos, basifijos y con dehiscencia longitudinal. Quiroz y Aliaga (1997) y Thellung (1906) mencionan que rara vez se presentan 3 estambres. Quiroz *et al.* (1996) indicaron que los granos de polen son fértiles y trinucleados.

Para Chacón (1990 y 2001), Ponce (1997), Aliaga (1995 y 2004) y Quiroz y Aliaga (1997) el gineceo es sincárpico, con ovario oval ancho aplanado, supero, bicarpelar y bilocular, estilo muy reducido, estigma pequeño y algo globoso. Con dos óvulos anátropos, de placentación axilar apical (Chacón, 1990 y 2001). Aliaga (1995 y 2004) y Quiroz y Aliaga (1997) mencionan la presencia de un tabique que divide al ovario en dos porciones iguales y la placentación es tabical superior.

Las fórmulas florales presentadas por diferentes autores son las siguientes:

Autor	Formula floral
Chacón, 1990, 2001	K 2-2; Co 4, A 2-4; G (2)
Aliaga, 1995	K4 C4 A2 <u>G</u> (2)
Quiroz et al., 1996	K4 C4 A2-4 G2

2.1.6 El fruto

Tello *et al* (1992) señalan que el fruto es una silicua dehiscente que encierra dos semillas ovoides y pequeñas. Mientras que Chacón (1990 y 2001), Aliaga (1995, 1999 y 2004) y Quiroz y Aliaga (1997) mencionan que el fruto es una silícula dehiscente y contienen dos semillas por fruto, una en cada celda. Las silículas están separadas por un tabique el cual divide el fruto en dos porciones iguales (Aliaga, 1995, 1999 y 2004; Quiroz y Aliaga, 1997).

Chacón (1990 y 2001) señala que el fruto mide de 2.8 a 3.3 mm de largo por 2.5 mm de ancho, mientras que Aliaga (1995, 1999 y 2004) y Quiroz y Aliaga (1997) mencionan que mide aproximadamente 2 mm y Marín (2003) indica que son de 4 a 5 mm de largo.

Chacón (1990 y 2001), Aliaga (1995, 1999,2004), Quiroz y Aliaga (1997) y Marín (2003) describen el tamaño de la semilla como pequeña y ovoide. Chacón indica que tiene un tamaño de 0.8 – 0.9 mm de largo, Aliaga y Quiroz indican que el promedio en general del tamaño es de 2.0 mm de largo y 1.1 mm de ancho y Marín (2003) indica que es de 2,0 a 2,5 mm de largo y de color rojo grisáceo. Aliaga (1995, 1999 y 2004) y Quiroz y Aliaga (1997) mencionan que el color de la semilla varía de amarillo-naranja a marrón oscuro.

2.2 SISTEMA REPRODUCTIVO

Aliaga (1995) y Quirós *et al.* (1996) indicaron que la maca se reproduce por autopolinización, que es cleistógama, es decir que es 100% autógama. Según Aliaga (1995) la polinización se inicia 4 o 5 días después que los primeros botones florales se puedan apreciar a simple vista, que la antesis (dehiscencia polínica) dura 3 días, de los cuales los dos primeros días se da en flor cerrada y con mayor cantidad de emisión de polen. Cuando se abre la flor permanece en ese estado durante tres días, notándose que la dehiscencia de anteras prosigue aunque en menor grado. Las anteras y los pétalos se marchitan en dos días, mientras que el ovario inicia su engrosamiento para iniciar el desarrollo del fruto. Quirós *et al.* (1996) realizaron una prueba de autogamia y encontraron que las plantas de maca dieron fruto espontáneamente en las cámaras de cultivo, donde se excluyeron los insectos.

Por otra parte, Ponce (1997) menciona que la autopolinización se realiza en forma natural, en estadios tempranos del desarrollo de la flor cuando aún están encerradas por el perianto (cleistogamia parcial) siendo muy rara la polinización cruzada (1 al 4%) y cuando esta sucede probablemente los insectos y el viento sean los responsables.

2.3 BIOLOGÍA REPRODUCTIVA

La fase reproductiva es básica pues da lugar a las semillas que, a su vez originan la fase vegetativa de esta especie. La fase reproductiva presenta un largo periodo de floración y apertura de flores en series sucesivas (Aliaga, 2009). La duración de esta fase es de 190 a 210 días adicionales al crecimiento de la planta (Tello et al, 1992; Tapia y Fries, 2007). Aliaga (1995) registró en la localidad de Huayre – Junín que la fase sexual de la maca fue de 146 días (5 meses) aunque las plantas de macas moradas tuvieron una menor duración que las plantas procedentes de macas amarillas. Posteriormente, Aliaga (1999) afirmó que la fase generativa dura entre 4.5 y 6 meses.

En la fase reproductiva el hipocotilo produce de uno a tres brotes principales, los cuales desarrollan tallos en sentido radial y se ramifican en forma lateral formando las inflorescencias racimosas que producen las semillas (Tello *et al.*, 1992).

Aliaga (2009) indica que en la base de la planta y debajo de las hojas, se forman brotes generativos con flores reproductivas y formación de frutos. Dentro de los siguientes tres meses se forman los brotes generativos secundarios.

- a. **Inicio de la primera floración:** Aliaga (1995) encontró que la maca inicia su primera floración a los 43 días después del trasplante y a los 64 días el 71% de plantas habían iniciado la primera floración. Antes de iniciar este proceso, se diferenciaron las hojas basales (segunda fase vegetativa) que duró 42 días y paralelo a este se inició la aparición de ramas generativas principales.
- b. **Periodo de floración:** Según Aliaga (1995) a los 137 días después del trasplante el 62.2% de plantas terminó la floración, las que no terminaron (37,7%) provenían de hipocotilo color amarillo. La duración de la primera floración-fructificación duró 40 días.

- c. **Intensidad de floración:** Aliaga (2009) menciona que el número de flores por racimo varía de 50 a 70 flores.
- d. **Aparición de la rama primaria:** Aliaga (1995) mencionó que todas las plantas tenían botones entre los 72 y 100 días después del trasplante, apareciendo la mayoría de estos entre los 72 y 80 días y la duración del desarrollo botones-flores-frutos fue de 77 días.
- e. **Aparición de la rama secundaria:** Según Aliaga (1995) entre los 90 y 110 días después del trasplante toda la población presentaba botones secundarios, siendo entre los 90 y 100 días donde se dio la mayor aparición de estos en el 52% de la población. La duración del desarrollo de botones-flores-frutos duro 53 días.
- f. **Periodo de maduración de frutos:** Según Aliaga (1995), los frutos de todas las plantas empezaron a madurar durante 14 días, la mayor cantidad lo hizo en 7 días. Hay un tiempo muy corto de dehiscencia de frutos, 17 días y que solamente los frutos procedentes de botones principales entraron en este proceso, solo el 13.2% de plantas entraron en dehiscencia de frutos, durante 14 días (entre 124 y 137 días después del trasplante).

2.4 PRODUCCIÓN DE SEMILLAS

El clima juega un papel muy importante en la producción de semilla; en condiciones de menor altitud disminuye el periodo vegetativo en 45 y 60 días y se producen semillas de tamaño pequeño (0.8 mm) mientras que en altitudes de 4000 msnm las semillas son de mayor tamaño (1,2 mm de diámetro (Pérez, 2000)).

- a. **Número de ramas primarias (RP):** Aliaga (1995), encontró que el número promedio de ramas primarias en las plantas procedentes de hipocotilo amarillo fue de 21.5 ramas por planta, el cual fue superior al promedio general de ramas primarias (17.83 ramas por planta) y al promedio de ramas primarias de las plantas provenientes del hipocotilo morado.

- b. Número de ramas secundarias (RS):** Según Aliaga (1995), las plantas provenientes del hipocotilo morado tienen un promedio de 14.2 RS, ligeramente superior al promedio general de 14 y al promedio de RS (13.73) de las plantas provenientes de hipocotilo amarillo.
- c. Número de semillas por RP y RS:** Aliaga (1995) encontró que el número promedio general de semillas producidas por RS y RP fue de 110 y 1,588 respectivamente, siendo mayor el promedio de semillas en plantas que provienen de hipocotilos amarillos con 117.18 y 1,634.71 semillas respectivamente y promedios menores (95.57 y 1,341.87) en plantas procedentes de hipocotilos morados.
- d. Rendimiento de semillas por planta:** Aliaga (1995) señala que en promedio general una planta produce 32,162 semillas; las plantas provenientes de hipocotilo amarillo y morado produjeron 33,691 y 24,097 semillas respectivamente. Obregón (1998) señala que cada planta produce alrededor de 20 g de semillas. Por otra parte, Aliaga (1995) encontró que cada planta produjo aproximadamente 14 g de semillas, que cada gramo contiene aproximadamente 1.600 semillas y que el peso promedio de 1000 semillas fue de 0.6394 g.
- e. Rendimiento de semillas por hectárea:** Mantari, mencionado por Tello et al (1992), determinó el rendimiento de semilla de plantas procedentes de maca amarilla y rosada sembradas bajo riego y seco; bajo riego obtuvo 266 kg/ha de semillas en las macas amarillas y 233 kg/ha en la maca rosada; en condiciones de seco estimó un rendimiento de 299 kg/ha del ecotipo amarillo y 266 kg/ha del ecotipo rosado. En otro estudio realizado a 4200 msnm en Junín, Tello *et al* (1992) estimaron que el rendimiento de semilla es de 14.1g por m², 3.52g por planta y un rendimiento de 141 Kg/ha de semilla botánica con una densidad de 4 plantas por m².

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 MATERIAL VEGETAL

En el experimento se utilizó hipocotilos de cuatro grupos fenotípicos de maca. Los hipocotilos de todos los grupos fenotípicos usados en el experimento fueron cosechados en el Instituto Regional de Desarrollo (IRD) de Sierra. El tamaño de los hipocotilos era mediano (4 -5 cm). Los grupos fenotípicos y el número de plantas de cada uno de ellos fueron los siguientes:

<u>Grupos fenotípicos</u>	<u>N° de hipocotilos</u>
Negros	30
Amarillos	30
Morados	30
Bicolores (Amarillos con manchas de colores)	30



Foto 1: Grupo Fenotípico Negro



Foto 2: Grupo Fenotípico Amarillo



Foto 3: Grupo Fenotípico Morado



Foto 4: Grupo Fenotípico Bicolor

Fotos: Taípe D., C.

3.2 LOCALIDAD EXPERIMENTAL

El experimento se realizó entre los meses de diciembre 2015 a marzo 2016 en el Instituto Regional de Desarrollo (IRD) de Sierra de la UNALM, Distrito de San Lorenzo, Provincia Jauja, Región Junín, a una altitud de 3200 msnm y coordenadas de latitud 04°56'75''.

3.3 CARACTERISTICAS DEL CAMPO EXPERIMENTAL

La preparación del terreno experimental se inició con un arado, posteriormente se desmenuzó los terrones y se trazaron los surcos. El trasplante de hipocotilos pre brotados se realizó el 15 de diciembre del 2015, la profundidad del trasplante varió entre 8 y 10 cm; la conducción agronómica del campo fue similar a la de los campos comerciales de la zona de Junín.

Los 30 hipocotilos pre brotados de cada Grupo Fenotípico se plantaron en dos surcos de 4.5 m de largo y 100 cm de ancho; la distancia entre plantas fue de 30 cm (Foto 5).

El trasplante y las etapas de crecimiento, desarrollo y cosecha de las plantas experimentales de la fase generativa o de producción de semillas de la maca se realizaron en meses con condiciones ambientales favorables para el cultivo. No se realizó tratamientos con agroquímicos en razón a que no se presentaron limitaciones sanitarias ni nutricionales.



Foto 5. Vista del área experimental y de las plantas experimentales en fase reproductiva

3.4 EVALUACIONES REALIZADAS

A. Crecimiento de la planta

- **Diámetro de la roseta**

Con frecuencia semanal se realizaron once evaluaciones del diámetro de la roseta desde los 12 hasta los 86 días después del transplante. Se tomaron 15 plantas al azar por grupo fenotípico y se midió dos diámetros de roseta por planta y se registró el promedio del diámetro por planta. A partir de esta información se analizó el ritmo de expansión lateral de la planta.

B. Características morfológicas

1. TALLO

- **Número de ramas primarias y secundarias**

Esta característica fue evaluada al momento de cortar el hipocotilo-raíz de las plantas como paso previo a la cosecha. Se contabilizaron todas las ramas primarias y secundarias en 10 plantas por grupo fenotípico.

- **Color de la rama**

Para describir el color de la rama se utilizó una escala de un dígito. En la tabla 3, se presenta la clasificación general de los tipos de caracteres del color del tallo.

Tabla 3: Tabla de descriptores de los estados que pueden adoptar el tallo

Caracteres	Estado	Codificación
Color del tallo	Verde	1
	Morado	2
	Amarillo - marrón	3
	Morado - verdoso	4

- **Longitud de las ramas primarias mayores y menores**

Se marcó con cintas 4 ramas primarias de 10 plantas y con frecuencia semanal o quincenal se realizaron siete registros de su longitud entre los 12 y 71 días después del transplante.

Los resultados se analizaron en rangos de longitud que se contaron una vez agrupados. Los rangos usados fueron dos: menores (10 -15 cm.) y mayores (16 – 20 cm.).



Foto 6: Planta con ramas primarias marcadas para su evaluación

2. HOJA

Se evaluó el tipo de margen foliar durante la fase sexual o reproductiva.

3. INFLORESCENCIA

- **Desarrollo de Inflorescencia**

Se evaluó el estado fenológico de la planta en el que se diferencia la inflorescencia y sus características de duración y término.

Se definieron los estados de desarrollo de la inflorescencia que se presentan en la tabla 4 y se registró la fecha en las que el 25% de la planta se encontraba en uno u otro de dichos estados.

Para un mejor orden, estas medidas se registraron durante la primera floración y en las ramas primarias y secundarias de cada planta. Estas características se evaluaron en 20 plantas de cada grupo fenotípico a los 13, 31, 39, 57, 65, 72, 79 y 85 días después del transplante.

Tabla 4: Tabla de descriptores de los estados que puede adoptar la inflorescencia

Marcador	Estados
	1 Botón (Foto 7)
	2 Floración (Foto 8)
Flor principal	3 Fructificación 25% (Foto 9)
Rama primaria	4 Fructificación 50% (Foto 10)
Rama secundaria	5 Fructificación 100% (Foto 11)
	6 Maduración (Foto 19)

Por medio de estas evaluaciones se obtuvieron las siguientes variables:

- Inicio de floración, fructificación y maduración de: la Primera floración, Rama primaria y Rama secundaria.
- Duración de los estados de botón, floración y fructificación de: la Primera floración, Rama primaria y Rama secundaria.

Estados del Desarrollo de la Inflorescencia



Foto 7: Estado 1 (Botón)



Foto 8: Estado 2 (Floración)



Foto 9: Estado 3
(Fructificación 25%)



Foto 10: Estado 4
(Fructificación 50%)



Foto 11: Estado 5
(Fructificación 100%)

Estados de la roseta de la planta de maca en su Fase Generativa



Foto 12. Segunda Fase Vegetativa

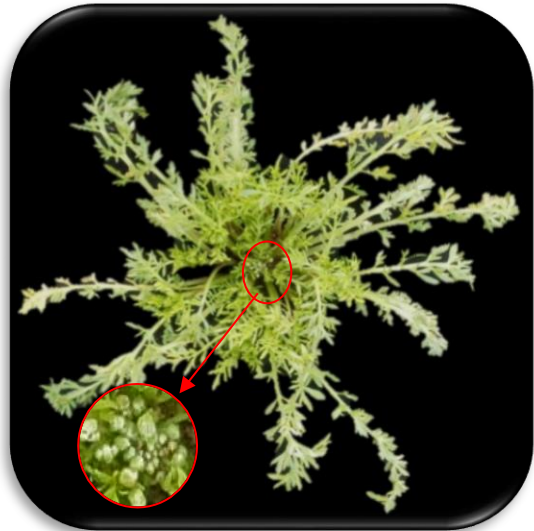


Foto 13. Botón (Estado 1) de la Primera Floración



Foto 14: Floración (Estado 2) en Rama Secundaria y Fructificación (Estado 4) en Rama Primaria.



Foto 15: Fructificación en Rama Secundaria (Estado 3) y en Rama Primaria (Estado 4)



Foto 16: Fructificación Rama Primaria (Estado 5) y Rama Secundaria (Estado 4)

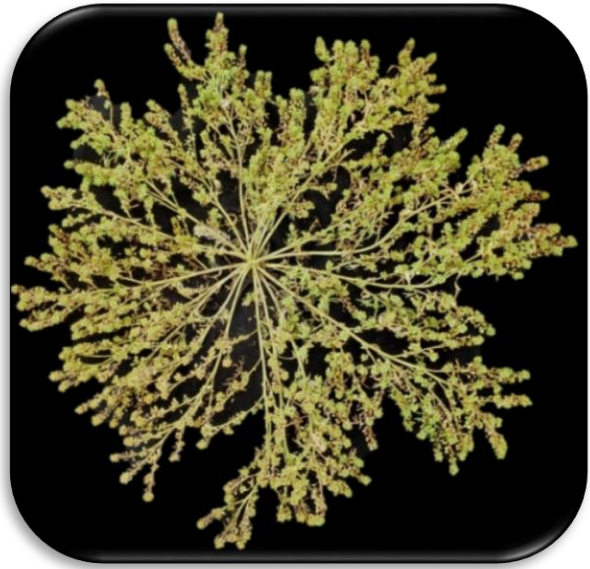


Foto 17: Fructificación (Estado 5) de la Rama Primaria y Rama Secundaria

- **Número de inflorescencia por planta, rama primaria y secundaria:** Para esta característica se contó el número de inflorescencia por rama secundaria en cinco plantas por grupo fenotípico: con los resultados se obtuvo el número promedio de inflorescencias por rama principal y por planta.

4. FLOR

Las características morfológicas de la flor de la maca fueron evaluadas en cuatro fechas durante la floración de las ramas primarias y secundarias. Se tomaron flores al azar en plantas en estado de plena floración. Los datos fueron tomados por observación en microscopio estereoscópico y se obtuvo un porcentaje con respecto al total de flores evaluadas por grupo fenotípico. Las características registradas fueron las siguientes:

Sépalos	: Número, color y forma
Pétalos	: Número, color y forma
Estambres	: Número
Anteras	: Color, tipo de dehiscencia
Ovario	: Número de lóculos y tipo de placentación
Estigma	: Forma

5. FRUTO

- Tipo de fruto
- **Número de frutos por inflorescencia:** Se contó el número de frutos de las inflorescencias localizadas en las ramas secundarias de cinco ramas primarias de cinco plantas por grupo fenotípico. Con esta información se obtuvo la cantidad de frutos por rama secundaria, primaria y por planta de cada grupo fenotípico.



Foto 18: Inicio de la maduración (Estado 6)



Foto 19: Maduración (Estado 6)

6. SEMILLA

- Forma, color y número de semillas por fruto.
- Longitud y ancho de la semilla.
- **Número de semillas por planta, rama primaria y secundaria:** Este valor se obtuvo del número promedio de frutos por planta, o por rama primaria o por rama secundaria multiplicados por dos (número de semillas por fruto).

C. Sistema reproductivo

Con el propósito de confirmar la autogamia de la flor de maca, se excluyeron 10 ramas principales por grupo fenotípico con bolsas de papel glacine. En la madurez se evaluó la presencia de frutos.



Foto 20: Rama Primaria excluida

D. Biología reproductiva

- **Número total de días del ciclo completo de la fase sexual:** Esta característica se registró en la oportunidad en la que las plantas tenían más del 50% de maduración de los frutos.

E. Producción de semillas

- **Peso promedio de la semilla:** Se escogieron al azar 1000 semillas que se pesaron en una balanza de alta precisión. Con el resultado y con el número de semillas por planta se determinó el porcentaje de pérdida de semillas durante la cosecha.
- **Rendimiento de semillas:** Esta característica fue determinada con el resultado del número total de semillas por planta y el peso promedio de las semillas. De esta manera se obtuvo el rendimiento por hectárea y el rendimiento por planta.
- **Porcentaje de pérdida de semillas:** Fue determinado entre la diferencia del promedio general del número de semillas por planta y el número de semillas cosechadas por planta.

3.5 ANALISIS ESTADISTICO

Para el manejo de datos y análisis de resultados se empleó la estadística descriptiva, que se encarga de la recolección, clasificación y presentación de los datos. Se empleó la determinación de estadísticas puntuales como el promedio y la moda, también la estadística de dispersión como el rango, desviación estándar y coeficiente de variación,

El modelo experimental empleado en el presente trabajo de investigación fue un Diseño completamente al azar (DCA) con 4 tratamientos y 20 repeticiones. Adicionalmente se realizaron pruebas Tukey para comparaciones de medias de tratamientos con diferencias significativas y análisis de efectos simples.

Se realizaron análisis de correlación para determinar la relación entre algunas variables evaluadas como: Diámetro de roseta, Número Total de Ramas Primarias, Número de Ramas Primarias (Tipo 1 y 2) y Número de Ramas Primarias (Tipo 3) con el Número de Inflorescencias; Número de Inflorescencias, Número de Ramas Secundarias y Tipo de Rama Primaria con el Número de Frutos.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. CRECIMIENTO DE LA PLANTA

- **Diámetro de roseta**

En el Cuadro y Figura 1, se observa que la roseta de todos los grupos fenotípicos presentó su mayor ritmo de crecimiento entre los 20 y 58 días después del trasplante (ddt). Entre los 12 y 20 ddt el crecimiento promedio diario fue 0.32 cm, siendo el grupo Amarillo el de mayor crecimiento. Luego entre los 20 y 58 ddt el crecimiento diario fue de 0.71 cm en el que las plantas de hipocotilo Negro presentaron mayor ritmo de crecimiento. Finalmente, entre los 58 y 86 ddt el ritmo de crecimiento fue de 0.19 cm, siendo los grupos Negro y Amarillo los de mayor y menor crecimiento respectivamente. A los 86 ddt se tuvo el máximo crecimiento, siendo las rosetas de los grupos Negro y Amarillo los de mayor y menor diámetro.

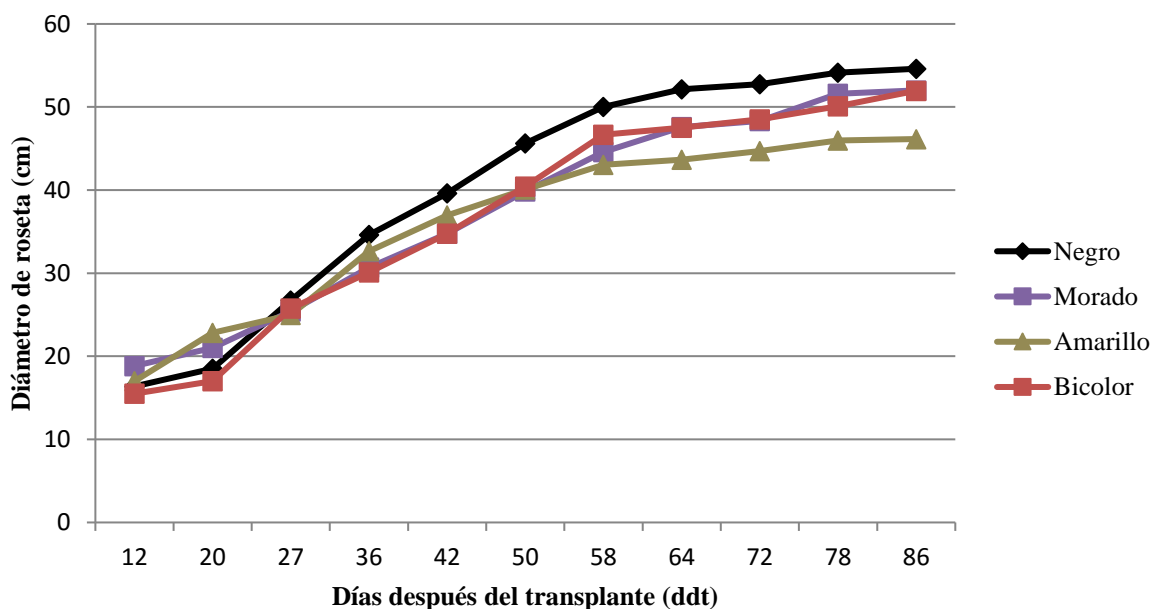
Cuadro 1. Ritmo de crecimiento del diámetro de roseta de plantas de cuatro grupos fenotípicos de maca en condiciones del IRD Sierra de la UNALM

GRUPO FENOTIPICO	DIAS DESPUES DEL TRASPLANTE										
	12	20	27	36	42	50	58	64	72	78	86
NEGRO											
Promedio	16.38	18.50	26.73	34.60	39.60	45.63a	50.00	52.13	52.77	54.15	54.60
% del máx.	30	34	49	63	73	84	92	95	97	99	100
MORADO											
Promedio	18.83	21.00	25.40	30.70	34.77	39.83b	44.60	47.60	48.32	51.58	52.00
% del máx.	36	40	49	59	67	77	86	92	93	99	100
AMARILLO											
Promedio	17.00	22.83	25.00	32.63	36.97	40.10b	43.03	43.67	44.70	45.96	46.15
% del máx.	37	49	54	71	80	87	93	95	97	100	100
BICOLOR											
Promedio	15.50	17.00	25.77	30.10	34.77	40.43b	46.67	47.50	48.53	50.11	51.96
% del máx.	30	33	50	58	67	78	90	91	93	96	100
PROMEDIO GENERAL											
Promedio	16.93	19.83	25.73	32.01	36.53	41.50	46.08	47.73	48.58	50.45	51.18
% del máx.	33	39	50	63	71	81	90	93	95	99	100

En la Figura 1, se observa que las plantas de todos los grupos fenotípicos presentaron un crecimiento lento durante los 12 y 20 ddt; entre los 20 y 58 ddt tuvieron un crecimiento lineal y, entre los 58 y 86 ddt un crecimiento casi nulo.

A partir de los 27 ddt el diámetro promedio de roseta de las plantas de hipocotilo Negro fue mostrándose mayor respecto al de los otros grupos mientras que el diámetro de rosetas de las plantas de hipocotilo amarillo fue mostrándose como el menor a partir de los 50 ddt; el diámetro de rosetas de los grupos Morado y Bicolor fue intermedio. Las diferencias entre diámetros de rosetas de los grupos Negro y Amarillo fueron estadísticamente significativas a partir de los 50 ddt (Anexo 1 y 2). Aliaga (1995) y Ponce (1997) reportaron promedios de diámetro de rosetas algo diferentes a los aquí encontrados y estas diferencias se deben muy probablemente a las diferentes condiciones climáticas en las que se realizaron estas evaluaciones.

Figura 1. Diámetro de roseta en los cuatro grupos fenotípicos de maca



4.2 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS

A. EL TALLO

En general, los resultados confirman las descripciones de Chacón (1990) y Obregón (1998), sin embargo, en el presente trabajo se encontraron tallos principales de tamaño muy corto (Foto 21), medianos (Foto 22) y plantas con más de un tallo principal aunque estos últimos se encontraron en frecuencia muy baja (Foto 23).

Según Font Quer (1965), el tallo puede dividirse en ramas que se agrupan en ramas madres, primarias, secundarias y terciarias (diccionario de términos agrícolas, 2005). En el presente trabajo se define que el tallo principal de las plantas de la fase generativa, se ramifica en ramas primarias y estas en ramas secundarias.



Foto 21: Tallo pequeño



Foto 22: Tallo mediano



Foto 23: Raíz con 3 tallo principales

En la Foto 24, se presenta las diferentes estructuras caulinares aéreas de una planta en fase generativa. La Rama Principal fue denominada como Rama Generativa Principal por Aliaga y Tallo Secundario por Chacón; de la misma forma, se presenta la Rama Secundaria como equivalente a la que Aliaga denominó como Rama Generativa Secundaria.

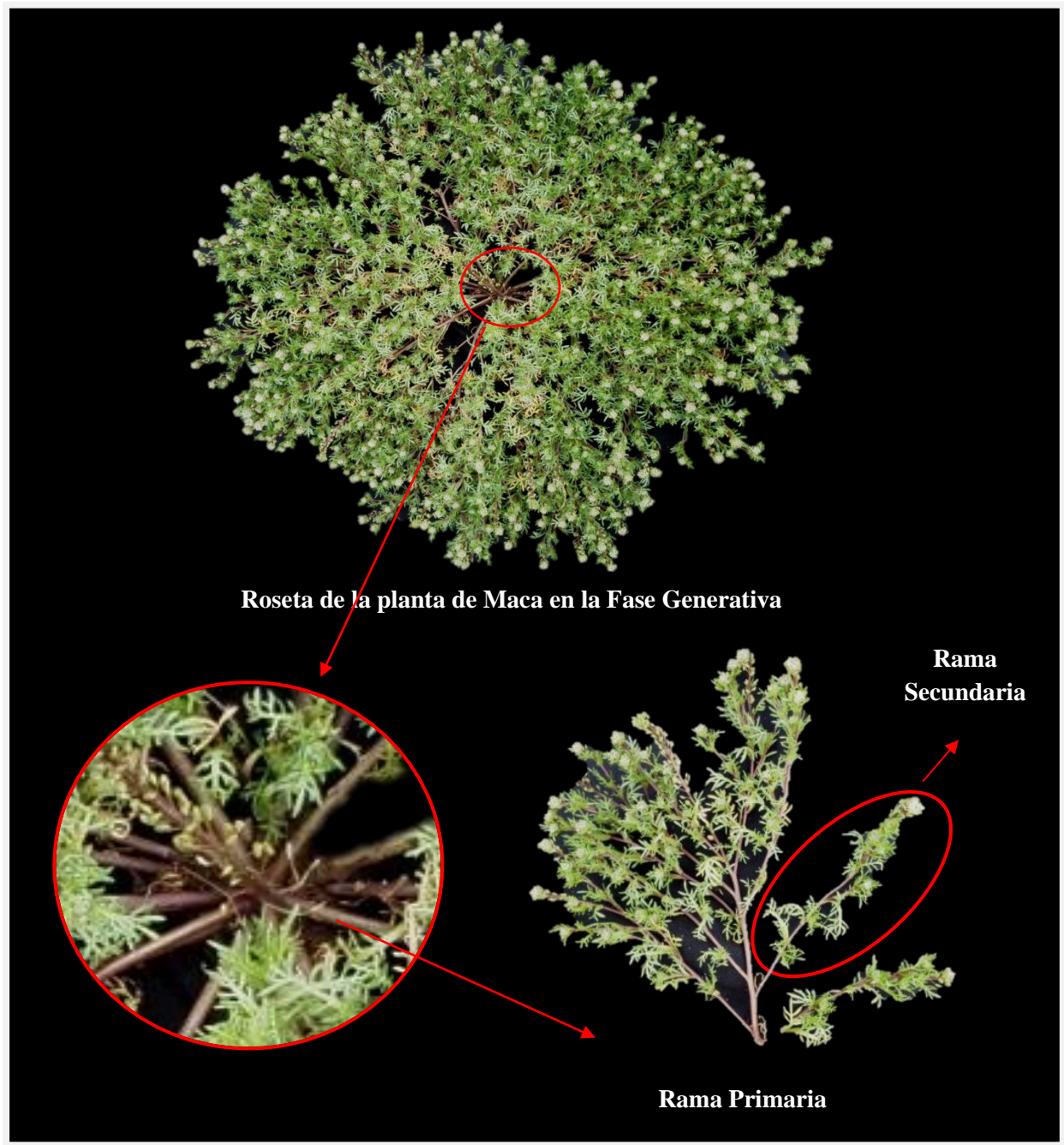


Foto 24: Partes de la planta de Maca en la Fase Generativa

Para una mejor comprensión, en el presente trabajo, se propone dividir las ramas primarias según su longitud en “Ramas Primarias Menores” y “Ramas Primarias Mayores” (Foto 25). Esto se debe a que no todas las ramas primarias inician su desarrollo en el mismo periodo o a que su diferenciación ocurre en diferentes momentos.

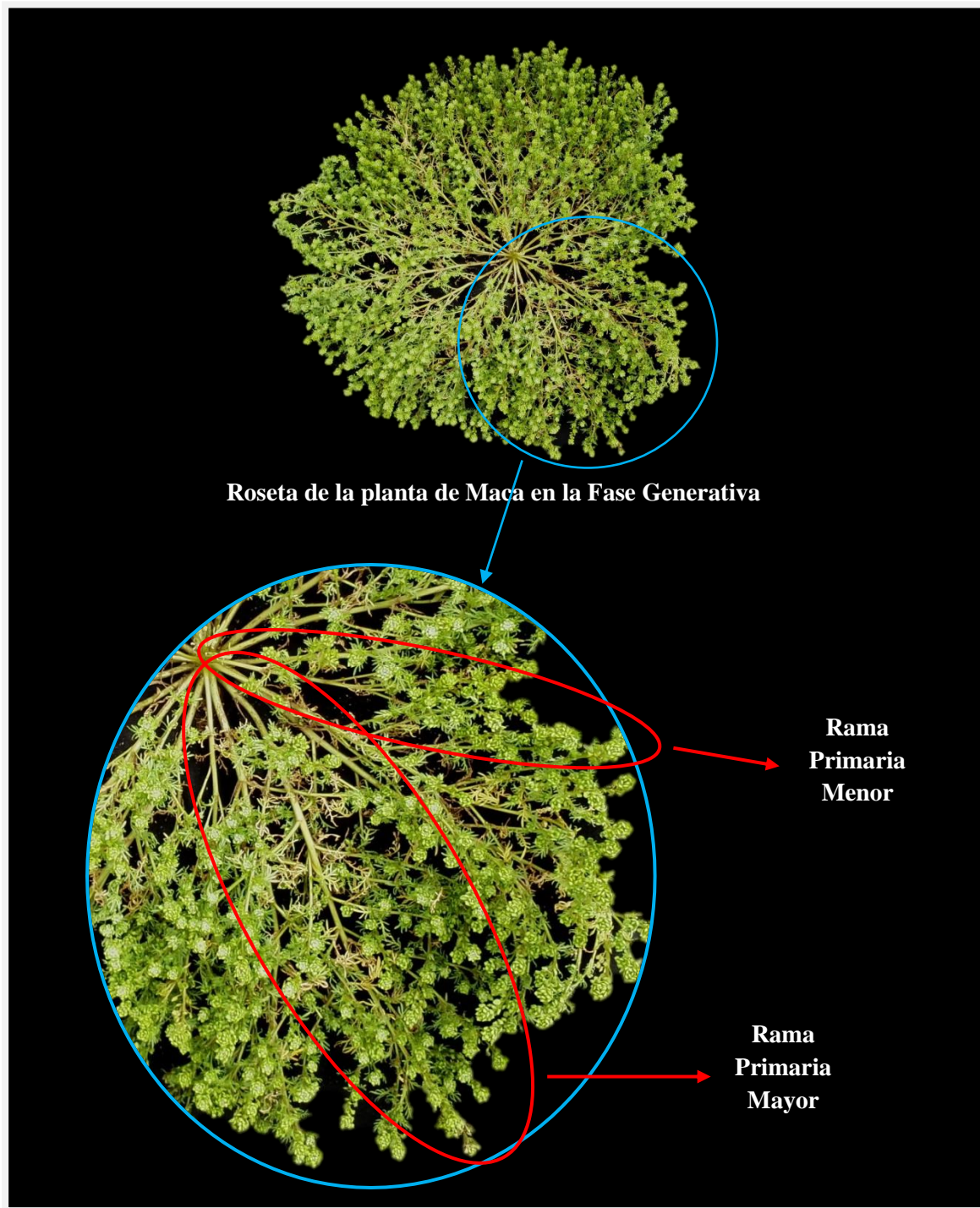


Foto 25: Ramas Primarias Mayores y Menores

Por otra parte, en el presente trabajo se encontraron ramas con diferente número de inflorescencias por lo que se propone clasificar las ramas primarias en los siguientes tres tipos: Tipo 1: Ramas primarias con ramas secundarias de solo una inflorescencia (Foto 26), Tipo 2: Ramas primarias con ramas secundarias con 2 a 5 inflorescencias (Foto 27), y Tipo 3: Ramas primarias con ramas secundarias que producen más de 5 inflorescencias (Foto 28). En las ramas de los Tipos 2 y 3 se presentan mayor número de inflorescencias en su parte central.



Foto 26: Rama primaria Tipo 1



Foto 27: Rama primaria Tipo 2



Foto 28: Rama primaria Tipo 3

- **Número de ramas primarias por planta**

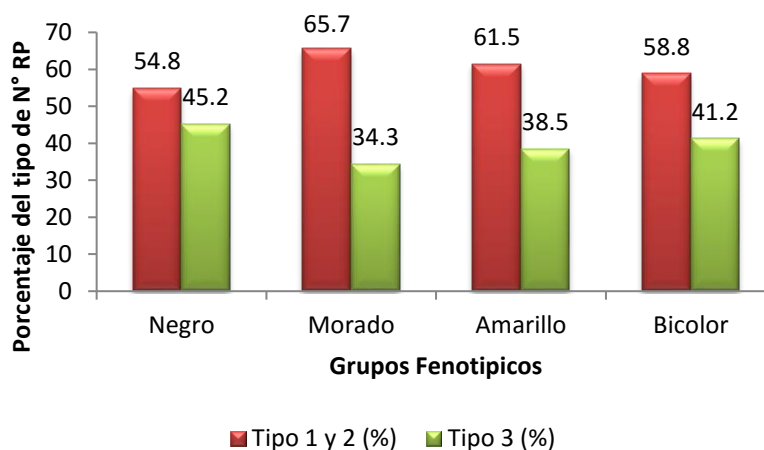
No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos fenotípicos tanto en el número de ramas primarias como entre los tipos de ramas (Anexo 3) debido a la amplia variabilidad de esta característica. En el Cuadro 2 se puede observar que el número total promedio de ramas primarias por planta es de 25.3 pero se presenta un amplio rango de variación (mínimo 16 ramas y máximo 39). El promedio general del número de ramas primarias tipo 1 y 2 fue de 15.3 y el de las ramas tipo 3 fue de 10.0. Aliaga (1995) encontró que el número promedio de ramas primarias del grupo amarillo fue mayor al promedio de ramas del grupo morado.

Cuadro 2. Número total de ramas primarias y de tipos de ramas

Grupo Fenotípico		N° Ramas Primarias	N° Rama Primaria	
			Rama Tipo 1 y 2	Rama Tipo 3
Negro	Promedio	23.0	12.6	10.4
	Min	16.0	3.0	1.0
	Max	26.0	22.0	13.0
	Des. Est	4.1	6.7	5.3
Morado	Promedio	28.6	18.8	9.8
	Min	21.0	1.0	4.0
	Max	39.0	35.0	22.0
	Desv. Est	7.4	12.7	7.4
Amarillo	Promedio	23.4	14.4	9.0
	Min	19.0	6.0	4.0
	Max	30.0	25.0	14.0
	Desv. Est	5.6	8.8	4.4
Bicolor	Promedio	26.2	15.4	10.8
	Min	22.0	1.0	1.0
	Max	30.0	28.0	22.0
	Desv. Est	3.8	12.0	9.2
Promedio General		25.3	15.3	10.0

En la Figura 2, se puede observar que el porcentaje del número de ramas primarias de los Tipos 1, 2 y 3 por planta son similares estadísticamente entre los grupos fenotípicos. También se puede apreciar que más de la mitad del número de ramas primarias por planta son del tipo 1 y 2. Sin embargo, los porcentajes de Tipos de rama en las plantas del grupo Morado difieren del resto.

Figura 2. Porcentaje del número de ramas primarias según su tipo



- **Número de ramas secundarias por planta**

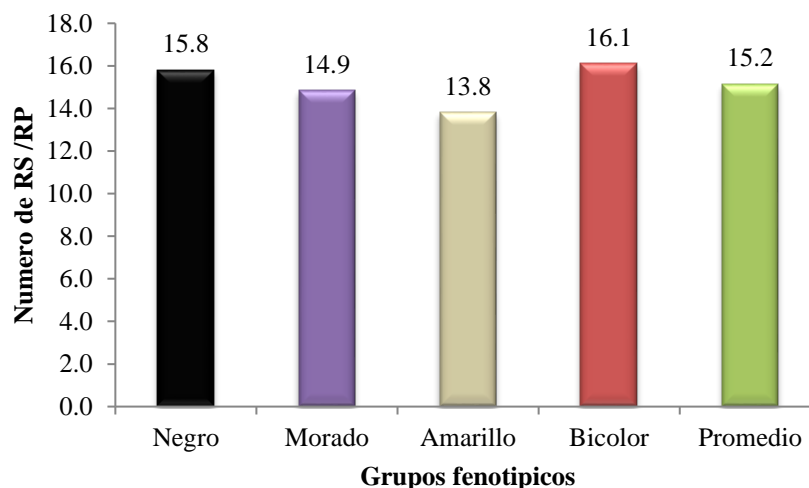
Con respecto al número de ramas secundarias por planta (Cuadro 3), no se encontró diferencias estadísticamente significativas entre los grupos fenotípicos (Anexo 4). En el cuadro 3 se puede apreciar que en las condiciones del IRD Sierra se presentó alta variabilidad (220 hasta 608 ramas secundarias) con un promedio general de 383 ramas secundarias por planta.

Cuadro 3. Número de ramas secundarias por planta

Grupo Fenotípico	Promedio	Mín	Max	Desv. Est
Negro	363.8	220.0	504.0	134.7
Morado	425.0	318.0	608.0	119.5
Amarillo	323.0	252.0	384.0	48.2
Bicolor	422.4	338.0	591.0	101.7
Promedio General	383.6	282.0	521.8	101.0

En la Figura 3 se presenta promedios de ramas secundarias por rama primaria y se aprecia que sus valores son similares entre los grupos fenotípicos. De estos resultados se rescata el número promedio de 15 ramas secundarias por rama primaria. Aliaga (1995) encontró resultados similares al del presente trabajo.

Figura 3. Número de ramas secundarias por rama primaria



- **Crecimiento de Ramas Primarias**

En los Cuadros 4 y 5 se presenta los promedios de Ramas Primarias Menores y Mayores en 7 fechas de evaluación y sus porcentajes de longitud respecto al máximo. A la segunda semana las plantas de los grupos fenotípicos ya tenían el 50% de su longitud máxima de ramas primarias Menores y Mayores, alcanzando su máximo crecimiento a las 10 semanas. En general, la longitud máxima de ramas primarias mayores y menores estuvo definida entre la quinta y sexta semana después del transplante.

También se observa que el promedio de longitud de las ramas primarias “Menores” y “Mayores” de todos los grupos fenotípicos presentó su mayor tasa de crecimiento entre los 12 y 41 ddt (0.28 y 0.31 cm / día respectivamente). Luego entre los 41 y 71 ddt el crecimiento diario fue de 0.06 cm tanto en las longitudes de las Ramas Primarias “Menores” como en las “Mayores”.

Cuadro 4. Longitud promedio de ramas primarias “Menores” en 7 evaluaciones durante su desarrollo.

GRUPO FENOTIPICO	DIAS DESPUES DEL TRASPLANTE						
	12	19	33	41	50	57	71
NEGRO							
Promedio	12.07	16.00	21.27	22.53	23.17	24.00	24.10
% del máx.	50	66	88	93	96	100	100
MORADO							
Promedio	11.76	15.47	19.94	21.44	21.85	22.62	23.00
% del máx.	51	67	87	93	95	98	100
AMARILLO							
Promedio	12.13	14.31	17.81	19.31	20.16	20.63	21.38
% del máx.	57	67	83	90	94	96	100
A-COLOR							
Promedio	11.93	13.93	17.43	18.46	19.50	19.89	20.25
% del máx.	59	69	86	91	96	98	100
Promedio Gral.	11.97	14.93	19.11	20.44	21.17	21.78	22.18
% del máx.	54	67	86	92	95	98	100

Cuadro 5. Longitud promedio de ramas primarias “Mayores” en 7 evaluaciones durante su desarrollo.

GRUPO FENOTIPICO	DIAS DESPUES DEL TRASPLANTE						
	12	19	33	41	50	57	71
NEGRO							
Promedio	16.60	21.40	26.80	28.00	30.30	31.10	32.10
% del máx.	52	67	83	87	94	97	100
MORADO							
Promedio		22.00	26.00	30.00	30.50	31.00	31.00
% del máx.		71	84	97	98	100	100
AMARILLO							
Promedio	17.71	20.71	23.43	24.36	24.64	25.29	25.50
% del máx.	69	81	92	96	97	99	100
A-COLOR							
Promedio	17.56	20.89	23.22	25.00	25.39	26.89	26.89
% del máx.	65	78	86	93	94	100	100
Promedio Gral.	17.29	21.25	24.86	26.84	27.71	28.57	28.87
% del máx.	60	74	86	93	96	99	100

En la Figura 4, se puede observar que a partir de los 19 ddt la longitud promedio de las Ramas Primarias “Menores” fue mayor en las plantas de hipocotilo Negro y menor en las plantas de hipocotilos Amarillo y Bicolor. Se encontró diferencias estadísticas altamente significativa en la longitud promedio de ramas primarias “menores” a partir de los 19 ddt entre las plantas de hipocotilo Negro y Bicolor.

Figura 4. Longitud de la rama primaria “Menor” en diferentes evaluaciones.

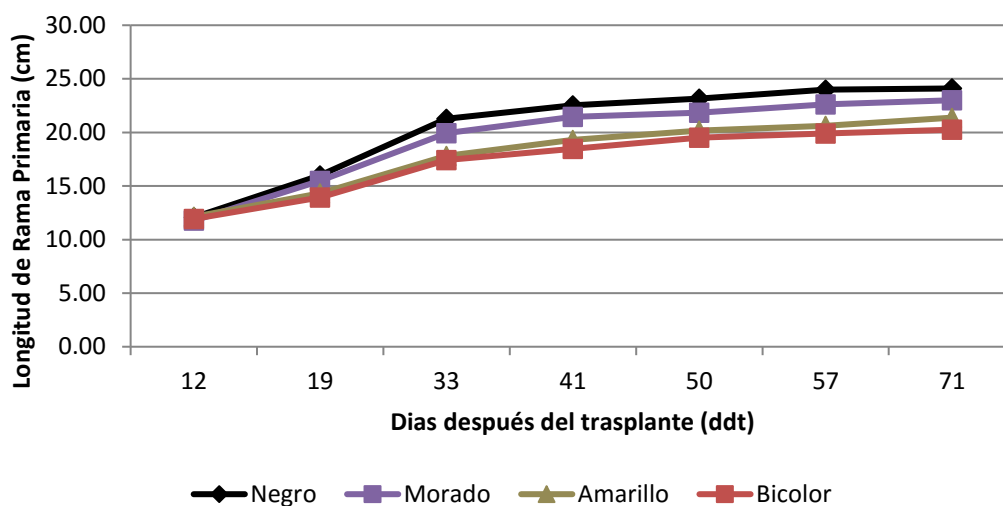
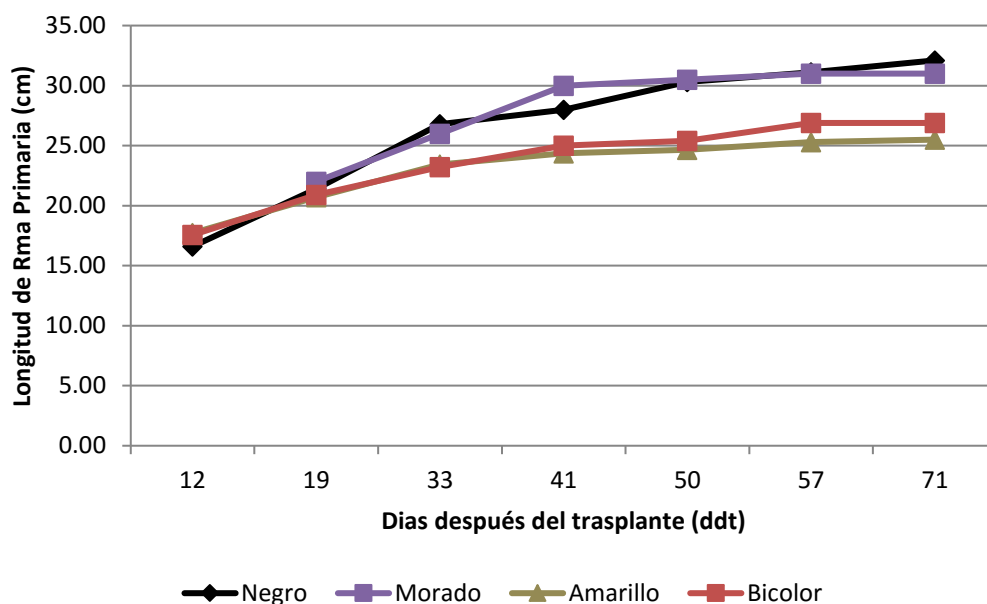


Figura 5. Longitud de la rama primaria “Mayor” en diferentes evaluaciones.



En la Figura 5 se observa que a partir de los 33 ddt la longitud promedio de las ramas primarias “Mayores” fue mayor (alrededor de 30 cm) en las plantas de los grupos Negro y Morado y menor (alrededor de 25 cm) en las plantas de los grupos Amarillo y Bicolor. Sin embargo, estas diferencias no fueron estadísticamente significativas (Anexo 7).

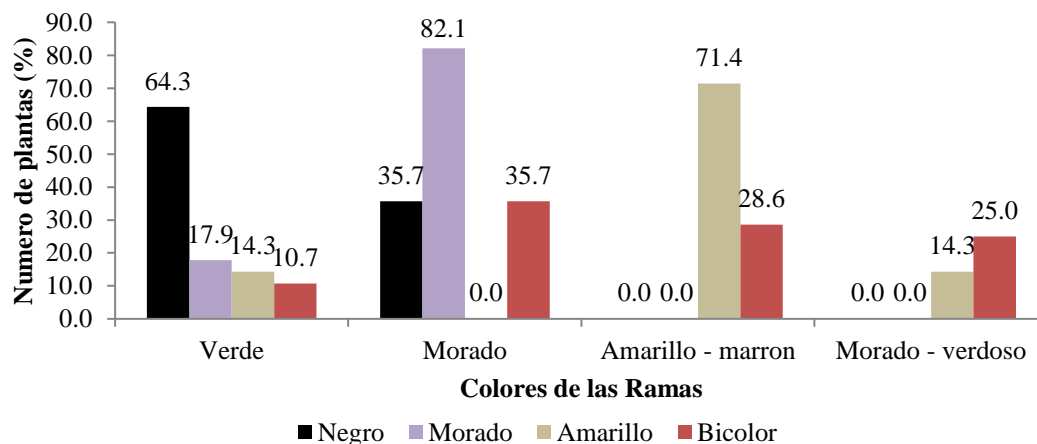
- **Color de la rama**

Las plantas de los grupos fenotípicos presentaron 4 diferentes colores de ramas: verde, morado, amarillo-marrón y morado verdoso. En el Cuadro y Figura 6 se puede apreciar que las plantas del grupo fenotípico Negro presentaron un mayor número de plantas con ramas verdes y moradas y ninguna planta presentó ramas de color amarillo-marrón ni morado verdoso. Las plantas derivadas de hipocotilo Morado presentaron una alta frecuencia de plantas con ramas de color morado y ninguna de color amarillo marrón o morado verdoso. Contrariamente, en las plantas de hipocotilo Amarillo se encontró un mayor porcentaje de plantas con ramas de color amarillo marrón y las plantas de hipocotilos bicolors mostraron todos los colores de ramas.

Cuadro 6. Número de plantas de acuerdo al color de la rama por grupo fenotípico.

Grupo Fenotípico	Verde	Morado	Amarillo - marrón	Morado - verdoso	Total
Negro	18	10	0	0	28
Morado	5	23	0	0	28
Amarillo	4	0	20	4	28
Bicolor	3	10	8	7	28

Figura 6. Porcentaje del número de plantas de acuerdo al color de la rama.



En conclusión, el color de las ramas puede ayudar a estimar el color de hipocotilo de procedencia: Las ramas de color verde indicarían una alta probabilidad de que el hipocotilo de procedencia es de color negro; las ramas moradas están asociadas a hipocotilos morados; plantas con ramas amarillo marrones procederían de hipocotilos amarillos; de igual manera, existiría alta probabilidad de que cualquier color de ramas indicaría que el hipocotilo de procedencia es bicolor.

B. LAS HOJAS

Al igual que lo reportado por Chacón (1990), en el presente trabajo se encontró dos tipos de hojas: basales y caulinares.

- **Hojas Basales:**

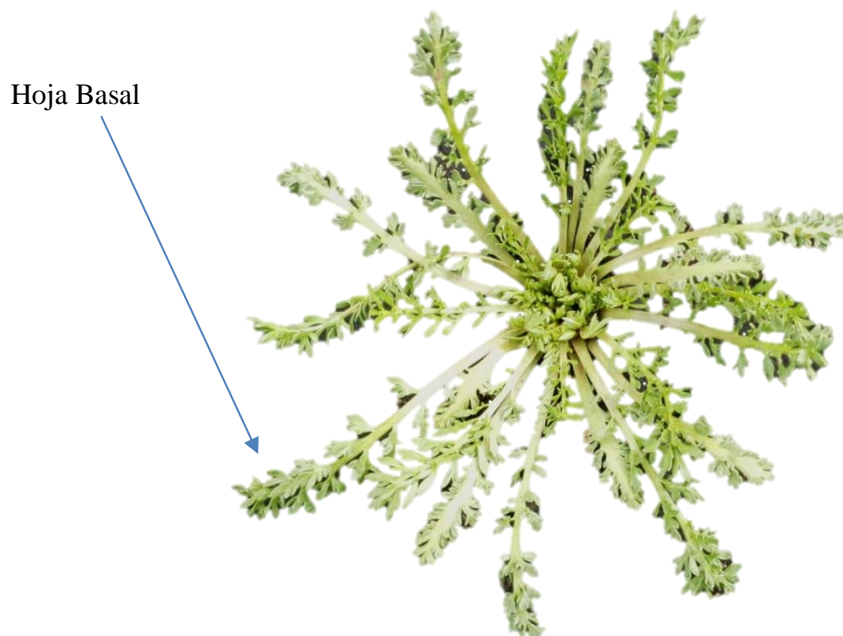


Foto 29: Hojas basales de la Fase Generativa

Son hojas que se presentan durante todo el periodo de la fase vegetativa; en la fase generativa son caducas y están presentes hasta la formación de botones de la primera floración. La disposición de las hojas basales es arrosetada, de hojas largamente pecioladas y se caracterizan

por ser más grandes que las hojas caulinares. Con la ayuda de la Dra. Mercedes Flores, docente del Departamento de Botánica de la UNALM, se determinó que la disectividad de las hojas basales son bipinnatisectas y tripinnatisectas lo que difiere por lo reportado por Tello *et al.* (1992) y Aliaga (1999), quienes indicaron que las hojas basales son compuestas. Asimismo, Chacón (2001), evaluó la disectividad de la hoja observándose que el limbo puede ser pinnatífidas y bipinnatífidas.

No se encontró diferencias en las características de hojas basales entre plantas de los diferentes grupos fenotípicos estudiados.

- **Las hojas caulinares**

Son hojas que se presentan en la fase generativa después de la formación de botones de la primera floración y forman parte de las ramas secundarias. La disposición de las hojas caulinares es alterna, de hojas cortamente pecioladas y se caracterizan por ser más pequeñas que las hojas basales. Con la Dra. Mercedes Flores (Comunicación Personal) se confirmó que las hojas caulinares son bipinnatisectas y tripinnatisectas lo que difiere con lo reportado por Chacón (1990) quien mencionó que el limbo es bipinnatífido; de Aliaga (1999) quien indicó que las hojas caulinares de la base presentan el limbo doblemente partido, las hojas intermedias pinnatipartidas y las hojas apicales ligeramente partidas, y en el 2004 mencionó que las hojas caulinares de los botones florales son enteras, lobadas o profundamente crenadas.

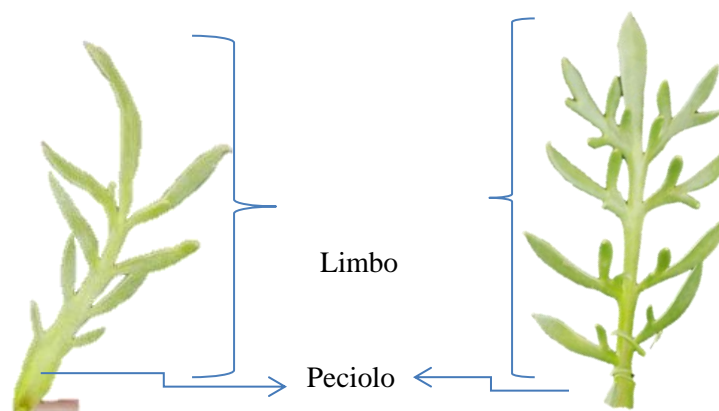


Foto 30: Hojas de la planta de maca con limbo pinnatisecto (izquierda) y limbo bi y tripinnatisecto (derecha)

C. INFLORESCENCIA

Las inflorescencias son racimos como lo reporta Chacón (1990 y 2001) y diferente a lo mencionado por Aliaga (1995 y 2004), quien mencionó que las inflorescencias son panículas. Las inflorescencias se sostienen por un pedúnculo muy corto, se forman de las yemas axilares de las hojas tanto en ramas primarias como secundarias. Las inflorescencias con mayor número de flores se encuentran en los extremos superiores de las ramas. Al igual que lo reportado por Aliaga (1995 y 2004), en el presente trabajo se encontró tres tipos de inflorescencia en estado de primera floración: flores solitarias, pequeños racimos simples y muy rara vez pequeños racimos compuestos.

No se encontró diferencias en las características de las inflorescencias de las plantas de los diferentes grupos fenotípicos estudiados.



Foto 31: Racimos de la planta de maca en la fase reproductiva

- **Desarrollo de la Inflorescencia**

En los Cuadros 07 al 12 se registra los tiempos de inicio y duración de los estados de desarrollo de la inflorescencia desde que se hace visible el botón floral (Estado 1) hasta el inicio de la

maduración del fruto (Estado 6) en las inflorescencias de la Primera Floración (PF), de las Ramas Primarias (RP) y de las Ramas Secundarias (RS).

En los Cuadros 7 y 8 se observa que el Inicio y Duración de cada Estado de la inflorescencia de Primera Floración es estadísticamente similar en todos los grupos fenotípicos (Anexo 8). Los resultados destacan que la primera floración ocurre muy temprano (6 días después del transplante) y que en promedio el Desarrollo total de la Primera Inflorescencia fue de 73 días (aproximadamente de 10 semanas). Aliaga (1995) encontró que la planta de maca inicia su primera floración a los 43 ddt y a los 64 ddt la gran mayoría de plantas iniciaron su primera floración.

Cuadro 7. Inicio (Días después del transplante) de los estados de desarrollo de la inflorescencia de la primera floración

Estado	Negro	Morado	Amarillo	Bicolor
1 (Botón)	6.0	6.0	6.0	6.0
2 (Floración)	13.0	13.0	13.0	13.0
3 (Fructificación 25%)	31.0	31.0	32.2	31.0
4 (Fructificación 50%)	39.0	39.0	41.7	39.0
5 (Fructificación 100%)	57.8	57.0	58.2	57.8
6 (Maduración)	72.7	72.0	73.1	72.7

Cuadro 8. Duración (días) de los estados de desarrollo de la inflorescencia de la primera floración

Estado	Negro	Morado	Amarillo	Bicolor
1 (Botón)	7.0	7.0	7.0	7.0
2 (Floración)	18.0	18.0	19.2	18.0
3 (Fructificación 25%)	8.0	8.0	9.5	8.0
4 (Fructificación 50%)	18.8	18.0	16.5	18.8
5 (Fructificación 100%)	14.9	15.0	14.9	14.9
PDI (Periodo del desarrollo de la inflorescencia)	66.7	66.0	67.1	66.7

La Rama Primaria, en los Cuadros 9 y 10 se puede observar que el Inicio y Periodo de desarrollo de cada estado de las inflorescencias de ramas primarias es similar estadísticamente en todos los grupos fenotípicos (Anexo 8). Sin embargo, se encontró diferencias menos estrechas entre el grupo Amarillo con el resto de los grupos. En general el promedio del Desarrollo de la

inflorescencia de la Rama Primaria fue de 71 ddt, con un rango de 68 a 73 ddt y el Periodo Total de desarrollo fue de 84 ddt con un rango de 81 a 86 ddt. Por otro lado, Aliaga (1995) encontró que el inicio del botoneo de ramas principales ocurrió durante los dos y tres meses después del transplante y que el desarrollo de botones-flores-frutos duró 77 ddt.

Cuadro 9. Inicio (Días después del transplante) de los estados de desarrollo de la inflorescencia de la rama primaria.

Estado	Negro	Morado	Amarillo	Bicolor
1 (Botón)	13.0	13.0	13.0	13.0
2 (Floración)	31.0	30.0	31.0	32.6
3 (Fructificación 25%)	39.0	39.0	39.0	42.6
4 (Fructificación 50%)	63.4	61.8	59.1	61.7
5 (Fructificación 100%)	71.7	72.7	67.2	71.3
6 (Maduración)	84.7	85.7	80.9	84.5

Cuadro 10. Período (días) de los estados de desarrollo de la inflorescencia de la rama primaria.

Estado	Negro	Morado	Amarillo	Bicolor
1 (Botón)	18.0	17.0	18.0	19.6
2 (Floración)	8.0	9.0	8.0	10.0
3 (Fructificación 25%)	24.4	22.8	20.1	19.1
4 (Fructificación 50%)	8.3	10.9	8.1	9.6
5 (Fructificación 100%)	13.1	13.0	13.7	13.2
PDI (Periodo del desarrollo de la inflorescencia)	71.7	72.7	67.9	71.5

Por último el inicio y duración de los estados de desarrollo de las inflorescencias de la Rama Secundaria, es similar estadísticamente entre los grupos fenotípicos (Cuadro 11, Anexo 8). Sin embargo, en el Cuadro 12 se puede rescatar que el promedio general del Periodo de Desarrollo de Inflorescencia fue de 55 ddt, con un rango de 51 ddt como mínimo y de 57 ddt como máximo y el Periodo Total de desarrollo fue de 85 ddt con un rango de 82 ddt como mínimo y 88 ddt como máximo. Aliaga (1995) encontró que la aparición de botones secundarios fue durante los tres y tres meses y medio después del transplante, el inicio de maduración de los frutos fue durante los 3.5 y 4 meses ddt y que el desarrollo de botones-flores-frutos duró 53 ddt.

Cuadro 11. Inicio (Días después del trasplante) de los estados de desarrollo de la inflorescencia de la rama secundaria.

Estado	Negro	Morado	Amarillo	Bicolor
1 (Botón)	31.0	31.0	31.0	31.0
2 (Floración)	39.0	39.0	39.0	39.0
3 (Fructificación 25%)	59.8	60.6	58.2	58.2
4 (Fructificación 50%)	69.6	72.7	67.5	70.6
5 (Fructificación 100%)	77.2	81.6	75.9	80.6
6 (Maduración)	86.4	88.0	82.3	86.8

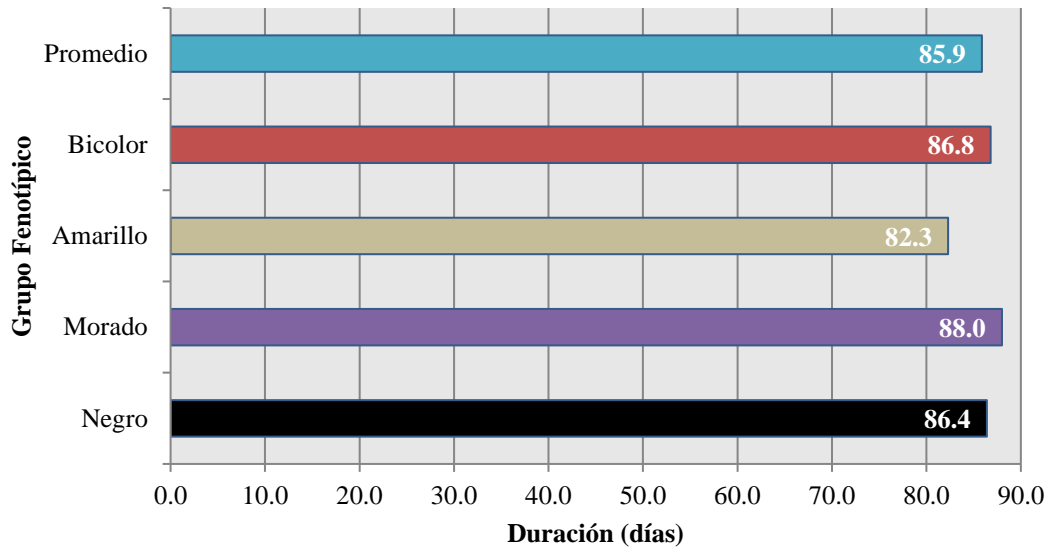
Cuadro 12. Período (días) de los estados de desarrollo de la inflorescencia de la rama secundaria.

Estado	Negro	Morado	Amarillo	Bicolor
1 (Botón)	8.0	8.0	8.0	8.0
2 (Floración)	20.8	21.6	19.2	19.2
3 (Fructificación 25%)	9.8	12.1	9.3	12.4
4 (Fructificación 50%)	7.7	8.9	8.4	10.0
5 (Fructificación 100%)	9.2	6.4	6.5	6.3
PDI (Periodo del desarrollo de la inflorescencia)	55.4	57.0	51.3	55.8

- **Período de la Fase reproductiva**

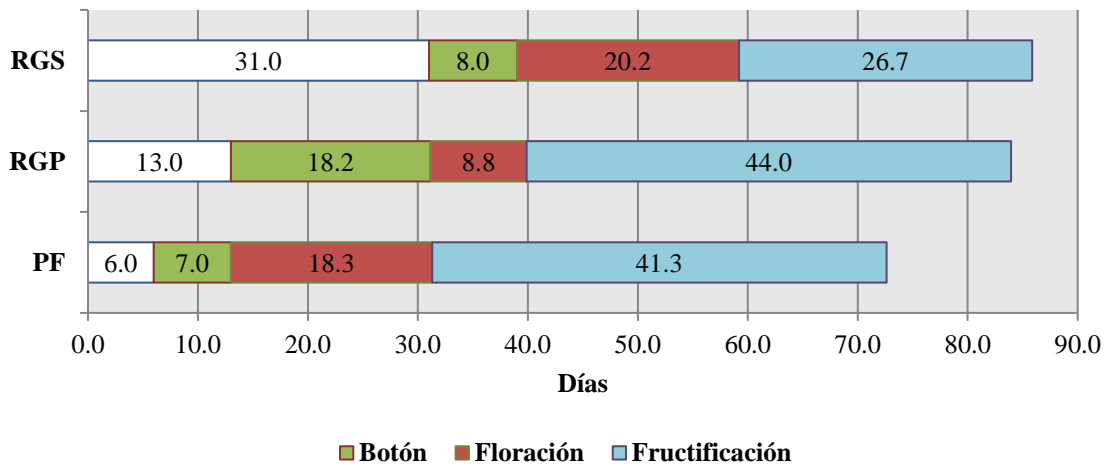
En el Figura 7, se puede observar que en general el período de la fase reproductiva de las plantas de los grupos fenotípicos, para condiciones del IRD Sierra fue semejante y de aproximadamente tres meses (86 días después de trasplante). Estos resultados son diferentes a lo reportado por Tello et al (1992) y, Tapia y Frías (2007) quienes mencionaron que esta fase duró de 190 a 210 días. Asimismo, Aliaga (1995) registró que la fase sexual de la maca fue de 146 días y en 1999 afirmó que la fase generativa dura entre 4.5 y 6 meses. Probablemente estas diferencias se deben también a las diferentes condiciones climáticas en las que fueron observadas las plantas en su fase sexual.

Figura 7. Período (días) total de desarrollo de inflorescencia



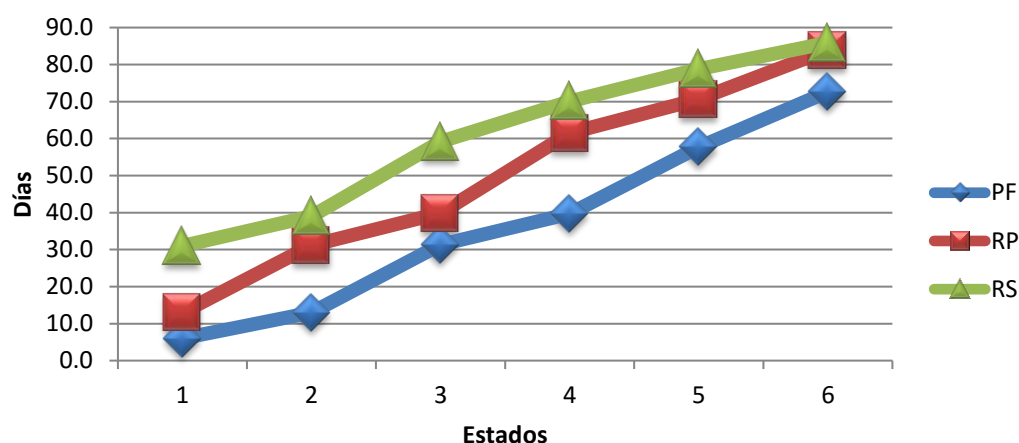
En la Figura 8, se observa que todos los estados de la Primera Floración se inician mucho antes debido a que es el primero en brotar, luego la Rama Primaria y posteriormente la Rama Secundaria. Por tanto, la Primera Floración es el primero en terminar el PDI, luego la Rama Primaria y por último la Rama Secundaria. Sin embargo, se rescata que el promedio general del estado botón y floración fue similar en la Primera Floración y Rama Secundaria, y del estado fructificación fue similar en la Primera Floración y Rama Primaria.

Figura 8. Período (días) de los estados del desarrollo de la inflorescencia de la primera floración (PF) y de las ramas primarias (RP) y secundarias (RS)



En la Figura 9, se observa que hubo un lento desarrollo del botón en la Primera Floración y Rama Secundaria y un desarrollo más rápido en la Rama Primaria. Luego el desarrollo de la floración fue lenta en la Rama Primaria y más rápida en la Primera Floración y Rama Secundaria, y por último un desarrollo acelerado de la fructificación en las tres estructuras de las plantas.

Figura 9. Desarrollo de las estructuras de la planta en la fase generativa.



- **Número de Inflorescencia**

No se encontró diferencias estadísticamente significativas en el número de inflorescencias entre los grupos fenotípicos (Anexo 9). En el Cuadro 13 se puede observar que en las condiciones del IRD Sierra el promedio general del número de Inflorescencias por planta fue de 1152, por rama primaria 46 y 3 por rama secundaria.

Cuadro 13. Número de Inflorescencia por planta, rama primaria y rama secundaria

Grupo Fenotípico	N° Inflorescencia/ Planta	N° Inflorescencia/ Rama Primaria	N° Inflorescencia/ Rama Secundaria
Negro	1182.8	51.4	3.3
Morado	1248.4	43.7	2.9
Amarillo	967	41.3	3.0
Bicolor	1207.8	46.1	2.9
Promedio	1151.5	45.6	3.0

En el Cuadro 14, se observa una gran amplitud en el rango de variación del número de inflorescencias por planta (519 hasta 2104 inflorescencias por planta).

Cuadro 14. Número de inflorescencia por planta

Grupo Fenotípico	Promedio	Min	Max	Desv. Est
Negro	1182.8	565	1549	371.6
Morado	1248.4	684	1985	492.4
Amarillo	967.0	562	1324	343.2
Bicolor	1207.8	519	2104	626.8
Promedio	1151.5	582.5	1740.5	458.5

Los resultados de relaciones existentes entre el número de inflorescencias y el diámetro de roseta y el número de ramas se presentan en el Cuadro 15. Como era de esperar, las relaciones entre el Diámetro de roseta, Número de Ramas Primarias (Tipo 3) y Número de Inflorescencias mostraron una relación directa altamente significativa. Es decir, que las rosetas más grandes y las plantas con mayor número de ramas primarias (Tipo3) presentaron mayor número de inflorescencias.

Sin embargo se encuentra una relación inversa significativa entre el Número de Ramas Primarias (Tipo 1 y 2) y Número de Inflorescencias, lo que indica que el número de ramas primarias (Tipo 1 y 2) son menos eficientes en la producción de inflorescencias y en consecuencia semillas y si hay más de ellos están haciendo competencia lo que resultaría un menor número de inflorescencias.

Para los casos del Número Total de Ramas Primarias y Número de Inflorescencias, observamos que es una relación indirecta e directa respectivamente pero no significativas. Por lo que la correlación entre estas variables resulta inconsistente.

Cuadro 15. Coeficiente de correlación entre el diámetro de roseta y número de ramas y el número de inflorescencias

Características	Correlación (r)
Diámetro de roseta y Número de Inflorescencias	0.755 **
Número Total de Ramas Primarias y Número de Inflorescencias	- 0.120 ns
Número de Ramas Primarias (Tipo 1 y 2) y Número de Inflorescencias	- 0.631 **
Número de Ramas Primarias (Tipo 3) y Número de Inflorescencias	0.872 **

ns = No significativa
 * = Significativa a nivel 0.05
 ** = Significativa a nivel 0.01

D. FLOR

En el presente trabajo se encontró que la flor es completa, pequeña, actinomorfa e hipoginea. Estas características confirman lo reportado por Chacón (1990, 2001) y Aliaga (1995 y 2001). No se encontró diferencias en las características de las flores entre las plantas de los diferentes grupos fenotípicos estudiados.



Foto 32: Partes de la flor de maca

1. Cáliz

Al igual que lo reportado por Chacón (1990) y Aliaga (1995), en el presente trabajo se encontró que el cáliz es dialisépalo y de simetría regular. Sin embargo, se difiere con ambos autores en el número de sépalos. En el presente trabajo se encontró cálices con 4 y 5 sépalos aunque estos últimos fueron de muy baja frecuencia.

Por otro lado, se encontró que los sépalos son de color verde con color blanquecino en los bordes, estas características fueron similares a lo reportado por Chacón (1990) y diferentes a lo reportado por Aliaga (1995), quien indicó que su color varía entre el verdoso, violáceo o verde – violáceo.

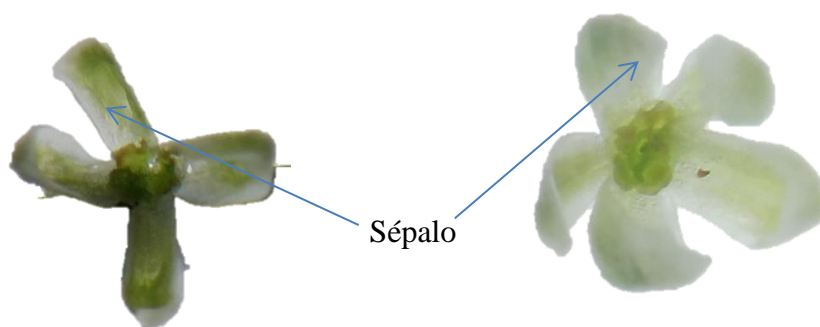


Foto 33: Cálices con 4 y 5 sépalos

2. Corola

En el presente trabajo se encontró que la Corola es dialipétala regular, con 4 pétalos de color blanco que alternan con los sépalos (alterninsépalos). Estas características confirman lo reportado por Chacón (1990) y Aliaga (1995).



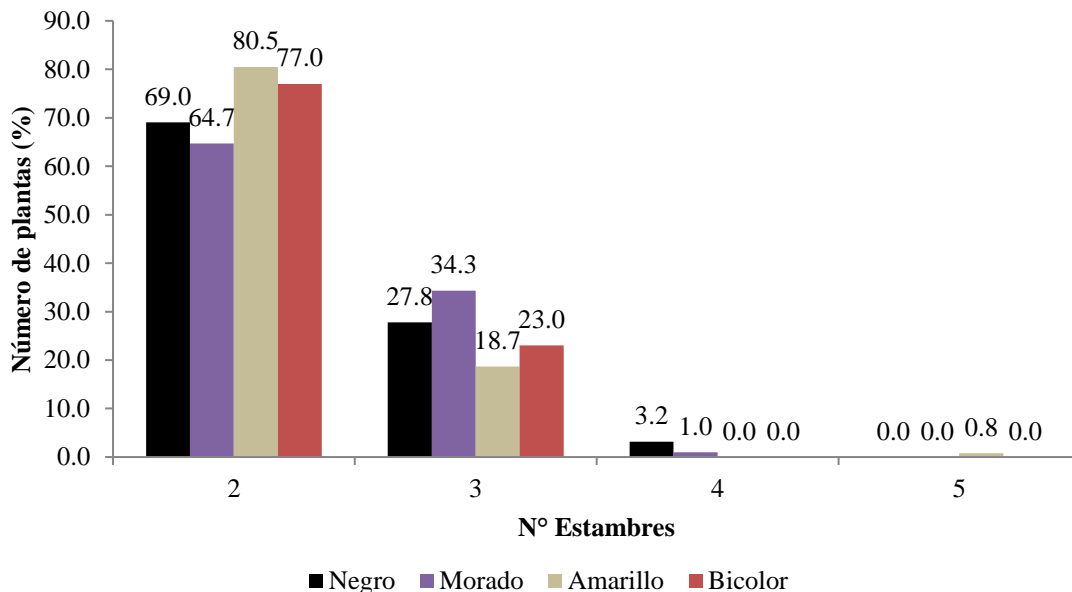
Foto 34: Corolas de 4 pétalos

3. Androceo

Al igual que lo reportado por Chacón (1990 y 2001) y Aliaga (1995 y 2004), en el presente trabajo se encontró que las anteras son ditésicas, basifijas y con dehiscencia longitudinal. Sin embargo, ambos difieren con relación a la presencia de 4 estaminodios (Chacón) o 4 nectarios (Aliaga). Con ayuda de la Dra. Mercedes Flores, se confirmó lo reportado por Chacón (1990) de que trata de estaminodios y no así de nectarios (Foto 36).

En la Figura 10, se observa que las plantas que derivan de hipocotilo Negro y Morado presentaron una mayor porcentaje de flores con 2 y 3 estambres y un bajo porcentaje de flores con 4 estambres. Mientras que en las plantas de hipocotilo Amarillo se encontraron un mayor porcentaje de flores con 2 estambres y un bajo porcentaje de flores con 5 estambres. Las plantas de hipocotilo Bicolor mostraron flores con 2 y 3 estambres.

Figura 10. Porcentaje del número de plantas de acuerdo al número de estambres por grupo fenotípico



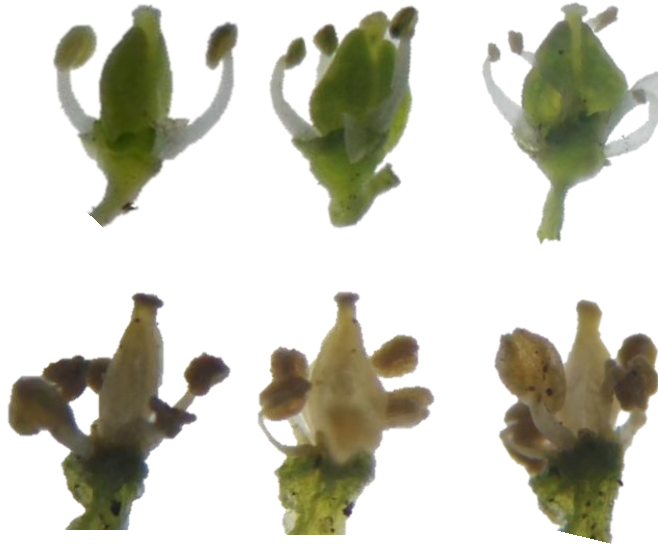


Foto 35: Número de estambres (2, 3, 4 y 5)

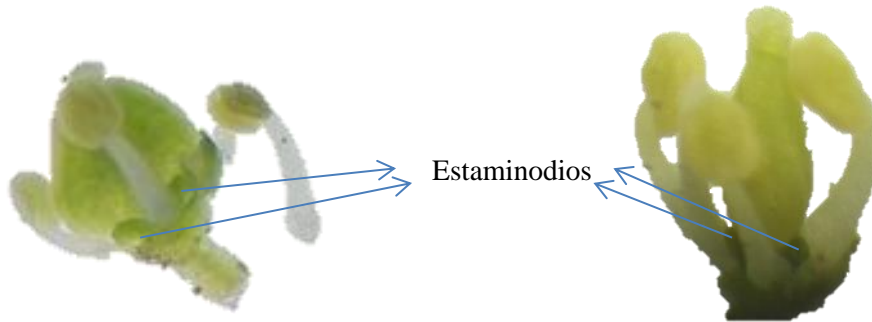


Foto 36: Estaminodios



Foto 37: Anteras ditésicas

4. Gineceo

En el presente trabajo, se encontró que el gineceo es sincárpico, con ovario supero, bicarpelar, bilocular, con estilo muy reducido y con el estigma pequeño y globoso. Estas características confirman lo reportado por Chacón (1990 y 2001), Aliaga (1995 y 2004), y Quiroz y Aliaga (1997). Sin embargo, en el tipo de placentación se confirma lo reportado por Chacón (1990 y 2001), observándose que la placentación es axial apical y se difiere de lo reportado por Aliaga (2004 y 1995) y Quiroz y Aliaga (1997), quienes mencionaron que la placentación es tabical superior.

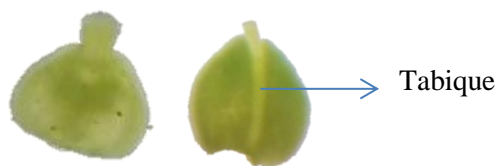


Foto 38: Ovario

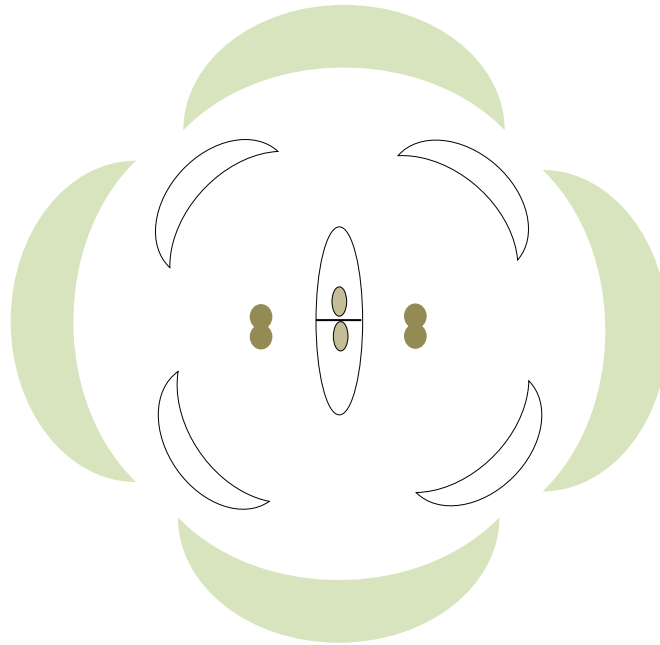


Foto 39: Óvulos anátropos

Fórmula floral:

En el presente trabajo, se encontró que la fórmula floral es: $K_4 C_4 A_{2-5} \underline{G}_{(2)}$. Estos resultados son diferentes a lo reportado por Chacón (1990 y 2001), Aliaga (1995) y Quiroz et al. (1996), quienes indicaron que la fórmula floral es $K_{2-2} C_{04} A_{2-4} G_{(2)}$; $K_4 C_4 A_2 \underline{G}_{(2)}$ y $K_4 C_4 A_{2-4} G_2$ respectivamente.

Figura 11. Diagrama floral de la maca



La flor de Maca consta de 4 sépalos, 4 pétalos; el androceo tiene 2 estambres; el gineceo está formado por 2 lóculos y un ovario de placentación axial apical.

E. FRUTO

El fruto es una silícula dehiscente; cada fruto contiene dos semillas separadas por un tabique. Estas características confirman lo mencionado por Chacón (1990 y 2001), Tello et al. (1992), Aliaga (1995, 1999 y 2004), Quiroz y Aliaga (1997) y Marín (2003).

Todos los grupos presentaron un rango de variación del tamaño del fruto de 3.0 a 4.0 mm de largo y de 1.0 a 4.0 mm de ancho. Chacón (1990, 2001) quien señaló que el fruto mide de 2.8 a 3.3 mm de largo por 2.5 mm de ancho, Aliaga (1995, 1999 y 2004) y Quiroz y Aliaga (1997) señalaron que mide 2 mm aproximadamente y Marín (2003) señala de 4 a 5 mm de largo. Probablemente estas diferencias del tamaño del fruto se deben a los diferentes ambientes en los se registraron estas cifras.

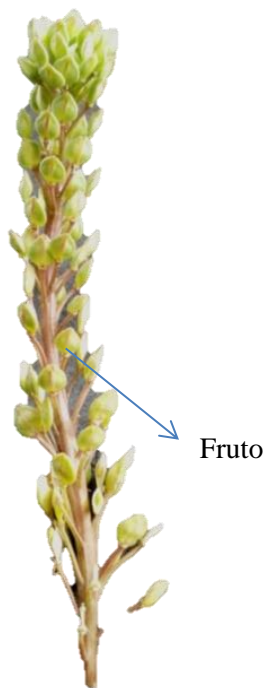


Foto 40: Fruto (silícula) de la maca

- **Número de frutos**

En el número de frutos no se encontró diferencias estadísticas entre los grupos fenotípicos (Anexo 10). En el Cuadro 16, se observa que en condiciones del IRD Sierra el promedio general del número de frutos por planta es de 23427, con un mínimo de 13609 y un máximo de 39429 frutos.

Cuadro 16. Número de frutos por planta

Grupo Fenotípico	Promedio	Min	Max
Negro	19563.8	13609.6	22115.6
Morado	28914.6	21231.0	39429.0
Amarillo	21794.8	17696.6	27942.0
Bicolor	23433.3	19676.8	26832.0
Promedio	23426.6	18053.5	29079.7

En el Cuadro 17, se observa que el promedio general del número de frutos por rama primaria es de 921,9 frutos por rama secundaria y 15 por inflorescencia.

Cuadro 17. Número de frutos por rama primaria, rama secundaria e inflorescencia

Grupo Fenotípico	N° Frutos/ Rama Primaria	N° Frutos/ Rama Secundaria	N° Frutos/ Inflorescencia
Negro	850.6	51.9	15.5
Morado	1011	57.4	14.1
Amarillo	931.4	55.4	13.6
Bicolor	894.4	48.6	16.3
Promedio	921.9	53.3	14.9

Las relaciones entre el Número de Inflorescencias, Tipo de Rama Primaria y Número de Frutos se indicaron que existe relación directa altamente significativa (Cuadro 18). Como era de esperar, las plantas con mayor número de inflorescencias presentaron mayor número de frutos, y a las plantas con ramas primarias tipo 3 presentaron mayor número de frutos.

Sin embargo se encuentra una relación directa significativa entre el número de ramas secundarias y número de frutos, lo que indica a un mayor número de ramas secundarias se mostró un mayor número de frutos.

Cuadro 18. Coeficiente de correlación entre el número de inflorescencias y ramas y tipo de rama primaria con el número de frutos

Características	Correlación (r)
Número de Inflorescencias - Número de Frutos	0.971**
Número de Ramas Secundarias - Número de Frutos	0.473*
Tipo de Rama Primaria - Número de Frutos	0.817**

* = Significativa a nivel 0.05

** = Significativa a nivel 0.01

F. SEMILLA

Al igual que lo reportado por Chacón (1990 y 2001), Aliaga (1995, 1999, 2004), Quiroz y Aliaga (1997) y Marín (2003), en el presente trabajo se encontró que las semillas son pequeñas y ovoides. Todos los grupos presentaron un rango de variación del tamaño de 1.0 a 2.0 mm de largo y de 0.9 a 1.0 mm de ancho.

Estos resultados se encontraron muy similares a los obtenidos por Aliaga (1995, 1999 y 2004), Quiroz y Aliaga (1997) y difieren ligeramente con lo reportado por Chacón (1990 y 2001) quien mencionó que el tamaño varía de 0.8 a 0.9 mm de largo y Marín (2003) de 2.0 a 2.5 mm de largo. Aliaga (1995) mencionó que la longitud de semillas que provienen del grupo amarillo es menor al grupo morado. Probablemente estas diferencias del tamaño de semilla se debe a los diferentes climas en los que fueron evaluados tal como menciona Pérez (2000) afirmando que las semillas son de menor tamaño en altitudes de 3000 a 4200 msnm.

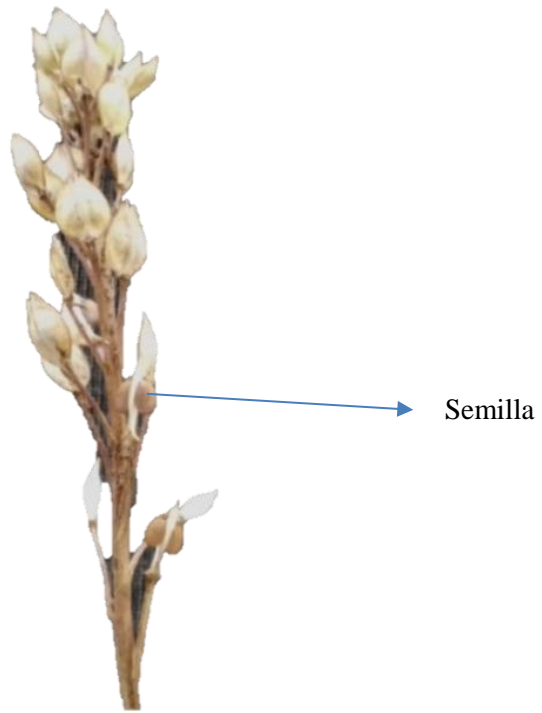


Foto 41: Semilla de maca



Foto 42: Longitud de semilla

En el presente trabajo se encontró cinco colores de semillas: negro, marrón, marrón claro, anaranjado y anaranjado claro. Estos resultados se encontraron muy similares a lo reportado por Aliaga (1995, 1999 y 2004) y Quiroz y Aliaga (1997). Marín (2003) encontró semillas de color rojo grisáceo.



Foto 43: Semillas de color negro



Foto 44: Semillas de color marrón



Foto 45: Semillas de color marrón claro

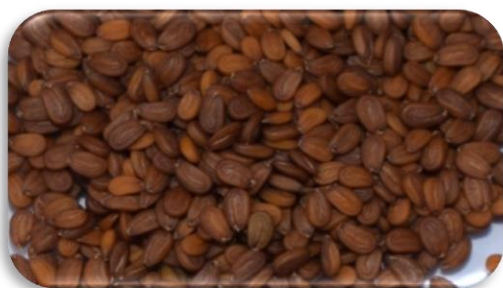


Foto 46: Semillas de color anaranjado



Foto 47: Semillas de color anaranjado claro

4.3 SISTEMA REPRODUCTIVO

En el Cuadro 19, se observa que el número de semillas de las ramas primarias excluidas (Foto 47) es cero, por tanto podríamos inducir que la planta de maca es alógama para todos los grupos fenotípicos.

Cuadro 19: Número de inflorescencias y semillas por rama primaria excluida

Grupo Fenotípico	Ramas Primarias excluidas	Inflorescencias excluidas	N° Semillas
Negro	2	15	0
Morado	2	12	0
Amarillo	2	10	0
Bicolor	2	11	0
Promedio General	2	12	0



Foto 48: Rama primaria excluida después de cosecha

Estos resultados difieren de lo mencionado por Aliaga (1995), Quiroz *et al.* (1996) y Ponce (1998), quienes reportaron que la maca se reproduce por autopolinización. Sin embargo, se recomienda realizar una investigación más profunda ya que la exclusión de la rama y sus inflorescencias mediante la bolsa de papel glacyne podría haberse creado condiciones que afectaron los procesos de polinización, fertilización y posterior fecundación de las semillas.

4.4 PRODUCCIÓN DE SEMILLAS

- **Peso promedio de semillas**

El peso promedio de 1000 semillas fue de 0.619 gramos, siendo similar a lo reportado por Aliaga (1995), quien mencionó que el peso fue de 0.6394 g.

- **Número de semillas**

No se encontraron diferencias estadísticas entre los grupos fenotípicos en la característica de número de semillas (Anexo 10). En el Cuadro 20, se observa que el promedio general de semillas por planta es de 46853, por rama primaria 1844, por rama secundaria 107 y por inflorescencia 30. De la misma manera, se observó que existe un gran rango de variación en el número de semillas por planta, teniendo como mínimo un aproximado de 39000 semillas y un máximo de 58000 semillas por planta.

Aliaga (1995) mencionó que el promedio general de semillas por planta fue de 32,162 semillas, 1,588 por rama primaria y 110 por rama secundaria; además indicó que las plantas del grupo amarillo produjeron mayor número de semillas que las del grupo morado.

Cuadro 20. Número de semillas

Grupo Fenotípico	Número de semillas por			
	Planta	Rama Primaria	Rama Secundaria	Inflorescencia
Negro	39128	1701	104	31
Morado	57829	2022	115	28
Amarillo	43590	1863	111	27
Bicolor	46867	1789	97	33
Promedio	46853	1844	107	30

En el Cuadro 21, se puede observar que en promedio general el rendimiento de semillas por planta es de 29 gramos con rango aproximado de 24 gramos como mínimo y 35 gramos como máximo. Tello *et al* (1992) mencionaron que el rendimiento de semilla por planta fue de 3.52 g; Aliaga (1995) reportó que cada planta produce aproximadamente 14 g de semillas y Obregón (1998) encontró 20 g de semillas por planta.

Cuadro 21. Rendimiento en gramos por planta

Grupo Fenotípico	Rendimiento en gramo por planta
Negro	24.2
Morado	35.8
Amarillo	27.0
Bicolor	29.0
Promedio	29.0

De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente trabajo, se puede estimar que el rendimiento de semillas es de 95.7 g por m² y de 966.7 kg/ha con una densidad de cultivo de tres plantas por m². Tello *et al* (1992) determinó que el rendimiento de semilla fue de 14.1 g por m², 266 kg/ha bajo riego y en condiciones de secano 299 kg/ha de plantas del grupo amarillo y en otro estudio realizado a 4200 msnm obtuvo un rendimiento de 141 kg/ha con una densidad de 4 plantas por m².

- **Porcentaje de pérdida de semilla**

Con relación al porcentaje de pérdida de semilla no se encontró diferencias estadísticas entre los grupos fenotípicos (Anexo 11). En el Cuadro 22 se puede observar que el promedio general del porcentaje de pérdida de semillas es de 57% en los grupos fenotípicos con un mínimo de 14% y llegando a perder como máximo 97%, estas diferencias tan amplias se debe a la gran variación de las observaciones.

Cuadro 22. Porcentaje de pérdida de semilla

Grupo Fenotípico	Promedio (%)	Min (%)	Max (%)	Desv. Est
Negro	63.5	35.4	82.0	16.3
Morado	51.9	27.7	82.2	22.2
Amarillo	45.2	14.2	82.1	18.2
Bicolor	68.8	58.3	96.7	15.9
Promedio	57.3	33.9	85.8	18.1

V. CONCLUSIONES

- Se ha definido tres estados fenológicos en el ritmo de crecimiento de la roseta: Crecimiento Inicial, Crecimiento Lineal y Pleno crecimiento.
- Se propone reemplazar las denominaciones de rama generativa primaria, tallo secundario y rama generativa secundaria por rama primaria y rama secundaria.
- De acuerdo a su dimensión se propone que las ramas primarias se clasifiquen en Rama Primaria Mayor y Rama Primaria Menor y que estas se clasifiquen en tres tipos de acuerdo a su número de inflorescencias.
- Las plantas muestran gran variación en el número de ramas primarias y ramas secundarias, en el número de inflorescencias por planta y en el número de semillas. Se encontró que el peso promedio de 1000 semillas es de 0.619 g.
- Solamente el diámetro de roseta y la longitud de rama primaria son estadísticamente diferentes entre los grupos fenotípicos.
- Se propone cinco estados del Desarrollo de la Inflorescencia: presencia de botones (Estado 1), floración (Estado 2), fructificación al 25% (Estado 3), fructificación al 50% (Estado 4) y fructificación al 100% (Estado 5).
- Las descripciones de la maca indican que las flores presentan 4 sépalos y 2-4 estambres; en la presente investigación se encontró flores con 5 sépalos o con 5 estambres y 4 estaminodios los cuales no son nectarios.
- Las pruebas con exclusión de inflorescencia no produjeron semilla sexual por lo que se asume que el sistema reproductivo de la maca sería alógama.
- El diámetro de roseta y el número de ramas primarias (Tipo 3) están correlacionados positivamente con el número de inflorescencias.

VI. RECOMENDACIONES

- Ampliar el conocimiento sobre la influencia ambiental en los estados de desarrollo de la floración y fructificación.
- Estudiar las variaciones en el número de inflorescencia en función a los tipos de ramas primarias.
- Ampliar las evidencias sobre el sistema de reproducción de la maca en función a otros agentes polinizantes.
- En la caracterización morfológica se recomienda realizar evaluaciones para definir descriptores de alta heredabilidad.
- En futuras investigaciones ampliar el número de plantas muestreadas para un registro de datos mas precisos.
- Continuar con las investigaciones incluyendo a otros grupos fenotípicos que se encuentran en la maca.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aliaga, R. 1995. Biología floral de la maca (*Lepidium meyenii* Walp). Tesis para optar al grado de Ingeniero Agrónomo. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. 86 p.
2. Aliaga, R. 1999. Guía para el cultivo, aprovechamiento y conservación de la maca (*Lepidium meyenii* Walpers). Santafé de Bogotá. Convenio Andrés Bello. 50p.
3. Aliaga, R. 2004. Raíces Andinas: Contribuciones al conocimiento y a la capacitación. La Maca. Lima, Perú. 376p.
4. Aliaga, R. 2009. Fundamentos Técnicos para la Denominación de Origen y Zonificación de la maca en la Meseta del Bombón Junín – Pasco.
5. Bianchi A. 2003. Maca *Lepidium meyenii*. Boletín Latino Americano y del caribe de plantas medicinales y aromáticas. 2:30-36.
6. Carrillo F.; Poma de Ayala G. 1992. Cronistas Indios y Mestizos. Lima, Perú. Editorial Horizonte. 343p.
7. Chacón de Popovici, G. 1990. La Maca (*Lepidium peruvianum* Chacón sp. nov.) y su Hábitat. Revista Peruana de Biología, Vol. 3(2): 171-272.
8. Chacón de Popovici, G. 1997. La importancia de *Lepidium peruvianum* Chacón (Maca) en la alimentación y salud del ser humano y animal 2000 años antes y después de Cristo y en el siglo XXI. Lima, Perú. 123p.

9. Chacón de Popovici, G.; Jara M. 1998. Análisis químico de la tierra de cultivo de la maca (*Lepidium peruvianum* Chacón) del Distrito de Carhuamayo, Junín. Muestra N°2. II Curso Nacional de Maca, del 3 al 5 de diciembre, Huancayo, Perú.
10. Chacón de Popovici, G. 2001. Maca (*Lepidium peruvianum* Chacón) Planta alimenticia milenaria del Perú con propiedades altamente nutricional y medicinal. Primera edición. Lima, Perú. 225p.
11. Chacón de Popovici, G. 2012. Descripción botánica de la maca *Lepidium peruvianum* Chacón (en línea). Consultado 5 nov. 2015. Disponible en <http://pachamaca.com/wp-content/uploads/2013/09/MACA-DESCRIPCIONBOTANICA-1990.pdf>
12. Cieza de León P. 1553. Crónica del Perú. Primera parte. 240 - 354p.
13. Cobo B. 1956. Historia del Nuevo Mundo. Biblioteca de autores españoles. 430p.
14. Córdova L, Vélchez J. 1980. El cultivo de maca. Mimeografiado. Cerro de Pasco, Perú. 3-4p.
15. Font Quer, P. 1982. Diccionario de botánica. Editorial Labor, S. A. Madrid, España. 1244 p.
16. Garay C., O. 1991. Cultivo de la Maca. Instituto Nacional de Investigación Agraria y Agroindustrial. Folleto N° 0.2/4 # 16-92. Lima, Perú. 28p.
17. García, A.; Chirinos V. 1999. Manual Técnico de Producción de Maca. Recetas culinarias de la maca ¡Poderoso reconstituyente! Agronegocios No. 4, Lima, Perú. 217-224p.
18. Gonzales F, Gustavo; Villaorduña, L.; Gasco, M.; Rubio, J.; Gonzales, C. 2014. Maca (*Lepidium meyenii* Walp), una revisión sobre sus propiedades biológicas. Rev. Perú Med Exp Salud Pública. 31(1):100-110.

19. León, J. 1964. Plantas alimenticias andinas. Instituto Interamericano de ciencias Agrícolas Zona Andina. Lima, Perú. 43-46p.
20. Marín, M. 2003. Histología de la maca, *Lepidium meyenii* Walpers (Brassicaceae). Revista peruana de biología 10 (1): 101-108.
21. Ministerio de Agricultura y Riego. 2015. Sistema Integrado de Estadística Agraria. Lima, Perú. 173 p.
22. Obregón, L. 1998. "Maca" Planta Medicinal y Nutritiva del Perú. 1era Edición, Instituto de Fitoterapia Americano, Lima, Perú. 182p.
23. Ochoa, C., Ugent, D. 2001. Maca (*Lepidium meyenii* Walp.; Brassicaceae): a nutritious root crop of the Central Andes. Econ. Bot. 55 (3): 344-345.
24. Palacín, Q. M. 1988. La Maca reina de las alturas. Revista Jirka. Año 1. Mayo-Julio, 1988. N° 1. Pasco. Perú.
25. Pérez A., Ángel. 2000. Manejo del cultivo de la maca, producción de semilla botánica. Lima, Perú. INIA. 20p. folleto N° 01-00.
26. Ponce A. D. 1997. Avances logrados en el mejoramiento genético de la maca (*Lepidium meyenii* Walp.). Maca; memoria del primer curso nacional de maca. Lima, Perú. 67-74p.
27. Pulgar Vidal, J. 1996. Conferencias Magistrales de Medicina Tradicional. Instituto Nacional de Medicina Tradicional. INMETRA. 9 - 11 diciembre de 1996.
28. Quirós, C.F.; Aliaga, R. 1997. Maca (*Lepidium meyenii* Walp.) En: Andean roots and tubers: ahipha, arracacha, maca and yacon. Promoting the conservation and use of under utilized and neglected crops. Hermann, M. and Hellers, J. editors. International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy. 173-198p.

29. Quirós, C.F.; Epperson, A.; Hu, J.; Holle, M. 1996. Physiological studies and determination of chromosome number in maca, *Lepidium meyenii* (Brassicaceae). *Economic Botany* 50: 216-223.
30. Rea, J. 1994. Andean roots – Maca. In: J.E. Hernando Bermejo and J. León (eds.). *Neglected Crops: 1492 from a Different Perspective*. 1994. *Plant Production and Protection Series No. 26*. FAO, Rome, Italy. 149–163. otro autor pone 165-179
31. Ruíz H. 1952. *Relación histórica del viaje a los reinos del Perú y Chile, 1777-1778*, Madrid. Acad. De Ciencias Exactas: Fis y Nat. 526p.
32. Sandoval C., L.; Giurfa M., A. 2000. *Cultivo y comercialización de la maca*. Primera edición. Perú. Librería editorial macro. 121p.
33. Sugden, A. 1986. *Diccionario ilustrado de la botánica*. Ed. Everest S.A. Madrid. 208p.
34. Tapia, M.; Fries, M. 2007. *Guía de campo de los cultivos andinos*. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación (FAO) y Asociación Nacional de Productores Ecológicos del Perú.
35. Tello J, Hermann M, Calderón A. 1992. La maca (*Lepidium meyenii* Walp): cultivo alimenticio potencial para las zonas alto andinas. *Boletín de Lima* No. 81: 59-66
36. Thellung, A. 1906. Die Gattung *Lepidium* (L.) R. Br. Einemono graphische Studie. *Neue Denkschrift Allgemeinen Schweizerischen Naturforscher Gesellschaft* 41: 1-340
37. Zhao J, Avula B, Chan M, Clement C, Kreuzer M, Khan IA. 2012. Metabolomic differentiation of maca (*Lepidium meyenii*) accessions cultivated under different conditions using NMR and chemometri canalysis. *Planta Med.* 78(1): 90-101.

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Análisis de Varianza del diámetro de roseta de cuatro grupos fenotípicos de maca en cuatro fechas de evaluación

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Cuadrados Medios			
		42 ddt	50 ddt	58 ddt	86 ddt
Grupo Fenotípico	3	79.17 *	114.8 *	135.92 **	153.38 **
Error	56	28.38	28.48	24.81	25.23
Total	59				
CV		15.2%	13.8%	12%	11.3%

* = Significativo al nivel P=0.05

** = Significativo al nivel P=0.01

Anexo 2: Prueba de Tukey del diámetro de roseta de cuatro grupos fenotípicos de maca en cuatro fechas de evaluación

Comparación entre Grupos Fenotípicos	Significancia			
	42 ddt	50 ddt	58 ddt	86 ddt
Negro-Morado	ns	*	*	ns
Negro-Amarillo	ns	*	*	*
Negro-Bicolor	ns	*	ns	ns
Morado-Amarillo	ns	ns	ns	*
Morado-Bicolor	ns	ns	ns	ns
Amarillo-Bicolor	ns	ns	ns	*

* = Significativo al nivel P=0.05

ns = No significativo

Anexo 3: Análisis de varianza del número de ramas primarias de cuatro grupos fenotípicos de maca

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Cuadrados Medios		
		N° Ramas Primarias Total	N° Ramas Primarias Tipo 1 y 2	N° Ramas Primarias Tipo 3
Grupo Fenotípico	3	34.33 ns	33.93 ns	3.07 ns
Error	16	29.33	106.78	46.68
Total	19			
CV		21.7%	63.8%	63%

ns = No significativo

Anexo 4: Análisis de varianza del número de ramas secundarias de cuatro grupos fenotípicos de maca

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Cuadrados Medios
Grupo Fenotípico	3	12139.65 ns
Error	16	11276.00
Total	19	
CV		27.8%

ns = No significativo

Anexo 5: Análisis de varianza de la longitud de ramas primarias “Menores” de cuatro grupos fenotípicos de maca en seis fechas de evaluación

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Cuadrados Medios					
		19 ddt	33 ddt	41 ddt	50 ddt	57 ddt	71 ddt
Grupo Fenotípico	3	14.08 *	49.32 **	52.55 **	41.05 **	52.31 **	43.04 **
Error	58	4.04	7.33	8.57	9.02	8.57	9.58
Total	61						
CV		14.2%	16%	16%	15%	15%	15%

* = Significativo al nivel P=0.05

** = Significativo al nivel P=0.01

Anexo 6: Prueba de Tukey de longitud de ramas primarias “Menores” de cuatro grupos fenotípicos de maca en seis fechas de evaluación.

Comparación entre Grupos Fenotípicos	Significancia					
	19 ddt	33 ddt	41 ddt	50 ddt	57 ddt	71 ddt
Negro-Morado	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Negro-Amarillo	ns	*	*	*	*	ns
Negro-Bicolor	*	*	*	*	*	*
Morado-Amarillo	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Morado-Bicolor	ns	ns	*	ns	ns	ns
Amarillo-Bicolor	ns	ns	ns	ns	ns	ns

* = Significativo al nivel P=0.05

ns = No significativo

Anexo 7: Análisis de varianza de longitud de ramas primarias “Mayores” de cuatro grupos fenotípicos de maca en cinco fechas de evaluación

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Cuadrados Medios				
		33 ddt	41 ddt	50 ddt	57 ddt	71 ddt
Grupo Fenotípico	3	26.42 ns	22.17 ns	42.56 ns	38.24 ns	49.06 ns
Error	18	11.39	16.46	16.56	18.50	20.09
Total	21					
CV		15%	16.2%	17%	16.8%	18%

ns = No significativo

Anexo 8: Análisis de varianza del periodo total del desarrollo de inflorescencia en las tres partes de la planta de la fase generativa de cuatro grupos fenotípicos de maca

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Cuadrados Medios		
		Primera Floración	Rama Primaria	Rama Secundaria
Grupo Fenotípico	3	3.88 ns	94.5 ns	122.85 ns
Error	76	3.97	44.09	49.21
Total	79			
CV		2.7%	8.1%	8.4%

ns = No significativo

Anexo 9: Análisis de varianza del número de inflorescencias por planta de cuatro grupos fenotípicos de maca

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Cuadrados Medios
Grupo Fenotípico	3	79298.73 ns
Error	16	222808.05
Total	19	
CV		38.8%

ns = No significativo

Anexo 10: Análisis de varianza del número de frutos por planta de cuatro grupos fenotípicos de maca

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Cuadrados Medios
Grupo Fenotípico	3	79503857.08 ns
Error	16	165203774.17
Total	19	
CV		52.5%

ns = No significativo

Anexo 11: Análisis de varianza del porcentaje de pérdida de semillas de cuatro grupos fenotípicos de maca

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Cuadrados Medios
Grupo Fenotípico	3	882.24 ns
Error	27	326.92
Total	30	
CV		33%

ns = No significativo

Anexo 12: Datos para el análisis de correlación del diámetro de roseta, número total de ramas, número de ramas primarias tipo 1, 2 y 3 y el número de inflorescencias.

N° Muestras	N°Inflorescencias	DR	N° Total RP	N°RP Tipo 1	N°RP Tipo 2
1	519	38.0	26	25	1
2	562	56.8	19	13	6
3	565	39.5	23	22	1
4	674	49.0	29	25	4
5	684	46.0	27	23	4
6	739	42.0	30	28	2
7	998	57.5	21	13	8
8	1004	48.5	30	22	8
9	1141	60.0	39	35	4
10	1165	67.5	16	3	13
11	1197	61.5	30	18	12
12	1271	56.5	20	6	14
13	1314	43.8	26	13	13
14	1321	60.0	26	13	13
15	1324	53.5	19	6	13
16	1434	62.8	33	22	11
17	1480	65.0	23	1	22
18	1549	75.0	24	12	12
19	1985	70.0	23	1	22
20	2104	66.8	22	5	17

Anexo 13: Datos para el análisis de correlación del número de ramas secundarias, inflorescencias, tipo de rama primaria y número de frutos

N° de muestras	N°Frutos	N°Rama Secundaria	N°Inflorescencias	Tipo de Rama Primaria
1	256	10	17	1
2	308	14	20	1
3	368	12	31	1
4	412	17	35	1
5	477	13	34	1
6	520	15	34	1
7	674	24	47	1
8	704	14	49	1
9	732	16	53	2
10	803	17	61	2
11	884	19	59	2
12	935	22	60	2
13	1174	23	73	2
14	1203	23	77	2
15	1317	18	102	2
16	1421	18	96	2
17	1472	19	100	2
18	1490	21	113	2
19	1491	15	89	2
20	1796	16	101	2