

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

ESCUELA DE POST GRADO

ESPECIALIDAD DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA



**“FENOLOGIA E INTENSIDAD DE COLOR EN CORONTAS DEL MAIZ
MORADO (Zea mayz L.) EN SUS DIFERENTES ESTADOS DE
DESARROLLO EN LA LOCALIDAD DE LA MOLINA”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE:
MAGÍSTER SCIENTIAE**

ERASMO JUSTINIANO AYSANO A

**LIMA – PERÚ
2010**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

ESCUELA DE POST GRADO

ESPECIALIDAD DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

**“FENOLOGIA E INTENSIDAD DE COLOR EN CORONTAS DEL MAIZ
MORADO (Zea mayz L.) EN SUS DIFERENTES ESTADOS DE
DESARROLLO EN LA LOCALIDAD DE LA MOLINA”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE:
MAGÍSTER SCIENTIAE**

Presentado por

ERASMO JUSTINIANO AYSANOA

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado

**Dr. Oscar Loli Figueroa
PRESIDENTE**

**Mg.Sc Julián Chura Chuquija
PATROCINADOR**

**Mg.Sc. Jorge Nakahodo Nakahodo
MIEMBRO**

**Mg.Sc. Gilberto Rodríguez Soto
MIEMBRO**

INDICE

CONTENIDO	PÁGINA
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
INDICE	
I. INTRODUCCIÓN	
II. REVISIÓN DE LITERATURA	
2.1 GENERALIDADES	3
2.1.1 ORIGEN	3
2.1.2 TAXONOMÍA	4
2.1.3 MORFOLOGÍA DE LA PLANTA	4
2.1.4 EXIGENCIAS AGROECOLÓGICAS DEL CULTIVO	5
a) Clima	5
b) Suelo	5
c) Agua	6
d) Época de siembra	6
2.1.5 LABORES CULTURALES	6
2.1.6 RAZAS DE MAÍZ	10
2.1.7 VARIEDADES	10
2.1.8 VARIEDADES MEJORADAS	12
2.1.9 CARACTERÍSTICAS GENÉTICAS	12
2.1.10 COMPOSICION QUÍMICA	13
2.1.11 USOS	13
2.1.12 EXPORTACION DE MAÍZ MORADO	14
2.2 FASES FENOLOGIAS O DE DESARROLLO DEL MAIZ	16
2.2.1 Etapas de desarrollo	17
A) ESTADO DE DESARROLLO VEGETATIVO	17
Germinación y emergencia (VE)	17
Estado V3	18

Estado V6	18
Estado V9	19
Estado V12	19
Estado V15	20
Estado V18	20
Estado de VT	20
B) ESTADO DE DESARROLLO REPRODUCTIVO	21
Estado R1 (Floración femenina)	21
Estado R2 (Grano perlita)	21
Estado R3 (Grano lechoso)	21
Estado R4 (Estado masoso o pastoso)	22
Estado R5 (Grano dentado)	22
Estado R6 (Madurez fisiológica)	23
2.3 ASPECTOS RELACIONADOS CON EL PIGMENTO ANTOCININA	23
2.3.1 NATURALEZA QUÍMICA	24
2.3.2 PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS	25
2.3.3 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA ESTABILIDAD Y COLOR DE LAS ANTOCIANINAS	27
a. Transformación Estructural y pH	28
b. Temperatura	29
c. Oxígeno y Ácido Ascórbico	32
d. Azúcares	32
e. Enzimas	33
f. Metales	33
g. Copigmentación	34
h. Luz	34
i. Dióxido de azufre	35
2.3.4 EXTRACCION DE ANTOCIANINAS	35
2.3.5 EXPORTACION DE ANTOCIANINAS DEL MAIZ MORADO	37
III. MATERIALES Y METODOS	
3.1 AREA EXPERIMENTAL	39
3.1.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA	39

3.1.2	CARACTERISTICAS DEL SUELO	39
3.1.3	CARACTERISTICAS CLIMATOLOGICAS DE LA MOLINA	41
3.2	MATERIALES	42
3.2.1	MATERIAL GENETICO	42
3.2.2	FERTILIZANTES	42
3.2.3	OTROS	42
3.3	METODOLOGIA	43
3.3.1	EVALUACIÓN DE LA ETAPAS FENOLOGICAS O ESTADOS DE DESARROLLO	43
3.3.2	ANALISIS DE LA INTENSIDAD DE COLOR DE LA CORONTA EN DIFERENTES ESTADOS REPRODUCTIVOS DE LA PLANTA	44
3.3.3	DISEÑO EXPERIMENTAL	46
3.3.4	TRATAMIENTOS	46
3.3.5	CARACTERISTICAS DEL AREA EXPERIMENTAL	47
3.3.6	ANALISIS ESTADÍSTICO	47
3.3.7	INSTALACION Y MANEJO DEL EXPERIMENTO	48
3.3.8	VARIABLES EVALUADAS EN EL EXPERIMENTO	49
3.3.8.1	FASES FENOLOGICAS O DE DESARROLLO	49
A.-	Estado de Desarrollo Vegetativo	50
	Emergencia (VE)	50
	Número de hojas (Vn)	50
	Estado de VT	50
B.-	Estado de Desarrollo Reproductivo	50
	Floración femenina (R1)	50
	Grano perlita (R2)	50
	Grano lechoso (R3)	50
	Grano masoso o pastoso (R4)	50
	Grano dentado (R5)	50
	Madurez fisiológica (R6)	51
3.3.8.2	INTENSIDAD DE COLOR DE LA CORONTA EN DIFERENTES ESTADOS REPRODUCTIVOS DE LA PLANTA	51

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES	
4.1 FASES FENOLOGICAS	53
4.1.1 ESTADO DE DESARROLLO VEGETATIVO	54
a) Emergencia (VE)	54
b) Dos Hojas Desplegadas (V2)	54
c) Cuatro Hojas Desplegadas (V4)	55
d) Seis Hojas Desplegadas (V6)	56
e) Ocho Hojas Desplegadas (V8)	56
f) Diez Hojas Desplegadas (V10)	57
g) Doce Hojas Desplegadas V12)	58
h) Catorce Hojas Desplegadas (V14)	58
i) Dieciséis Hojas Desplegadas (V16)	59
j) Floración Masculina (VT)	59
4.1.2 ESTADO DE DESARROLLO REPRODUCTIVO	60
a) Floración Femenina (R1)	60
b) Estado de Grano Perlita (R2)	60
c) Estado de Grano Lechoso (R3)	61
d) Estado de Grano Masoso o Pastoso (R4)	62
e) Estado de Grano Dentado (R5)	62
f) Madurez Fisiológica (R6)	63
4.2 INTENSIDAD DE COLOR EN LA CORONTA	65
4.3 PESO DE CORONTA	67
V. CONCLUSIONES	69
VI. RESUMEN	70
VII. RECOMENDACIONES	72
VIII. BIBLIOGRAFIA	73
IX. ANEXOS	75

INDICE DE CUADROS

CONTENIDO	PÁGINA
Cuadro N° 01 : Composición química del maíz morado	13
Cuadro N° 02 : Exportaciones anuales del maíz morado	14
Cuadro N° 03 : Estados de desarrollo o fases fenológicas del maíz morado	17
Cuadro N° 04 : Sustitución R y R' para antocianinas naturales	25
Cuadro N° 05 : Porcentaje de antocianina en el grano y coronta del maíz morado	36
Cuadro N° 06 : Exportaciones anuales de antocianina del maíz morado	37
Cuadro N° 07 : Principales países importadores de antocianina del maíz morado peruano	38
Cuadro N° 08 : Análisis de caracterización de suelo del área experimental "Campo Libre II" de la UNALM	40
Cuadro N° 09 : Condiciones climáticas registradas durante el Experimento en el Observatorio Alexander Von Humbolt de la UNALM	41
Cuadro N° 10 : Etapas de cosecha de cada tratamiento en los diferentes estados de desarrollo del maíz morado	45
Cuadro N° 11 : Relación de tratamientos en estudio y su número de repeticiones por tratamiento para el análisis de intensidad de color en corontas de maíz morado	46
Cuadro N° 12 : Escala fenológica del maíz morado Var. PMV 581	64
Cuadro N° 13 : Análisis de Varianza de la Intensidad de Color en corontas de maíz morado Var. PMV 581, en diferentes estados de desarrollo	65
Cuadro N° 14 : Análisis de Varianza del peso de corontas de maíz morado Var. PMV 581, en diferentes estados de desarrollo	67

INDICE DE FIGURAS

CONTENIDO	PÁGINA
Figura N° 01 : Porcentaje FOB de los principales países de destino	16
Figura N° 02 : Fórmula estructural de una antocianidina genérica	24
Figura N° 03 : Forma de equilibrio de las antocianinas en solución acuosa	31
Figura N° 04 : Degradación de antocianina monoglucósido a pH 3.7 acelerada por el calor	32
Figura N° 05 : Distribución de los tratamientos, con sus respectivas repeticiones, en el área experimental	47
Figura N° 06 : Fases Fenológicas del Maíz Morado Variedad PMV – 581, bajo las condiciones de la localidad de La Molina – Lima – Perú	53
Figura N° 07 : Estado de VE (Emergencia)	54
Figura N° 08 : Estado V2 (Dos hojas desplegadas)	55
Figura N° 09 : Estado V4 (Cuatro hojas desplegadas)	55
Figura N° 10 : Estado V6 (Seis hojas desplegadas)	56
Figura N° 11 : Estado V8 (Ocho hojas desplegadas) e inicio del desarrollo de la floración masculina y femenina	57
Figura N° 12 : Estado V10 (Diez hojas desplegadas)	57
Figura N° 13 : Estado V12 (Doce hojas desplegadas)	58
Figura N° 14 : Estado de VT (Floración masculina)	59
Figura N° 15 : Estado R1 (Floración femenina)	60
Figura N° 16 : Estado R2 (Grano perlita)	61
Figura N° 17 : Estado R3 (Grano lechoso)	61
Figura N° 18 : Estado R4 (Grano masoso o pastoso)	62
Figura N° 19 : Estado R5 (Grano dentado)	63
Figura N° 20 : Estado R6 (Madurez fisiológica)	63

INDICE DE GRAFICOS

CONTENIDO	PÁGINA
Grafico N° 01 : Evolución anual del volumen neto exportado del Maíz Morado	15
Grafico N° 02 : Intensidad de color en corontas de maíz morado Var. PMV cosechados de diferentes estados de desarrollo	581 66
Grafico N° 03 : Peso promedio de corontas de maíz morado Var. PMV 581 cosechados de diferentes estados de desarrollo	68

I. INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays*), originario de América, representa uno de los aportes más valiosos a la seguridad alimentaria mundial; junto con el arroz y el trigo son considerados como las tres gramíneas más cultivadas en el mundo. Asimismo, en el transcurso del tiempo, diversas instituciones mundiales, estatales y privadas vienen realizando estudios serios con el objetivo principal de incrementar los niveles de rendimiento y de producción de nuevos híbridos mejorados para desarrollar variedades con un alto nivel productivo, resistentes al clima y a enfermedades (Fuentes, 2002).

En el Perú, se producen diversas razas de maíz, de diferentes colores, tamaños y sabores, como para poder acompañar a diferentes platos o poder prepararlos, dentro de las cuales se puede apreciar al maíz morado (Manrique 1997). La ciencia llama a su componente morado "Antocianina", el que según estudios realizados en Japón, evita la aparición del cáncer en el intestino grueso e incrementa la salud cardíaca, al mejorar la circulación del flujo sanguíneo (The Ministry of Health and Welfare 2000).

En el Perú, el colorante del maíz morado ha sido poco estudiado, sin embargo, se puede afirmar que por su alta concentración de pigmentos antocianínicos puede ser utilizado como una fuente natural importantísima. La investigación en este cultivo es necesaria debido a que es potencialmente exportable y apreciable para países cuya cultura se esta orientando al consumo de productos naturales. Países como Estados Unidos, Alemania, Japón entre otros, vienen realizando investigaciones para la utilización del colorante extraído de la coronta y el grano del maíz morado con resultados bastante satisfactorios, lo cual esta dando origen a una gran demanda de este producto en los mercados internacionales (Sevilla y Valdez, 1985).

La producción de maíz morado llega aproximadamente a unas 6,000 toneladas anuales, siendo uno de los maíces que tienen los más altos precios en el mercado limeño. Actualmente se cultivan unas 4,000 hectáreas, especialmente en los valles occidentales andinos de Barranca a Chincha y como segunda área, el Callejón de Huaylas, los que abastecen al mercado de Lima. En pequeñas áreas se viene extendiendo a los valles de Arequipa, Moquegua y Tacna (INEI, 2005).

En tal sentido, se nos presenta una gran oportunidad de incrementar más áreas de cultivo para poder exportar este producto. Para ello se debe de conocer en qué estado de desarrollo del maíz se debe de cosechar, para obtener productos de calidad con alto contenido de antocianina y libre de toxinas causadas por hongos después de la cosecha. Para ello es necesario determinar el estado fenológico y momentos de acumulación de antocianina en los diferentes estados reproductivo del maíz, en los que se realizarán análisis de antocianina en diferentes momentos de cosecha de los estados reproductivos.

El objetivo del presente trabajo de investigación fue:

- Describir las etapas fenológicas del maíz morado en sus diferentes estados de crecimiento (Estado Vegetativos y Estados Reproductivos).
- Determinar la intensidad de color en corontas del maíz morado, realizando cosechas en diferentes momentos de su estado reproductivo a partir del grano dentado.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 GENERALIDADES

2.1.1 ORIGEN: La revolución Neolítica en América se inició hace 10.000 años, con la domesticación de especies como el cacao (*Theobroma cacao*), frijol (*Phaseolus vulgaris*), papa (*Solanum tuberosum*), tomate (*Lycopersicon esculentum*), yuca (*Manihot esculenta*) y por supuesto, el maíz (*Zea mays* L), (Segovia, 1997).

El maíz era desconocido por los europeos hasta 1492. Según las crónicas, los hombres de Colón lo descubrieron el 6 de Noviembre de 1492, cuando exploraron la isla de Cuba, y encontraron un grano que llamaban Ma-Hiz (vocablo Taino). Este era cultivado desde Canadá hasta la Patagonia, constituyendo el alimento básico de las civilizaciones Aztecas, Mayas, e Inca. Para muchos autores el nivel cultural de estas civilizaciones no se hubiera alcanzado sin el maíz, ya que desempeñaba un papel predominante en las creencias y ceremonias religiosas como elemento decorativo de cerámicas, tumbas, templos y esculturas, siendo además motivo de leyendas, y tradiciones que resaltan la importancia económica, agrícola y social de su cultivo. El maíz era considerado casi como un Dios, rindiéndole culto y siendo objeto del folklore y ritos religiosos. La primera introducción en Europa fue realizada por Colón en 1494, a la vuelta de su segundo viaje, con maíces provenientes de Cuba y Haití. Posteriormente las introducciones vendrían de México y Perú (López, 1991).

El maíz fue domesticado hace aproximadamente 8.000 años en Mesoamérica (México y Guatemala). El ecosistema donde se desarrollaron los primeros tipos de maíz fue estacional (inviernos secos alternados con veranos lluviosos) y una altura de más de 1500 msnm; estas características también describen el área principal ocupada por los parientes más cercanos del maíz, el teocintle (*Zea mays* L. ssp *mexicana*) y el género *Tripsacum* (*Zea mexicana* Schrader Kuntze). Al contrario del trigo (*Triticum aestivum*) y el arroz (*Oryza sativa*), el maíz ha dejado un rastro oscurecido por su complejidad, ya que no existen formas intermedias vivientes entre el maíz silvestre y las 50 variedades de maíz que han evolucionado bajo la selección agrícola en México, los cuales en muchos casos aún son cultivados allí (Goodman y Wilkes, 1995).

2.1.2 TAXONOMÍA: El maíz se clasifica de la siguiente manera (Takhtajan 1980).

División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida o Monocotiledónea
Orden	Poales
Familia	Poaceae
Subfamilia	Panicoideae
Tribu	Andropogoneae
Genero	Zea
Especie	Zea mays
Variedad	PMV-581

2.1.3 MORFOLOGÍA DE LA PLANTA: Takhtajan (1980), lo describe de la siguiente manera:

- a) Raíz:** Las raíces son fasciculadas y su misión es la de aportar un perfecto anclaje a la planta. En algunos casos sobresalen unos nudos de las raíces a nivel del suelo y suele ocurrir en aquellas raíces secundarias o adventicias.
- b) Tallo:** El tallo es simple erecto, de elevada longitud pudiendo alcanzar los 4 metros de altura, es robusto y sin ramificaciones. Por su aspecto recuerda al de una caña, no presenta entrenudos y si una médula esponjosa si se realiza un corte transversal.
- c) Hojas:** Las hojas son largas, de gran tamaño, lanceoladas, alternas, paralelinervias. Se encuentran abrazadas al tallo y por el haz presenta vellosidades. Los extremos de las hojas son muy afilados y cortantes.
- d) Flores:** El maíz es de inflorescencia monoica con inflorescencia masculina y femenina separada dentro de la misma planta.

En cuanto a la inflorescencia masculina presenta una panícula (vulgarmente denominadas espigón o penacho) de coloración amarilla que posee una cantidad muy elevada de polen en el orden de 20 a 25 millones de granos de polen. En cada florecilla que compone la panícula se

presentan tres estambres donde se desarrolla el polen. En cambio, la inflorescencia femenina marca un menor contenido en granos de polen, alrededor de los 800 o 1000 granos y se forman en unas estructuras vegetativas denominadas espádices que se disponen de forma lateral.

e) Fruto y semilla: El grano o fruto del maíz es un cariopse. La pared del ovario o pericarpio está fundida con la cubierta de la semilla o testa y ambas están combinadas conjuntamente para conformar la pared del fruto. El fruto maduro consiste de tres partes principales: la pared, el embrión diploide y el endosperma triploide. La parte más externa del endosperma en contacto con la pared del fruto es la capa de aleurona.

2.1.4 EXIGENCIAS AGROECOLÓGICAS DEL CULTIVO

a) Clima: Es una planta de países cálidos que precisa de altas temperaturas y elevada iluminación para poder desarrollar su gran actividad fotosintética. Para su siembra la temperatura debe ser mayor de 10° C, siendo la más favorable 15° C. Para su crecimiento activo la temperatura debe situarse sobre los 25 / 30 ° C.- Por encima de los 40° C la planta vegeta mal (Manrique, 1997).

Aldrich y Leng (1974), indican que periodos críticos unas temperaturas altas o bajas pueden ser muy perjudiciales. Así sucede durante la fecundación (un exceso de calor la perjudica) y durante la maduración (no deben sobrevenir heladas).

b) Suelo: El maíz requiere de una cuidada preparación del suelo, puesto que sus raíces necesitan asimilar una gran cantidad de nutrientes en espacios de tiempo muy cortos, de unos 40 a 60 días; por lo tanto, deben disfrutar de adecuadas labores que permitan incorporar al suelo, con la máxima antelación posible, las aportaciones de estiércoles, purines o rastrojos, facilitando la máxima estructuración del mismo (Sevilla y Valdez, 1985).

Los procesos bioquímicos de la transformación de la materia orgánica fresca, especialmente cuando es rica en nitrógeno, ayuda a la formación temporal de importantes cantidades de nitritos sumamente tóxicos, para cualquier proceso de germinación de semillas; por lo tanto, su incorporación al suelo debe anticiparse por lo menos 50 días antes de la siembra (Sevilla y Valdez, 1985).

c) **Agua:** El maíz es una de las plantas con mejor utilización del agua puesto que sólo emplea unos 350 Kg. de agua para formar 1 Kg. de materia seca. El agua es un elemento determinante de su producción y los máximos rendimientos sólo se obtienen cuando se satisface toda su demanda evapotranspirativa (López, 1991).

Existe un período crítico de gran sensibilidad a las condiciones de sequía, que se sitúa entre unos 20 días antes de la floración masculina y termina unos 20 días después de la polinización, al secado de las sedas o estigmas. Durante este período la falta de riego durante un turno de 14 días, puede ocasionar una pérdida del 60% de la producción. Las aportaciones de agua deben ser iguales o 1,1 veces superiores a la evaporación terrestre del cultivo. Según zonas, estas necesidades representan entre 6.500 a 8.500 m³/ha. El riego puede suponer más del 20% de los gastos variables del cultivo (López, 1991).

Aldrich y Leng (1974), dicen que cuando la disponibilidad de agua para el riego sea dudosa para que alcance la época habitual de la floración del maíz en la zona, resulta muy interesante plantearse la siembra de variedades de ciclos más cortos después del periodo de heladas. De esta forma, la planta habrá superado la fase crítica de la floración cuando empiecen a escasear los caudales para el riego. Las menores producciones de estos híbridos a pleno rendimiento son superiores o iguales a las conseguidas por los híbridos de ciclos largos que puedan sufrir los desastres de una sequía.

d) **Época de siembra:** Debido a que existe una extraordinaria diversidad de condiciones climáticas, Sevilla y Valdez (1985) mencionan que el maíz es un cereal que se puede sembrar durante todo el año teniendo dos épocas de siembra las mas adecuadas, desde Abril a Agosto (siembra de invierno) y de Noviembre a Febrero (siembra de verano).

2.1.5 LABORES CULTURALES:

a) **Preparación del terreno:** La preparación del terreno es el paso previo a la siembra. Se recomienda efectuar una labor de arado al terreno con grada para que el terreno quede suelto y sea capaz de tener cierta capacidad de captación de agua sin encharcamientos. Se pretende que el terreno quede esponjoso sobre todo la capa superficial donde se va a producir la siembra

(Sevilla y Valdez, 1985). También se efectúan labores con arado de vertedera con una profundidad de labor de 30 a 40 cm. En las operaciones de labrado los terrenos deben quedar limpios de restos de plantas (rastros).

b) Siembra: En la Costa Peruana la mejor época para la siembra del maíz morado es el invierno, en los meses de Mayo a Junio (Sevilla y Valdez, 1985). Se siembra a una profundidad de 5cm. La siembra se puede realizar a golpes, en llano o a surcos. La separación de las líneas es de 0.8 a 1 m y la separación entre los golpes de 35 - 40 cm. dependiendo de la variedad.

c) Control de maleza: El maíz es muy afectado por la competencia de malezas en sus primeras etapas de desarrollo. Esa competencia se da por fertilizantes, agua y luz. Según estudios, dicen Sevilla y Valdez (1985), el efecto más perjudicial se produce en los primeros 35 días que siguen a la emergencia del maíz. Las malezas que crecen después del aporque no perjudican tanto el rendimiento, pero su peligro se da por ser hospederas de insectos picadores chupadores que transmiten "virus".

El control se puede hacer mediante dos procedimientos: labores de cultivo y aplicación de herbicidas. Los primeros se realizan haciendo cultivos superficiales cuando las malezas son pequeñas. Además, la labor de aporque es un complemento muy eficiente que contribuye al control de malezas. Es un complemento porque por lo general se hace después de 30 a 45 días lo que podría resultar tarde.

d) Desahije: Se realiza cuando las plantas tengan aproximadamente 0.20m de altura dejando solamente las 3 ó 1 planta, las más vigorosas por golpe (Sevilla y Valdez, 1985).

e) Aporque: El aporque se realiza cuando la planta alcanza aproximadamente 40cm de altura.

f) Fertilización: El maíz necesita para su desarrollo unas ciertas cantidades de elementos minerales. Las carencias en la planta se manifiestan cuando algún nutriente mineral está en defecto o exceso. Se recomienda un abonado de suelo rico en P y K. En cantidades de 0.3 Kg. de P en 100 Kg. de abonado. También un aporte de nitrógeno N en mayor cantidad sobre todo

en época de crecimiento vegetativo (Fuentes, 2002).

Fuentes (2002), menciona que el abonado se efectúa normalmente según las características de la zona de plantación, por lo que no se sigue un abonado riguroso en todas las zonas por igual. No obstante se aplica un abonado muy flojo en la primera época de desarrollo de la planta hasta que la planta tenga un número de hojas de 6 a 8.

A partir de esta cantidad de hojas se recomienda un abonado de:

N : 82% (abonado nitrogenado).

P₂O₅ : 70% (abonado fosforado).

K₂O : 92% (abonado en potasa).

Durante la formación del grano de la mazorca los abonados deben de ser mínimos. Se deben de realizar para el cultivo de maíz un abonado de fondo en cantidades de 825 Kg. /ha durante las labores de cultivo. Los abonados de cobertera son aquellos que se realizan cuando aparecen las primeras hojas de la planta y los más utilizados son: Nitrato amónico de calcio. 500 Kg. /ha, Urea. 295 Kg. /ha, Solución nitrogenada. 525 Kg. /ha (Fuentes, 2002).

Es importante realizar un abonado ajustándose a las necesidades presentadas por la planta de una forma controlada e inteligente

Nitrógeno (N): La cantidad de nitrógeno a aplicar depende de las necesidades de producción que se deseen alcanzar así como el tipo de textura del suelo. La cantidad aplicada va desde 20 a 30 Kg. de N por ha.

Un déficit de N puede afectar a la calidad del cultivo. Los síntomas se ven más reflejados en aquellos órganos fotosintéticos, las hojas, que aparecen con coloraciones amarillentas sobre los ápices y se van extendiendo a lo largo de todo el nervio. Las mazorcas aparecen sin granos en las puntas.

Fósforo (P): Sus dosis dependen igualmente del tipo de suelo presente ya sea rojo, amarillo o suelos negros. El fósforo da vigor a las raíces. Su déficit afecta a la fecundación y el grano no se desarrolla bien.

Potasio (K): Debe aplicarse en una cantidad superior a 80-100 ppm en caso de suelos arenosos y para suelos arcillosos las dosis son más elevadas de 135-160 ppm. La deficiencia de potasio hace a la planta muy sensible a ataques de hongos y su porte es débil, ya que la raíz se ve muy afectada. Las mazorcas no granan en las puntas.

Otros elementos: Boro (B), Magnesio (Mg), Azufre (S), Molibdeno (Mo) y Zinc (Zn). Son nutrientes que pueden a parecer en forma deficiente o en exceso en la planta. Las carencias del boro aparecen muy marcadas en las mazorcas con inexistencia de granos en algunas partes de ella.

g) Cosecha: Es la última labor de campo en el cultivo de maíz, que consta en la recolección de las mazorcas, arrancándolas de la planta y separando de su envoltura o "panca". El maíz se puede cosechar cuando el grano tiene una humedad de 30%, aproximadamente (Sevilla y Valdez, 1985).

En algunas zonas, también se realiza la cosecha cortando toda la planta y dejándola junto con la mazorca, para que seque por algún tiempo; realizando después el deshoje o despanque (Sevilla y Valdez, 1985).

h) Secado: El maíz morado es colocado en eras o tendales para su secado natural por efecto de la radiación solar y el viento. Este es un sistema lento y variable en su duración, ya que depende de las condiciones del medio ambiente. Termina cuando el grano tiene alrededor de 12% de humedad (Sevilla y Valdez, 1985).

En el caso del maíz morado no se desgrana al momento de la cosecha; con el secado terminan todas las operaciones, procediendo luego a su secado para el almacenaje y comercialización.

2.1.6 RAZAS DE MAÍZ: Toda la variabilidad de maíces que existe están preservados en el Banco de Germoplasma del PCIM y existen 55 grupos raciales dentro de ellos tenemos (Manrique 1997):

- a. Razas primitivas: 5 Sierra (confite morocho, confite puntiagudo, confite puneño y kully) en Selva (enano).
- b. Razas derivadas de las primeras: 20 Costa (mochoero, alazán, pagaladroga, rabo de zorro, chapareño, iqueño); Sierra (chullpi, huayleño, paro, morocho, huancavelicano, ancashino, shajatu, piscorunto, cuzco cristalino amarillo, cuzco blanco, granda, uchuquilla); Selva (sabanero, piricinco).
- c. Razas de segunda derivación: 10 Costa (huachano, chancayano); Sierra (san gerónimo san gerónimo huancavelicano, cuzco gigante, arequipeño); Selva (chimlos marañón).
- d. Razas introducidas: 6 Costa (pardo, arizona, colorado); Selva (alemán, chuncho, cuban yellow).
- e. Razas incipientes: 12 Costa (jora, coruca, chancayano amarillo, tumbesino, morochillo); Sierra (morado canteño, morocho cajabambino, amarillo huancabamba, allajara, huarmaca, blanco ayabaca, huanuqueño).
- f. Razas no definidas: 2 Sierra (sarco); Selva (perlilla).

2.1.7 VARIEDADES: Hay diferentes variedades de Maíz morado, todas ellas proviene de una raza ancestral denominada "Kculli" que todavía se cultiva en el Perú. Las formas mas típicas están casi extintas. La raza Kculli es muy antigua, restos arqueológicos con mazorcas típicas de esta raza se han encontrado en Ica, Paracas, Nazca y otros lugares de la costa central cuya antigüedad se estima por lo menos en 2,500 años. También se encuentran mazorcas moldeadas, con las características de la raza, en la cerámica Mochica (Sevilla y Valdez, 1985).

Manrique (1997), refiere que Kculli es una de las cinco razas ancestrales de las que se han originado todas las demás, actualmente en existencia en el mundo. Presentan pocas razas que presentan pigmentos antociánicos en el grano y en la coronta.

En Sudamérica, donde se encuentran con mayor frecuencia, se encuentra el Kculli de Bolivia, que es muy parecido al peruano, tanto en la morfología de la planta y mazorca, como en

la intensidad de la coloración; el Negrito chileno, que tiene la mazorca más chica y los granos más delgados, aunque presenta más hileras de granos; el Kculli argentino tiene las mazorcas grandes y se diferencia de las otras razas similares de Sudamérica en que los granos son más duros.

Sevilla y Valdez (1985), describen para nosotros las variedades tradicionales más conocidas:

Cuzco Morado: Variedad relacionada a la raza Cuzco Gigante. Es tardía, de granos grandes, dispuestos en mazorcas de 8 hileras muy bien definidas. Se cultiva en diferentes lugares en zonas intermedias en altitud, en los departamentos de Cuzco y Apurímac.

Morado Canteño: Derivada de la raza Cuzco, con características de mazorca muy similares a la raza Cuzco Morado, aunque de menores dimensiones. Es más precoz. Se cultiva en muchos lugares en la Sierra del Perú, pero especialmente en las partes altas del valle del Chillón, en el departamento de Lima, hasta los 2,500 m.s.n.m. Es la variedad que más se consume en el mercado de Lima.

Morado de Caraz: Variedad derivada de las razas Ancashino y Alazán. Recibe este nombre porque se cultiva en la localidad de Caraz, en el Callejón de Huaylas, en extensiones relativamente grandes. El maíz es más chico que las variedades de origen cuzqueño. Es de precocidad intermedia y tiene la ventaja que puede adaptarse también a la Costa. Entre las variedades tradicionales es la que muestra mayor capacidad de rendimiento, y la que presenta la coronta más pigmentada.

Arequipeño: En las alturas de los departamentos de Arequipa se encuentra una variedad de granos morados dispuestos en hileras regulares en la mazorca. La forma de la mazorca es similar al Cuzco, pero más chica. El color de la tusa no es tan intenso como en otras variedades, pero en la colección hecha en Arequipa se encuentra mucha variabilidad para esta característica, por lo que puede ser mejorada. Es más precoz que las variedades previamente citadas.

Negro de Junín: Se denomina así a una variedad precoz de granos negros, grandes, dispuestos irregularmente en una mazorca corta y redondeada. Es similar en forma a la raza San Jerónimo

Huancavelicano. Se le encuentra en la Sierra Centro y Sur, hasta Arequipa, ocupando alturas mayores que otras variedades.

2.1.8 VARIEDADES MEJORADAS:

PMV – 581: La única variedad que esta en producción actualmente, es una variedad mejorada por la Universidad Nacional Agraria La Molina, obtenida a través de la variedad Morado de Caraz, adaptada a la costa y sierra baja. Resistencia a roya y cercospora. De periodo vegetativo intermedio, mazorcas medianas de 15 – 20 cm., alargadas y con alto contenido de pigmento, y un potencial de rendimiento de 6 t/ha (Manrique 1997).

PMV – 582: Variedad mejorada por la Universidad Nacional Agraria La Molina, adaptada a la sierra alta, planta baja, intermedia de mazorcas medianas, con alto contenido de antocianinas, con un potencial de rendimiento de 4 t/ha (Manrique 1997).

2.1.9 CARACTERÍSTICAS GENÉTICAS: Según Sevilla y Valdéz (1985):

Existe un gran número de variedades de Maíz morado que se diferencian por la forma y tamaño de las mazorcas, por el número de hileras que varían de 8 a 12, por el tamaño, forma y color del pericarpio de los granos y por otras características morfológicas.

El color de la planta varia de verde a morado oscuro, pero la lígula de las hojas y de las anteras son invariables teniendo siempre un color oscuro.

La coloración morada que presentan las plantas, tuzas y pericarpio de los granos del maíz morado, son el resultado de la acción compleja de muchos genes localizados en distintos cromosomas, que producen pigmentos antociánicos de diferente color, los cuales en combinación producen el color morado (combinación de pigmentos rojos y azules).

La coloración se puede mantener de generación en generación, si se siembra en lotes aislados, semillas provenientes de plantas que presentan el color morado o púrpura, así como la mazorca o las glumas, y en especial el interior de las tuzas y los granos color morado intenso.

La única diferencia del maíz negro respecto al maíz morado, es el presentar en el interior de las tuzas o marlos la coloración casi blanca y no morado intenso.

2.1.10 COMPOSICION QUÍMICA: Según Collazos (1962) y Fernández (1995), la composición química del maíz grano y coronta del Maíz morado, se reporta en el siguiente cuadro:

CUADRO 1: Composición química del Maíz morado
(Contenido en 100 gramos)

COMPONENTE	MAÍZ GRANO (%)	CORONTA (%)
HUMEDAD	11.40	11.20
PROTEÍNA	6.70	3.74
GRASA	1.50	0.32
FIBRA	1.80	24.01
CENIZAS	1.70	3.29
CARBOHIDRATOS	76.90	57.44

2.1.11 USOS: Según los datos recogidos por diversos historiadores, se sabe que el Maíz morado era empleado en la alimentación como bebida, con él se elaboraba la “chicha” que viene a ser una bebida fermentada.

El uso de su extracto sufrió un cambio con el tiempo así es como en la colonia, por influencia de la repostería española y por el ingenio de las amas de casa criollas, es por ello, que apareció la “mazamorra” y la “chicha morada” que tenían los sabores más exquisitos (Fernández, 1995).

Arias (1958), sugirió la utilización del grano en la industria almidonera, dado su alto contenido de almidón, o en la obtención de levadura prensada o de jora. Actualmente el maíz morado es usado a nivel casero, como colorante natural y saborizante de bebidas y otros preparados alimenticios como la “mazamorra morada”. A nivel industrial, con fines de obtener colorantes se utiliza únicamente la coronta por el significativo porcentaje de antocianinas; sin embargo, también se puede aprovechar el grano para la obtención de almidones y/o derivados o en la elaboración de alimentos balanceados para animales.

2.1.12 EXPORTACION DE MAÍZ MORADO: En el Cuadro N° 2, se muestra las exportaciones anuales del Maíz morado, asimismo se observa el valor FOB, volumen neto y el valor FOB por kilogramo de producto, desde 1998 (fecha desde que la P.A. 1005909020, específica del Maíz Morado, esta vigente) hasta el 23 de Noviembre del 2006.

CUADRO 2: Exportaciones Anuales del Maíz Morado

Año	Valor FOB (miles de US\$)	Volumen Neto (miles de Kg.)	FOB (US\$/Kg.)
1998	186,117.07	137,407.08	1.35
1999	101,367.71	102,605.39	0.99
2000	184,551.48	156,831.55	1.18
2001	278,982.75	209,588.04	1.33
2002	190,112.44	139,647.35	1.36
2003	236,242.88	177,795.42	1.33
2004	247,589.43	209,897.85	1.18
2005	406,869.41	264,080.77	1.54
2006 (*)	378,533.86	250,477.79	1.51

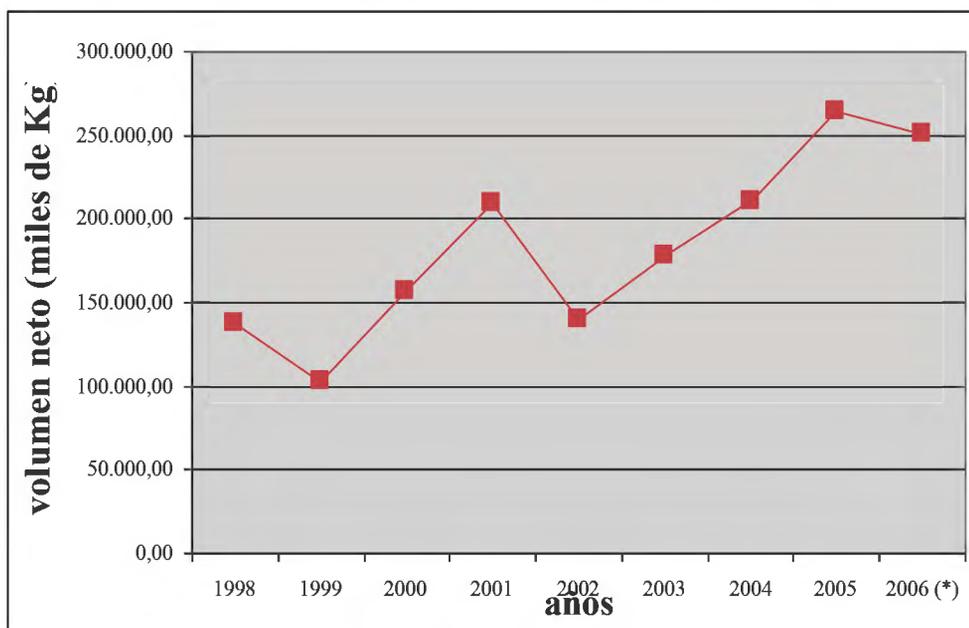
FUENTE: Prompex (2006).
(*) Datos al 23 de Noviembre del 2006

Se puede apreciar, en el Cuadro 2, que el mayor valor FOB alcanzado corresponde al año 2005 con 406,869.41 US\$ debido a un mayor valor en el volumen neto exportado de 264,080.77 Kg. de producto. En cuanto al valor FOB por kilogramo de Maíz morado, este ha variado en los últimos años llegando a su máximo valor en el año 2005 con 1.54 US\$/Kg. Al finalizar el año 2006, se espera que se pueda superar estos valores debido a que hay una mayor demanda del Maíz morado por el mercado norteamericano.

En el Gráfico 1, se observa la evolución anual del volumen exportado del Maíz morado. Se puede observar que después de alcanzar el máximo valor exportado de producto en el año 2001, al siguiente año (2002), ocurre una drástica caída debido a que los principales

importadores como los EEUU y Japón demandan menos volumen de producto. El volumen exportado en los últimos dos años está en crecimiento, debido a una mayor demanda de los principales importadores y a la apertura de nuevos mercados. Para el año 2007, la tendencia es hacia el crecimiento.

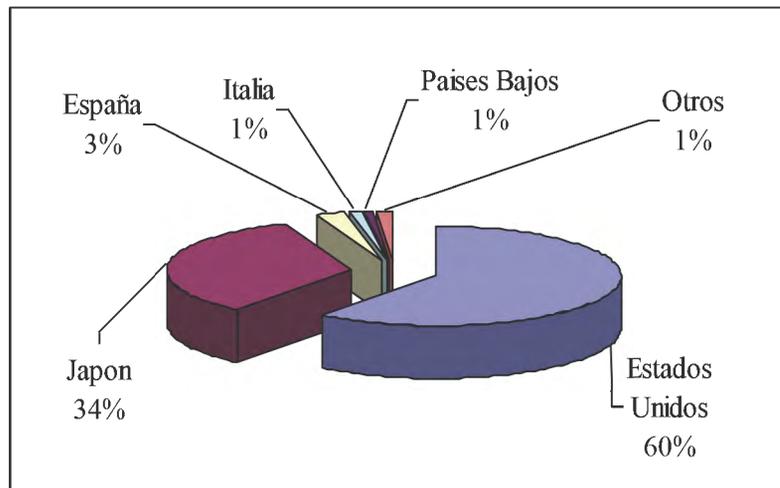
GRAFICO 1: Evolución anual del volumen neto exportado del Maíz Morado



FUENTE: Prompex (2006).

(*) Datos al 23 de Noviembre del 2006

En la Figura 1, se observa el porcentaje FOB de los principales países de destino del Maíz morado. Se puede observar que los EEUU, importan alrededor del 60 por ciento del volumen neto exportado del maíz morado peruano, seguido de Japón con un 34 por ciento. Ambos países importan en total el 94 por ciento de nuestro volumen neto exportable. En menor importancia se encuentran España, Italia y Países Bajos y en el grupo de otros se encuentran países como Venezuela, Costa Rica, Reino Unido, Chile, Bélgica, Aruba y Filipinas, además de otros países que en los últimos años demandan más al producto peruano.

FIGURA N° 1: Porcentaje FOB de los principales países de destino

FUENTE: Prompex (2006).
 (*) Datos al 23 de Noviembre del 2006

2.2 FASES FENOLOGIAS O DE DESARROLLO DEL MAIZ:

Hanway (1993), Dice que el campo de maíz, es una comunidad de producción donde hay muchos millares de fabricas altamente organizadas y altamente eficientes, sea por hectárea o por acre, donde básicamente, la materia prima para la fabrica (planta) es el agua, nutrientes minerales del suelo, dióxido de carbono y oxígeno.

La organización interna que transforma esas materias primas en productos útiles (producción) es alimentada de energía por la luz solar. Los productos denominados materia seca, consisten de diversas combinaciones de carbohidratos, proteínas, aceites y otros nutrientes minerales.

Aunque la naturaleza proporciona una gran parte de la influencia ambiental en el crecimiento y rendimiento del maíz, un productor de maíz puede manipular el ambiente con prácticas agronómicas. Esas operaciones incluyen labranzas, fertilización del suelo, riego, control de malezas, control e plagas y muchas otras practicas.

2.2.1 Etapas de desarrollo:

Hanway (1993), Divide el desarrollo de la planta de maíz en estados de desarrollo vegetativo (V) y estado de desarrollo reproductivo (R), donde a cada estado de desarrollo lo subdivide en diferentes etapas:

CUADRO 3: Estado de desarrollo o fases fenológicas del maíz.

Estado vegetativo	Estado reproductivo
VE – Emergencia	R1–Floración femenina
V1 – Primera hoja	R2–Grano perlita
V2 – Segunda hoja	R3–Grano lechoso
V3 – Tercera hoja	R4–Grano masoso
V6 – Sexta hoja	R5–Grano dentado
V9 – Novena hoja	R6–Madurez fisiológica
V12 – Duodécima hoja	
V15 – Décima quinta hoja	
V18 – Décima octava hoja	
VT – Floración masculina	

A. ESTADO DE DESARROLLO VEGETATIVO:

Germinación y emergencia (VE): Bajo condiciones adecuadas de campo, la semilla sembrada, absorbe agua y comienza a crecer. Primero se elonga la radícula desde el grano hinchado, seguido por el coleoptilo con la plúmula encerrada (planta embriogénica) y luego las tres o cuatro raíces seminales. El VE (emergencia) finalmente logrado por la rápida elongación del mesocotilo que empuja al coleoptilo en crecimiento hacia la superficie del suelo, con el calor y condiciones húmedas ocurrirá la emergencia de la planta dentro de 4 – 5 días después de la siembra, pero bajo condiciones frías o secas requieren de dos a mas semanas.

Con la emergencia y aparición del ápice del coleoptilo a la luz solar, se detiene el coleoptilo y la elongación del mesocotilo. En este momento el punto de crecimiento (ápice del

tallo) de la planta es de 2,5 – 3,8 centímetros, (1' - 1.5' pulgadas) por debajo de la superficie del suelo y esta localizado por encima del mesocotilo. Las hojas embrionarias se desarrollan rápidamente, luego crece a través del ápice del coleoptilo y continua desarrollando la parte aérea de la planta.

La radícula y raíces seminales laterales (colectivamente denominado el sistema radicular seminal) comienza a crecer directamente de la semilla, y la profundidad del suelo en que inicialmente se desarrolla depende de la profundidad de siembra. Sin embargo el crecimiento de esas raíces disminuye pronto después del VE y virtualmente no existe en el estado V3. Aunque el sistema radicular seminal continúa actuando durante la mayor parte de vida de la planta de maíz, su contribución más importante ocurre antes de establecer bien las raíces nodales.

Todas las raíces excepto la radícula, tiende inicialmente a crecer en ángulo de 25 a 30 grados desde la horizontal. Sin embargo el crecimiento inicial de la raíz radicular puede dirigirse en cualquier dirección (hacia arriba) orientándose por la semilla. El crecimiento radicular nodal comienza a girar mas hacia abajo cuando aumenta la temperatura del suelo y el secado ocurren las capas superiores del suelo.

Estado V3: En este momento, los pelos radiculares crecen desde las raíces nodales y virtualmente cesa el crecimiento del sistema radicular seminal.

En este estado se desarrollan (forman) todas las hojas y brotes de la mazorca que crecen en la planta. Casi en V5, se estará completando esta formación de todas las hojas y se inicia el brote de la futura mazorca e indica una floración masculina microscópicamente pequeña en la punta del ápice del tallo. El ápice de inicio del tallo solo esta por debajo o en la superficie del suelo, aunque la altura total de la parte aérea de la planta es casi 20 cm. (8 pulgadas).

Estado V6: En el estado V6, el punto de crecimiento y floración masculina están sobre la superficie del suelo y el tallo inicia un periodo de mayor crecimiento y elongación. Por debajo del suelo, el sistema radicular nodal es ahora el principal del sistema radicular en funcionamiento, con grupos de raíces que se desarrollan de tres a cuatros nodos mas bajos del tallo.

Algunos brotes de la mazorca o vástagos, que inicialmente son muy similares, es visible en este momento. Los macollos generalmente se forman en los nodos que se originan por debajo de la superficie del suelo; y la cantidad y número de macollos varían con la selección del híbrido, densidad de planta, fertilidad y otras condiciones ambientales.

En el estado V8 ya puede haber ocurrido la degeneración y pérdida de dos o más hojas más pequeñas.

Estado V9: En este estado se observa varios brotes de la mazorca cuando seccionamos una planta. Un brote de la mazorca (potencial mazorca) se desarrolla desde cada nodo de la parte aérea, excepto los últimos seis a ocho nodos por debajo de la floración masculina. Inicialmente, cada brote de la mazorca se desarrolla más rápido que el brote de la mazorca originado encima, sobre el tallo. Sin embargo, eventualmente disminuye el crecimiento de muchos brotes de la mazorca del tallo inferior solo uno o dos brotes de la mazorca superior se desarrollan en una mazorca cosechable. Los híbridos que producen una o más mazorcas cosechables en el tallo principal es denominado prolífico. La tendencia de mostrar una planta prolífica aumenta con una menor densidad de siembra.

Asimismo, la floración masculina comienza a desarrollarse rápidamente y el tallo continúa una rápida elongación. La elongación del tallo ocurre por la elongación de sus entrenudos, y cada entrenudo comenzará la elongación antes del entrenudo que está encima de él.

En el V10, se acorta el tiempo entre la aparición de los nuevos estados de la hoja, generalmente ocurre cada dos o tres días. Pero en este estado V10, la planta de maíz comienza un rápido incremento constante en la acumulación de nutrientes y peso seco, que continuará hasta estados reproductivos muy avanzados.

Estado V12: Aunque los brotes cortos (potenciales mazorcas) se formaron justo antes de la formación de la floración masculina (V5), el número de óvulos (potenciales gránulos) de cada mazorca y el tamaño de mazorca se determinan en el estado V12.

Asimismo se establece el número de hileras de granos por mazorca, pero esta determinación del número de granos por hilera no estará completa hasta casi una semana desde

la floración femenina a casi V17. En este momento, el brote superior de la mazorca es aun más pequeño que los brotes inferiores de la mazorca; sin embargo, muchas de las mazorcas superiores son casi del mismo tamaño.

Estado V15: La planta de maíz en V15 está aproximadamente de 10 – 12 días alejados de estado de floración femenina. Este estado es el principio del periodo más crucial de desarrollo de la planta en términos de determinación de rendimiento; el desarrollo de la mazorca superior es mayor que las mazorcas inferiores, en este momento emergen nuevas hojas cada 1 – 2 días, y las mazorcas están empezando a crecer más aceleradamente.

En el estado V17, las mazorcas pueden haber crecido bastante que son visibles sus puntas en la punta de las vainas de la hoja que le rodea. En el V17 también puede ser visible la punta de la floración masculina.

Estado V18: En la mazorca, primero se desarrollan los estigmas de la base de la mazorca (son los primeros en emerger) y en forma escalonada se desarrollan subiendo desde la base hasta la punta de la mazorca.

Las raíces de apoyo, también denominado raíces nodales, se desarrollan en este momento. Ellos ayudan al apoyo de la planta y toman de las capas superiores del suelo el agua y nutrientes durante los estados reproductivos. La planta de maíz en este estado, esta alejado casi una semana de la floración femenina y continua rápidamente el desarrollo de la mazorca.

Estado de VT: El estado de VT, es iniciado cuando la rama final de la floración masculina es completamente visible y las floraciones femeninas aún no han emergido. El VT comienza aproximadamente a los 2 – 3 días después de la emergencia de la floración femenina, durante ese tiempo la planta de maíz casi alcanzará su altura total y comienza el desprendimiento del polen.

El tiempo entre el VT y R1 puede fluctuar considerablemente dependiendo de las condiciones del híbrido y del ambiente. En condiciones de campo, el desprendimiento del polen generalmente ocurre al final de la mañana y principios de la tarde.

B. ESTADO DE DESARROLLO REPRODUCTIVO:

Estado R1 (Floración femenina): El R1 comienza cuando la floración femenina es visible afuera de las vainas. La polinización ocurre cuando los granos de polen en caída son capturados por esas nuevas floraciones femeninas húmedas. Un grano de polen capturado se desarrolla en casi 24 horas dónde ocurre la fertilización del óvulo y el óvulo se convierte en grano. Generalmente, se requiere de 2 – 3 días para que todas las floraciones femeninas de una mazorca sean expuestas y polinizadas. Las floraciones femeninas crecen desde 2.5 – 3.8 cm. cada día y continúan alargándose con la fertilización.

El óvulo en el R1 o grano está casi completamente rodeado de los materiales de la mazorca que le rodea (denominado técnicamente las glumas, lemas o paleas) y es de color blanco en la parte externa. El material interno del grano R1 es claro y tiene muy poco fluido presente. El embrión o germen aún no es viable cuando es seccionado con una hoja de afeitar. El pedúnculo y la chala alcanzan su tamaño completo en los estados R1 y R2.

Estado R2 (Grano perlita): El caquis (coronta) de la espiga, las espigas y el pedúnculo están totalmente desarrollados. El almidón recién ha comenzado a acumularse en el endosperma y los granos han comenzado a aumentar rápidamente de peso. Esta acumulación rápida de peso seco continuará hasta el estado de grano dentado, aproximadamente.

Las plantas continúan absorbiendo N y P en forma rápida, pero ha comenzado la pérdida de ambos elementos en otras partes de la planta en beneficio de la producción del grano. El coleoptilo, primera hoja y radícula han sido iniciados en el embrión del grano.

Esta etapa es el comienzo del rápido incremento en peso del grano. Donde sea posible, debe regarse para asegurar la humedad adecuada para la producción de grano. La pérdida de las hojas por granizo y otras condiciones desfavorables en esta etapa producirá granos vacíos, generalmente en el ápice de la mazorca.

Estado R3 (Grano lechoso): El grano muestra el color amarillo en la parte externa, y el fluido interno es ahora blanco lechoso debido a la acumulación del almidón. Aunque el desarrollo es

inicialmente lento, ahora, el embrión crece rápidamente y es fácilmente observado. Muchos de los granos R3 han crecido afuera de los materiales de la mazorca que le rodea y la floración femenina en este momento es marrón y seco o esta secándose.

Los granos ahora están con una alta tasa de acumulación de materia seca y tienen casi un 80% de humedad. Las divisiones celulares dentro del endosperma esta esencialmente completo en R3, su crecimiento es principalmente debido a la expansión celular y llenado de las células con almidón.

Estado R4 (Estado masoso o pastoso): Continúa la acumulación del almidón en el endosperma ahora causado por el fluido lechoso interno hasta engrosarse en una planta consistente. Generalmente, en este tiempo han formado cuatro hojas embrionarias y el embrión R4 ha aumentado notablemente en tamaño desde el estado R3. El color de la cáscara de la mazorca es rojo claro a rosada debido al cambio de color de los ingredientes que le rodean (lemas y paleas).

A la mitad del R4, el ancho lateral del embrión se alargará en más de la mitad del grano. El fluido se reduce y aumenta los sólidos incrementándose dentro del grano en este momento produce una consistencia masosa.

Justo antes del R6, los granos juntos con la longitud de la mazorca comienzan a detenerse o secarse en las puntas. La quinta o última hoja embrionaria en este momento se ha formado las raíces laterales seminales. Esas cinco hojas embrionarias son las mismas primeras hojas que aparecen en la siguiente etapa después de la germinación y en el VE.

Estado R5 (Grano dentado): En el R5, todos o casi todos los granos son dentados o en dentición y la cáscara de la mazorca es de color rojo oscuro. Los granos están desecándose comenzándose en la parte superior donde se forma una pequeña capa blanca dura. Esta capa de almidón aparece brevemente después de la detención como una línea transversal al grano cuando es observado desde el lado opuesto del embrión. En la madurez; la capa dura del almidón y la línea avanzaran hacia la base del grano. Pues, el almidón acumulado esta duro por

encima de la línea pero aun suave por debajo de la línea y la presión con los dedos puede ayudar su detección.

Estado R6 (Madurez fisiológica): El estado R6, es alcanzado cuando todos los granos de la mazorca han alcanzado su máxima peso seco o máxima acumulación de materia seca. La capa dura del almidón ha avanzado completamente en la mazorca y ha formado la capa de abscisión negra o marrón. Esta formación negra de la capa ocurre progresivamente desde la punta de los granos de la mazorca a los granos basales en la mazorca. También es una buena indicación de máximo peso seco (madurez fisiológica), y señales del fin de crecimiento del grano para esta época. Las cáscaras y muchas hojas no pierden su color verde en forma progresiva hasta quedar secas y la planta ya esta muerta.

2.3 ASPECTOS RELACIONADOS CON EL PIGMENTO ANTOCININA

Quispe (2003), menciona que las antocianinas son colorantes pertenecientes a la familia de los flavonoides, estos están ampliamente distribuidos entre las flores, frutos (particularmente en las bayas) y vegetales, son responsables por el color brillante tal como el azul, rojo y morado.

Lock (1997), menciona que el término antocianina deriva del griego Antho "flor" y cyanin "azul", fue utilizado por Marquant en 1835 para designar los pigmentos azules de las flores. Más tarde se descubrió que no solo era el color azul, sino también el púrpura, violeta, magenta y todos los tonos de rojo, rosado, escarlata, que aparecen en muchas flores, frutos y algunas hojas y raíces de plantas lo que se deberían a pigmentos químicamente similares a las antocianinas de Marquant.

Nobuji *et al* (1979), mencionados por Araujo (1995), caracterizaron la antocianina presente en el maíz morado boliviano (*Zea mays* L.) y encontraron que la longitud de onda máxima (339 nm) de aglycon fue idéntica con la de la autentica cianidina. El componente azúcar fue identificada como glucosa. Consecuentemente, con la base de estas evidencias, el mayor pigmento presente en granos y tusas del Maíz morado fue identificado como cianidina 3,β-glucósido.

Zapata (1996), menciona que la cianidina 3,β-glucósido es un compuesto flavonoide que se encuentra formando parte mayoritaria de las antocianinas en los extractos de maíz morado.

Sevilla y Valdez (1985), mencionan, en cuanto al Maíz morado, que para calcular el área para una demanda dada de antocianinas, se puede considerar un rendimiento por hectárea de 100 kilos de productos primarios del pigmento (sobre un rendimiento promedio sin fertilización de 2000 kilos de maíz, el 20 % es tusa que tiene una capacidad extracción del 10 % y el 80 % es grano con 4 % de capacidad de extracción).

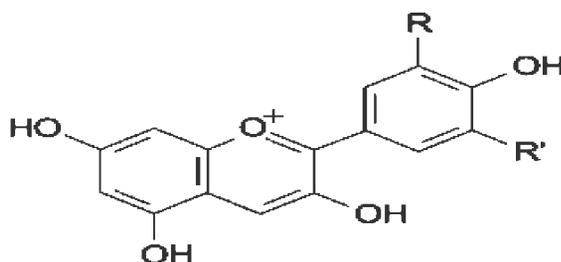
2.3.1 NATURALEZA QUÍMICA

Según Delgado (1989), las antocianinas son sales (Flavylium) derivados principalmente de las antocianidinas (aglycones o aglucones): Pelargonidina (I), Cianidina (II), Peonidina (III) Delfinidina (IV), Petunidina (V) y Malvidina (VI). La cianidina ocurre a nivel menos evolucionado. Las otras antocianidinas que ocurren en la naturaleza son derivados de una adición genética controlada, remoción o metilación del grupo hidroxilo en el anillo B o estructura Flavylium.

La glicosidación de estos pigmentos en posiciones 3,5 ó 7 o una combinación de estos, resulta en la formación de antocianinas. El azúcar en la molécula le confiere solubilidad y estabilidad a las antocianinas.

La naturaleza anfotérica es una propiedad característica de estos componentes, debido a esto, las antocianinas se comportan sea como ácido o base dada la naturaleza del medio. Los azúcares unidos al aglucon mediante enlace glucosídico son pentosas, hexosas, biosas y triosas. Las antocianidinas naturalmente existentes se presentan en la siguiente figura:

FIGURA 2: Fórmula estructural de una antocianidina genérica



CUADRO 4: Sustituciones R y R' para antocianidinas naturales

Antocianidina ^(a)	R	R'
Cianidina	OH	H
delfinidina	OH	OH
malvidina	OCH ₃	OCH ₃
pelargonidina	H	H
peonidina	OCH ₃	H
Petunidina	OCH ₃	OH

2.3.2 PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS

El color de las antocianinas y antocianidinas resulta de la excitación de la molécula por la luz visible. La facilidad con la que la molécula es excitada depende de la movilidad relativa de los electrones de la estructura. Los dobles enlaces, que son abundantes en antocianinas y en antocianidinas, son excitados más fácilmente y su presencia es esencial para el color (Fennema, 2000).

El aumento de sustituyentes en la molécula da como resultado un color más profundo. La profundidad del color da como resultado de un cambio batocrómico (mayor longitud de onda), lo que significa que la banda de absorción de la luz en el espectro visible se desplaza de la violeta hacia el rojo. El cambio opuesto se conoce como desplazamiento hipsocrómico. Los efectos batocrómicos son causados por grupos auxóchromos. Los grupos auxóchromos son donadores de electrones y en el caso de las antocianidinas son los grupos hidroxilo y metoxilo.

Según Fernández (1995), La gran variedad de colores, matices y tintes que ocurren en la naturaleza, son el resultado de cierto número de factores, entre los principales son:

- A pH bajo esos pigmentos son rojos, el matiz puede ser diferente, pero ellos son todos rojizos. Así la pelargonidina es rojo naranja en solución ácida, mientras que la delfinidina es rojo azulino.
- A pH alto las antocianinas pasan a través de un color violeta hasta alcanzar un color azul; a valores muy altos de pH, hay un viraje a verde y luego a amarillo (esto no es encontrado en plantas).

- La concentración de pigmentos alteran los matices. Cuando una solución ácida de delphinidina sintética es vertida sobre papel filtro, una solución diluida da un color azul, mientras que una solución intermedia da un color púrpura.
- Frecuentemente las antocianinas ocurren como mezclas. Los matices de éstas dependen de la composición de la mezcla.
- Algunas veces las plantas celulares no contienen únicamente antocianinas como pigmento, sino también algunas de las antoxantinas que pueden ser amarillas y con frecuencia carotenoides amarillos.
- Los taninos están frecuentemente asociados con antocianinas y alteran el color.

Lock (1997), afirma con respecto a las características físico-químicas de las antocianinas que estas sufren de una inestabilidad inherente, por lo que debe tenerse mucho cuidado en su manipuleo o su procesamiento.

También menciona que los factores que influyen en la estabilidad de las antocianinas son pH, temperatura, presencia de oxígeno, así como la interacción con otros componentes en los alimentos como el ácido ascórbico, iones metálicos y copigmentos. Así mismo nos dice que los estudios han demostrado que:

- Las antocianidinas son menos estables que las antocianinas, y menos solubles en agua, por lo que se asume que la glicosidación confiere estabilidad y solubilidad al pigmento.
- A mayor grado de hidroxilación, decrece la estabilidad de la antocianina, mientras que un incremento en el grado de metoxilación o del grado de glicosidación, tiene un efecto opuesto.
- La naturaleza del resto del azúcar influye en la estabilidad, por ejemplo, la antocianina que contiene galactosa es más estable que aquella con arabinosa.
- La presencia de por lo menos dos grupos acilo estabiliza a la antocianina probablemente por la presencia de sistema aromático en el grupo acilo, encontrándose que hay diferencia también por el tipo de grupo presente, siendo más estable si la acilación es con ácido caféico que con ácido p-coumárico.

- En presencia del oxígeno la máxima estabilidad térmica que tienen las antocianidinas-3-glicosidadas es a pH 1.8 a 2.0, mientras que para las antocianidinas 3,5-diglicosidadas lo es a pH 4.0 a 5.0.
- Las antocianinas son pigmentos generalmente inestables cuando se exponen a la luz ultravioleta o la luz visible, siendo algunas más afectadas que otras, por ejemplo, las antocianinas que tienen el OH en C-5 sustituido son más susceptibles que aquellas no sustituidas en esa posición.
- La presencia de ácido ascórbico produce decoloración de la antocianina, probablemente por la directa oxidación por el peróxido de hidrógeno que se forma durante la oxidación aeróbica del ácido ascórbico.
- Las concentraciones altas de azúcar (> 20 %) o de jarabe para preservar las frutas o jugo de frutas, tienden a ejercer un efecto protector sobre la antocianina.
- La co-pigmentación de las antocianinas, esto es, la formación de complejos con proteína, taninos y otros flavonoides como quercetina y rutina, aumentan la estabilidad y el color de las antocianinas.

2.3.3 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA ESTABILIDAD Y COLOR DE LAS ANTOCIANINAS

Reemplazar los colorantes sintéticos por los colorantes naturales representa un reto debido a la mayor estabilidad de los colorantes sintéticos con respecto a factores como la luz, oxígeno, temperatura y pH, entre otros (Cevallos – Casals y Cisneros – Zevallos, 2003).

El color y la estabilidad de las antocianinas depende de varios factores que incluyen la estructura y concentración de los pigmentos, pH, temperatura, intensidad y tipo de luz, presencia de copigmentos, iones metálicos, enzimas, oxígeno, ácido ascórbico, azúcares y sus productos de degradación y dióxido de sulfuro, entre otros (Mazza & Minati, 1993; Francis, 1989; citado por Cevallos – Casals y Cisneros – Zevallos, 2003).

Por la existencia del “electrón eficiente”, los núcleos flavilium de las antocianinas son altamente reactivos y, por lo tanto, sufren fácilmente cambios indeseables en la estructura y color, bajo las diversas condiciones de procesamiento y almacenamiento de productos alimenticios. La destrucción de antocianinas es acelerada por el incremento de pH, presencia de

oxígeno, la temperatura, ácido ascórbico, los azúcares y por algunas enzimas (Fernández, 1995).

Las agliconas (antocianidinas) no son estables y son menos solubles en agua que sus correspondientes glucósidos (antocianinas) y, por lo tanto no se encuentran libres en la naturaleza (Fennema, 2000). Las cerca de 250 antocianidinas aisladas son estabilizadas por la sustitución con azúcares en las diversas posiciones. La sustitución en la posición 3 es la mas difundida, pero las sustituciones en las posiciones 5 o 7 no son raras. Los azúcares contenidos pueden ser monosacáridos (glucosa, galactosa, etc.) u oligosacáridos. Estos azúcares pueden estar aciladas con ácidos orgánicos (acético, masónico, cumárico, caféico, etc.). Los colorantes ricos en antocianinas aciladas, como del camote morado y zanahoria morada, son más estables que los colorantes ricos en antocianinas no aciladas, como las del maíz morado y la uva roja (Cevallos – Casals y Cisneros – Zevallos, 2003). Las antocianinas aciladas con ácidos cinámicos son mas estables que aquellas aciladas con ácidos malónicos (Giusti y Wrolstad, 2003). El maíz morado contiene antocianinas aciladas con ácidos malónicos.

Los principales factores que influyen en la estabilidad y color son:

a. **Transformación Estructural y pH:** La velocidad de degradación varía ampliamente entre las antocianinas debido a sus diversas estructuras. Generalmente el aumento de la hidroxilación disminuye la estabilidad, en tanto que el aumento de metilación la incrementa. El color de los alimentos que contienen antocianinas ricas en las agliconas pelargonidina, cianidina o delphinidina es menos estable que el de los alimentos que contienen antocianinas ricas en las agliconas petunidina y malvidina (Fennema, 2000).

En general es sabido que la acilación puede conferir estabilidad a las antocianinas (Bassa y Francis, 1987; Francis, 1989; mencionado por Cevallos – Casals y Cisneros – Zevallos, 2003). Sin embargo, algunos aciladas pueden ser también inestables, como aquellas presentes en bajas cantidades en el maíz morado (Durad *et al.*, 1997; mencionado por Cevallos – Casals y Cisneros – Zevallos, 2003).

El color que presenta las antocianinas está fuertemente influenciado por el pH del medio en que se encuentra. En las soluciones acuosas, inclusive los alimentos, las antocianinas pueden existir en 4 formas estructurales, dependiendo del pH; la base quinoidal azul, el catión flavilio rojo, la base pseudocarbinol incolora y la charcona incolora (Fennema, 2000). Estos compuestos se muestran en la figura 3.

Es generalmente aceptado que las antocianinas son estables solamente a valores de pH bajos, sin embargo Cabrita *et al.* (2000) reportan que algunos de las antocianinas 3-glucósidos (pelargonidina, peonidina y malvidina) presentan un color azul más intenso y estable en la región alcalina. Por lo tanto, pueden ser considerados como potenciales colorantes para algunos productos alimentarios ligeramente alcalinos.

Cevallos – Casals y Cisneros – Zevallos (2003) concluyeron que los pigmentos antocianínicos del camote morado y de la zanahoria morada, ricos en antocianinas aciladas, son mas estables a pH entre 0.9 y 4 luego de 138 días de almacenamiento a 20 °C, que aquellos del maíz morado y la uva roja, ricos en antocianinas no aciladas.

b. Temperatura: La estabilidad de las antocianinas en los alimentos se ve notablemente afectada por la temperatura. El grado de degradación de las antocianinas aumentan durante el procesamiento y almacenamiento conforme la temperatura aumenta (Palamidis y Markakis, 1978 *et al.*; 1985; citados por Rein, 2005).

En las velocidades de degradación también influyen la presencia o ausencia de oxígeno, el pH y la conformación estructural. En general, las características estructurales que conducen a un aumento de la estabilidad del pH también llevan a la estabilidad térmica. Las antocianinas altamente hidrolizadas son menos estables que las metiladas, glicosidadas o acetiladas (Fennema, 2000).

En el rango de pH de 2 a 4, la principal vía de degradación térmica de las antocianinas es la hidrólisis de la molécula de azúcar, seguido por la transformación de la antocianidina resultante a una calcona o alfa-dicetona (Furia, 1978; mencionado por Fernández, 1995).

Eventualmente la degradación térmica lleva a la deformación de productos marrones, especialmente en presencia de oxígeno (Markakis *et al.*; 1957; mencionado por Rein, 2005). La degradación térmica de las antocianinas sigue una cinética de primer orden (Markakis *et al.*; 1957, Keith y Powers, 1965; Rhim, 2002; Ahmed *et al.*; 2001; citados por Rein, 2005). En la figura 4, se muestra la degradación de una antocianina monoglucósido.

La velocidad de degradación de las antocianinas aumenta al elevar la temperatura. Existe una relación logarítmica entre la retención de color y la temperatura de los procesos de esterilización o almacenamiento (Fernández, 1995). Así como ocurre con las vitaminas y otros pigmentos, los sistemas de alta temperatura-corto tiempo son más adecuados para conservar el color de los alimentos (Badui, 1999).

Cevallos – Casals y Cisneros – Zevallos (2003) estudiaron el efecto de la exposición de extractos antocianínicos a pH 1 y 3 a 98 °C por dos horas, y concluyeron que el extracto de maíz morado es muy susceptible mostrando una alta degradación.

Figura 3: Forma de equilibrio de las antocianinas en solución acuosa (Rein, 2005).

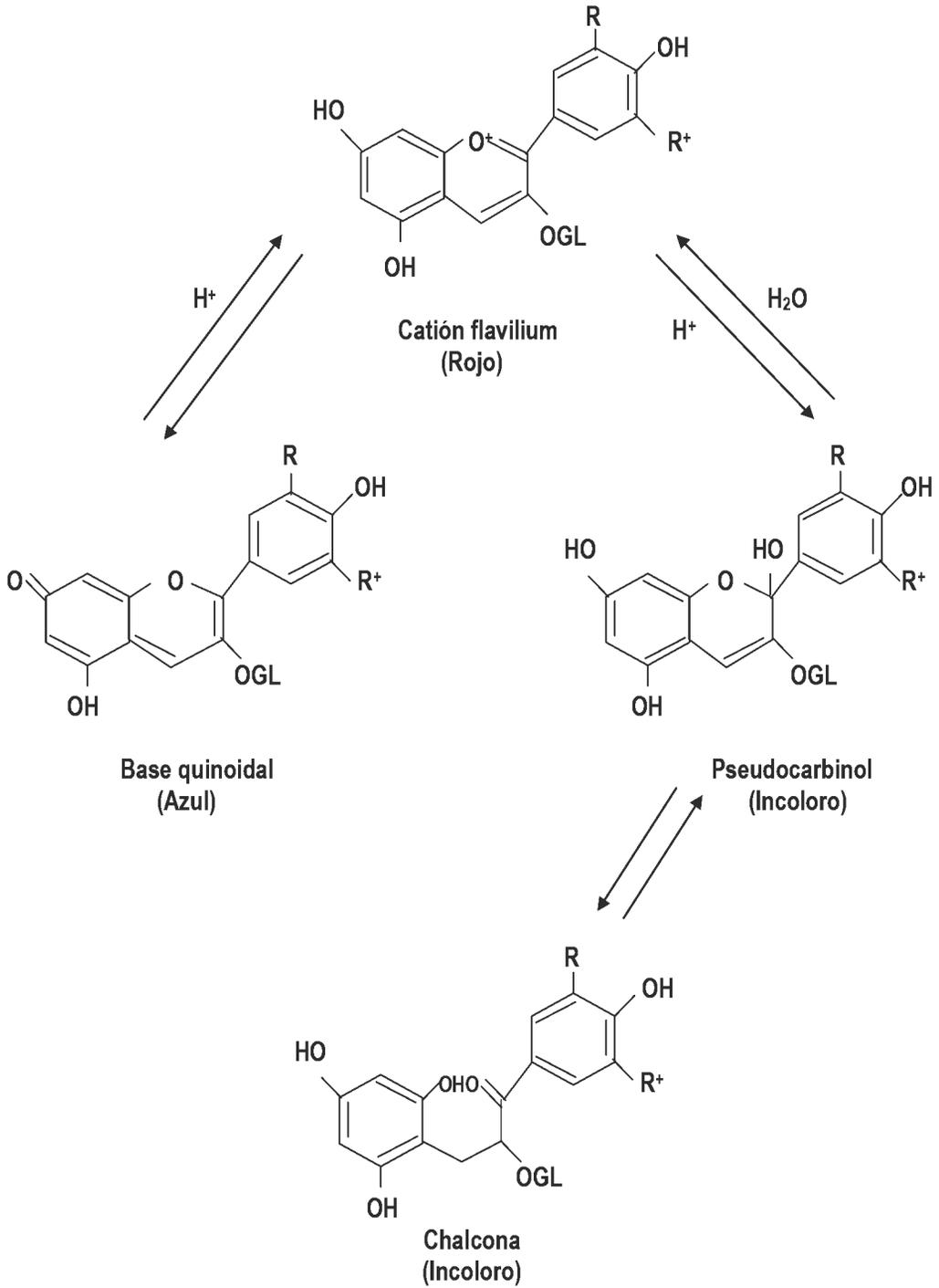
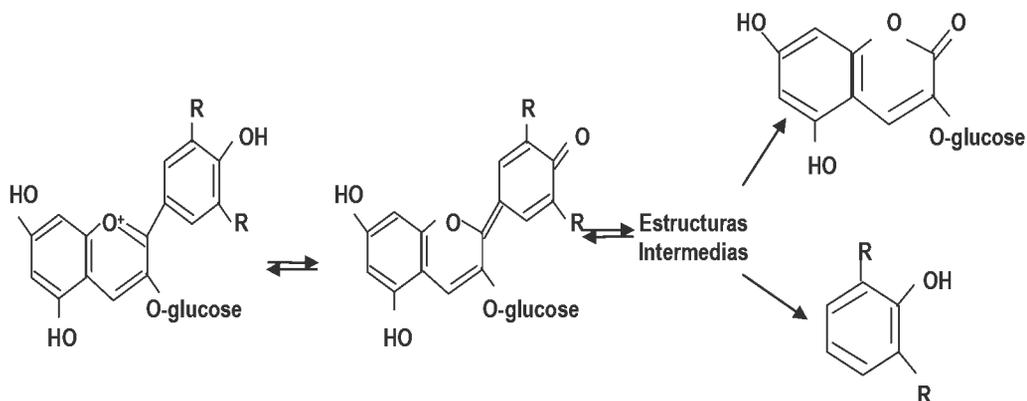


Figura 4: Degradación de antocianina monoglucósido a pH 3.7 acelerada por el calor (Rein, 2005).



c. **Oxígeno y Ácido Ascórbico:** La naturaleza insaturada de las estructuras de antocianidina las convierte en susceptible al oxígeno molecular (Fennema, 2000). El oxígeno disuelto tiene un efecto negativo en la estabilidad de las antocianinas.

El efecto positivo de la eliminación del oxígeno para retener el color de las antocianinas se ha demostrado procesando zumos de frutas que contienen antocianinas en nitrógeno o al vacío (Fennema, 2000).

Se ha visto que la degradación de las antocianinas va acompañada del ácido ascórbico, de tal manera que en muchos casos la oxidación de la vitamina C implica una decoloración (Badui, 1999).

El ácido ascórbico y las antocianinas desaparecen simultáneamente de los zumos de frutas, lo cual sugiere cierta interacción directa entre las moléculas. Sin embargo esta idea sea desechado, pues se cree que la degradación inducida por el ácido ascórbico de las antocianinas resulta indirectamente de la formación de peróxido de hidrógeno durante la oxidación del ácido ascórbico (Fennema, 2000).

d. **Azúcares:** Los azúcares a altas concentraciones, como ocurre en las conservas de frutas, estabilizan las antocianinas. Este efecto se cree que es debido a la disminución de la actividad de agua (Fennema, 2000). Cuando los azúcares están presentes en condiciones lo

suficientemente bajas como para tener poco efecto sobre la actividad del agua (A_w), ellos o sus productos de degradación pueden acelerar la degradación de las antocianinas (Fennema, 2000). Se ha observado que fructuosa es más perjudicial que la glucosa y que la sucrosa (Buckmir *et al.*, 1976; mencionado por Fernández, 1995). A concentraciones bajas, la fructuosa, arabinosa, lactosa y sorbosa tiene un efecto degradativo mayor sobre las antocianinas que la glucosa, sacarosa y maltosa (Fennema, 2000).

Las especies reactivas en la degradación de antocianinas son furfural (F) e hidroximetilfurfural (HMF) (Furia, 1978; mencionado por Fernández, 1995). La velocidad de degradación de la antocianina sigue la velocidad de degradación del azúcar a furfural. El furfural, que se deriva de las aldopentosas, y el HMF, que es un derivado de las cetohechosas, resultan de la reacción de Maillard o de la oxidación del ácido ascórbico. Estos compuestos se condensan fácilmente con las antocianinas, formando compuestos pardos (Fennema, 2000).

e. Enzimas: Se han identificado dos grupos de enzimas implicadas en la decoloración de las antocianinas: glicosidasa y polifenoloxidasa, en conjunto se les conoce como antocianinas. Las glicosidasas hidrolizan los enlaces glucosídicos, dando el azúcar o azúcares y la aglicona. La pérdida de intensidad de color se debe al descenso de la solubilidad de las antocianidinas y su transformación en productos incoloros. Las polifenoloxidasas actúan en presencia de o-difenol o o-benzoquinona, que a su vez reacciona con las antocianinas por un mecanismo no enzimático para formar antocianinas oxidadas y productos de degradación (Fennema, 2000).

f. Metales: Se ha observado que el Ca, Fe, Al y Sn ofrecen ciertas protecciones a las antocianinas de los zumos de arándano americano; sin embargo, la decoloración azul y parda producido por los complejos metal-tanino contrarresta cualquier efecto beneficioso (Fennema, 2000).

Las antocianinas con grupos hidroxilo fenólicos vecinos pueden secuestrar diversos metales multivalentes. La formación de complejos produce el desplazamiento batocrómico hacia el azul (Fennema, 2000). Las antocianinas cambian de color cuando forman complejos, quelatos o sales con iones de sodio, potasio, calcio, magnesio, estaño, hierro o aluminio; con estos dos últimos producen coloraciones azules (Badui, 1999).

La adición de $AlCl_3$ a las disoluciones de antocianinas se ha utilizado como una herramienta analítica para diferenciar la cianidina, la petunidina y la delphinidina de la pelargonidina, la peonidina y la malvidina. Este último grupo de antocianinas no posee hidroxilos fenólicos vecinos y, por tanto, no reacciona con el Al^{3+} (Fennema, 2000).

g. Copigmentación: La copigmentación (la condensación de antocianinas consigo mismas u otros compuestos orgánicos) puede acelerar o retardar la degradación, dependiendo de las circunstancias (Fennema, 2000).

Las antocianinas se condensan consigo mismas (autoasociación) para formar pilas helicoidales mediante atracciones hidrofóbicas y puentes de hidrógeno entre los núcleos de flavilo. El apilamiento tiende a proteger los grupos cromóforos asociados al azúcar frente a la reacción de hidratación (Fennema, 2000).

Las antocianinas forman complejos débiles con proteínas, taninos y otros flavonoides y polisacáridos. Aunque la mayoría de estos compuestos por sí mismos no son coloreados, aumentan el color de las antocianinas por producir desplazamientos batocrómicos y un aumento de la absorción de la luz a la longitud de onda de máxima adsorción de luz. Estos complejos también tienden a ser más estables durante el procesado y el almacenamiento. Tales polímeros son menos sensibles al pH y como quiera que la asociación ocurra a través de la posición 4, son resistentes a la decoloración por SO_2 (Fennema, 2000).

Esto ha sido frecuentemente observado cuando jugos de frutas son almacenados por largos períodos de tiempo y pierden su típico color rojo, apareciendo simultáneamente colores marrón o rojo ladrillo. Por ejemplo, en la mermelada de fresa, después de un año de almacenamiento a temperatura de ambiente, ya no aparece ninguna antocianina; ésta aparece de un color marrón rojizo. Es casual que los productos de degradación del pigmento también sean coloreados (Fernández, 1995).

h. Luz: La luz afecta a las antocianinas de dos formas diferentes: es esencial para su biosíntesis, pero también acelera su degradación (Markakis, 1982; citado por Rein, 2005). Este efecto adverso sea demostrado en diversos zumos de frutas y en vino tinto. En los vinos sea

observado que los diglicósidos acilados, metilados, son más estables que los diglicósidos no acilados, los cuales a su vez son más estables que los monoglicósidos (Fennema, 2000).

Las antocianinas conservan mucho mejor su color cuando son mantenidas en la oscuridad; la diferencia fue vista luego de mantener antocianinas por 24 horas en la luz y en la oscuridad a temperatura de ambiente a pH 2.3 (Kearsley y Rodríguez, 1981; mencionado por Rein, 2005). Furtado et al. (1993), mencionado por Rein (2005) encontró que los productos finales de la degradación inducida por la luz, fueron los mismos que los de la degradación térmica, sin embargo, las reacciones de degradación fueron diferentes e incluyeron la excitación del catión flavilo.

i. **Dióxido de azufre:** La reacción entre antocianina y dióxido de azufre ha sido ampliamente estudiada. Se cree que comprende la fijación de SO₂ en la posición C-4 es que el SO₂ en esta posición produce la pérdida de color (Fennema, 2000).

Pequeñas cantidades de SO₂ pueden decolorar rápidamente cantidades significativas de antocianina (Fennema, 2000; Badui, 1999).

2.3.4 EXTRACCION DE ANTOCIANINAS

Lock (1997), menciona que la materia colorante del Maíz morado son las antocianinas, de las cuales se han determinado, 3-glucósidos de cianidina, pelargonidina y peonidina, 3-galactosido de cianidina, libres y acilados.

También nos dice que actualmente se preparan extractos acuosos atomizados; sin embargo, los volúmenes de producción aún no compiten con las enocininas.

Lock (1997), menciona que un conocimiento de los factores involucrados en inestabilidad de la antocianina, así como de los mecanismos de degradación es sumamente vital para una eficiente extracción y purificación de las antocianinas y su uso como colorante natural.

Cisneros (1988) citado por Araujo et al (1990), dice que una de las técnicas más empleadas en la industria de alimentos para la obtención y/o transformación de colorantes naturales es el uso de “microencapsulamientos” mediante secado por atomización.

Araujo (1995), halló que la enzima, que dio mejores resultados en la extracción de antocianinas del maíz morado a partir de las tusas, fue extrazime de novo nordisk. Este es un compuesto multienzimático constituido por carbohidratos, celulasa, β -glucanasa, hemicelulasa, pectinasas y xilanasas. Las indicaciones para la actividad óptima de este producto son: temperatura de 20 y 50 °C y pH de 4 y 6.

Fernández (1995), realizó diversos experimentos en el Maíz morado y concluyó que las condiciones óptimas para la extracción y cuantificación de antocianinas a partir de la coronta fueron: 2 mm de tamaño de partícula, una maceración en H₂O y 0.1 % de H₂SO₄ a pH = 2.0 y a una temperatura de 20 °C por 12 horas, una proporción de materia prima solvente igual a 1/12 y la extracción por calentamiento debe ser en 3 etapas a 80°C por 30 minutos cada una.

Fernández (1995), al analizar el grano y la coronta del Maíz morado encontró los siguientes resultados:

CUADRO 5: Porcentaje de antocianinas en el grano y coronta del Maíz morado

MUESTRA	ACYS TOTALES* (mg de Acys/100 G)	RENDIMIENTO (%)
CORONTA	610.998	79.47
GRANO	51.935	6.75
GRANO MOLIDO	157.841	20.53
TOTAL	768.839	100.00

Solventes : Agua desionizada Tiempo de Maceración : 24 horas

Temperatura : Ambiente Materia Prima : 1/20

*** Acys o también Antocianinas totales**

2.3.5 EXPORTACION DE ANTOCIANINAS DEL MAIZ MORADO: En el Cuadro 6, se observa las exportaciones anuales de Antocianina del Maíz Morado, se puede observar el valor FOB, volumen neto y el valor FOB por kilogramo de antocianina desde el 04 de Febrero del 2002 (fecha de inicio de vigencia de la P.A. 3203001600, la cual es específica de la antocianina del Maíz Morado) al 23 de Noviembre del 2006.

**CUADRO 6: Exportaciones anuales de Antocianina del
Maíz morado**

Año	Valor FOB (US\$)	Volumen Neto (Kg.)	Valor FOB (US\$/Kg.)
2002	83,200.00	1,200.00	69.33
2003	26,264.70	420.00	62.54
2004	1,500.00	100.00	15.00
2005	6,065.80	58.04	104.51
2006	8,490.54	147.31	57.64

FUENTE: Prompex (2006).
(*) Datos al 23 de Noviembre del 2006

Se puede destacar del Cuadro 6, que el valor FOB por kilogramo de antocianina del Maíz morado es muy superior a su similar en producto no procesado. Además, se observa que el valor FOB por kilogramo de antocianina fue superior solamente en el año 2005 debido a que el volumen neto exportado para ese año fue muy inferior si se le compara con el volumen exportado en los otros años.

En el Cuadro 7, se muestra los principales países importadores de la antocianina del Maíz morado peruano. En el mismo cuadro, se observa sus respectivas cantidades de valor FOB y volumen neto, así, como su porcentaje correspondiente de FOB por año en la compra de este producto natural. En estos tres últimos años países como Japón, Estados Unidos y Reino Unido son los mayores demandantes de esta materia colorante.

La antocianina del Maíz morado tiene muchas propiedades medicinales como favorecer la regeneración de tejidos, prever de enfermedades cardiovasculares, retardar los procesos

degenerativos en general, acción antiarrugas, incremento del flujo sanguíneo y estimulación de la acción diurética.

**CUADRO 7: Principales países importadores de antocianinas del
Maíz Morado Peruano**

Año	País destino	Valor FOB (US\$)	Volumen Neto (Kg.)	FOB (%)
2002	Alemania	81,400.00	1,100.00	97.83
2002	Japón	1,800.00	100.00	2.16
2003	Alemania	26,264.70	420.00	100.00
2004	Japón	1,500.00	100.00	100.00
2005	Estados unidos	6,000.00	50.00	98.90
2006	Reino Unido	7,464.00	101.71	87.91

FUENTE: Prompex (2006).
(*) Datos al 23 de Noviembre del 2006

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 AREA EXPERIMENTAL

3.1.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA: El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el área del Campo Libres II, del fundo experimental de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), situado en el valle del Rímac, cuya ubicación es la siguiente:

Altitud	:	255 m.s.n.m.
Pendiente	:	1.5%
Latitud Sur	:	12° 05' 06"
Latitud Oeste	:	76° 57' 07"
Clima	:	Templado, Subtropical costero
Distrito	:	La Molina.
Provincia	:	Lima.
Departamento	:	Lima.

3.1.2 CARACTERÍSTICAS DEL SUELO: Los suelos de la Molina, fisiográficamente se encuentran en una terraza media de origen aluvial y pertenecen a la clase 1 y 2 según la capacidad de uso. Son suelos muy profundos, de buen drenaje, permeabilidad moderada, textura media, estructura granular media y moderada, y de consistencia friable en húmedo (Villagarcía, 1994).

En el cuadro 8, se presenta el análisis de suelo del área experimental "Campo Libres II", se puede observar que presenta una textura franco arenosa y es muy ligeramente salino (CE = 1.05 ds/m). La reacción es ligeramente alcalina (pH = 7.6), el nivel calcáreo es medio (CaCO_3 = 9.0%) y el nivel de materia orgánica es bajo (M.O. = 1.5%). Asimismo, la disponibilidad de fósforo es media (P = 10.8 ppm), de potasio es medio (K = 247 ppm) y la capacidad de intercambio catiónico es baja (CIC = 8.0 meq/100 gr. de suelo).

CUADRO 8: Análisis de caracterización de suelo del área experimental “Campo libres II”

Departamento : Lima Provincia : Lima
 Distrito : La Molina Predio : Campo Libres II

CAMPO	pH (1:1)	CE (1:1) ds/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P Ppm	K ppm	ANÁLISIS MECÁNICO			CLASE TEXTURAL	CIC	CAMBIABLES				
							ARENA (%)	LIMO (%)	ARCILLA (%)			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺
							Meq/100 g de suelo									
LIBRES II	7.6	1.05	9.00	1.5	10.8	247	62	26	12	Fr A	8.00	6.03	1.31	0.51	0.15	0.00

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes – UNALM (2005)

3.1.3 CARACTERISTICAS CLIMATOLOGICAS DE LA MOLINA: En el sistema modificado de Koppen, basado en promedios anuales de precipitación y temperatura (°F), le corresponde a la Molina, la clasificación de desierto subtropical árido-caluroso.

En el cuadro 9, se presentan los datos climatológicos correspondientes al área experimental durante el periodo vegetativo del cultivo (Mayo 2005 a Febrero del 2006). Los datos fueron obtenidos del observatorio meteorológico "Alexander Von Humboldt" de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

CUADRO 9: Condiciones climatológicas registradas en el observatorio Alexander Von Humboldt, La Molina. Perú

Altitud : 255 m.s.n.m. Latitud Oeste : 76° 57' 07"
 Periodo: Mayo del 2005 a Febrero del 2006. Latitud Sur : 12° 05' 06"

MES	Temp. Máx. °C	Temp. Min. °C	Humedad Relat. (%)	Precip. Total (mm)	Horas de sol Total (hrs. y Dec)	Velocidad del viento (m/s)
Junio	19.2	13.8	86	0.6	93.6	1.3 W
Julio	18.6	13.8	88	2.2	78.3	1.3 SW
Agosto	19.5	13.0	86	0.3	134.6	1.4 W
Setiembre	18.2	13.1	89	2.1	67.2	1.1 W
Octubre	20.4	13.4	87	0.3	172.4	1.8 W
Noviembre	22.4	14.3	82	0.3	179.8	1.3 W
Diciembre	24.7	17.5	83	0.1	150.5	1.8 W
Enero 06	27.9	19.2	77	0.5	209.4	1.9 W

Fuente: Observatorio Alexander Von Humboldt, La Molina

Se observa que durante la conducción del experimento, la temperatura vario entre 13.0 a 27.9 °C, siendo la mínima en Agosto y la máxima en Diciembre. La humedad relativa varió entre 77 y 89% de HR., siendo la mínima en Enero (2006) y la máxima en Setiembre (2005). La precipitación pluvial vario de 0.1 a 2.2 mm registrándose la máxima en Julio y la mínima en Diciembre. Las horas de sol también variaron durante la conducción del experimento, observándose las mayores horas de sol el mes de Enero (2006) con 209.4 hrs. y Dec y la mínima el mes de Setiembre con 67.2 hrs. y Dec. La velocidad del viento varió entre 1.1 y 1.9 m/s, siendo la máxima en Enero (2006) y la mínima en Setiembre (2005).

Estas condiciones climáticas no constituyen un factor limitante para el cultivo del maíz; y se encuentran dentro de los rangos establecidos para el buen crecimiento y desarrollo del cultivo tal como lo menciona (Villagarcía, 1994).

3.2 MATERIALES

3.2.1 MATERIAL GENETICO: Se emplearon semillas de Maíz morado (variedad PMV-581). Las semillas fueron proveídas por el Programa de Maíz, de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), las cuales fueron sembradas en el área de Campo Libres II, del fundo experimental de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). Las semillas estuvieron tratadas con el insecticida Fentoato (Fenkil 3% PS), fungicida Captan (a la relación 2 Kg por tonelada de semilla) y el colorante Rodamina.

Esta variedad presenta plantas con un promedio de altura de 2 m, una precocidad de 90 a 110 días de floración masculina y dos mazorcas por planta. Rendimiento promedio de 2 a 4 toneladas por hectárea.

3.2.2 FERTILIZANTES: Los fertilizantes sintéticos que se emplearon para el presente experimento fueron los siguientes:

Urea	:	46 % N (granulado)
Fosfato Diamónico (FDA)	:	18 % N y 46 % P ₂ O ₅
Cloruro de Potasio (KCl)	:	60 % K ₂ O

3.2.3 OTROS: Se emplearon los siguientes materiales:

- Para la demarcación del área experimental: estacas, cordeles, yeso y croquis del área a demarcar.
- Para la toma de datos fenológicos en campo: libreta de apuntes, navaja, franela y una cámara fotográfica digital.
- Para la cosecha: Aguja despancadota, costales de tela limpia y mantadas para el secado.

- Para el análisis de intensidad de color de la coronta: Desgranadora manual, bolsas de papel, tijera de podar, baldes, molino o triturador de coronta, escobilla de limpieza, tazas o fuentes de plástico, bolsas de plástico, etiquetas de papel, balanza de digital, metanol, ácido hidrocórico, y otros mas que se usaron en el laboratorio.
- Para la determinación de la humedad de la tusa: Detector de humedad Modelo Kett Electric Laboratory.
- Para la determinación de la humedad del grano: Detector de humedad Modelo PM – 6050 – 3B.
- Otros materiales utilizados: regla de madera graduada, etiqueta de papel, engrampador, lampa recta, insecticidas, cartillas de evaluación, etc.

3.3 METODOLOGIA

3.3.1 EVALUACIÓN DE LA ETAPAS FENOLOGICAS O ESTADOS DE DESARROLLO: La identificación de las etapas fenológicas se determinó a partir del momento de la siembra hasta la madurez de cosecha, tomando como base la clasificación fenológica de (Hanway, 1993).

Estado de Desarrollo Vegetativo: Se tomaron en cuenta los procesos de crecimiento de la planta desde la siembra hasta el estado de VT (floración masculina), teniendo en cuenta el número de días desde la siembra; para ello se considero:

VE : Emergencia.

V1 : Primera hoja.

V2 : Segunda Hoja.

V3 : Tercera Hoja.

V(n) : n – ésima hojas.

VT : Floración masculina.

Estados Reproductivos: Esta fase de desarrollo se evaluó a partir de la floración femenina hasta la madurez fisiológica.

- R1** : Floración femenina.
- R2** : Grano perlita.
- R3** : Grano lechoso.
- R4** : Grano masoso o pastoso.
- R5** : Grano dentado.
- R6** : Madurez fisiológica.

Para determinar las etapas fenológicas se evaluaron 80 plantas al azar, evaluándoles desde la siembra hasta el estado de VT, en la cual se determinó el estado vegetativo y de desarrollo; para poder observar bien las etapas fenológicas y de crecimiento (diferenciación floral y otros) se tenía que sacrificar plantas que se encontraban al contorno del experimento que tenían la misma edad y las mismas características a las 80 plantas evaluadas.

Para determinar el estado reproductivo, también se evaluó plantas que se encontraban al contorno del experimento, pero que tenía la misma época de siembra y las mismas características tomando como base las 80 plantas; a estas plantas se tenía que arrancar y observar los diferentes estados de desarrollo de grano, para así tomar bien las etapas fenológicas exactas.

3.3.2 ANALISIS DE LA INTENSIDAD DE COLOR DE LA CORONTA EN DIFERENTES ESTADOS REPRODUCTIVOS DE LA PLANTA

Para determinar el porcentaje de acumulación de antocianina en los diferentes estados de desarrollo de la planta se tuvo 8 tratamientos, cada tratamiento fue cosechado en diferentes etapas como se puede observar en el siguiente cuadro:

CUADRO 10: Etapas de cosecha de cada tratamiento en los diferentes estados de desarrollo del maíz morado.

TRATAMIENTO	Clave
Análisis de la intensidad de color en el estado de grano dentado	T1
Análisis de la intensidad de color al momento de la madurez fisiológica	T2
Análisis de la intensidad de color a los 5 días de la madurez fisiológica.	T3
Análisis de la intensidad de color a los 10 días de la madurez fisiológica.	T4
Análisis de la intensidad de color a los 15 días de la madurez fisiológica.	T5
Análisis de la intensidad de color a los 20 días de la madurez fisiológica.	T6
Análisis de la intensidad de color a los 25 días de la madurez fisiológica.	T7
Análisis de la intensidad de color a la madurez de cosecha o seco en la misma planta	T8

El contenido de antocianinas se evalúa de manera indirecta usando el método de color value test; el cual The Ministry of Health and Welfare (2000), le ha dado el nombre a la prueba que sigue las normas de procedimiento de la FAO (1978), citada por Saux (1980), para medir la intensidad de color en un alimento por determinación de la absorbancia. De este modo, la intensidad de color sugiere una cantidad del pigmento en un alimento.

Para la determinación de la intensidad de color de la coronta, se separaron los granos de las corontas y se seleccionaron estas separándolas por tratamiento. Se dejaron secar al medio ambiente por espacio de cuatro semanas, para extraerles la humedad; luego se procedió a molerlas y después se continuó con el Protocolo (color value test), para hallar la intensidad de color por determinación de la absorbancia en la coronta de maíz morado.

En general, la intensidad de color es expresada por la fórmula ($E^{10\% 1cm}$), cuando la absorbancia de la solución del alimento de color es determinado a la longitud de onda de máxima absorción en la región de la luz visible y calculada en términos de la absorbancia de una solución 10 % peso / volumen.

3.3.3 DISEÑO EXPERIMENTAL:

El diseño empleado para el análisis de intensidad de color en corontas de maíz morado fue el de Bloques Completamente al Azar (DBCA), con 8 tratamientos y 4 repeticiones.

3.3.4 TRATAMIENTOS:

En el cuadro 11 y la figura 5, se presentan los diferentes tratamientos, cada uno con sus respectivos niveles de fraccionamiento; así como, la distribución de los mismos en el área experimental.

CUADRO 11: Relación de tratamientos en estudio y su número de repeticiones por tratamiento para el análisis de intensidad de color en corontas de maíz morado

ENTRADA	TRATAMIENTO	REPETICIONES			
		I	II	III	IV
1	T1 = Grano Dentado	104	201	306	407
2	T2 = Madurez Fisiológica	105	203	305	406
3	T3 = 5 días después de la M. F	103	202	302	403
4	T4 = 10 días después de la M. F	101	208	303	402
5	T5 = 15 días después de la M. F	106	204	304	408
6	T6 = 20 días después de la M. F	107	207	301	401
7	T7 = 25 días después de la M. F	102	206	308	405
8	T8 = Madurez de cosecha o seco en la misma planta	108	205	307	404

FIGURA 5: Distribución de los tratamientos, con sus respectivas repeticiones, en el área experimental

F1	F5	408	407	406	405	404	403	402	401
		T5	T1	T2	T7	T8	T3	T4	T6
F2	F6	301	302	303	304	305	306	307	308
		T6	T3	T4	T5	T2	T1	T8	T7
F3	F7	208	207	206	205	204	203	202	201
		T4	T6	T7	T8	T5	T2	T3	T1
F4	F8	101	102	103	104	105	106	107	108
		T4	T7	T3	T1	T2	T5	T6	T8

F1, F2, F3, ..., F8: Parcelas de evaluación de las fases fenológicas del maíz morado en el campo experimental.

3.3.5 CARACTERÍSTICAS DEL AREA EXPERIMENTAL: La distancia entre surcos fue de 0.8 m y 0.4 m entre golpes. Al momento de la siembra se colocaron 4 semillas por golpe, posteriormente al desahije se dejaron 2 plantas por golpe, por lo tanto la densidad fue de 62,500 plantas/ha.

Cada parcela estaba formada por 4 surcos con un distanciamiento de 4.4 m de largo cada uno. En total se tuvo 11 golpes por surco haciendo un total de 44 golpes por parcela. El área de cada parcela fue de 14.08 m² y el área total del experimento fue de 678.40 m². El ancho de las calles es de 1.20 m.

3.3.6 ANALISIS ESTADÍSTICO: Las observaciones realizadas se evaluarán en un análisis de varianza correspondiente a un Diseño de Bloques Completamente al Azar, y para establecer la significación se contrastará con la prueba de "F", así mismo, se determinará la diferencia entre los tratamientos utilizando la prueba de comparación de Tukey a un nivel de significación estadística de 0.05.

Modelo Aditivo Lineal: El modelo aditivo lineal estará conformado de la siguiente manera:

$$Y_{ij} = \mu + \beta_i + T_j + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ij}	=	Promedio de la unidad experimental
i	=	1, 2,....., b (repetición)
j	=	1, 2,....., t (tratamientos)
μ	=	Media general
β_i	=	Efecto de la repetición i
T_j	=	Efecto del tratamiento j, en la repetición i
E_{ij}	=	Error Experimental

3.3.7 INSTALACION Y MANEJO DEL EXPERIMENTO: En el Anexo 01, se describe las labores realizadas durante la conducción del presente trabajo de investigación, así como, la fecha correspondiente para cada labor. Se debe resaltar que el manejo fue similar en todo el campo.

A continuación se describen las labores realizadas durante la conducción del presente trabajo de investigación:

Preparación del terreno: Consistió básicamente en un proceso de arado, gradeo, nivelación y surcado del terreno. Antes de todo ello se realizó un riego de machaco.

Instalación del experimento: Después de la preparación del terreno se procedió a marcar el área del experimento respetando las dimensiones preconcebidas, haciendo uso de estacas, cordeles y yeso.

Siembra: Se realizó la siembra respectiva de las semillas de Maíz morado variedad PMV-581 sobre las parcelas de los bloques ya marcados. Se sembraron cuatro semillas en cada hoyo abierto en la dirección de las marcas del cordel.

Desahije: Se realizó cuando las plantas tenían entre 20 y 25 cm. de altura, dejándose en cada golpe dos plantas (las más vigorosas).

Abonamiento: Se realizo en dos etapas, uno a los 22 días después de la siembra, y al aporque (39 días después de la siembra); en el primer momento se aplico la mitad nitrógeno y todo fósforo – potasio y en la segunda aplicación se incorporo la otra mitad de nitrógeno usando una dosis de fertilización total de 180 – 80 – 80 Kg. de NPK por hectárea.

Control de malezas: Se buscó que el campo este libre de malezas para evitar la competencia de éstas con la variedad de interés comercial, para ello se realizó labores de control manual y químico respectivamente. Los productos que se usaron fueron Atranex y 2,4 D ambos a una dosis de 1.5 litros/ ha.

Riegos: Se buscó que sea lo más oportuno posible. En total fueron siete los riegos realizados, siendo los tres primeros riegos inmediatamente después de los abonamientos y el último riego en la fase de llenado de grano.

Aporque: Se realizo a los treinta y nueve días después de la siembra, donde se realizó el aporque propiamente dicho.

Control de plagas: Se realizó en el momento oportuno y de acuerdo a las recomendaciones técnicas haciendo uso para ello de productos químicos como Lorsban a dosis de 1 lt/ha, y Dipterex a una dosis de 900 mg/ha para controlar al cogollero del maíz (*Spodoptera frugiperda*).

Cosecha: La cosecha se realizó en 8 etapas diferentes, teniendo en cuenta los diferentes estados de desarrollo a partir de grano dentado; esta labor se hizo en forma manual utilizando costales de tela y agujas despancadotas.

3.3.8 VARIABLES EVALUADAS EN EL EXPERIMENTO

3.3.8.1 FASES FENOLOGICAS O DE DESARROLLO: Se evaluaron 10 plantas al azar de los surcos centrales de cada unidad experimental (Fn), haciendo un total de 80 plantas evaluadas.

A.- Estado de Desarrollo Vegetativo:

Emergencia (VE): Este parámetro se tomo en cuenta cuando el 50% del ápice del coleoptilo de la población esperada, hizo su aparición a la superficie del suelo exponiéndose a la luz solar.

Número de hojas (Vn): Se evaluaron cuando el 50% de la población esperada presentaba las hojas completamente desplegadas y colocadas alternamente (lado a lado), esta misma manera de mostrar fue usada para todos los siguientes estados vegetativos.

Estado de VT: Se evaluó cuando la rama final de la floración masculina estaba completamente visible en más del 50% de la población esperada y la floración femenina aún no había emergido.

B.- Estado de Desarrollo Reproductivo:

Floración femenina (R1): Se determino cuando el 50% de la población esperada presentaba la floración femenina completamente visible fuera de las vainas y cuando los estigmas estaban apareciendo.

Grano perlita (R2): Se determino cuando el 50% de la población esperada, presentaba los granos un color blanquecino en la parte exterior y se asemejaban a una ampolla.

Grano lechoso (R3): Este parámetro se tomo en cuenta cuando el grano mostraba el color morado en la parte externa y blanco lechoso en la parte interna debido a la acumulación del almidón, en mas del 50% de la población esperada.

Grano masoso (R4): Esta fase se evaluó cuando el color morado del grano llegaba a la mitad y al presionarlos con los dedos la consistencia del grano era masosa, este parámetro se tomo en cuenta cuando el 50% de la población esperada presentaban estas características.

Grano dentado (R5): Esta fase se determino en mas del 50% de la población esperada, cuando todos o casi todos los granos son dentados o en dentición y los granos eran cubierto casi en su

totalidad del color morado; la cáscara de la mazorca comenzaba a desecarse, y los granos están desecándose comenzando en la parte superior donde se forma una pequeña capa blanca dura.

Madurez fisiológica (R6): Se determinó cuando el 50% de la población esperada, presentaba la capa dura del almidón y que había avanzado completamente en los granos de la mazorca, además han formado la capa de abscisión negra o marrón en la parte basal del grano.

3.3.8.2 INTENSIDAD DE COLOR DE LA CORONTA EN DIFERENTES ESTADOS REPRODUCTIVOS DE LA PLANTA: Una vez cosechada las mazorcas de cada tratamiento se dejaron secar al medio ambiente hasta obtener mazorcas secas con un promedio de 7 – 8% de humedad, para así evitar el contagio por algunos agentes fungos como es el caso de hongos, que podría bajar la calidad del color y calidad de producto.

Para la determinación de la intensidad de color de la coronta, se separó los granos de las corontas y se seleccionaron estas separándolas por tratamiento, se dejaron secar estas al medio ambiente hasta obtener un porcentaje de humedad menos de 8%; luego se procedió a molerlas y después se continuó con el siguiente protocolo:

Protocolo (color value test) para hallar la intensidad de color por determinación de la absorbancia, en la coronta del maíz morado (modificado por Shibahara 2005):

1. Se pesó 2 gr. de la muestra de coronta molida de cada tratamiento.
2. A la muestra tomada se le añadió 60 ml de metanol al 50% (v/v) (incluyendo ácido hidrocórico al 0.1%) y se removió por una hora a temperatura ambiente. Posteriormente se filtró con papel filtro N° 2.
3. Se repitió el paso N° 2 dos veces usando el residuo de la filtración. Todo el filtrado resultante de las tres filtraciones se diluyó en un matraz volumétrico de 200 ml con agua desionizada hasta completar los 200 ml.
4. De la solución anterior, se tomó 5 ml y se disolvió hasta obtener 100 ml de una solución amortiguadora con pH = 3 [después de mezclar una cantidad de 159 ml de 1 litro de solución en la que se ha disuelto 21 gr. de ácido cítrico (cristal) en agua desionizada y una cantidad de 41 ml de 1 litro de solución en la que se ha disuelto 71.6 gr. de bifosfato de

sodio dodecahidratado, ase adecuó la solución a pH= 3]. Se usó esta solución como una solución de prueba.

5. Como se contrastó con la solución amortiguadora de pH= 3 en el espectrofotómetro, se determinó la absorbancia A de la solución en absorción máxima cercana a 514 nm usando una celda de 10 mm.
6. Para hallar la intensidad de color se usó la siguiente fórmula:

$$\text{Intensidad de color (E}^{10\% \text{ 1 cm.})} = \frac{A \times 200 \times 2}{\text{Peso de la muestra (gr.)}}$$

$$\text{Factor de corrección} = 1/0.92 = 1.0869 \approx 1.087$$

Donde:

- A** = absorbancia de la solución.
- Intensidad de color (E^{10% 1 cm.})** = Intensidad de color de la solución de coronta de maíz morado (10% peso/volumen) determinada a la longitud de onda de máxima absorción en la región de luz visible.

Solución Amortiguadora pH 3.00

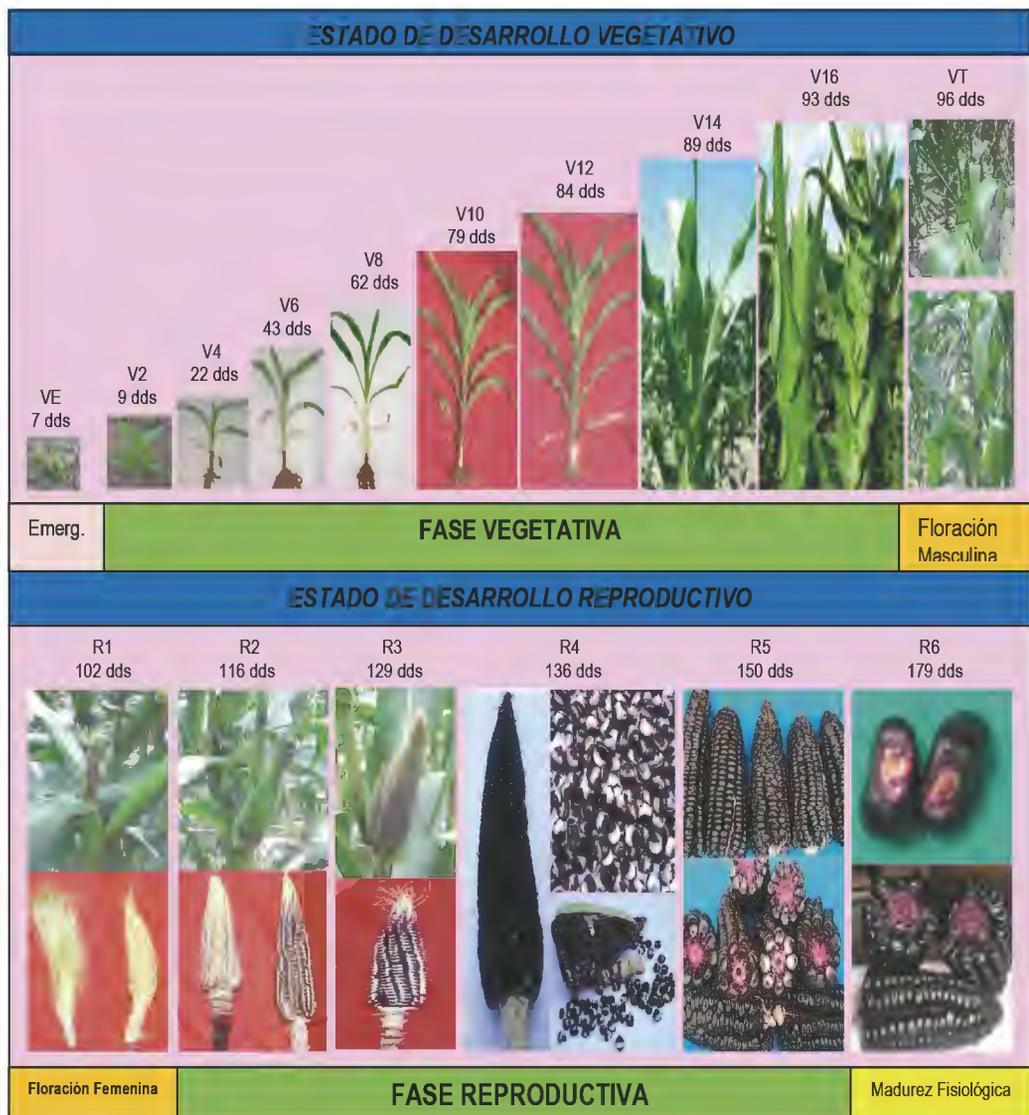
- Prepare una solución de ácido cítrico (cristal) 21 gramos por litro de agua destilada.
- Prepare otra solución de 71.6 gramos de bifosfato de sodio * 12 agua en 1 litro de agua destilada.
- Mezcle proporcionalmente 159 mililitros de la solución de ácido cítrico con 41 mililitros de la solución de bifosfato de sodio dodecahidratado; adecue la solución a pH 3.00.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 FASES FENOLOGICAS:

En La Figura 6, se observa las diferentes etapas fenológicas registradas en el ciclo de crecimiento del maíz morado durante el experimento, las cuales se dividen en dos estados diferentes (Estado de desarrollo vegetativo y Estado de desarrollo reproductivo).

FIGURA 6: Fases Fenológicas del Maíz Morado Variedad PMV – 581, bajo las condiciones de la localidad de La Molina – Lima – Perú.



De acuerdo a la Figura 6, resumimos las diferentes fases fenológicas del maíz morado registrados en días después de la siembra (dds), donde podemos describir de la siguiente manera:

El estado de desarrollo vegetativo, inició con la germinación y emergencia del maíz morado, en seguida se dio el desarrollo de los diferentes números de hojas, hasta llegar a la floración masculina donde la planta alcanzó su tamaño máximo; y en este período el ritmo de crecimiento del maíz morado fueron lentas en las primeras semanas, luego aceleró su crecimiento a partir del estado V6 y finalmente disminuyéndose en el estado V14. El estado de desarrollo reproductivo se inició con el R1 (floración femenina) a los 102 días después de la siembra (dds), con la aparición de los estigmas manteniéndose por 6 – 7 días hasta obtener su tamaño máximo; el estado R2, se dio a los 116 dds, iniciándose la acumulación del almidón en el endospermo; el R3 comenzó a los 27 días promedios después de la floración femenina con una consistencia lechosa de los granos; en seguida se dio inicio al estado de R4 a los 34 días promedios después de la floración femenina, donde la consistencia del grano es masosa; el R5 se inició a los 48 días después de la floración femenina, donde la consistencia de los granos son sólidas poniéndose duras las puntas de los granos con una apariencia a dientes; y finalmente se dio la madurez fisiológica (R6) a los 179 dds, donde la capa de abscisión de los granos presentaron un color negro o marrón, y a la vez los granos presentaron una consistencia dura con un color de morado intenso.

4.1.1 ESTADO DE DESARROLLO VEGETATIVO:

a) **Emergencia (VE):** En campo se alcanzó esta etapa cuando el 50% de la población de plantas presentaron el coleoptilo al nivel del suelo. En nuestro ensayo se alcanzó esta fase a los 7 días promedios después de la siembra.



Figura 7: Estado de VE (Emergencia)

La emergencia del maíz morado se da inicio con la aparición de la raíz seminal y la elongación del coleoptilo, donde el punto de crecimiento es por debajo del suelo; esto corroboramos con lo que dice Hanway (1993), que el punto de crecimiento de la planta es de 2,5 – 3,8 centímetros, por debajo de la superficie del suelo y esta localizado por encima del mesocotilo, y las hojas embrionarias se desarrollan rápidamente; luego crece a través del ápice del coleoptilo y continua desarrollándose la parte aérea de la planta.

b) **Dos Hojas Desplegadas (V2):** Esta etapa comienza cuando las dos hojas primarias de la planta están totalmente desplegadas; para un cultivo se considera que se ha alcanzado esta etapa cuando el 50% de la población de plantas presentan estas características.



Figura 8: Estado V2 (Dos hojas desplegadas)

En el ensayo se alcanzo esta etapa a los 9 días promedios después de la siembra, donde muestra las hojas colocadas alternamente (lado a lado), pero sin contar la primera hoja cotiledonal; por lo que también coincidimos con lo que dice Hanway (1993), que en el estado de V3, los pelos radiculares crecen desde las raíces nodales y virtualmente cesa el crecimiento del sistema radicular seminal.

c) **Cuatro Hojas Desplegadas (V4):** Esta etapa comienza cuando la planta presenta las cuatro hojas verdaderas completamente desplegadas y en forma alterna; en nuestro ensayo el 50% de la población de plantas que presento estas características fue a los 22 días promedios después de la siembra. Se considera que las hojas están completamente desplegadas cuando las láminas de las hojas se ubican en una posición plana, pero si aun no han alcanzado su máximo tamaño.



Figura 9: Estado V4 (Cuatro hojas desplegadas)

En este estado el ápice del tallo se encuentra por debajo del suelo; por lo que nos ajustamos a lo que menciona Hanway (1993), que en el estado V4 se forma todas las hojas y se da inicio a la diferenciación floral; y casi en el estado V5 se completa la formación de todas las hojas y se inicia el crecimiento del brote de la futura mazorca; también se inicia el desarrollo de la floración masculina microscópicamente visible en al punta del ápice del tallo.

d) **Seis Hojas Desplegadas (V6):** Esta fase comenzó cuando las seis hojas de la planta se encontraban completamente desplegadas, en nuestro ensayo el cultivo alcanzó el 50% de plantas con estas características a los 43 días después de la siembra aproximadamente. En este estado se puede observar que el punto de crecimiento y la floración masculina está por encima de la superficie del suelo.



Figura 10: Estado V6 (Seis hojas desplegadas)

En esta etapa el tallo inicia un periodo de mayor crecimiento o crecimiento acelerado; Hanway (1993), menciona que debajo del suelo el sistema radicular nodal es ahora el principal sistema radicular en funcionamiento con grupos de raíces que se desarrollan de tres a cuatros nodos mas bajos del tallo.

e) **Ocho Hojas Desplegadas (V8):** Esta etapa inicia cuando la octava hoja se encuentra completamente desplegada, en nuestro ensayo consideramos esta etapa cuando el 50% de la población de plantas presentaban estas características. Nuestro experimento presentó esta etapa a los 62 días aproximados después de la siembra; en este estado ya se pudo observar la degradación y pérdida de las dos hojas más pequeñas del inferior de la planta.



Figura 11: Estado V8 (Ocho hojas desplegadas) e inicio del desarrollo de la floración masculina y femenina

En el estado V8 continua el crecimiento acelerado, a la vez también comienza a desarrollarse la floración masculina y el brote de la mazorca; por lo que comparamos con lo que dice Hanway (1993), que en el estado de V9, un brote de la mazorca (potencial mazorca) se desarrollara desde cada nodo de la parte aérea, excepto los últimos seis a ocho nodos por debajo de la floración masculina. Asimismo, la floración masculina comienza a desarrollarse rápidamente; y la elongación del tallo ocurre por la elongación de sus entrenudos, y cada entrenudo comenzara la elongación antes del entrenudo que esta encima de él.

f) **Diez Hojas Desplegadas (V10):** Esta etapa se inicia cuando la planta presenta la décima hoja desplegada, en nuestro ensayo el cultivo alcanzo el 50% de plantas con estas

características a los 79 días después de la siembra aproximadamente, en este estado se pudo observar que se acorta la aparición de los nuevos estados de las hojas.



Figura 12: Estado V10 (Diez hojas desplegadas)

Hanway (1993), indica que en esta etapa la planta de maíz comienza un rápido incremento en la acumulación de nutrientes y peso seco, que continuara hasta estados reproductivos muy avanzado. Los nutrientes del suelo y abastecimiento de agua ahora tienen mayor demanda para cumplir los crecientes requerimientos de la tasa de crecimiento.

g) **Doce Hojas Desplegadas V12):** Esta etapa comienza cuando la duodécima hoja se encuentra completamente desplegada, en nuestro ensayo el cultivo alcanzó el 50% de plantas con estas características a los 84 días promedios después de la siembra.



Figura 13: Estado V12 (Doce hojas desplegadas)

En este estado los brotes de la mazorca comienza a desarrollarse en cada nodo de la planta protegido de las vainas de las hojas; por lo que corroboramos con lo que dice Hanway (1993), que El número de óvulos (potencial gránulos), de cada mazorca y el tamaño de la mazorca se determina en el estado V12.

h) Catorce Hojas Desplegadas (V14): Esta fase inicio cuando la planta presentaba su hoja número catorce totalmente desplegada, en nuestro campo el 50% de las plantas que presentaban estas características fue a los 89 días promedios después de la siembra. En este estado la planta se encuentra alejado 16 días promedios de la floración femenina, y se puede observar que el desarrollo de la mazorca superior es mayor que las mazorcas inferiores.

Hanway (1993), menciona que en el estado de V15, el maíz esta alejado 10 – 12 días aproximadas de la floración femenina, y este estado es el principio del periodo más crucial de desarrollo de la planta en términos de determinación de rendimiento.

i) Dieciséis Hojas Desplegadas (V16): Esta etapa se da cuando la rama final de la planta comienza a desplegarse, en nuestro ensayo el 50% de plantas que presentaban estas características se dio a los 93 días promedios después de la siembra.

En esta fase las mazorcas comienzan un crecimiento acelerado, haciendo su aparición en la base de la vaina de la hoja; a la vez los estigmas comienzan a desarrollarse desde la base de la mazorca y así subiendo hasta la punta. Hanway (1993), menciona que en el estado V18, se dan todas estas características mencionadas, y además indica que la punta de la floración masculina puede ser visible en la fase de V17.

j) Floración Masculina (VT): Este estado inicia cuando la rama final de la floración masculina es completamente visible y las estigmas de la floración femenina aun no han emergido; en nuestro ensayo se alcanzo esta etapa a los 96 días promedios después de la siembra tomando en cuenta 50% de plantas que presentaban estas características.

Figura 14: Estado de VT (Floración masculina)



El VT inicia a los 2 – 3 días después de la emergencia de la floración femenina; a la vez pudimos observar que la tusa y los estigmas aceleraron su crecimiento, y también se pudo observar el desprendimiento del polen; estos resultados podemos corroborar con lo que menciona Hanway (1993), y que indica también que en este estado la planta logra alcanzar su altura máxima.

4.1.2 ESTADO DE DESARROLLO REPRODUCTIVO:

a) **Floración Femenina (R1):** Este estado se inicia cuando la floración femenina es visible fuera de las mazorcas, en condiciones de cultivo se considera que este ha entrado en esta etapa cuando el 50% de plantas presentan estas características; en nuestro ensayo se ha alcanzado esta etapa a los 102 días promedios después de la siembra.



Figura 15: Estado R1 (Floración femenina)

En este estado (R1) se da inicio el desarrollo reproductivo haciendo su aparición los estigmas de la mazorca, donde desde su aparición requirió de 6 – 7 días para que los estigmas lleguen a obtener su tamaño máximo, manteniéndose húmedas y comiencen a marchitarse; estos datos podemos comparar con lo que menciona Hanway (1993), donde dice que es necesario de 2 – 3 días para que todas las floraciones femeninas de una mazorca sean expuestas y polinizadas, y que un grano de polen capturado se desarrolla en casi 24 horas dónde ocurre la fertilización del óvulo y el óvulo se convierte en grano.

b) Estado de Grano Perlita (R2): Esta fase se inicia cuando el raquis de la espiga (coronta), y el pedúnculo se encuentra bien desarrollado, a la vez se puede observa que el estigma o floración femenina toma una coloración de color marrón; en nuestro experimento se tomo cuenta esta etapa cuándo el 50% de plantas presentaron estas características, y en nuestro ensayo se alcanzó esta etapa a los 116 días después de la siembra.



Figura 16: Estado R2 (Grano perlita)

En esta fase se pudo observar el inicio de la acumulación del almidón en el endospermo y el incremento de tamaño de los granos; también corroboramos con lo mencionado por Hanway (1993), quien menciona que esta fase es el comienzo del rápido incremento en peso del grano y que los granos han comenzado a aumentar rápidamente su peso; y esta acumulación rápida de peso seco continuará hasta el estado de grano dentado.

c) Estado de Grano Lechoso (R3): Esta etapa se inicia cuando los granos de la mazorca muestran el color morado en la parte superior y blanco lechoso en la parte inferior debido a la acumulación de almidón por la planta; en este estado ya se puede observar el desarrollo del

embrión. En nuestro ensayo el 50% de la población de plantas que presento estas características fue a los 27 días promedios después de la floración femenina.



Figura 17: Estado R3 (Grano lechoso)

En esta fase los granos son blandos, que al presionarlos con los dedos tienen una consistencia líquida en forma de leche, esto corroboramos con lo que menciona Hanway (1993), donde indica que en esta fase, el maíz tiene una alta tasa de acumulación de materia seca y tienen casi un 80% de humedad; y las divisiones celulares dentro del endosperma están esencialmente completas y su crecimiento es principalmente debido a la expansión celular y llenado de las células con almidón.

d) **Estado de Grano Masoso o Pastoso (R4):** Este estado se inicia cuando el color de la cáscara del grano llega a obtener un color morado a más de la mitad, también se determina cuando al presionar los granos con los dedos tienen una consistencia masosa o en forma de pasta; en nuestro campo la población de plantas que presentaron estas características a más del 50% se dio a los 34 días promedios después de la floración femenina.

Figura 18: Estado R4 (Grano masoso o pastoso)



Hanway (1993), menciona que en este estado el embrión continúa su desarrollo muy rápidamente, y los granos tienen casi el 70% de humedad y han acumulado casi la mitad de su peso seco maduro.

e) **Estado de Grano Dentado (R5):** Esta etapa se inicia cuando los granos de la mazorca son dentados o en dentición, en esta etapa la cáscara del grano presenta un color morado casi en su totalidad y los granos comienzan a desecarse desde la parte superior formando una pequeña capa dura. En nuestro ensayo el cultivo alcanzó el 50% de plantas con estas características a los 48 días después de la floración femenina.



Figura 19: Estado R5 (Grano dentado)

Hanway (1993), indica que el estrés encontrado en este estado reduce el rendimiento al reducir el peso de grano por la pérdida de humedad, y al inicio del estado (R6), los granos alcanzaron casi un 56% del contenido de humedad.

f) **Madurez Fisiológica (R6):** Esta etapa comienza cuando la capa dura del almidón cubre en su totalidad los granos de la mazorca y además cuando la capa de abscisión del grano presenta un color marrón o negro en la parte basal, se pudo observar que la cáscara del grano se volvió de color morado en su totalidad; y la formación negra de la capa de abscisión ocurrió progresivamente desde la punta de los granos de la mazorca hasta los granos basales de la mazorca. En nuestro ensayo el cultivo alcanzó el 50% de plantas con estas características a los 77 días después de la floración femenina.



Figura 20: Estado R6 (Madurez fisiológica)

Finalmente en este estado los granos son duros y secos, con una coloración de la cáscara morado intenso en su totalidad; además se observó a la tusa con una coloración de morado intenso, entre 35 – 40% de humedad; estos datos los comparamos con lo mencionado por Hanway (1993), donde indica que en este estado se tiene la máxima acumulación de peso seco y señala el fin de crecimiento del grano para esta campaña; y el contenido promedio de humedad del grano es de 30 – 35% de humedad, sin embargo, esto puede variar considerablemente entre los híbridos y condiciones ambientales.

Cuadro 12: ESCALA FENOLOGICA DEL MAIZ MORADO VAR. PMV 581

FASES FENOLOGICOS		Días Después de la Siembra (dds)
Estado de desarrollo vegetativo		
VE	Emergencia	7 dds
V2	Dos hojas desplegadas	9 dds
V4	Cuatro hojas desplegadas	22 dds
V6	Seis hojas desplegadas	43 dds
V8	Ocho hojas desplegadas	62 dds
V10	Diez hojas desplegadas	79 dds
V12	Doce hojas desplegadas	84 dds
V14	Catorce hojas desplegadas	89 dds
V16	Dieciséis hojas desplegadas	93 dds
VT	Floración masculinas	96 dds
Estado de desarrollo reproductivo		
R1	Floración femenina	102 dds
R2	Estado de grano perlita	116 dds
R3	Estado de grano lechoso	129 dds
R4	Estado de grano masoso o pastoso	136 dds
R5	Estado de grano dentado	150 dds
R6	Madurez fisiológica	179 dds

4.2 INTENSIDAD DE COLOR EN CORONTAS DEL MAÍZ MORADO:

De acuerdo al análisis de varianza mostrado en el Cuadro 13, se observa que para la fuente de variación entre tratamientos, existe diferencias altamente significativas, pero más no presenta diferencias significativas para bloques; por lo tanto se rechaza la hipótesis nula según el cual nos dice que las medias de los tratamientos son iguales. Donde la media general del experimento es de 47.781 y un coeficiente de variabilidad de 10.503.

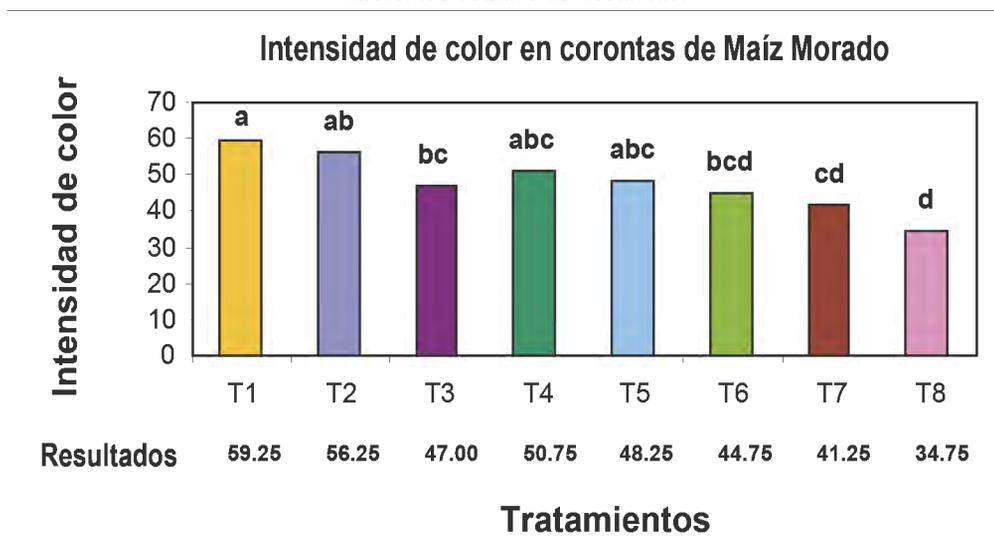
Cuadro 13: Análisis de Varianza de la Intensidad de Color en corontas de maíz morado Var. PMV 581, en diferentes estados de desarrollo

F. V	G. L	S. C	C. M	F. Calc.	F. Tab.	Significancia
Bloque	3	38.34	12.78	0.51	0.6814	n.S
Tratamientos	7	1738.22	248.32	9.86	0.0001	**
Error Exp.	21	528.90	25.19			
Total	31	2305.47				

* = Es Significativo, ** = Es altamente Significativo, N.S = No es Significativo

En el Grafico 2, se observa los resultados de Intensidad de Color de corontas de maíz morado en diferentes estados de desarrollo, utilizando la prueba de Tukey a un 95% de confiabilidad, donde se aprecia que el mayor valor obtuvo el tratamiento T1 (Cosecha en el estado de grano dentado), cuya intensidad de color fue de 59.250, mientras que el menor valor obtuvo el tratamiento T8 (Cosecha a los 30 días después de la madurez fisiológica) con 34.750 de intensidad de color; también se puede observar que el tratamiento T1 no muestra diferencias significativas con los tratamientos T2, T4 y T5 pero si muestra diferencia con los tratamiento T3, T6, T7 y T8; mientras que el tratamiento T2 no muestra diferencias significativas con los tratamientos T4, T5, T3 y T6, pero si difiere con los tratamientos T7 y T8; y finalmente se puede observar que entre los tratamientos T6, T7 y T8 no hay diferencias significativas.

Grafico 2: Intensidad de color en corontas de maíz morado Var. PMV 581 cosechados de diferentes estados de desarrollo.



Se puede observar que el mejor resultado en cuanto a la intensidad de color, es la cosecha en estado de grano dentado (T1) y la cosecha a la madurez fisiológica (T2), estos resultados pueden deberse a que los demás tratamientos han sido expuestos por largo tiempo a luz solar y temperaturas altas del medio ambiente; por lo que corroboramos con lo que dicen Palamidis y Markakis (1978); Machaconee *et al.*, (1985) citados por Rein (2005), donde indican que la estabilidad de las antocianinas se ve notablemente afectada por la temperatura; por lo que también el grado de degradación de las antocianinas aumenta durante el procesamiento y el almacenamiento conforme la temperatura aumenta.

Además Fennema (2000), menciona que en la velocidad de degradación también influye la presencia o ausencia de oxígeno, pH y la conformación estructural; en general, las características estructurales que conducen a un aumento de la estabilidad del pH, también lleva a la estabilidad térmica.

Por otro lado la luz también afecta a las antocianinas de dos formas diferentes: es esencial para su biosíntesis, pero también acelera su degradación (Markakis, 1982; citado por Rein, 2005). También Kearsley y Rodríguez (1981); mencionado por Rein (2005), dicen que las antocianinas conservan mucho mejor su color cuando son mantenidos en la oscuridad. Y

finalmente Furtado *et al.*, (1993); mencionado por Rein (2005), dicen que los productos finales de la degradación inducida por la luz, son los mismos que la degradación térmica, sin embargo, las reacciones de degradación son diferentes e incluyeron la excitación del catión flavilo.

4.3 PESO DE CORONTA:

En el análisis de varianza mostrados en el cuadro 14, podemos observar que para la fuente de variación entre tratamientos existen diferencias altamente significativas, pero no muestra diferencia para bloques, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula según el cual nos dice que las medias de los tratamientos son iguales, donde la media general es de 14.469, con un coeficiente de variabilidad de 6.601.

Cuadro 14: Análisis de Varianza del peso de corontas de maíz morado Var. PMV 581, en diferentes estados de desarrollo

F. V	G. L	S. C	C. M	F. Calc.	F. Tab.	Significancia
Bloque	3	0.59	0.20	0.22	0.3957	n.s
Tratamientos	7	142.22	20.32	22.27	0.0001	* *
Error Exp.	21	19.16	0.91			
Total	31	161.97				

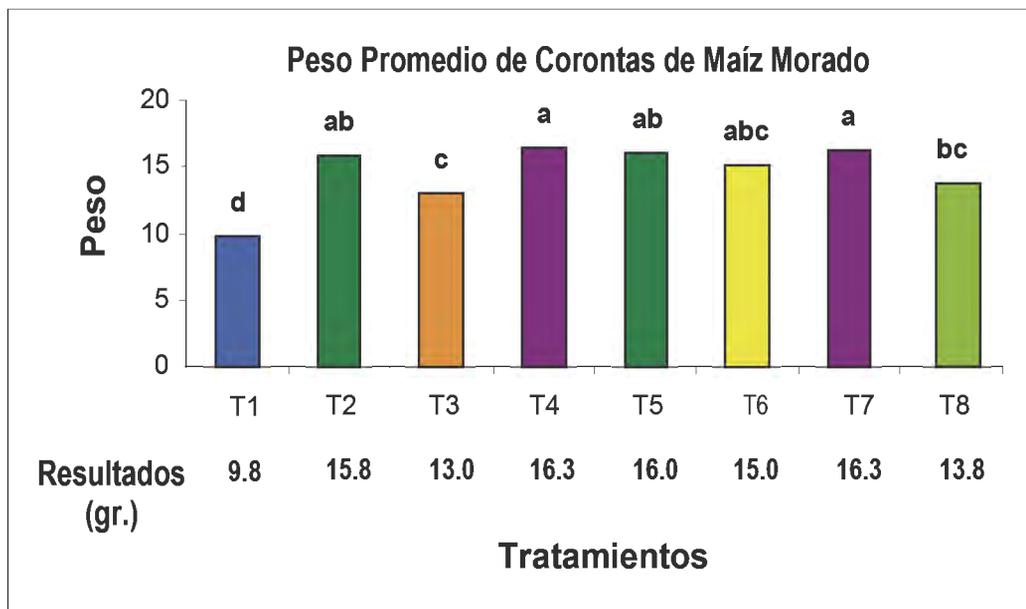
* = Es Significativo, ** = Es altamente Significativo, N.S = No es Significativo

En el Grafico 3, se muestra la prueba de comparación de Tukey a un 95% de confiabilidad, para determinar el peso promedio de las corontas de maíz morado de la Var. PMV 581, en diferentes estados de desarrollo, donde podemos observar que los tratamientos T7 y T4 ocupan los primeros lugares en el orden de merito con 16.25 gramos de peso promedio, y estos no difieren significativamente con los tratamientos T5, T2 y T6, pero si muestran diferencias significativas con los tratamientos T8, T3 y T1; en seguida se puede observar que el tratamiento T5 no difiere con los tratamientos T2, T6 y T8 pero si difiere con los tratamientos T3 y T1; y finalmente se puede observar que el tratamiento T6 no guarda diferencia con el tratamiento T8 y T3, pero si muestra una diferencia significativa con el tratamiento T1 quien se encuentra en el ultimo lugar del orden de meritos con 9.75 gramos de peso promedio de la coronta.

También se puede observar que los pesos promedios de los diferentes tratamientos en estudio, no difieren mucho desde el T2 al T8, que a la comparación del T1; estos resultados pueden deberse a que el tratamiento T1, fue cosechado en el estado de grano dentado, donde la

tusa (coronta) alcanzaba un 60% – 65% de humedad y los granos de 55% - 60% de humedad aproximadamente, donde al momento de secarlo para poder realizar su respectivo análisis de intensidad de color, se perdió humedad, por lo cual se tiende a perder peso y tamaño.

Grafico 3: Peso promedio de corontas de maíz morado Var. PMV 581 cosechados de diferentes estados de desarrollo.



V. CONCLUSIONES

Bajos las condiciones que se llevó acabo el presente trabajo de investigación, se puede concluir lo siguiente:

- La fenología del maíz morado se dio inicio con el estado de desarrollo vegetativo, dando inicio el estado VE (Emergencia), iniciándose a los 7 días después de la siembra (dds), culminando con la Floración Masculina (Estado de VT) a los 96 dds. El estado de desarrollo reproductivo se inicio con el R1 (Floración Femenina) a los 102 dds y termino con la Madurez Fisiológica (R6) a los a los 179 dds.
- Para la variable de intensidad de color en corontas de maíz morado, el T1 (cosecha en el estado de grano dentado) tuvo el mejor resultado con 59.250 de color value.
- El T4 (cosecha a los 10 días después de la madurez fisiológica) y T7 (cosecha a los 25 días después de la madurez fisiológica) obtuvieron los mejores resultados en peso de coronta, ambos con 16.25 gramos.
- El mejor resultado se obtuvo en el T2 (cosecha a la madurez fisiológica) con 56.25 de intensidad de color value y con 15.8 gr. en peso de coronta.

VI. RESUMEN

Para cualquier cultivo, el entendimiento de los eventos fenológicos es importante porque establece el marco temporal donde se forma el rendimiento y sus componentes. El maíz morado es una planta anual que está determinado también con los eventos fenológicos de la germinación, crecimiento, iniciación floral, floración y madurez fisiológica; donde la duración de cada una de estas fases depende del genotipo, medio ambiente, fotoperiodo y temperatura.

La fenología se determinó a base del tiempo o número de días después de la siembra (dds); donde para la emergencia se necesitó un tiempo determinado de 7 dds, en seguida se determinó el desarrollo vegetativo o crecimiento aéreo de la planta con la aparición de número de hojas hasta la formación de la panoja, por lo cual para el estado de V2 se requirió de 9 dds, donde se pudo observar las dos hojas completamente desplegadas; mientras que el estado de V4 requirió de 22 dds, en esta fase la planta comienza su diferenciación floral; mientras que el estado de V6 se dio a los 43 dds, y en este estado comienza el crecimiento acelerado de las plantas; el estado de V8 se dio a los 62 dds, en este estado comienza a desarrollarse la floración masculina y el brote de la mazorca; el estado de V10 se da a los 79 dds, donde comienza un rápido incremento en la acumulación de materia seca; el estado de V12 se dio los 84 dds, en este estado se determina el número de óvulos y el tamaño de la mazorca; el estado de V14 se alcanzó a los 89 dds, en este estado comienza el desarrollo de las mazorcas superiores y comienza el estado más crucial de desarrollo en términos de rendimiento; el estado de V16 se dio a los 93 dds, donde la hoja final de la planta comienza a desplegarse y las mazorcas comienzan un crecimiento acelerado; y finalmente el estado de VT se dio a los 96 dds, donde la planta cesa su crecimiento, la tusa y los estigmas crecen rápidamente y comienza el desprendimiento del polen.

El desarrollo de la fase reproductiva también se determinó en días después de la siembra (dds); iniciándose por la floración femenina (R1), donde esta fase se dio a los 102 dds, donde se observa a los estigmas fuera de la mazorca y permanecen de 2 – 3 días para que toda la floración femenina de la mazorca pueda polinizarse; el estado de grano perlita (R2), se inicia a los 116 dds, en esta fase la coronta y el pedúnculo se encuentran totalmente desarrollados, y también comienza la acumulación del almidón al endospermo; el estado de grano lechoso (R3),

se dio a los 129 dds, donde se observa un color morado por la parte superior del grano y blanco lechoso por la parte inferior del grano debido a la acumulación del almidón; mientras que el estado de grano masoso o pastoso (R4), se dio después de 136 dds, donde el color morado cubre mas del 50% del grano y al presionar el grano tiene una consistencia de masa; el estado de grano dentado (R5), comienza a los 150 dds, donde la cáscara llega a cubrir casi en su totalidad de color morado al grano, y también los granos comienzan a desecarse desde la parte superior; y finalmente llega la madurez fisiológica (R6) a los 179 dds, donde la capa de abscisión del grano forma un color marrón o negro, y cesa el crecimiento del grano.

Para el análisis de intensidad de color se tomo muestras de diferentes épocas de cosecha en sus diferentes estados de desarrollo reproductivo, donde la cosecha en el estado de grano dentado (T1), tuvo el mejor resultado con 59.250 de intensidad de color; el tratamiento T2 (cosecha a la madurez fisiológica) muestra el segundo mejor resultado con 56.250 de intensidad de color; mientras que el tratamiento T8 (cosecha a los 30 días después de la madurez fisiológica o seco en planta), obtuvo 34.750 de intensidad de color ubicándose en el ultimo lugar. Mientras que la evaluación de peso de coronta, el T7 y T4 (cosecha a los 25 días después de la madurez fisiológica y cosecha a los 10 días después de la madurez fisiológica respectivamente), obtuvieron el resultado en peso con 16.25 gr., mientras que el T1 (cosecha en estado de grano dentado), obtuvo tusas de bajo peso con 9.75 gr., donde a la vez se pudo observa que no hubo mucha diferencia entre los demás tratamientos.

VII. RECOMENDACIONES

De lo expuesto en este trabajo de investigación se desprende las siguientes recomendaciones:

- Realizar pruebas sobre manejo y prácticas culturales en función del comportamiento fenológico.
- Realizar trabajos de investigación acerca de la concentración de la Fumonisina B2 en corontas de maíz morado, causado por el *Fusarium moliniforme*, en diferentes épocas de cosecha, ya que este hongo es uno de los agentes causales de la acumulación de la Fumonisina B2 tóxicos para el consumo humano, además para poder exportar se requiere una concentración menor a 0.01 ppm de micotoxinas por producto.
- También se recomienda realizar investigaciones en formas y tiempo de secado, para poder preservar y mantener la calidad del pigmento; ya que la alta humedad y temperatura puede inducir a desarrollo de enfermedades; por otro lado la exposición de un producto antocianínico a temperaturas altas y alta radiación solar influye en la degradación de las antocianinas.
- Finalmente se recomienda divulgar los resultados encontrados en este ensayo, entre los agricultores y personas interesadas, ya que en esta investigación se pudo observar los eventos fenológicos del maíz morado y a la vez analizar en que estado de desarrollo hay mayor acumulación de antocianinas con un determinado peso de coronta.

VIII. BIBLIOGRAFIA

- ALDRICH, S. Y LENG, E. 1974.** Producción moderna del maíz. Ediciones Hemisferio Sur. Primera Edición. Buenos Aires, Argentina.
- ARAUJO, J. 1995.** Estudio De la extracción del colorante de Maíz Morado (*Zea mays L.*) con el uso de enzimas. Tesis Post Grado Especialidad de Tecnología de alimentos. UNALM. Lima – Perú. 103 pp.
- ARAUJO, J.; CAMPOS, D.; y DELGADO, J. 1990.** Ensayo sobre el uso de microencapsulantes en el secado por atomización de concentrado de maíz morado (*Zea mays L.*). Análisis científicos. La Molina – Perú. 30: 273 – 289.
- ARIAS, M. 1958.** Proyecto de una planta de maíz morado en Lima. Tesis para optar el título de Ingeniero Químico. UNMSM. Lima, Perú.
- BADUI, S. 1999.** Química de los alimentos. Editorial Longman. México.
- CABRITA, L.; FOSSEN, T.; y ANDERSEN, O. 2000.** “Colour and stability of the six common anthocyanidin 3 – glucosides in aqueous solutions”. Food Chemistry. Vol. 68. pp. 101 – 107.
- CEVALLOS – CASALS, B. y CISNEROS – ZEVALLOS, L. 2003.** “Stability of anthocyanin-based aqueous extracts of Andean purple corn and red-fleshed sweet potato compared to synthetic and natural colorants”. Food Chemistry. Vol. 86. pp. 69 – 77.
- COLLAZOS, C. 1962.** Composición de Alimentos Peruanos. 3^{ra} Edición. Lima – Perú. 37 pp.
- DELGADO, E. J. 1989.** Ensayos sobre el uso de microencapsulantes en el secado por atomización de de concentrado de maíz morado (*Zea mays L.*). Tesis Ing. En Industrias Alimentarias. UNALM. Lima – Perú. 150 pp.
- FENNEMA, O. R. 2000.** Química de los alimentos. Segunda Edición. Editorial Acribia. Zaragoza – España.
- FERNANDEZ, N. A. 1995.** Estudio de la extracción y pre - purificación de antocianinas de maíz morado (*Zea mays L.*). Tesis Ing. En Industrias Alimentarias. UNALM. Lima – Perú. 116 pp.
- FUENTES, M. 2002.** El Cultivo del Maíz en Guatemala. Instituto de Ciencias y Tecnologías Agrícolas – ICTA – Sub Programa de Maíz – Guatemala. 45Págs.
- GIUSTI, M. y WROLSTAD, R. 2001.** “Acylated anthocyanins from edible sources and their applications in food systems”. Biochemical Engineering Journal. Vol. 14, Issue 3, pp. 217 – 225.

- GOODMAN, M. AND H. G. WILKES. 1995.** Mystery and Missing Links. The origin: of Maize. In: Taba S. Maize Genetic: Resources. Technical Editor. CIMMYT, Mexico.
- HANWAY, J. 1993.** How a corn plant develops? Special Report N° 48. Iowa State University and Science and Technology Cooperative Extension Service, Ames, Iowa.
- I. N. E. I. 2005.** Compendio Estadístico. Sistema Nacional de Estadística. Perú. 966 pp.
- LOPEZ, L. 1991.** Cultivos Herbáceos. Vol. 1, Cereales. Edit. Mundi, España. pp. 309 – 347.
- LOCK, S. 1997.** Colorantes naturales. 1ra Edición. Pontificia Universidad Católica del Perú. Fondo Editorial. 274 pp.
- MANRIQUE, A. 1997.** El maíz en el Perú. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYTEC). Lima, Perú. 362 Págs.
- QUISPE, R. 2003.** Estudio De la Exportación de Antocianinas del Camote Morado (*Ipomoea batatas* L.). Tesis Ing. En Industrias Alimentarias. UNALM. Lima – Perú- 148 pp.
- REIN, M. 2005.** Copigmentation reactions and color stability of berry anthocyanins (dissertation). University of Helsinki, Department of Applied Chemistry and Microbiology.
- SEGOVIA, V. 1997.** Evaluación y caracterización de maíces de la orinoquia y amazonia venezolana. CSI. E. E AULA DEI. Zaragoza, España. 200 Págs.
- SEVILLA, R. Y VALDEZ, A. 1985.** Estudio de factibilidad del cultivo de maíz morado. Fondo de Promoción y Exportación (FOPEX). Lima, Perú. 46 Págs.
- TAKHTAJAN, A. 1980.** Outline of classification of flowering plants (Magnoliophyta). The Botanical Review. New York, Estados Unidos. 46: 225 – 226, 316 – 318.
- THE MIISTRY OF HEALTH AND WELFARE. REPRODUCED BY JAPAN FOOD ADDITIVES ASSOCIATION. 2000.** Japan's specifoications and standards for food additives, 7th Edition. Tokoyo, Japan. 375 Págs.
- VILLAGARCIA, S.; y AGUIRRE, G. 1994.** Manual de uso de fertilizantes. Departamento de suelos y fertilizantes. UNALM Lima – Perú.
- ZAPATA, S. 1996.** Colorantes naturales. Exportación de productos Procesados. Agroenfoque. Lima – Perú. 83: 40 – 43.

ANEXOS

Anexo 01: CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

ACTIVIDADES	FECHA	dds	OBSERVACIONES
1. PREPARACION DE TERRENO			
➤ Riego de machaco	06 / Junio / 2005	- 21	48 horas
➤ Aradura, Gradeo	22 / Junio / 2005	- 5	Maquinaria
➤ Surcado, Tomez	24 / Junio / 2005	- 3	Maquinaria
2. SIEMBRA	27 / Junio / 2005	0	Con lampa
3. LABORES CULTURALES			
➤ Aplicación de insecticida	14 / Julio / 2005	18	Karate
➤ 1° Fertilización	18 / Julio / 2005	22	90 – 80 – 80
➤ 1° Riego	19 / Julio / 2005	23	
➤ Aplicación de herbicida	25 / Julio / 2005	29	Gesaprin
➤ Desahije	02 / Agosto / 2005	37	Se dejo 2 plts / golpe
➤ 2° Fertilización y Aporque	04 / Agosto / 2005	39	90 – 0 – 0
➤ 2° Riego	17 / Agosto / 2005	52	
➤ Aplicación de insecticida	22 / Agosto / 2005	57	Dipterex
➤ Deshierbo	29 / Agosto / 2005	64	Manual
➤ 3° Riego	08 / Setiembre / 2005	74	
➤ 4° Riego	29 / Setiembre / 2005	95	
➤ 5° Riego	17 / Octubre / 2005	113	
➤ 6° Riego	08 / Noviembre / 2005	135	
➤ 7° Riego	01 / Diciembre / 2005	158	
4. COSECHA			
➤ Cosecha del T1	23 / Noviembre / 2005	150	
➤ Cosecha del T2	22 / Diciembre / 2005	179	
➤ Cosecha del T3	27 / Diciembre / 2005	184	
➤ Cosecha del T4	01 / Enero / 2006	189	
➤ Cosecha del T5	06 / Enero / 2006	194	
➤ Cosecha del T6	11 / Enero / 2006	199	
➤ Cosecha del T7	16 / Enero / 2006	204	
➤ Cosecha del T8	21 / Enero / 2006	209	

dds: Días después de la cosecha

Fuente: Elaboración propia

Anexo 02: Resultado de la evaluación de la intensidad de color de corontas de maíz morado.

Trat. / Rep.	R1	R2	R3	R4	PROMEDIO
T1	57	56	65	59	59
T2	50	53	66	56	56
T3	41	55	45	47	47
T4	51	53	48	51	51
T5	48	42	55	48	48
T6	54	42	45	38	45
T7	41	43	40	41	41
T8	32	35	33	39	35
PROMEDIO	47	47	50	47	48

Anexo 03: Resultado de la evaluación de peso de coronta del maíz morado.

Trat. / Rep.	R1	R2	R3	R4	PROMEDIO
T1	9	10	10	10	10
T2	16	15	15	17	16
T3	13	13	14	12	13
T4	17	16	17	15	16
T5	17	17	14	16	16
T6	14	15	15	16	15
T7	16	17	17	15	16
T8	14	14	14	13	14
PROMEDIO	15	15	15	14	14